INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO DE JANEIRO

Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu*

Mestrado Profissional em Ensino de Ciências

Campus Nilópolis

Erick dos Santos Silva

VIDEOANÁLISE EM CONTEXTOS COLABORATIVOS: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO SIMULTÂNEO DOS MOVIMENTOS UNIFORMES RETILÍNEO E CIRCULAR

Nilópolis - RJ

2017

Erick dos Santos Silva

VIDEOANÁLISE EM CONTEXTOS COLABORATIVOS: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO SIMULTÂNEO DOS MOVIMENTOS UNIFORMES RETILÍNEO E CIRCULAR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ensino de Ciências do Instituto Federal do Rio de Janeiro, modalidade profissional, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Vitor Luiz Bastos de Jesus

Nilópolis – RJ

2017

S586v Silva, Erick dos Santos.
Videoanálise em contextos colaborativos : uma sequência didática para o estudo simultâneo dos movimentos uniformes retilíneo e circular / Erick dos Santos Silva. -- Nilópolis, RJ: IFRJ, 2017.
131 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) - Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro. PROPEC, 2017.
Orientador: Vitor Luiz Bastos de Jesus.

1. Cinemática. 2. Aprendizagem. 3. Aprendizagem experimental. 4. Ciências – estudo e ensino. 5. Ensino médio. 6. Física (ensino médio) I. Jesus, Vitor Luiz Bastos de, **orient**. II. IFRJ. PROPEC. III. Título.

CDU 531.1:37.091.322.7

Erick dos Santos Silva

VIDEOANÁLISE EM CONTEXTOS COLABORATIVOS:

Uma sequência didática para o estudo simultâneo dos movimentos uniformes retilíneo e circular

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ensino de Ciências do Instituto Federal do Rio de Janeiro, modalidade profissional, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Data de aprovação: _____ de _____ de _____ .

_____

Prof. Dr. Vitor Luiz Bastos de Jesus (orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, *campus* Nilópolis (IFRJ)

_____

Prof. Dr. Alexandre Lopes de Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, *campus* Nilópolis (IFRJ)

_____

Prof. Dr. Daniel Guilherme Gomes Sasaki

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET-RJ)

Nilópolis – RJ,

2017

Dedico este trabalho aos meus pais (Suely e Oseas)
e também ao João Roberto Caires, o eterno "tio João".

AGRADECIMENTOS

Agradeço todos aqueles que tornaram mais esse sonho possível. Como não poderia ser diferente, inicio saudando os meus pais, Suely Teixeira dos Santos Silva e Oseas Corrêa da Silva, pela dedicação eterna, pelo amor e pela confiança integral na minha pessoa. Sou eternamente grato por tudo que fizeram por mim. Aproveito também para agradecer a Silvia Cristina Machado, por toda compreensão, companheirismo e amor. Agradeço, ainda, a minha irmã Erika dos Santos Silva, por colaborar e torcer por mim da sua maneira.

Agradeço de coração ao meu orientador Vitor Luiz Bastos de Jesus, por toda paciência e confiança. Os embates ao longo desses dois anos foram longos, mas foram acompanhados de um aprendizado ético e profissional único, que não posso mensurar por meio de palavras. Obrigado pelo acolhimento e confiança. Sou eternamente grato.

Agradeço também a todos os amigos e familiares que pude conviver e contar ao longo destes anos. Tio Carlinhos e companhia, sintam-se abraçados. Um especial agradecimento deve ser registrado aos amigos da minha mais nova cidade, Juína, onde encontrei pessoas fantásticas as quais guardarei no meu coração com um carinho distinto.

Em especial agradeço aos meus avós Oswaldo e Oreni. Vocês fazem parte dessa conquista também. Obrigado pela torcida, conselhos, bolos, enfim, por tudo.

Quero registrar um agradecimento aos amigos do PROPEC/IFRJ, pelos dois anos compartilhados de alegrias e discussões acaloradas. Fico na torcida para os trabalhos que ainda estão por vir, parabenizando aqueles que já foram ou estão sendo concluídos.

Aproveito para agradecer novamente aos grandes “mestres” que pude ter contato e que me ensinaram muito mais do que equações e fórmulas matemáticas. Agradeço à existência de profissionais como estes, que acabam se tornando referência para nós que optamos/seguimos por este árduo caminho.

As mudanças nos dois últimos anos foram muitas. O eterno obrigado aos que entenderam os rumos diferentes traçados por mim. Aos que não entenderam, agradeço da mesma forma. Um doutorado foi interrompido, mas as portas da “rede federal de ensino” e do “ensino de ciências naturais” foram abertas de forma mágica. Não poderia ser melhor.

Finalizo agradecendo a Deus por tudo, prometendo não fazer mais outro mestrado.

What we wish, we readily believe,
and what we ourselves think, we imagine others think also.

(Júlio César)

SILVA, Erick dos Santos. *Videoanálise em contextos colaborativos: uma proposta de estudo simultâneo dos movimentos uniformes retillíneo e circular.* 123 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), *Campus* Nilópolis, RJ, 2017.

RESUMO

A dissertação apresenta uma sequência didática para estudar os movimentos uniformes retilíneo e circular, orientada pelos pressupostos da aprendizagem ativa, considerando a discussão de problemas investigados por videoanálise, em contextos colaborativos. Estruturamos um cronograma de atividades para implementação em três turmas do ensino médio integrado a cursos técnicos da rede federal de ensino. A sequência didática propõe problemas para serem discutidos em grupos, apresentados juntamente com uma videoanálise relativa ao movimento de uma bicicleta. Além da discussão conjunta, encontro a encontro, um teste de conhecimentos foi aplicado às turmas experimentais. Uma turma de controle também realizou o teste de conhecimentos, sem participar das demais etapas da sequência estruturada. Os resultados revelam a possibilidade de se utilizar a sequência didática proposta como mediadora da relação ensino-aprendizagem, em contextos colaborativos, embora a melhoria de rendimento na comparação entre as turmas experimentais e de controle não seja evidente. Discutimos esses resultados do ponto de vista estatístico, inserindo ponderações sobre a tentativa de se atribuir esse resultado diretamente à sequência implementada. Uma síntese sobre a aplicação da sequência didática se encontra no produto educacional anexo a esta dissertação.

Palavras-chave: Aprendizagem ativa, Videoanálise, Contextos colaborativos.

SILVA, Erick dos Santos. *Videoanálise em contextos colaborativos: uma proposta de estudo simultâneo dos movimentos uniformes retilíneo e circular.* 123 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Ciências. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), *Campus* Nilópolis, RJ, 2017.

ABSTRACT

The dissertation presents a didactic sequence to study the rectilinear and circular uniform movements, based on the assumptions of active learning, considering a discussion of problems investigated by video, in collaborative contexts. We structured a schedule of activities for the implementation in three classes of public federal high school technical courses. The didactic sequence proposes problems to be debated in groups, with a video analysis of the movement of a bicycle. In addition to the group discussions implemented in each class, a test of knowledge was applied to the experimental groups. A control group also performed the knowledge test, without participating in the other stages of the structured sequence. The results reveal the possibility of using the proposed didactic sequence as a mediator of the teaching-learning relationship, in collaborative contexts, although the improvement in the comparison between the experimental and control groups is not evident. We discuss these results from the statistical point of view, pondering about the presented result is due to the implemented didactic sequence. A synthesis of the application of the presented didactic sequence can be found in the educational product attached to this dissertation.

Keywords: Active learning, Video analysis, Collaborative contexts.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 Filmagem da roda dianteira a partir do referencial solidário ao seu eixo de rotação 19

Figura 3.2 Ponto *P* fixo da bicicleta em movimento retilíneo, observado do referencial solidário ao solo 22

Figura 3.3 Procedimento inicial para exportar a tabela de dados fornecida pelo *Tracker* 23

Figura 3.4 Procedimento para escolher as características da tabela exportada 24

Figura 3.5 Tabela de dados exportada para leitura externa. O arquivo foi aberto no *Bloco de notas*, um leitor disponibilizado pelo *Windows* 24

Figura 3.6 Gráfico s x t filmado a partir do referencial R1. O coeficiente angular fornece a velocidade v 25

Figura 3.7 Ponto *Q* fixo da roda dianteira em movimento circular, observado do referencial solidário ao eixo da roda 27

Figura 3.8 Gráfico φ x t para uma volta da roda, considerando o referencial solidário ao seu eixo de rotação. O coeficiente angular fornece a velocidade angular ω 28

Figura 4.1 Instante t_0 de um objeto *O* em MRU 38

Figura 4.2 Problema P1 proposto aos alunos das turmas experimentais 44

Figura 4.3 Gráficos s x t apresentados por dois grupos experimentais, onde podemos observar o equívoco na indicação da posição inicial s_0 45

Figura 4.4 Gráficos s x t apresentados por dois grupos experimentais, onde a relação linear esperada entre espaço e tempo é indicada 45

Figura 4.5 Gráfico s x t para a bicicleta apresentada no problema P1 46

Figura 4.6 Gráficos v x t apresentados por dois grupos experimentais. O gráfico da esquerda exemplifica a resposta mais comum encontrada entre as turmas experimentais. O único gráfico apresentado incorretamente encontra-se à direita 47

Figura 4.7 Gráfico v x t para a bicicleta apresentada no problema P1 48

Figura 4.8 A figura revela uma pequena esfera *E* em MCU, descrevendo uma trajetória circular de raio *R* 49

Figura 4.9 Problema P2 proposto aos alunos das turmas experimentais 58

Figura 4.10 Gráficos φ x t apresentados por dois grupos das turmas experimentais 59

Figura 4.11 Gráfico φ x t solicitado no item “a” do Problema P2. A coordenada φ é apresentada em radianos 59

Figura 4.12 Gráfico ω x t solicitado no item “c” do problema P2, apresentado por dois grupos da turma experimental 60

Figura 4.13 Gráfico ω x t solicitado no item “a” do problema P2 61

Figura 4.14 Número de alunos realizando o teste no início do primeiro tempo, no início do segundo tempo, e, ao término do segundo tempo 63

Figura 4.15 Grupos que responderam adequadamente ao problema P1. O gráfico revela a distribuição de acertos por turma, em cada um dos quatro itens: a, b, c e d. Cada turma apresenta 5 grupos 64

Figura 4.16 Grupos que responderam adequadamente ao problema P2. O gráfico revela a distribuição de acertos por turma, em cada um dos quatro itens: a, b, c e d. Cada turma apresenta 5 grupos 65

Figura 4.17 Gráficos de barras indicando o número total de alunos participantes, bem como a distribuição por turma desses alunos 68

Figura 4.18 Distribuição de frequências das notas relativas aos alunos da turma experimental TE1 69

Figura 4.19 Distribuição de frequências das notas relativas aos alunos da turma experimental TE2 69

Figura 4.20 Distribuição de frequências das notas relativas aos alunos da turma experimental TE3 70

Figura 4.21 Distribuição de frequências das notas relativas aos alunos da turma de controle TC 70

Figura 4.22 Médias das turmas experimentais (TE1, TE2 e TE2) e da turma de controle (TC) no teste de conhecimentos. A curva pontilhada revela a média das turmas experimentais 71

Figura 4.23 Distribuição de acertos no teste de conhecimentos para as turmas TE1, TE2, TE3 e TC 75

Figura 4.24 Percentual de acertos no teste de conhecimentos para as turmas TE1, TE2, TE3 e TC 76

Figura A.1 Materiais utilizados e esquema de acoplamento do bastão de *selfie* 89

Figura A.2 Acoplamento do bastão de *selfie* no garfo da bicicleta utilizando o arame inox 91

Figura A.3 Bastão de *selfie* preparado para as filmagens 90

Figura B.1 Coordenadas polares utilizadas para localizar a partícula *P* no plano π 94

Figura B.2 (a) velocidade da partícula *P* em um instante *t*. (b) Coordenadas *x* e *y* da partícula *P* em um instante *t*. (c) componentes da aceleração da partícula *P* em um instante *t* 99

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Cronograma de atividades estruturado para a sequência didática. Cada encontro é composto por dois tempos de aula seguidos, contendo 50 minutos cada 16

Tabela 3.2 Data das atividades estruturadas para as turmas TE1, TE2 e TE3 17

Tabela 3.3 Cronograma de atividades realizadas na turma de controle. Cada encontro é composto por dois tempos de aula seguidos, contendo 50 minutos cada 18

Tabela 3.4 Data das atividades estruturadas para a turma de controle (TC) 18

Tabela 4.1 Médias de ingresso para os cursos técnicos integrados ao ensino médio de Agropecuária (TA) e Meio ambiente (TMA), juntamente com o desvio-padrão amostral e o número de estudantes aprovados *N* 73

Tabela 4.2 Teste *t* de Student para verificação da possível diferença entre a nota do teste de conhecimentos e a média de física esperada, para cada uma das turmas participantes 74

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 1
1.1 OBJETIVOS 3
1.2 JUSTIFICATIVA 3
2 **REFERENCIAL TEÓRICO** 5
2.1 TEORIA SOCIOINTERACIONISTA DE VYGOTSKY 5
2.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL 7
2.3 A IDEIA DE APRENDIZAGEM ATIVA 11
3 **METODOLOGIA** 15
3.1 CRONOGRAMA UTILIZADO PARA A EXECUÇÃO DA PESQUISA 15
3.2 VIDEOANÁLISE 18
3.2.1 A utilização do software Tracker 20
3.2.2 Movimento da bicicleta modelado a partir do MRU 21
3.2.3 Movimento da roda dianteira modelado a partir do MCU 26
3.2.4 Relação entre as velocidades linear e angular 29
3.3 PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA 30
3.3.1 As turmas participantes 30
3.3.2 Sequência aplicada 31
3.4 ESCOLHA DAS QUESTÕES PARA O TESTE DE CONHECIMENTOS 33
4 **RESULTADOS E DISCUSSÕES** 35
4.1 IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA: DESCRIÇÃO DOS ENCONTROS 35
4.1.1 O primeiro encontro 36
4.1.2 O segundo encontro 36
4.1.3 O terceiro encontro 44
4.1.4 O quarto encontro 49
4.1.5 O quinto encontro 57
4.1.6 O sexto encontro 62
4.2 SOBRE AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NA TURMA DE CONTROLE 63
4.3 SOBRE AS RESPOSTAS APRESENTADAS AOS PROBLEMAS P1 E P2 64
4.4 SOBRE O DESEMPENHO NO TESTE DE CONHECIMENTOS 67
4.5 SOBRE AS DIFICULDADES OBSERVADAS NO TESTE DE CONHECIMENTOS 73
4.6 SÍNTESE DOS RESULTADOS 79
4.7 BREVE DIÁLOGO COM A LITERATURA RECENTE 79
5 **FORMATAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL** 82

6 **CONSIDERAÇÕES FINAIS** 83
REFERÊNCIAS 84
APÊNDICE A – ACOPLAMENTO DO SUPORTE À BICICLETA 91
APÊNDICE B – CONSIDERAÇÕES SOBRE CINEMÁTICA LINEAR E ANGULAR 93
APÊNDICE C – QUESTÕES PROPOSTAS NAS AULAS E PROBLEMAS 103
APÊNDICE D – TESTE DE CONHECIMENTOS 124
ANEXO A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA A PESQUISA NO IFMT 129
ANEXO B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ECLARECIDO (TCLE) 131

1 **INTRODUÇÃO**

Diversas pesquisas vêm ressaltando a importância de metodologias alternativas ao ensino tradicional. Deseja-se uma discussão das ciências com menos memorização, passividade e reprodução de respostas esperadas. No entanto, os espaços escolares ainda se mostram bem resistentes às inovações metodológicas, principalmente quando revelam desacordo com o padrão até então estabelecido (SILBERMAN, 1996; POZO; CRESPO, 2009; ARAUJO, 2011).

O ambiente escolar consiste de um ensino vertical pouco flexível, onde alunos praticamente não interagem entre si. As aulas são predominantemente expositivas, privilegiando o estudo individual. Normalmente, o discente se prepara para a realização de avaliações no formato tradicional, composta por provas e testes. O instrumento avaliativo costuma indicar um conceito relativo ao aproveitamento dos estudantes nas diferentes disciplinas, sem maiores preocupações com as peculiaridades formativas apresentadas. Observa-se, assim, um ensino formatado para a grande massa, com pouco alcance as necessidades individuais dos discentes (PARO, 2001; VILLANI; PACCA; FREITAS, 2009; POZO; CRESPO, 2009; ARAUJO, 2011).

Outro problema que devemos destacar, enfrentado pelos estudantes de ciências, é a carência de laboratórios didáticos. Disciplinas como física são ministradas, muitas vezes, utilizando apenas caneta e lousa. A evolução histórica das ideias científicas, bem como alguns experimentos clássicos, são relegados a uma discussão complementar, quando tal discussão é realizada. Apesar de contraditório, este é o modelo observado na maioria das escolas brasileiras, denunciados pela pesquisa corrente (MARINELI; PACCA, 2006; HOFSTEIN; KIND, 2012).

Contudo, alguns avanços têm sido apontados pela literatura acadêmica. Um destes é o trabalho pedagógico utilizando simulações didáticas. Essa ferramenta permite modelar situações de investigação científica, utilizando *softwares* educacionais que representam virtualmente alguns fenômenos físicos de interesse. Tal estratégia propicia, assim, a realização de “experimentos virtuais”. Ainda que esses esforços não possam substituir a prática propriamente dita, não podemos negar que se trata de um avanço importante em relação à aula ministrada puramente na lousa (ADAMS, et. al., 2008).

Outro avanço que vem sendo destacado no ensino de ciências é a utilização da chamada videoanálise. As potencialidades dessa técnica, que permite estudar diversos fenômenos a partir de suas filmagens, têm sido bem referenciadas na literatura recente (BEICHNER, 1996; BEZERRA JR, 2011; 2012; DE JESUS; 2014). Ainda que não resolvam o problema da carência de laboratórios, essa alternativa já apresenta um avanço na tentativa de inserir elementos mais fenomenológicos nas discussões realizadas em sala de aula (BEICHNER, 1996; LAWS; PFISTER, 1998; BROWN; COX, 2009; BEZERRA JR, 2011; 2012; DE JESUS; 2014).

No presente trabalho, vamos apresentar uma atividade alternativa às aulas tradicionais de física. Utilizaremos uma sequência didática que apresenta a videoanálise como componente motivador para as discussões de sala, em contextos colaborativos. O objetivo é estudar dois movimentos abordados nos cursos introdutórios de física: o *Movimento Retilíneo Uniforme* (MRU) e o *Movimento Circular Uniforme* (MCU). A discussão em contextos colaborativos permite uma dinâmica mais reflexiva nas aulas de ciências (POZO, 2002; 2009; BARROWS, 1996; ARAUJO, 2011; OWEN; DUNHAM, 2015), enquanto a videoanálise, possibilita a inserção de aspectos mais fenomenológicos na investigação de fenômenos físicos (BEICHNER, 1996; BROWN; COX, 2009; DE JESUS; 2014). A sequência didática utiliza o movimento de uma bicicleta, estudada por meio da videoanálise, como componente motivador e gerador das questões de sala. Pretende-se, dessa forma, inserir os alunos em um ambiente pedagógico apropriado ao debate científico, se apoiando nas metodologias de aprendizagem ativa e potencialidades atribuídas à videoanálise (SILBERMAN, 1996; ARAUJO, 2011; DE JESUS, 2014).

As atividades elencadas pela sequência proposta podem contribuir não somente para melhorar as habilidades dos discentes na análise de movimentos nos contextos do MRU e MCU, mas também na análise gráfica associada. Vale destacar que os resultados da videoanálise proposta reforçam a importância deste tipo de avaliação, pois utiliza a construção de gráficos para estimar grandezas cinemáticas relevantes do movimento investigado. Uma vez definida as condições iniciais do MRU e MCU, a evolução temporal do objeto analisado fica determinada, na perspectiva newtoniana.

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho propõe uma sequência didática que se apoia nos pressupostos da aprendizagem ativa, apresentando a videoanálise como elemento de investigação, em contextos colaborativos.

A sequência didática é avaliada de duas formas: (1) analisando o rendimento dos alunos em um teste final tradicional, composto de questões objetivas já utilizadas em estudos anteriores, e, (2) acompanhando a solução apresentada pelos grupos aos problemas propostos em cada aula. Busca-se, assim, verificar o desempenho dos discentes não só em um formato clássico de avaliação, como também em problemas que demandam outras habilidades formativas, como a proposição de modelos explicativos, análise fenomenológica e investigação em contextos colaborativos.

A validação da sequência didática permite a formatação de um produto educacional, que pode ser descrito para aplicações ou adaptações futuras.

1.2 JUSTIFICATIVA

Alternativas em relação ao ensino tradicional têm sido apontadas na literatura especializada. Métodos de aprendizagem ativa têm revelado resultados promissores no que diz respeito à formação mais integral dos discentes. Habilidades relativas à autonomia, busca de respostas para um dado problema, confronto de ideias com os pares, por exemplo, são contemplados neste tipo de metodologia (BARROWS, 1996; ARAUJO, 2011; SOUZA; DOURADO, 2015; OWEN; DUNHAM, 2015).

Por outro lado, a videoanálise também tem apresentado efeitos positivos em intervenções realizadas no ensino de ciências. A utilização desta técnica permite explorar aspectos fenomenológicos relativos à experimentação em física. Vamos considerar a videoanálise como mediadora da relação ensino-aprendizagem, na hipótese de trabalho presente, se apoiando nas potencialidades já apontadas em estudos anteriores (BEICHNER, 1996; LAWS; PFISTER, 1998; BROWN; COX, 2009; BEZERRA JR, 2011; DE JESUS; 2014).

Sendo assim, apresentamos uma sequência que utiliza premissas da aprendizagem ativa, apresentando a videoanálise em contextos colaborativos como mediadora da relação ensino-aprendizagem. O objetivo é avaliar os efeitos desta intervenção no espaço formal de

educação do Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Mato Grosso, *campus* Juína (IFMT/JNA). Vamos situar estes resultados em relação aos apontamentos da literatura especializada, buscando contribuir para intervenções mais factíveis no ensino de física brasileiro atual.

2 **REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste item, vamos apresentar alguns referenciais que apresentam convergência com as ideias defendidas no trabalho presente. É importante destacar que existe uma ideia modelada para a sequência didática, que defende a utilização de problemas, discutidos em contextos colaborativos, com o intuito de promover situações de aprendizagem. Vamos inserir as técnicas de videoanálise para ajudar na construção dos problemas propostos, e, quiçá, contextualizá-los. Dito isso, apresentaremos aproximações encontradas na literatura acadêmica, para fins de discussão com os pares.

Dessa forma, descreveremos os aspectos fundamentais associados à *Teoria Sociointeracionista* de Vygotsky, e, à *Aprendizagem Significativa* de David Ausubel, que possuem relação direta com as ideias defendidas no trabalho. Finalmente, destacaremos algumas investigações recentes que têm sido denominadas, genericamente, pela expressão *Aprendizagem Ativa*, justificando sua utilização no trabalho descrito.

Em síntese, podemos perceber diversos pontos de conexão entre as interpretações com viés pedagógico das duas teorias destacadas acima, sobre o desenvolvimento dos indivíduos, com as ideias de aprendizagem ativa, encontrada em textos acadêmicos recentes. Este capítulo buscará organizar essas conexões e apresentar as bases estruturantes do trabalho proposto.

2.1 TEORIA SOCIOINTERACIONISTA DE VYGOTSKY

De acordo com a *Teoria Sociointeracionista* de Lev Semenovitch Vygotsky (1896-1934), o desenvolvimento cognitivo de um indivíduo se dá através da relação social, histórica e cultural com o meio no qual ele se insere. O ambiente que envolve o sujeito apresenta influências múltiplas sobre o desenvolvimento cognitivo. Tais influências vão se apresentar através dos sentidos e demais instrumentos de mediação. A interpretação admitida aqui para Vygotsky se concentrou, principalmente, nas características de mediação desta relação pressuposta entre o homem e seu entorno (VYGOTSKY, 1984; OLIVEIRA, 2002; MOREIRA, 2011; MURPHY, 2012).

Vygotsky teria observado que a relação entre indivíduo e sociedade não é direta, e sim, mediada por instrumentos e demais signos. Estes ajudam a organizar, classificar e

comunicar ideias existentes na sociedade e/ou dentro do próprio indivíduo. Assim, podemos dizer que o instrumento seria a ferramenta que permite ampliar as possibilidades de transformação da natureza por meio dos homens, e, os signos, seriam auxiliadores dos processos psicológicos, representando os diversos significados existentes na dinâmica social. Nas ideias atribuídas a Vygostky, o desenvolvimento cognitivo ocorreria através da internalização dos instrumentos e signos pelos indivíduos, por meio da mencionada interação social (VYGOTSKY, 1984; OLIVEIRA, 2002; MOREIRA, 2011).

Outro ponto aqui destacado é a respeito da linguagem na relação sociointeracionista. De acordo com Vygotsky, ela seria um sistema simbólico fundamental para o estabelecimento da comunicação entre os indivíduos no meio social. Ela permite definir significados a serem compartilhados, internalizados, e, até mesmo, reinterpretados. Por exemplo, a ideia remetida pelo vocábulo "cadeira", permite, a representação psicológica do objeto material para os falantes da língua portuguesa, em determinada cultura. Nas ideias sociointeracionistas aqui destacadas, a linguagem apresenta papel central na evolução do indivíduo, num movimento que vai das habilidades e tarefas já dominadas, em direção a aquelas em que o sujeito ainda não domina (VYGOTSKY, 1984; OLIVEIRA, 2002; MOREIRA, 2011).

Neste ponto, cabe um apontamento oferecido pelo sociointeracionismo de Vygotsky. Em relação ao desenvolvimento cognitivo, pode-se considerar em sua teoria dois grandes níveis de desenvolvimento cognitivo. Um deles faz alusão às conquistas já realizadas pelo indivíduo, chamado de "real" ou "efetivo". Já o outro, denominado nível "potencial", está associado às capacidades que podem ser construídas, mediante ajuda externa. Observe que dessa forma, estabelecemos um conjunto de conceitos e ideias que o indivíduo já internalizou em sua estrutura cognitiva. No entanto, o desenvolvimento pode ocorrer se esses conceitos ou ideias forem ampliados devido a alguma ajuda do meio social. O estabelecimento destes limites e as implicações decorrentes no desenvolvimento dos aprendizes são destacados por diversos estudiosos da obra de Vygotsky (VYGOTSKY, 1984; OLIVEIRA, 2002; REGO, 2010; MOREIRA, 2011).

Chegamos, assim, a um importante conceito modelado na teoria dita sociointeracionista. Quando analisamos a distância existente entre as habilidades que o indivíduo pode desenvolver sozinho, e, aquelas onde é necessária a ajuda de outros membros do meio circundante, obtemos um hiato importante a ser considerado. No entanto, os estímulos externos, que apresentam atuação contínua, podem contribuir para a alteração do

distanciamento existente e consequente desenvolvimento cognitivo do indivíduo. Tal distância é definida como sendo a *Zona de Desenvolvimento Proximal* (ZDP). Nas palavras de Vygotsky:

> É a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes. (VYGOTSKY, 1984, p. 97).

Como podemos perceber no trecho destacado, a colaboração com adultos ou companheiros mais capazes na execução de alguma tarefa ou, dotado de alguma habilidade ainda não existente no nível de desenvolvimento efetivo do aprendiz, auxilia no movimento evolutivo destacado. Contudo, tais estímulos podem alterar os limites da ZDP deste último, promovendo o desenvolvimento cognitivo e modificação positiva no nível real ou efetivo para gerar as habilidades demandadas (VYGOTSKY, 1984; REGO, 2010; MOREIRA, 2011).

Vale destacar que apontamentos críticos em relação à obra de Vygotsky apresentam pontos polêmicos, inclusive considerando a ZDP. Por exemplo, existem discussões indicando que ela seria um *índice de aprendizagem*, que depois teria evoluído a um *conceito* considerado no contexto do desenvolvimento cognitivo. Existem também menções ao trabalho envolvendo o desenvolvimento de crianças, e, muitos resultados extrapolados equivocadamente a contextos não modelados. Contudo, concentramos aqui apenas nas ideias de mediação e colaboração, considerando o meio circundante. Essas concepções obtidas, a partir de uma interpretação com pretensões pedagógicas, podem ser associadas positivamente ao ambiente de aprendizagem que pretendemos defender, através da sequência didática proposta (VAN OERS, 2007; MURPHY, 2012).

2.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

Outra preocupação encontrada na literatura é referente à aprendizagem propriamente dita. Seria possível obtermos apontamentos sobre a eficácia de um método ou intervenção pedagógica? Observamos em trabalhos recentes a aplicação de pré-testes e pós-testes, análises comparativas de turmas participantes com turmas de controle, utilização de tecnologias para motivar a aprendizagem, entre outras. Contudo, a dificuldade em definir a

efetividade de tais processos é oriunda da própria complexidade do binômio ensino-aprendizagem (MOREIRA; MASINI, 1982; NOVAK; GOWIN, 1984; MOREIRA, 2006).

Contudo, alguns passos dados por David Paul Ausubel (1918–2008) têm encontrado seguidores na literatura. O psicólogo estadunidense publicou seus primeiros estudos em 1963, na *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. Sua teoria foi desenvolvida nos anos posteriores, ganhando forte eco no âmbito acadêmico (AUSUBEL, 1968; 2003; MOREIRA, 2006). Vamos destacar os principais elementos da teoria de Ausubel que apresentam convergências com as ideias apresentadas neste projeto.

Costumamos utilizar o termo aprendizagem para representar genericamente a aquisição ou modificação de conhecimentos, comportamentos e valores. O processo ocorre como resultado de uma experiência intelectual ou experimental, a qual o indivíduo é submetido de forma natural ou artificial. Tal processo pode ser analisado por diferentes enfoques ou, mais precisamente, por diferentes teorias de aprendizagem. Neste item, vamos descrever os apontamentos atribuídos a David Ausubel. Este, por exemplo, vai focar na análise de como uma ideia nova se ajusta (ou se articula) com um conjunto de ideias preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. A máxima da teoria de Ausubel costuma ser apresentada na seguinte frase:

> Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fato isolado mais importante, a respeito da aprendizagem, é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe, e, baseie isso nos seus ensinamentos. (AUSUBEL, 1968).

Em síntese, Ausubel revela preocupação em identificar as informações já disponíveis pelos alunos para que, daí, se estruture o processo de ensino-aprendizagem. Como podemos perceber, o levantamento das informações já acumuladas pelo estudante é, de fato, bastante desafiador. Sendo assim, devemos num primeiro momento definir a principal relação considerada pela *Teoria da Aprendizagem Significativa*: a ancoragem das ideias novas ao conjunto de ideias já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. De acordo com ele, existem conhecimentos prévios específicos que são determinantes para a aprendizagem de uma nova ideia (AUSUBEL, 1968; 2003; MOREIRA, 2006).

Neste contexto, Ausubel modela que a relação de ancoragem das ideias novas, a partir de conhecimentos preexistente, pode ocorrer em certos contextos de aprendizagem. Tal adesão é chamada por Ausubel de *Aprendizagem Significativa*. Sendo assim, o conceito de aprendizagem significativa estaria atrelado à interação substancial entre os elementos

novos com aquilo que o aprendiz já sabe. Devemos entender que a interação se dá com algum conhecimento relevante na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. A este conhecimento que é relevante à nova aprendizagem, David Ausubel chama de *subsunçor* ou *ideia-âncora*. De acordo com Ausubel, o *subsunçor* pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental ou até mesmo uma imagem (MOREIRA; MASINI, 1982; NOVAK; GOWIN, 1984; MOREIRA, 2006).

Em outras palavras, o *subsunçor* faz alusão a determinado conhecimento preexistente na estrutura cognitiva do aprendiz, permitindo dar significado a um novo conhecimento apresentado ou por ele descoberto. O *subsunçor* pode se modificar na ideia de um processo interativo, adquirindo diferentes estabilidades e significados em relação à sua formatação inicial. Os *subsunçores* podem ir se enriquecendo, à medida que são utilizados nas interações para a aprendizagem de novos conceitos (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2006).

Uma vez definida a ideia de ancoragem e o conceito de *subsunçor*, podemos passar para a avaliação de quais seriam as condições básicas para o alcance da aprendizagem, dita significativa. Sendo assim, podemos modelar essas condições para a ocorrência de aprendizagens significativas nos espaços acadêmicos. Primeiramente, o material de aprendizagem deve apresentar características potencialmente significativas para o aprendiz. O mapeamento das expectativas do aluno, a dinâmica social, e, o seu conhecimento prévio, são importantes fatores para a elaboração de um material instrucional que dialogue com o estudante e sua realidade. Outra característica está associada ao próprio aprendiz. Ele deve, antes de tudo, apresentar uma predisposição para aprender, pois só assim o processo ganha sentido. Não adianta um material de aprendizagem adequado e adaptado às necessidades do educando, se o mesmo encontra-se em situação social, cognitiva ou psicológica desfavorável para a apreciação das instruções pedagógicas pretendidas (AUSUBEL, 1968; 2003; MOREIRA, 2006).

A discussão anterior nos remete a outro ponto frequentemente abordado pelos estudiosos da teoria *ausubeliana*. Mesmo que as condições modeladas como necessárias à aprendizagem estejam presentes, pode ocorrer, no entanto, que o aprendiz não disponha dos *subsunçores* adequados. Nestes casos, costuma-se recomendar a utilização dos chamados *organizadores prévios*. Tais organizadores são recursos instrucionais que apresentam níveis maiores de generalidade e inclusão, quando comparados ao material instrucional a ser trabalhado (MOREIRA; MASINI, 1982; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2006). Assim, conseguimos remeter o aprendiz a uma situação mais abrangente que o material instrucional

pode oferecer, buscando um ajuste com conhecimentos próximos existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, que possam atuar como *subsunçores*. As possibilidades são diversas. O organizador utilizado pode ser uma pergunta, uma situação-problema, um filme, uma simulação, entre outras (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2006).

Em termos de organização, costuma-se dividir os organizadores prévios em "não-familiar" e "familiar". O primeiro refere-se à utilização de materiais que funcionam como pontes cognitivas, com o intuito de trazer o aluno até um ponto onde o *subsunçor* específico possa ser desenvolvido. Já os organizadores do segundo tipo nos remetem aos materiais de caráter comparativo, que podem aproveitar aspectos semelhantes preexistentes na estrutura cognitiva do indivíduo. A semelhança é realçada com o objetivo de gerar elementos mais próximos do *subsunçor* almejado, possibilitando a geração de um espaço fértil para a geração do *subsunçor* relacionado à aprendizagem buscada (AUSUBEL, 1968; MOREIRA; MASINI, 1982; ASUBEL, 2003; MOREIRA, 2006).

O importante a ser destacado é que os organizadores seriam meios de se tentar suprir a deficiência de *subsunçores* específicos, tentando gerar um ambiente cognitivo mais fértil para a geração dos mesmos. A ideia é bastante questionável no campo mais prático, pois a identificação das estruturas iniciais para o estabelecimento de "pontes" ou de "comparações" adequadas é deveras complexo. No entanto, a ideia de alcançar outros conhecimentos através de maior generalidade nas discussões mostra certa razoabilidade (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2006).

Por fim, devemos esclarecer que a aprendizagem significativa é apresentada em contexto antagônico com a chamada aprendizagem mecânica. Esta última, que ocorreria pensando unicamente nos resultados estabelecidos de assimilação, sem necessariamente de estar atrelada a algum significado mais especial, seria mais voltada à memorização e ao ensino de estudantes padronizados. Percebemos que, apesar de alguns passos terem sido dados na direção da chamada aprendizagem significativa, o cenário encontrado em diversas instituições de ensino ainda é fortemente marcado pelo perfil mecânico. Contribuições vêm aparecendo na literatura, mas a passagem dos discursos modelados para o mundo prático não tem sido tarefa fácil (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2006; POZO; CRESPO, 2009; KREMER, BRANNEN; GLENNERSTER, 2013).

Os apontamentos de Ausubel em termos de aprendizagem significativa e as preocupações com uma relação ensino-aprendizagem mais eficiente são utilizados na estrutura do presente trabalho. A proposição de problemas para investigação em grupos

ajuda na criação de ambientes favoráveis ao debate acadêmico, dinamizando a relação ensino-aprendizagem. Nessa perspectiva, as contribuições de Ausubel corroboram a estrutura da sequência didática proposta, se alinhando as ideias gerais de estimulo à colaboração e trabalho em equipe, apresentadas na dissertação presente.

Recentemente, alguns pesquisadores têm trabalhado com o conceito de *aprendizagem ativa* (HENRIQUES; PRADO; VIEIRA, 2014). No item a seguir vamos apresentar alguns pontos de convergência dessas teorias com o trabalho proposto, e, os referenciais que acabamos de destacar.

2.3 A IDEIA DE APRENDIZAGEM ATIVA

Esforços têm sido realizados pelos profissionais da educação para adaptarem a escola tradicional às demandas da sociedade atual. Espaços escolares menos centrados na transmissão factual de informação, que priorizam a análise crítica dos cidadãos em formação são vislumbrados pela pesquisa acadêmica em curso. Recentemente, estratégias que colocam o aluno em posição de maior destaque na sala de aula, estimulando posturas mais proativas, têm sido apontadas como alternativa viável ao ensino tradicional (BARROWS; TAMBLYM, 1980; BARROWS, 1996; SILBERMAN, 1996; LAMBROS, 2004; O'GRADY et. al, 2012; MORGADO, 2016).

Nesta perspectiva de aprendizagem, o aluno participaria das discussões acadêmicas de forma mais ativa, por meio de projetos em equipe, resolução de problemas interdisciplinares, debates, entre outras diversas possibilidades. No contexto dessa aprendizagem, também chamada de *aprendizagem ativa*, o aluno deixaria de ser um mero depósito de informações, apresentando um engajamento mais efetivo na construção do conhecimento. Estes ambientes gerariam oportunidades mais fecundas para a formação de cidadãos atuantes e reflexivos (SILBERMAN, 1996; KREMER, M.; BRANNEN, C.; GLENNERSTER, 2013; HENRIQUES; PRADO; VIEIRA, 2014; MILLER et. al, 2015; MORGADO, 2016).

De fato, muitos professores já trabalham em modelos de aprendizagem ativa, embora possam não rotular suas práticas desta forma. O estímulo ao debate, questionamento de ideias, resolução de situações–problema e estudos de caso, por exemplo, já são rotina em muitas universidades do mundo. No entanto, constatamos modelos bastante híbridos, que apresentam elementos tradicionais, combinado com elementos de maior aproximação aos

pressupostos da aprendizagem ativa. A tentativa de entender os efeitos positivos deste tipo de estratégia levou pesquisadores a proporem métodos específicos para comparar a evolução de turmas submetidas a contextos de aprendizagem ativa, com turmas submetidas aos métodos tradicionais de ensino (BARROWS, TAMBYLYM; 1980; NOVAK, GOWIN, 1984; HAKE, 1998; NOVAK, et al., 1999; HENRIQUES; PRADO; VIEIRA, 2014; MILLER, et al., 2015).

A máxima contida em aprender com o "fazer" está diretamente relacionada com as bases dos modelos de aprendizagem ativa. Neste sentido, os educandos participam mais diretamente da construção do conhecimento, convivendo com o debate, as opiniões contrárias, a necessidade de formulação de hipóteses, a defesa de teses, enfim, desenvolvendo capacidades múltiplas que podem ser despertadas nos espaços escolares. Os discentes devem ser capazes de propor modelos explicativos para o mundo que os cerca, compreendendo melhor os aspectos tecnológicos, científicos e sociais de seu tempo (BONWELL; EISON, 1991; SILBERMAN, 1996; O'GRADY et. al, 2012; MORGADO, 2016).

Em relação aos aspectos tecnológicos, podemos perceber que a perspectiva de aprendizagem ativa tenta incorporar tecnologias disponíveis para dinamizar o processo de ensino. Os espaços de aprendizagem ativa tendem a incorporar elementos tecnológicos e utilizá-los em favor da aprendizagem. Este é um importante contraponto em relação ao ensino tradicional. Como promover um debate atual em sala, proibindo o aluno da utilização consciente de celulares, *tablets* e computadores? Se existem aspectos motivadores atrelados a estes aparelhos, que sejam utilizados de forma favorável nos espaços educacionais (BARRETO, 2002; KREMER, BRANNEN, GLENNERSTER, 2012).

Além de certa mudança nos espaços educacionais tradicionais, a aprendizagem ativa exige uma postura diferenciada do professor contemporâneo. Neste novo contexto, o conhecimento de mundo do aluno tende a ser respeitado, e, talvez, ampliado através das intervenções pedagógicas. Ministrar aulas não significa apenas ser um excelente expositor de conteúdos. É preciso mais. O professor deve buscar motivar o aluno, fazendo-o pensar criticamente, refletindo sobre as questões de seu tempo. Os conhecimentos acumulados ao longo da história por diversos pensadores, nas mais variadas áreas, devem ser utilizados de forma inteligente e consciente para que o cidadão em formação possa atuar positivamente na sociedade. Busca-se cidadãos críticos e ativos, dentro do espaço social contemporâneo,

capazes de questionar, debater com seus pares, e, quem sabe, romper paradigmas (SILBERMAN, 1996; POZO; CRESPO, 2009; O'GRADY et. al, 2012; MORGADO, 2016).

Finalmente, podemos destacar alguns relatos positivos na literatura em relação aos modelos de aprendizagem ativa. Algumas universidades norte-americanas e europeias têm implementado cursos nesse contexto de aprendizagem. Comparações têm sido realizadas entre diferentes metodologias tradicionais e ativas. Os resultados apontam para uma contribuição significativa dos métodos na perspectiva ativa, considerando a chamada formação integral do educando. Parece que a opinião de alguns entusiastas tem se confirmado no cenário acadêmico atual (SILBERMAN, 1996; O'GRADY et. al, 2012; MORGADO, 2016).

No Brasil, diversos trabalhos apresentam viés de aprendizagem ativa, embora não sejam explicitamente associados a ela. As bases estruturantes da aprendizagem ativa assemelham-se a ideias já utilizadas em outros momentos. Por exemplo, voltando um pouco no tempo, podemos encontrar a defesa de posturas mais proativas dos alunos, em relação à construção de seu conhecimento, desde o início do século XX. O movimento conhecido como *Escola Nova* defendia procedimentos e atitudes com diretrizes bem semelhantes. Os defensores da *Escola Nova* apontavam que as práticas educacionais deviam ser centradas na aprendizagem, tendo como foco principal o aluno, tornando-o protagonista da construção do conhecimento. Assim, os referenciais utilizados à época, apoiados no trabalho de pensadores como John Dewey (1859-1952), Maria Montessori (1870-1952), Henri Paul Hyacinthe Wallon (1879-1962), Celestin Freinet (1881-1966), Lev Semenovitch Vygotsky (1896-1934), Jean William Fritz Piaget (1896-1980), por exemplo, teriam defendido ideias semelhantes às máximas encontradas na aprendizagem ativa (MIZUKAMI, 1986;; FREIRE, 1996; 2011; LIBÂNEO, 1992; ROCHA, 1998; CAMBI, 1999; PENAFORTE, 2001).

Sendo assim, parece difícil demarcar os elementos inovadores trazidos pela aprendizagem ativa, embora a discussão levantada por ela tenha impulsionado uma revisão crítica em relação às práticas pedagógicas tradicionais. As ideias, no entanto, forneceram novo fôlego para repensarmos a relação ensino-aprendizagem nos espaços acadêmicos (KREMER; BRANNEN; GLENNERSTER, 2013; HUSSEIN, 2015; OWEN; DUNHAM, 2015).

É importante observar que o termo "aprendizagem ativa" tem sido relacionado com diferentes abordagens para intervenção em sala de aula, onde as atividades estruturadas buscam engajar os discentes ao longo do processo de aprendizagem. Ela seria uma

alternativa em relação ao ensino tradicional, caracterizado pela predominância de aulas expositivas (PRINCE, 2004).

Conforme temos destacado, as pesquisas recentes são predominantemente realizadas em turmas de graduação (; BARROS, 2004; HENRIQUES, PRADO, VIEIRA; 2014; ARAUJO; MAZUR, 2013; DESLAURIERS; SCHELEW). Contudo, algumas investigações envolvendo o ensino médio começam a ser relatadas, inclusive no Brasil, com menção explícita à aprendizagem ativa (SASAKI; DE JESUS, 2017; ARAUJO et al., 2017; HENRIQUES, PRADO, VIEIRA; 2014).

3 **METODOLOGIA**

Nessa seção, vamos apresentar a metodologia de trabalho utilizada para a implementação da sequência didática. Iniciaremos descrevendo o cronograma pensado, aula por aula, seguido das duas videoanálises idealizadas para o movimento de uma bicicleta. Apresentaremos os detalhes necessários para a filmagem das duas situações de interesse, que visam o estudo do Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) e do Movimento Circular Uniforme (MCU), simultaneamente.

Em seguida, detalharemos as etapas da sequência didática, indicando os tópicos abordados e as aulas estruturadas. Os detalhes das questões discutidas em sala, bem como os problemas propostos são apontados na íntegra. Finalizamos a seção justificando a escolha das questões do teste final de conhecimentos. O teste em formato tradicional foi aplicado ao final da sequência, análogo ao que chamamos de "pós-teste". Contudo, não aplicamos um teste antes da sequência (não existiu um "pré-teste"!). Vamos analisar o resultado das turmas experimentais no teste final, comparando-as a uma turma de controle. As respostas apresentadas aos problemas de sala também são utilizadas para avaliar a suposta evolução da turma ao longo das atividades.

3.1 CRONOGRAMA UTILIZADO PARA A EXECUÇÃO DA PESQUISA

Inicialmente, buscou-se estabelecer um cronograma de execução da pesquisa que estivesse em acordo com o calendário acadêmico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, *campus* Juína. As atividades nas turmas experimentais foram estruturadas de acordo com a tabela a seguir (Tabela 3.1). Cada encontro destacado foi composto por dois tempos seguidos de 50 minutos, contabilizando 100 minutos semanais.

Os encontros com as três turmas do curso Técnico integrado em Agropecuária, denominadas aqui por Turma Experimental 1 (TE1), Turma Experimental 2 (TE2) e Turma Experimental 3 (TE3), ocorreram entre os dias 14/09/2016 e 28/10/2016, nos horários indicados pela tabela abaixo (Tabela 3.2). No dia 14/09/2016 iniciamos a aplicação da sequência nas turmas TE1 e TE2, e, no dia 16/09/2016, realizamos o primeiro encontro com a turma TE3. Os demais encontros ocorreram nas semanas seguintes: de 19/09 a 23/09/2016, de

26/09/2016 a 30/09/2016, de 03/10/2016 a 07/10/2016, de 10/10/2016 a 14/10/2016, finalizando com o teste final na semana letiva entre os dias 24/10/2016 e 28/10/2016.

Tabela 3.1 – Cronograma de atividades estruturado para a sequência didática. Cada encontro é composto por dois tempos de aula seguidos, contendo 50 minutos cada.

Encontro	**Atividade programada**
1	Apresentação da ementa e recomendação da primeira leitura (L1).
2	Descrição breve do MRU, apresentação da primeira videoanálise (VA1), discussão das questões de aula e proposição do primeiro problema (P1).
3	Entrega das soluções propostas ao problema P1, discussão conjunta do P1 e proposição da segunda leitura (L2).
4	Descrição breve do MCU, apresentação da segunda videoanálise (VA2), discussão das questões de aula e proposição do segundo problema (P2).
5	Entrega das soluções propostas ao problema P2, discussão conjunta do P2 e comentários sobre as videoanálises VA1 e VA2.
6	Aplicação do teste de conhecimentos.

Tabela 3.2 – Data das atividades estruturadas para as turmas TE1, TE2 e TE3.

Turma	Dia	Horário	
TE1	14/09/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TE2	14/09/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE3	16/09/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE1	21/09/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TE2	21/09/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE3	23/09/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE1	28/09/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TE2	28/09/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE3	30/09/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE1	05/10/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TE2	05/10/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE3	07/10/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE1	12/10/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TE2	12/10/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE3	14/10/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE1	26/10/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TE2	26/10/2016	15 h 50 min	17 h 30 min
TE3	28/10/2016	15 h 50 min	17 h 30 min

Já as atividades com a turma de controle (TC), foram estruturadas de acordo com a Tabela 3.3. Os encontros ocorreram entre os dias 18/05/2016 e 22/06/2016, nos horários indicados pela tabela Tabela 3.4. No dia 18/05/2016 iniciamos a programação com a turma de controle, finalizando com a aplicação do teste de conhecimentos no dia 22/06/2016.

Devemos destacar que as leituras indicadas para as turmas experimentais e de controle foram as mesmas, tratando-se de capítulos do livro didático indicado pela instituição (BONJORNO, et al., 2013). Os exercícios também são os mesmos, diferenciando apenas os problemas P1 e P2. Nas turmas experimentais eles estavam atrelados à videoanálise apresentada, ou seja, existiu uma tentativa de contextualização com o movimento de uma bicicleta, fato este não ocorrido nas atividades com a turma de controle. As videoanálises, os exercícios e os problemas utilizados em todas as turmas serão apresentados nas próximas seções. Vale destacar, ainda, que o autor da pesquisa conduziu as atividades em todas as turmas envolvidas na pesquisa (TE1, TE2, TE3 e TC). Em relação ao cronograma, podemos observar que as atividades com a turma controle ocorrem antes das atividades com as turmas experimentais. Esse fato deve-se à logística de espaço e

ferramentas necessárias para o trabalho com as turmas experimentais, sem motivos especiais maiores.

Tabela 3.3 – Cronograma de atividades realizadas na turma de controle. Cada encontro é composto por dois tempos de aula seguidos, contendo 50 minutos cada.

Encontro	Atividade programada
1	Apresentação da ementa e recomendação da primeira leitura (L1).
2	Descrição breve do MRU e proposição das questões de aula.
3	Discussão conjunta das questões de aula e proposição da segunda leitura (L2).
4	Descrição breve do MCU e proposição das questões de aula.
5	Discussão conjunta das questões de aula.
6	Aplicação do teste de conhecimentos.

Tabela 3.4 – Data das atividades estruturadas para a turma de controle (TC).

Turma	Dia	Horário	
TC	18/05/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TC	25/05/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TC	01/06/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TC	08/06/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TC	15/06/2016	13 h 50 min	15 h 30 min
TC	22/06/2016	13 h 50 min	15 h 30 min

Nas próximas subseções vamos descrever os detalhes relativos à videoanálise, apresentando uma síntese da sequência didática planejada. No final da seção, vamos justificar também a escolha das questões referentes ao teste final de conhecimentos.

3.2 VIDEOANÁLISE

Primeiramente, acoplamos um suporte de celular na parte dianteira da bicicleta, de modo a permitir a filmagem da roda localizada à frente. A abertura da câmera está na mesma direção do eixo de rotação da roda. Em outras palavras, o prolongamento imaginário do eixo de rotação da roda intercepta o centro da abertura *A* da câmera, estando o celular em direção paralela ao plano central da roda (Figura 3.1). Na montagem considerada, a câmera translada com a mesma velocidade do eixo de rotação da roda. Essa filmagem é admitida, por construção, como um referencial solidário à roda. No Apêndice A apresentamos o passo a passo para o acoplamento do suporte e da câmera de filmagem na parte dianteira da bicicleta (Apêndice A).

Figura 3.1 – Filmagem da roda dianteira a partir do referencial solidário ao seu eixo de rotação. O suporte que conecta a bicicleta com a câmera possui comprimento de 105,8 cm.

A outra filmagem é em tese mais simples. Foi obtida de um referencial solidário ao solo, através de uma câmera presa a um suporte fixo no chão. Nessa filmagem, deve-se procurar manter o celular em um plano paralelo ao plano que contém o movimento da bicicleta. Por construção, esse é o referencial admitido como solidário ao solo. As câmeras utilizadas apresentam taxa de aquisição de 30 quadros por segundo.

Após elaboração dos vídeos, passamos às análises associadas. Vale destacar que as filmagens referem-se ao movimento real da bicicleta. Vamos apresentá-las e analisá-las

considerando os modelos de MRU e MCU. Os desvios em relação a esses modelos podem ser estudados, mas isso foge do escopo desta pesquisa. Isso será remetido a um trabalho futuro.

Sendo assim, passemos à descrição das principais características do *software Tracker*, necessárias para o acompanhamento do trabalho e elaboração das videoanálises utilizadas na sequência didática.

3.2.1 A utilização do *software Tracker*

O *Tracker* é um *software* gratuito para *download* que oferece ferramentas para a análise de vídeos (Site do *Tracker*: *http://physlets.org/tracker*). Foi desenvolvido por Douglas Brown, físico aposentado do *Cabrillo College*, instituição onde lecionou física entre 1977 e 2008. Doutor em física pela Universidade do Colorado, Brown colabora com o projeto *Open Source Physics* (Site do projeto: *http://www.opensourcephysics.org*), cujas ferramentas para o ensino de física têm sido recomendadas por especialistas da área (BEICHNER, 1996; LAWS; PFISTER, 1998; BROWN; COX, 2009; BEZERRA, et al, 2011; DE JESUS; 2014). Entre elas encontra-se o *Tracker*. Ele permite um tratamento científico dos arquivos em formato vídeo. Através deste programa, podemos avaliar vídeos produzidos quadro a quadro, obtendo estimativas para parâmetros diversos, evolução temporal de grandezas, entre outras aplicações (BROWN; COX, 2009; BEZERRA, et al, 2011; DE JESUS; 2014). Uma vantagem em relação aos simuladores é que o *Tracker* permite estudar uma situação física real, não sendo apenas uma representação virtual da realidade (BEICHNER, 1996; LAWS; PFISTER, 1998).

As duas videoanálises propostas utilizam as informações registradas quadro a quadro do vídeo pelo *Tracker*. Observe que ao abrir um arquivo de vídeo no programa, podemos observar a evolução temporal de determinado ponto, obtendo, assim, a evolução de alguns parâmetros cinemáticos. Por exemplo, dado um ponto fixo P da bicicleta, registrado a partir do referencial solidário ao solo (R1), o programa permite obter sua posição quadro a quadro. Isso possibilita a construção de um gráfico da posição (s) em função do tempo (t), e, toda a cinemática decorrente do ponto P. O mesmo vale para o movimento de um ponto Q da roda dianteira, observado do referencial solidário ao eixo da roda (R2). No caso, podemos obter

os pontos relativos à coordenada (φ) que localiza o vetor posição da partícula[1] e tempo (t), quadro a quadro, seguindo com toda a cinemática angular que daí decorre. A próxima seção detalhará a obtenção de velocidades e acelerações, considerando o par ordenado composto pela coordenada φ e tempo t.

As tabelas podem ser levadas para outro software de análise, embora o *Tracker* possibilite, internamente, a geração de gráficos e ajustes matemáticos diversos. Nosso objetivo não é apresentar todas as características do *software* e sim, aquelas essenciais para a pesquisa descrita.

Em nosso trabalho, utilizamos o *Tracker* para estudar um movimento modelado como MRU, e, outro, como um MCU. No primeiro caso, estruturamos uma videoanálise (VA1) para estudar o movimento retilíneo de uma bicicleta, quando observada por um observador solidário ao solo (R1). Podemos estudar, assim, a evolução temporal $s(t)$ do espaço linear relativo a P. Isso nos permite obter a velocidade linear média do ponto fixo à bicicleta no percurso, e, por extensão, da própria bicicleta. Na sequência estruturada, discutimos também os gráficos associados de velocidade (v) em função do tempo (t) e o da aceleração (a) em função do tempo (t), para fins didáticos. Por fim, é importante explicitar que no MRU a velocidade linear é constante, sendo a aceleração nula. O gráfico da velocidade (v) em função do tempo (t) permite-nos obter o espaço percorrido pela bicicleta no tempo apresentado pelo vídeo. Todos esses gráficos podem ser obtidos diretamente no *Tracker*.

Uma análise similar pode ser realizada para o MCU. O par ordenado composto da coordenada φ e tempo t, quadro a quadro, permite a obtenção da velocidade angular média de um ponto fixo na roda, em relação ao seu eixo de rotação. De forma análoga, discutimos na sequência estruturada os outros gráficos relativos à velocidade angular (ω) em função do tempo (t), bem como o gráfico da aceleração angular (α) em função do tempo (t). Destacamos também que no MCU, a velocidade angular é constante, e, a aceleração que mantém o objeto na trajetória circular, é chamada de aceleração centrípeta. Passemos aos detalhes relativos à videoanálise.

[1] O vetor posição, no caso, apresenta módulo constante R. No Apêndice B encontra-se toda a descrição necessária para a análise angular aqui mencionada.

3.2.2 Movimento da bicicleta modelado a partir do MRU

A primeira videoanálise (VA1) considera uma bicicleta em movimento retilíneo, suposto uniforme. Inicialmente, devemos escolher um ponto fixo *P* na bicicleta em relação a um referencial solidário ao solo (R1), conforme indica a figura abaixo (Figura 3.2).

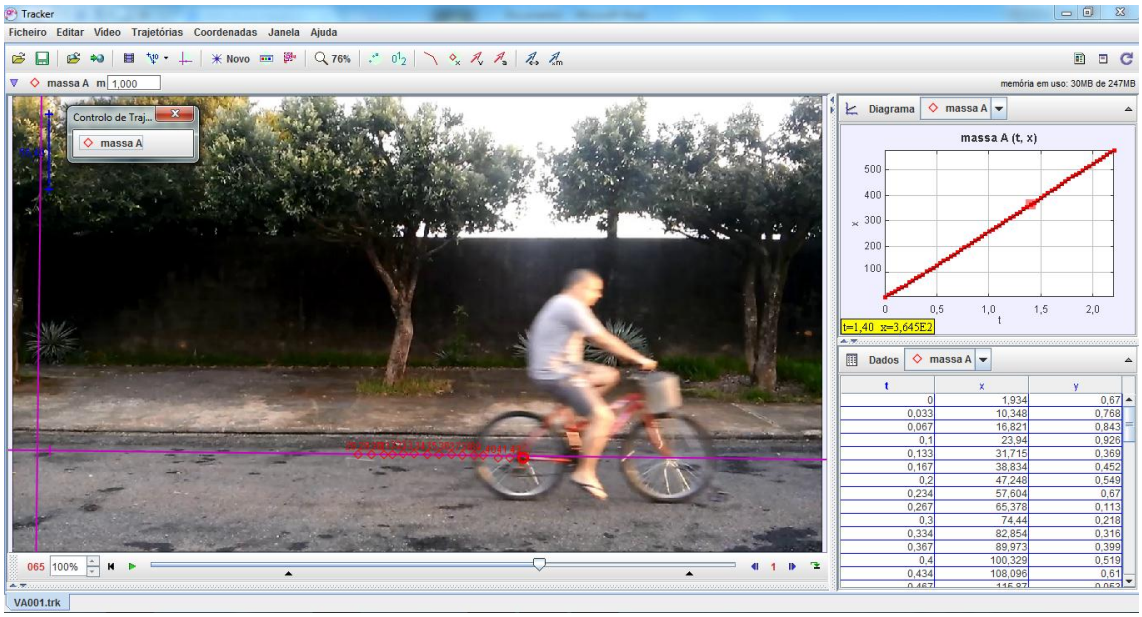


Figura 3.2 – Ponto *P* fixo da bicicleta em movimento retilíneo, observado do referencial solidário ao solo. O diâmetro da roda dianteira é igual a 56,40 cm.

Uma vez escolhido o ponto fixo *P*, podemos obter os valores de sua posição para cada quadro componente do vídeo. Temos, assim, um conjunto de pares ordenados de posição (*s*) e tempo (*t*). Podemos organizá-los em forma de tabela, e, estudar a evolução temporal dessas posições associadas ao ponto *P*. O *Tracker* apresenta uma tabela com o conjunto de pares do tipo $P_i\ (s_i, t_i)$, onde $i = 0,1,2,3,...,n$, com $n+1$ representando o número de quadros do vídeo.

Vale observar que o *Tracker* permite exportar a tabela com os pontos $P_i\ (s_i, t_i)$ para ser analisada em outro programa externo. Os dados podem ser abertos em qualquer planilha eletrônica de preferência do usuário, conforme o procedimento indicado na figura abaixo. Basta escolher na tela a opção *Ficheiro*, depois clicar em *Exportar*, e, em seguida, na opção

Ficheiro de dados (Figura 3.3). A partir daí, abre-se uma janela que permite a escolha das grandezas e precisão que o usuário deseja exportar, além do ponto escolhido para análise, uma vez que o *Tracker* permite o estudo de diferentes pontos simultaneamente. Em nosso caso, estudaremos apenas o movimento de *P*, solidário ao referencial do solo R1. Ao clicar em *Guardar Como*, o usuário finaliza a exportação escolhendo o local onde a tabela de dados será salva (Figura 3.4). Observe que o arquivo salvo pode ser aberto em um leitor externo ao *Tracker*, como apresenta a Figura 5 (Figura 3.5).

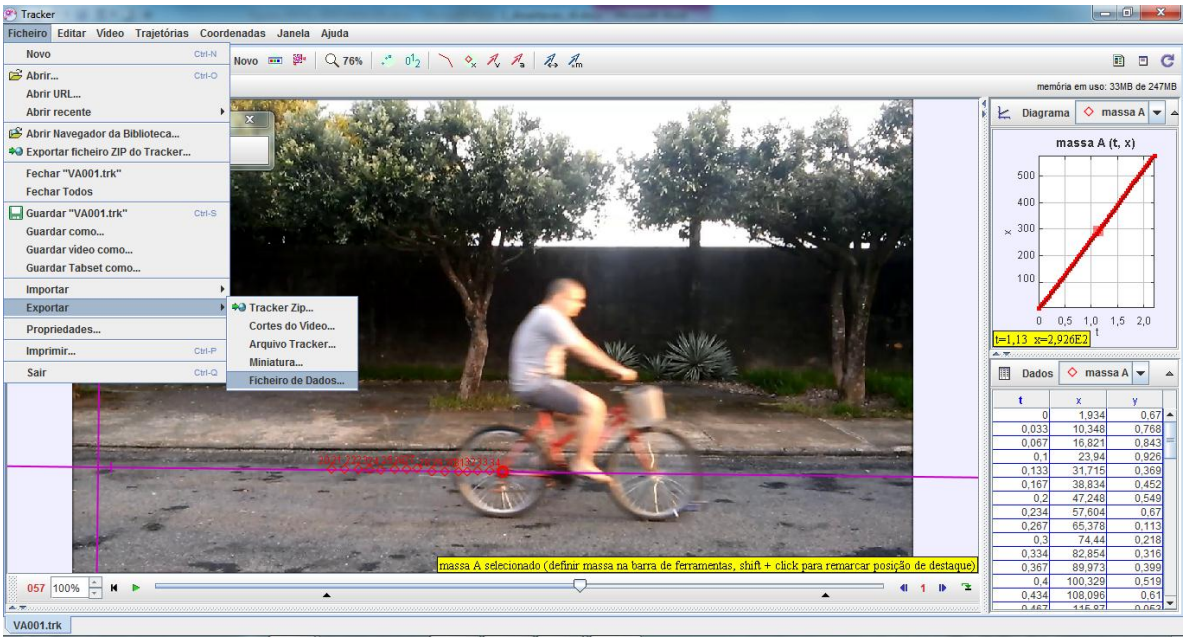


Figura 3.3 – Procedimento inicial para exportar a tabela de dados fornecida pelo *Tracker*.

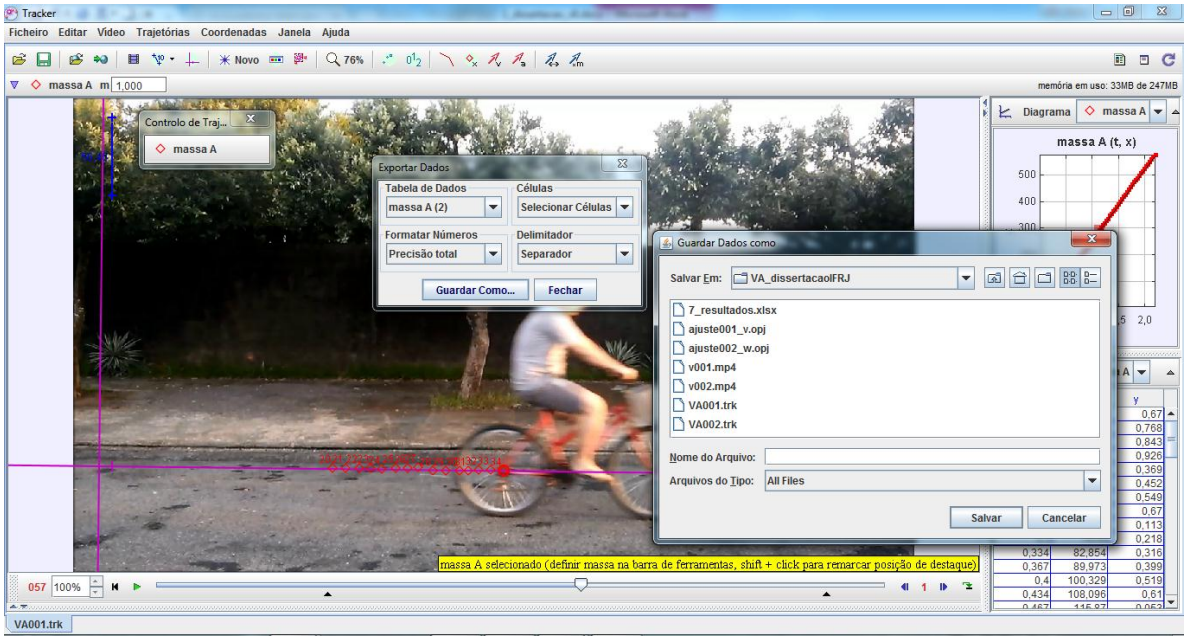
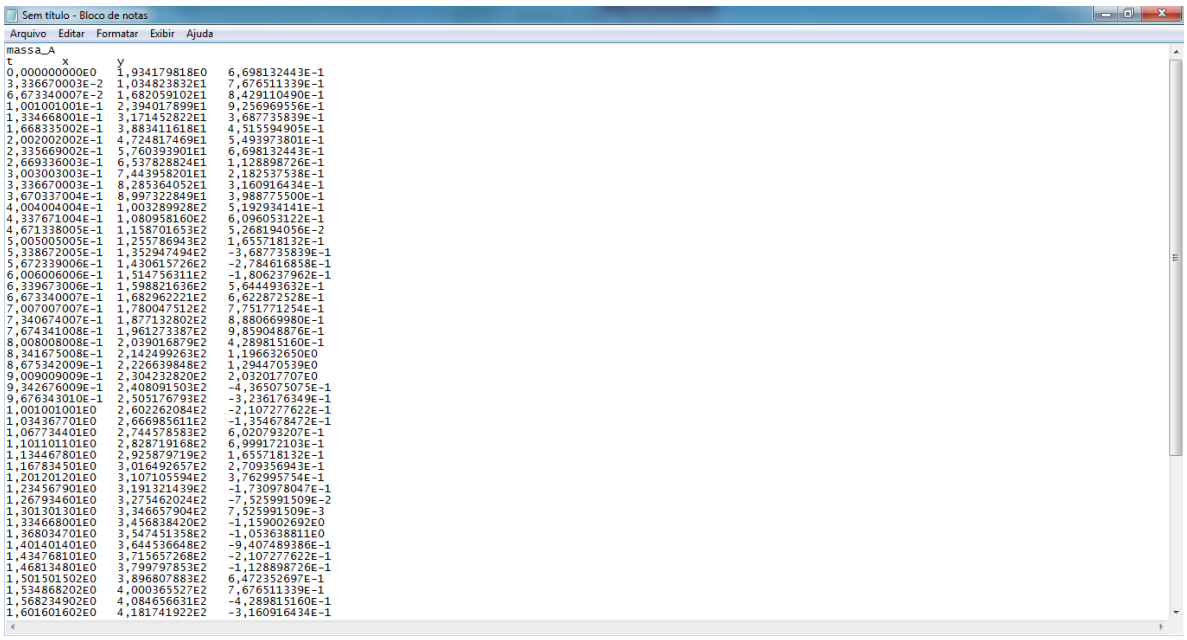


Figura 3.4 – Procedimento para escolher as características da tabela exportada.



massa_A

t	x	y
0,000000000E0	1,934179818E0	6,698132443E-1
3,336670003E-2	1,034823832E1	7,676511339E-1
6,673340007E-2	1,682059102E1	8,429110490E-1
1,001001001E-1	2,394017899E1	9,256969556E-1
1,334668001E-1	3,171452822E1	3,687735839E-1
1,668335002E-1	3,883411618E1	4,515594905E-1
2,002002002E-1	4,724817469E1	5,493973801E-1
2,335669002E-1	5,760393901E1	6,698132443E-1
2,669336003E-1	6,537828824E1	1,128898726E-1
3,003003003E-1	7,443958201E1	2,182537538E-1
3,336670003E-1	8,285364052E1	3,160916434E-1
3,670337004E-1	8,997322849E1	3,988775500E-1
4,004004004E-1	1,003289928E2	5,192934141E-1
4,337671004E-1	1,080958160E2	6,096053122E-1
4,671338005E-1	1,158701653E2	5,268194056E-2
5,005005005E-1	1,255786943E2	1,655718132E-1
5,338672005E-1	1,332947494E2	-3,687735839E-1
5,672339006E-1	1,430615726E2	-2,784616858E-1
6,006006006E-1	1,514756311E2	-1,806237962E-1
6,339673006E-1	1,598821636E2	5,644493632E-1
6,673340007E-1	1,682962221E2	6,622872528E-1
7,007007007E-1	1,780047512E2	7,751771254E-1
7,340674007E-1	1,871132802E2	8,880669980E-1
7,674341008E-1	1,961273387E2	9,859048876E-1
8,008008008E-1	2,039016879E2	4,289815160E-1
8,341675008E-1	2,142499263E2	1,196632650E0
8,675342009E-1	2,226639848E2	1,294470539E0
9,009009009E-1	2,304232820E2	2,032017707E0
9,342676009E-1	2,408091503E2	-4,365075075E-1
9,676343010E-1	2,505176793E2	-3,236176349E-1
1,001001001E0	2,602262084E2	-2,107277622E-1
1,034367701E0	2,666985611E2	-1,354678472E-1
1,067734401E0	2,744578583E2	6,020793207E-1
1,101101101E0	2,828719168E2	6,999172103E-1
1,134467801E0	2,925879719E2	1,655718132E-1
1,167834501E0	3,016492657E2	2,709356943E-1
1,201201201E0	3,107105594E2	3,762995754E-1
1,234567901E0	3,191321439E2	-1,730978047E-1
1,267934601E0	3,275462024E2	-7,525991509E-2
1,301301301E0	3,346657904E2	7,525991509E-3
1,334668001E0	3,456838420E2	-1,159002692E0
1,368034701E0	3,547451358E2	-1,053638811E0
1,401401401E0	3,644536648E2	-9,407489386E-1
1,434768101E0	3,715657268E2	-2,107277622E-1
1,468134801E0	3,799797853E2	-1,128898726E-1
1,501501502E0	3,896807883E2	6,472352697E-1
1,534868202E0	4,000365527E2	7,676511339E-1
1,568234902E0	4,084656631E2	-4,289815160E-1
1,601601602E0	4,181741922E2	-3,160916434E-1

Figura 3.5 – Tabela de dados exportada para leitura externa. O arquivo foi aberto no *Bloco de notas*, um leitor disponibilizado pelo *Windows*.

A partir daí, é possível construir um gráfico da posição (s) em função do tempo (t), que permite o estudo da evolução temporal $s(t)$ da posição relativa ao ponto P, quadro a quadro (Figura 3.6).

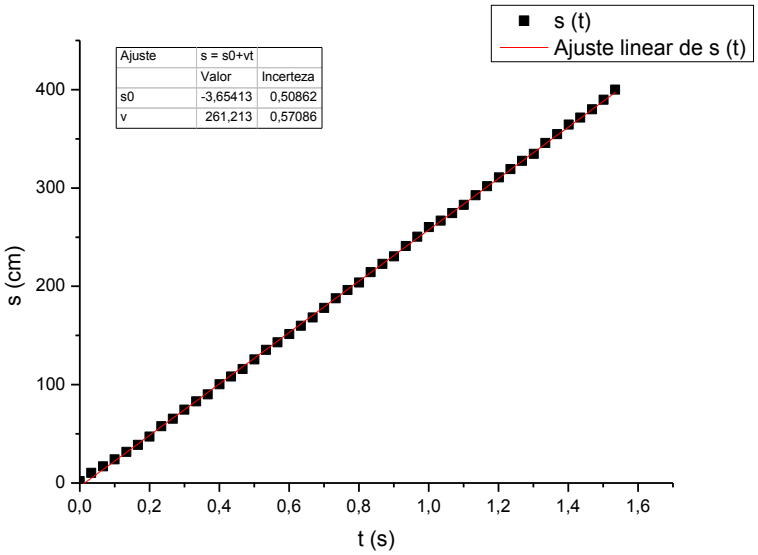


Figura 3.6 – Gráfico *s* x *t* filmado a partir do referencial R1. O coeficiente angular fornece a velocidade *v*.

Observe que através do gráfico *s* x *t* acima, podemos estimar a velocidade linear média v_m de *P* no percurso, através da expressão:

$$v_m = \frac{s - s_0}{t - t_0}. \tag{3.1}$$

A velocidade instantânea v_i no tempo t_i também pode ser aproximada pela equação:

$$v_i = \frac{s_{i+1} - s_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \ , \tag{3.2}$$

admitindo que $t_{i+1} \rightarrow t_{i-1}$. Utilizamos o conceito de velocidade limite indicado no Apêndice B:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{s - s_0}{t - t_0}. \tag{3.3}$$

Alternativamente, a Figura 3.6 permite a realização de um ajuste linear dos pontos s_i e t_i, obtendo a velocidade média a partir do coeficiente angular da reta ajustada, uma vez que a evolução $s(t)$ é dada pela expressão (ver Apêndice B):

$$s(t) = s_0 + vt, \tag{3.4}$$

sendo o ajuste linear uma reta na forma:

$$y(x) = A + Bx \tag{3.5}$$

que nos permite realizar a associação mencionada entre *v* e *B*. A discussão completa desses detalhes encontra-se no Apêndice B.

Observe que a tabela de posição (*s*) e tempo (*t*) permite a construção analítica de um conjunto de novos pares ordenados, contendo agora velocidade (*v*) e tempo (*t*). A partir da equação 3.2, podemos obter *n – 2* pares ordenados do tipo $P_j^{'}\left(v_j, t_j\right)$, onde *n*+1 representa o número de quadros do filme.

O mesmo procedimento pode ser utilizado para construir o gráfico de aceleração (*a*) em função do tempo (*t*), relativo ao ponto *P*. A expressão:

$$a_i = \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{t_{i+1} - t_{i-1}} \tag{3.6}$$

fornece um conjunto de *n – 4* pares ordenados na forma $P_k^{''}\left(a_k, t_k\right)$, que podem ser interpolados para a obtenção de uma aproximação do comportamento de *a*(*t*) (Apêndice B).

Novamente, vale destacar que toda a análise realizada no *software Tracker* pode ser elaborada em uma planilha eletrônica de dados externa, se assim preferir o usuário. Basta exportar a tabela com os registros de posição (*s*) e tempo (*t*), quadro a quadro, conforme indicado pelas figuras 3.3, 3.4 e 3.5. Como as equações 3.2 e 3.6 permitem obter os pares ordenados $P_j^{'}\left(v_j, t_j\right)$ e $P_k^{''}\left(a_k, t_k\right)$, temos a possibilidade de descrever toda a cinemática do ponto *P*, a partir da tabela de pares ordenados $P_i\ \left(s_i, t_i\right)$.

Os resultados associados ao ponto *P* podem ser estendidos para a própria bicicleta, considerando que o conjunto de pontos P_q (sendo $q = 1, 2, 3, ...$) que compõem a bicicleta, possuem distâncias relativas fixas. Dito em outras palavras, estudar o movimento do ponto *P* significa estudar, em média, o movimento da própria bicicleta. No Apêndice B descrevemos toda a cinemática linear necessária para apreciação teórica desta seção.

3.2.3 Movimento da roda dianteira modelado a partir do MCU

Já na segunda videoanálise (VA2), observamos a roda dianteira a partir de um referencial solidário ao eixo da roda. O movimento é circular e modelado como uniforme. Devemos, inicialmente, escolher um ponto fixo *Q* da roda, em relação ao referencial solidário ao seu eixo de rotação (R2), conforme revela a figura seguinte (Figura 3.7).

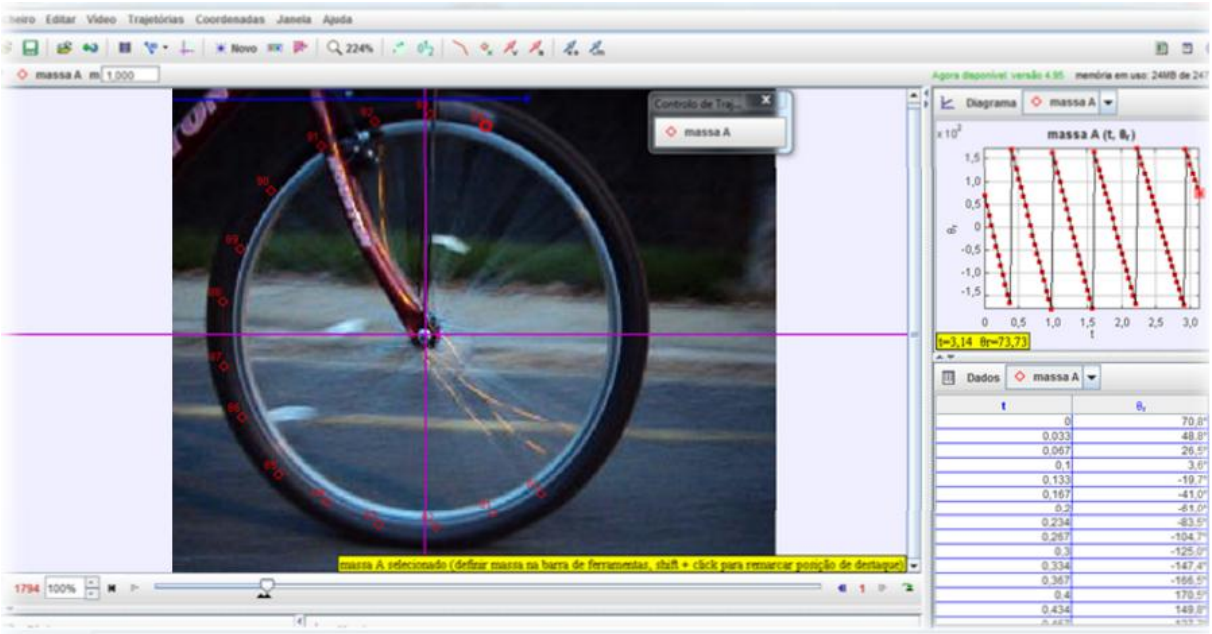


Figura 3.7 – Ponto *Q* fixo da roda dianteira em movimento circular, observado do referencial solidário ao eixo da roda.

Uma vez escolhido o ponto fixo *Q*, podemos obter os valores de sua coordenada φ para cada quadro componente do vídeo. Obtemos, dessa forma, um conjunto de pares ordenados do tipo $Q_i\left(\varphi_i, t_i\right)$, com i = 0, 1, 2, 3, ... , n , sendo n+1 o número total de pontos, referentes a cada quadro do vídeo em estudo. A partir daí, é possível construir um gráfico da coordenada φ em função do tempo *t*, relativo ao ponto *Q* (Figura 3.8).

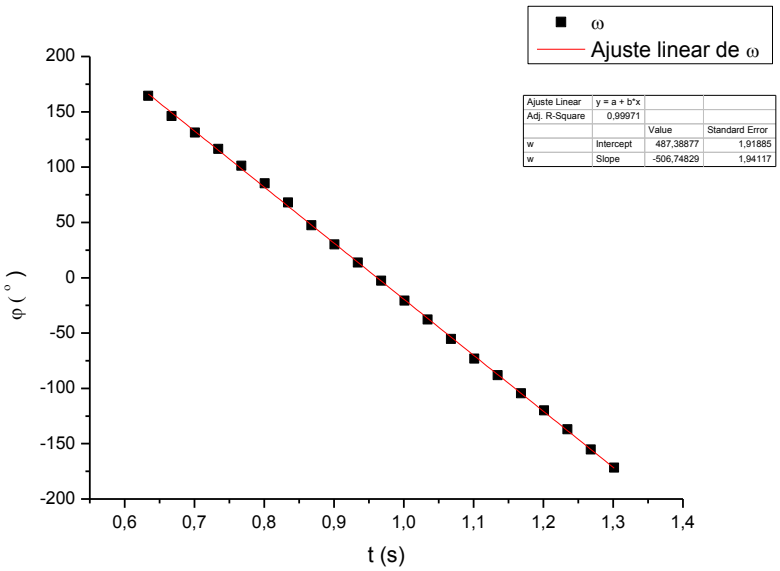


Figura 3.8 – Gráfico φ x t para uma volta da roda, considerando o referencial solidário ao seu eixo de rotação. O coeficiente angular fornece a velocidade angular ω.

O gráfico φ x t permite a obtenção da velocidade angular ω_n no instante t_n do ponto Q, a partir da expressão:

$$\omega_m = \frac{\varphi - \varphi_0}{t - t_0} \ , \tag{3.7}$$

sendo φ e φ_0 as coordenadas que localizam o vetor posição nos instantes t e t_0. Observe que a velocidade instantânea ω_i no instante t_i pode ser aproximada pela equação:

$$\omega_j = \frac{\varphi_{j+1} - \varphi_{j-1}}{t_{j+1} - t_{j-1}} \ , \tag{3.8}$$

admitindo que $t_{i+1} \rightarrow t_{i-1}$ (Apêndice B). Observe que a partir da equação 3.8 podemos obter $n - 2$ pares ordenados do tipo $Q_j^{'}\left(\omega_j, t_j\right)$. Novamente, é possível construir um gráfico do tipo ω x t, relativo ao ponto Q.

Alternativamente, a figura 3.8 permite a realização de um ajuste linear dos pontos $Q_i\ \left(\varphi_i, t_i\right)$, relativos a uma volta, obtendo a velocidade angular média a partir do coeficiente angular da reta ajustada, uma vez que a evolução $\varphi(t)$ é descrita por (ver Apêndice B):

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega t \tag{3.9}$$

sendo o ajuste linear uma reta na forma:

$$y(x) = C + Dx \tag{3.10}$$

que nos permite associar a velocidade angular ω ao coeficiente angular da reta D.

Observe que os pares ordenados (φ, t) permitem a construção analítica de um conjunto de novos pares ordenados, contendo agora a velocidade angular (ω) e o tempo (t). Observe que a partir da equação 3.8, podemos obter $n - 2$ pares ordenados do tipo $Q_j^{'}\left(\omega_j, t_j\right)$, onde n+1 representa o número de quadros do filme.

O mesmo procedimento pode ser utilizado para construir o gráfico de aceleração (a) em função do tempo (t), relativo ao ponto P. A expressão:

$$\alpha_j = \frac{\omega_{j+1} - \omega_{j-1}}{t_{j+1} - t_{j-1}} \tag{3.11}$$

fornece um conjunto de $n - 4$ pares ordenados na forma $Q_j^{''}\left(\alpha_j, t_j\right)$, que podem ser interpolados para a obtenção de uma aproximação do comportamento de $\alpha(t)$ (Apêndice B).

Novamente, temos que os resultados relativos ao ponto Q podem ser estendidos para um conjunto de pontos Q_q da roda dianteira, considerando que o conjunto de pontos Q_q (onde $q = 1, 2, 3, \ldots$), a uma distância R do eixo de rotação apresentam distâncias relativas fixas. Dito em outras palavras, estudar o movimento do ponto Q significa estudar, em média, o movimento dos pontos Q_q da roda dianteira à mesma distância R do centro. Para estudar pontos a diferentes distâncias do centro O da roda, basta considerar outro ponto análogo ao Q acima (digamos U), e repetir toda a análise descrita, obtendo a cinemática dos pontos U_q, com distância $R' \neq R$ em relação ao centro O. No Apêndice B descrevemos toda a cinemática angular necessária para apreciação teórica desta seção (ver Apêndice B).

3.2.4 Relação entre as velocidades linear e angular

Observe que podemos relacionar o módulo da velocidade linear v, obtida pelo ajuste linear dos pontos P_i (s_i,t_i), com o módulo da velocidade angular ω, obtida através do ajuste linear dos pontos Q_i (φ_i,t_i). A relação pode ser expressa matematicamente por (Apêndice B):

$$v = \omega R \tag{3.12}$$

que nos fornece um diâmetro D igual a:

$$D = \frac{2v}{\omega}. \tag{3.13}$$

Em nossa videoanálise, a relação 3.13 fornece um diâmetro D de 59,1 $\pm$ 0,3 cm. Note que os erros relativos nas medidas de v = 261,2 $\pm$ 0,6 cm/s e ω = 8,84 $\pm$ 0,03 rad/s são de 0,22% e 0,38%. O erro percentual obtido para o valor do diâmetro é menor que 5%, considerando a medição direta de 56,40 cm como referência.

3.3 PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

3.3.1 As turmas participantes

A sequência didática foi elaborada para aplicação experimental em três turmas do ensino médio integrado a cursos técnicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, *campus* Juína (IFMT/JNA). O trabalho aproveitou uma demandada, levantada pela equipe de física do campus IFMT/JNA, em relação à dificuldade de alguns alunos nos conceitos de mecânica básica, discutidos em disciplinas do último ano. Turmas do 3º ano do curso técnico integrado de Agropecuária vêm apresentando deficiências nas disciplinas de *Irrigação e Drenagem* (68 h / 3ºano) e *Mecanização Agrícola* (68 h / 3º ano). As disciplinas abordam tópicos de cinemática em suas ementas. Sendo assim, estruturamos a sequência para aplicação experimental em turmas do segundo ano do *campus*, visando não sobrecarregar o último ano do curso. Essas turmas devem cursar as disciplinas de *Irrigação e Drenagem* e *Mecanização Agrícola* no início do próximo ano.

Obviamente, nossa intervenção buscou se alinhar à demanda formativa levantada, utilizando a oportunidade para aplicação da sequência didática que foi elaborada de forma independente. Outras intervenções adicionais serão estruturadas para atender à demanda global identificada pela equipe pedagógica.

Vale destacar que as três turmas descritas estão sobre responsabilidade do autor desta dissertação. Foi levantado, nas observações de aula, que os alunos mencionados apresentam

algumas dificuldades com análise gráfica. Outros problemas pontuais na identificação de características do MRU e MCU também foram encontrados. Por exemplo, a associação da velocidade instantânea com a inclinação da reta tangente à curva $s(t)$, relativa ao gráfico de posição (s) em função do tempo (t), era de difícil compreensão por parte dos alunos. A interpretação das áreas sob as curvas de gráficos do tipo velocidade (v) em função do tempo (t) também se mostrou confusa. A título de exemplo, discentes revelaram certa dificuldade em identificar que a área sob a curva $v(t)$, em um gráfico de velocidade (v) em função do tempo (t) para uma partícula P, representaria numericamente o deslocamento Δs da partícula P. Esse fato não se revelou claro a partir da interpretação gráfica. Observamos, ainda, que as respostas apresentadas pelos alunos a situações relativamente simples envolvendo os conceitos de velocidade e aceleração, no contexto do MCU, também sinalizaram alguns problemas. Sendo assim, a proposta de trabalho buscou melhorar as capacidades discentes nas investigações aqui mencionadas. A intervenção possuiu natureza optativa, com alguns alunos decidindo participar nos horários alternativos. O planejamento realizado, aula por aula, encontra-se na sequência.

Para efeitos de análise, uma turma de controle foi utilizada na pesquisa. Um teste de conhecimentos foi aplicado às quatro turmas, três experimentais e uma de controle. Os resultados foram comparados no intuito de se obter algum apontamento sobre supostos efeitos da sequência aplicada.

3.3.2 Sequência aplicada

No primeiro encontro realizamos uma introdução ao movimento retilíneo uniforme (MRU) e ao movimento circular uniforme (MCU). Alguns problemas foram apresentados com o intuito de levantar possíveis concepções alternativas entre o grupo de estudantes. Por exemplo, indagamos aos alunos sobre o comportamento de sistemas compostos por partículas livres da ação de forças, questionamos sobre a existência de aceleração no MCU, perguntamos sobre as posições futuras de partículas em MRU e MCU, entre outras. Obviamente, essas observações iniciais ajudaram na condução das discussões subsequentes. Ao final do encontro, recomendamos a primeira leitura (L1), referente ao estudo do MRU. As leituras indicadas foram, essencialmente, capítulos do livro didático dos alunos (BONJORNO, *et al.*, 2013).

No segundo encontro, a ideia de movimento retilíneo uniforme (MRU) foi discutida em maiores detalhes. Apresentamos a primeira videoanálise (VA1), utilizada para direcionar as questões de aula. Ao final do encontro, propomos um problema (P1) aos alunos, que permitiu trabalhar a construção de gráficos do tipo s x t, v x t e a x t, a obtenção das velocidades médias e instantâneas, a distância percorrida pela bicicleta no intervalo de tempo considerado, bem como a ausência de aceleração no percurso, na perspectiva do MRU. Os alunos se dividiram em grupos de cinco pessoas. Cada grupo se preparou para a discussão do problema no início do encontro seguinte. Os problemas propostos e a estrutura seguida na aula são indicados em detalhes no Apêndice C.

Já no terceiro encontro, uma discussão mais ampla do problema P1 foi considerada. Primeiramente, cada grupo entregou sua proposta de solução. Depois disso, o debate sobre as questões do problema se iniciou. Toda discussão foi registrada pelo professor regente e pelos alunos em suas anotações de aula. Ao final do encontro, recomendamos a segunda leitura sobre o MCU (L2).

O quarto encontro foi destinado à discussão do MCU. A ideia de movimento circular uniforme (MCU) foi apresentada, dando ênfase à trajetória seguida pelo objeto quando ele mantém sua velocidade angular constante. Na sequência, apresentamos a segunda videoanálise (VA2), utilizada para direcionar as questões de aula. Ao final do encontro, um problema (P2) foi apresentado aos alunos, permitindo trabalhar a construção dos gráficos φ x t, ω x t e γ x t, a obtenção das velocidades angulares médias e instantâneas, a distância percorrida pela bicicleta no intervalo de tempo considerado, bem como a existência de aceleração centrípeta dos pontos componentes da roda em movimento circular, na perspectiva do MCU. Apesar de não obtermos a aceleração angular no MCU, uma vez que a velocidade angular se revela constante, devemos discutir a mudança do vetor velocidade dos pontos da roda, ainda que a velocidade linear permaneça constante. Isso revela a existência de uma aceleração responsável pela manutenção da trajetória circular, que altera apenas direção e sentido da velocidade v. Tal aceleração é denominada “aceleração centrípeta”, discutida em detalhes no Apêndice B. Voltamos a destacar que os problemas propostos e estrutura seguida na aula podem ser conferidos no Apêndice C.

Destinamos o quinto encontro para uma discussão mais ampla do problema P2. Novamente, a aula foi iniciada com a entrega das atividades relativas ao problema P2. Na sequência, o debate sobre as questões do problema P2 foi utilizado para discussão da relação entre as grandezas angulares e lineares. Por exemplo, os módulos da velocidade linear (v) e

da velocidade angular (ω) estão relacionados a partir da expressão $v = \omega R$, sendo R o raio da bicicleta. Essas relações são discutidas e justificadas no Apêndice B. Abordamos, ainda, a transmissão do MCU do pedal até a roda traseira, por meio da corrente. Ao final, uma investigação conjunta das videoanálises VA1 e VA2 foi realizada, auxiliando na abordagem sintética dos tópicos estudados ao longo da sequência didática.

O último encontro foi destinado à aplicação do teste final de conhecimentos. Vale destacar que a intervenção foi pensada para um período relativamente curto de tempo. Nessas condições, o teste final foi avaliado não só em conjunto com as discussões ocorridas em sala, como também considerando as soluções propostas aos problemas investigados. O trabalho defende que a sequência deve ser construída em torno dos propósitos da ementa. O teste final funcionou, de certa forma, como uma avaliação externa ao processo. Embora tenha sido construído para contextos educacionais relativamente diferentes, esse teste forneceu apontamentos pertinentes para a pesquisa em andamento. Mesmo existindo muita discussão em torno das avaliações neste formato tradicional, seguimos a literatura presente, no que se refere à utilização do teste de conhecimentos, para promover um diálogo de nossos resultados com os pares.

3.4 ESCOLHA DAS QUESTÕES PARA O TESTE DE CONHECIMENTOS

As questões escolhidas para o teste final foram de múltipla escolha, baseadas em concepções alternativas comuns sobre os conceitos de cinemática, utilizadas em trabalhos anteriores, e, apresentando questionamentos com relação direta ao tema investigado nesta pesquisa.

Nossa sequência possui forte apelo gráfico, oriundo das investigações por videoanálise, embora o objetivo didático não se encerre aí. Sendo assim, destacamos que as questões buscadas para o teste, envolvendo as concepções alternativas, consideram aspectos relativos não somente à análise gráfica, como também relacionados à diferenciação entre grandezas lineares e angulares. As questões utilizadas neste trabalho foram retiradas ou adaptadas de Agrello e Garg (1999) e Silva (1990). Elas podem ser visualizadas no Apêndice D. Conforme podemos averiguar, as atividades propostas nas aulas e problemas não são formatadas com o objetivo de “resolver o teste final”.

As questões retiradas de Agrello e Garg (1999) fazem parte de um teste proposto para avaliar a compreensão de gráficos cinemáticos por parte dos discentes, o *Test of*

Understanding Graphs in Kinematics (TUGK), proposto originalmente em Beichner (1994). O TUGK é um teste de 21 questões de múltipla escolha, aplicado inicialmente na Universidade da Carolina do Norte e também em turmas de alunos que estavam terminando o “high school”. Utilizamos seis questões do teste mencionado, que possuíam relação direta com o tema discutido com os alunos sobre cinemática angular e linear, sem pretensão de realizar apontamentos a partir dos pressupostos defendidos no trabalho citado.

Já as questões retiradas ou adaptadas de Silva (1990) compõem uma investigação realizada a partir de entrevistas clínicas, onde o autor buscou identificar como crianças e adolescentes de diversas faixas etárias de uma escola estadual construíam as noções de velocidades linear e angular. Utilizamos quatro questões desse trabalho, que também possuíam relação direta com o tema discutido com os alunos sobre cinemática angular e linear, sem interesse em realizar apontamentos de ordem clínica ou didáticas relativas às ideias defendidas no texto mencionado.

Vale destacar que, em geral, as concepções alternativas mapeadas nos últimos anos envolvem considerações dinâmicas dos problemas investigados. As questões validadas em estudos anteriores dificilmente envolvem aspectos cinemáticos isoladamente. Esse fato pode ser corroborado em importantes trabalhos na área (BEICHNER, 1994; SILVA, 1990; AGRELLO; GARG, 1999; NARDI, GATT; 2004). Contudo, a aplicação do teste final, nos moldes delineados, pode fornecer apontamentos de interesse para a investigação em ensino de ciências, conforme discutiremos nesta dissertação, embora não haja consenso sobre os benefícios de se utilizar formatos tradicionais ou híbridos de avaliação como este. Contudo, visando o diálogo com a literatura atual, seguimos o caminho delineado e discutimos os resultados ao longo desta dissertação.

4 **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A sequência didática foi implementada em três turmas experimentais de ensino médio integrado a cursos técnicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, *campus* Juína (IFMT/JNA). As turmas são do curso técnico integrado em agropecuária, denotadas aqui por turmas experimentais 1 (TE1), turma experimental 2 (TE2) e turma experimental 3 (TE3). A pesquisa utilizou, também, uma turma de controle (TC) do curso técnico em meio ambiente, onde a ementa de Física se revela idêntica. Ao todo, 98 alunos participaram da pesquisa, realizada entre os dias 18/05/2016 e 28/10/2016.

As turmas experimentais (73 alunos) foram submetidas à sequência didática, realizando o teste tradicional de conhecimentos no último encontro da intervenção. Já a turma de controle (25 alunos), realizou apenas o teste de conhecimentos, não participando das demais etapas da sequência didática. Vale destacar que as turmas experimentais possuem as disciplinas *Irrigação e Drenagem* (68 h / 3ºano) e *Mecanização Agrícola* (68 h / 3º ano), onde foram identificadas algumas dificuldades enfrentadas pelos alunos na utilização dos conceitos de física básica. A turma de controle não apresenta essas disciplinas em sua grade curricular técnica. Lembramos ainda que a sequência didática foi estruturada para aplicação experimental em turmas do segundo ano do *campus*, visando não sobrecarregar o último ano do curso. Essas turmas experimentais devem cursar as disciplinas de *Irrigação e Drenagem* e *Mecanização Agrícola* no início do próximo ano.

4.1 IMPLEMENTAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA NAS TURMAS EXPERIMENTAIS

Vamos apresentar a implementação da sequência encontro por encontro, ressaltando as principais discussões ocorridas durante as aulas programadas. Vamos descrever as discussões e análises oriundas da intervenção didática, apontando os casos particulares de cada turma quando for conveniente. Os comentários dos alunos foram obtidos por meio do registro dos mesmos nas folhas de atividades dos alunos – uma folha em branco do caderno com as respostas – e anotações de aula realizada pelo professor regente.

4.1.1 O primeiro encontro

No primeiro encontro, apresentamos as principais características do MRU e o do MCU. Buscamos utilizar como ponto de partida, o conhecimento prévio dos alunos sobre esses tipos de movimento. Dessa forma, as ideias iniciais apresentadas pelos discentes foram discutidas, buscando descartar aquelas que não se alinhavam ao modelo que pretendíamos apresentar. Basicamente, buscamos deixar claro que no modelo de MRU, a velocidade permanece constante, sendo a trajetória da partícula em estudo uma linha reta. Destacamos, também que, dada as condições iniciais de posição s_0 e velocidade $v = const$ para essa partícula, todo seu movimento futuro fica determinado. Muitos alunos revelam espanto quando declaramos esse determinismo expresso pela mecânica newtoniana. Contudo, isso ajuda a motivar os estudantes em relação às discussões futuras e leituras propostas.

4.1.2 O segundo encontro

No segundo encontro, discutimos o MRU mais detalhadamente. É importante lembrar que uma leitura prévia foi recomendada aos alunos. Eles deveriam chegar, teoricamente, com essa leitura realizada. Essa prática tem como objetivo familiarizar o discente com o tópico a ser discutido, elevando, talvez, o patamar das discussões iniciais.

Dito isso, iniciamos o encontro mostrando o vídeo de um ciclista em movimento, suposto retilíneo e uniforme. Mencionamos explicitamente que a bicicleta estaria obedecendo a um modelo de MRU. Os alunos observaram o movimento algumas vezes antes de qualquer questionamento. Utilizamos, nesse momento, a questão 1 para indagar o que significaria os termos “retilíneo” e “uniforme”, mencionados no modelo MRU. Os alunos responderam, em sua maioria, que o “retilíneo” estaria associado à trajetória da bicicleta, conforme podemos perceber nos seguintes comentários:

Comentário 1: “O retilíneo vem de reta (...). É a reta descrita pela bicicleta.”
Comentário 2: “A bicicleta anda em linha reta, por isso o ‘retilíneo’ ...”

Já em relação ao termo “uniforme”, a dificuldade foi maior. A associação do termo ao fato da velocidade ser considerada constante, no modelo de MRU, foi realizada por poucos alunos. Em geral, os alunos que se posicionaram corretamente, em relação à

indagação proposta, mencionaram a leitura do livro didático para apoiar suas ideias. Em todas as turmas experimentais, poucos defenderam sem problemas a ideia de que o vocábulo "uniforme" estaria associado à ideia de "manutenção da velocidade". Observe os comentários daqueles que não associaram corretamente o termo ao seu significado, conforme era proposto explicitamente no texto indicado para a leitura prévia:

Comentário 3: "O uniforme é algo homogêneo, tem haver com o meio ..."
Comentário 4: "É porque não tem atrito (...). A superfície é uniforme."
Comentário 5: "Uniforme porque é reto, igual ao retilíneo ..."

Algumas imprecisões ou falta de clareza também são encontradas nas descrições abaixo:

Comentário 6: "É um movimento que não muda nunca ..."
Comentário 7: "Uniforme é o que não muda, mas movimento tem que mudar algo, não é?"

Contudo, a associação esperada aparece em algumas respostas apresentadas. Observe as frases seguintes, onde os alunos conseguem relacionar o "uniforme" com a ideia de velocidade constante:

Comentário 8: "O uniforme é o que não muda, o corpo não muda a velocidade ..."
Comentário 9: "O retilíneo é da trajetória, e o uniforme é a velocidade que não muda..."
Comentário 10: "Se olhar o caminho, ele á uma linha reta. Isso é o retilíneo. Se olhar para a velocidade, ela é uniforme."
Comentário 11: "A velocidade não muda, isso é o uniforme ..."

A partir da questão 2, passamos a considerar um problema que envolve a evolução temporal de um objeto em MRU. Um objeto em MRU com velocidade igual a 2 m/s é apresentado aos discentes. Ele está localizado a 1 m de uma árvore, tomada como um referencial inercial (Figura 4.1). Essas configurações são associadas a um instante inicial de tempo t_0. Perguntamos, aos estudantes, sobre a possibilidade de prever o comportamento futuro deste objeto, ou seja, se seria possível localizar exatamente o móvel em qualquer instante futuro?

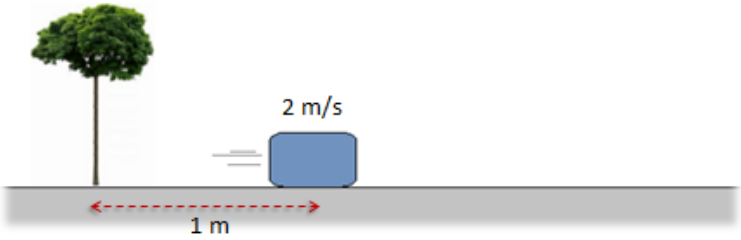


Figura 4.1 – Instante t_0 de um objeto *O* em MRU.

Em geral, os estudantes responderam que seria possível determinar o futuro deste objeto, ou seja, as posições $s(t)$ para um tempo qualquer $t > t_0$, embora parte deles não conseguisse explicar com clareza o procedimento capaz de ajudar nessa previsão:

Comentário 12: "Deve ser possível. Ele está indo para a direita ..."
Comentário 13: "Sim, ele está indo para a direita, quanto maior velocidade mais rápido ele vai ..."
Comentário 14: "Deve ter um jeito, só não sei explicar direito ..."

Nesse momento, aproveitamos para reforçar a ideia básica de um MRU: a velocidade se mantém constante, pois a partícula percorre distâncias iguais em intervalos de tempo idênticos. Perguntamos aos estudantes qual deveria ser a velocidade do objeto, passados 10 s da configuração inicial apresentada em t_0. Alguns alunos não conseguem perceber que ela deve se manter em 2 m/s:

Comentário 15: "Tenho que saber se ela aumenta ou não ..."
Comentário 16: "Não sei, não tem como saber ..."

No entanto, quando lembramos que o movimento é retilíneo e uniforme, remetemos os alunos à discussão do termo "uniforme". Nesse momento, as respostas passam a ser mais claras:

Comentário 17: "Ah, então ela é a mesma, 2 m/s ..."
Comentário 18: "Se é MRU, a velocidade não muda, agora sim ..."

Continuando a indagação, perguntando a velocidade depois de 1 min, 1 h ou até mesmo 1 mês. Os alunos passaram a responder de forma imediata:

Comentário 19: "Será sempre 2 m/s, não importa o tempo ..."
Comentário 20: "Não muda! Ela será 2 m/s. O corpo está em MRU ..."

Passemos agora à questão 3. Ela solicita dos estudantes a posição do objeto em relação à árvore, após 10 s no item "a", 20 s no item "b" e 1 min no item "c". Percebemos que boa parte dos estudantes revela certa dificuldade:

Comentário 21: "Não sei dizer, tenho que saber uma fórmula?"
Comentário 22: "Tenho que saber o quanto ele vai andar nesses tempos, agora não sei como fazer isso ..."

Por outro lado, alguns deles apresentam o valor do deslocamento para o tempo de 10 s, embora a localização em relação à árvore não seja indicada de forma clara. O raciocínio encontrado nas turmas experimentais pode ser sintetizado nas seguintes frases:

Comentário 23: "Ele anda 2 m a cada segundo, em 10 s ele vai andar 20 m ..."
Comentário 24: "Sim, 2 m por segundo, em 10 s ele anda 20 m, é fácil ..."

Observe que eles obtêm corretamente o deslocamento Δs do objeto, sem localizá-los em relação à árvore. Seguimos, então, perguntando quantos metros o objeto estaria em relação à árvore, as respostas corretas começam a surgir:

Comentário 25: "Ele andou 20 m, então ele está a 21 m, é isso?"
Comentário 26: "Ele já estava a 1 m dela, andando mais 20 m ele fica a 21 m, acho que é assim ..."

Observe que os estudantes conseguem elaborar um raciocínio para obter as posições a cada segundo que passa, obtendo o espaço no tempo solicitado. Outros justificam por uma regra de três, pelo fato da velocidade envolver uma razão entre espaço percorrido Δs e variação de tempo Δt.

Vale destacar que em uma das turmas (TE3) um dos alunos obteve corretamente as posições do objeto, localizando-o em relação à árvore. Contudo, em média, o espaço percorrido foi determinado, mas a localização em relação à árvore só foi possível depois que o professor atentou para o referencial considerado na questão.

Uma dificuldade evidenciada em todas as turmas foi na extrapolação desses resultados para tempos maiores. O procedimento de encontrar posição *s* a cada segundo que passa não se revela eficiente quando envolvemos intervalos de tempo relativamente grandes. Nessa oportunidade, discutimos a equação horária, justificando um procedimento mais analítico para obter as posições futuras do objeto *O* em estudo (ver Apêndice B).

A partir da questão 4, os discentes começam a ser questionados sobre os gráficos dos movimentos investigados. Perguntamos, por exemplo, como seria o gráfico da velocidade (v) em função do tempo (t). Algumas respostas são apresentadas a seguir:

Comentário 27: "Aí complica, temos que ver em todo o tempo a velocidade?"
Comentário 28: "Ela é sempre 2 m/s, agora construir o gráfico é outra história ..."
Comentário 29: "A velocidade é uniforme, então o gráfico deve ser alguma reta ..."

Nesse ponto, observamos uma dificuldade com a análise gráfica. A ideia de esboçar um gráfico é assustadora para muitos estudantes. A insegurança é notável. Contudo, um procedimento é proposto:

Proposição: "Não seria possível obter as posições ao longo do tempo? Ou seja, uma tabela com valores de posição do objeto e tempo correspondente? Isso não permite a construção de um gráfico?".

Comentário 30: "Deve ter como, mas não sei ..."
Comentário 31: "Na matemática vimos algo assim ..."
Comentário 32: "Vimos sim, seria fazer os pontos x e y naqueles eixos (...) É isso?"

De fato, o procedimento proposto não foi compreendido de forma clara em todas as turmas experimentais. Ainda que a conexão com a matemática fosse admitida, a dificuldade com o procedimento era evidente. A última resposta apresentada surgiu em uma das turmas, a TE1. Contudo, após um exemplo numérico, onde uma função $f(x) = ax + b$ é utilizada, os

alunos entendem a ideia de construir o gráfico ponto a ponto, realizando depois uma interpolação entre esses pontos. A partir daí, eles reproduzem o procedimento sem dificuldades:

Comentário 33: "O valor é sempre 2 m/s. É uma reta, sem dúvida."
Comentário 34: "A velocidade é 2 m/s como falamos. O gráfico fica reto, na horizontal."
Comentário 35: "A velocidade é constante e o gráfico fica reto."

A ideia de que um gráfico de velocidade (v) em função do tempo (t) para um MRU é uma reta paralela ao eixo dos tempos parece compreendida pela maioria dos estudantes. Quando indagamos o que aconteceria se a condição de MRU não fosse mais satisfeita, ou seja, se o móvel aumentasse ou diminuísse sua velocidade, os discentes em geral relacionam corretamente a variação da velocidade com uma inclinação da reta em relação ao eixo dos tempos. O professor pode, se desejar, discutir a conexão entre a velocidade e o coeficiente angular da reta, estudando matematicamente a equação horária dos espaços. Indicamos esses detalhes no Apêndice B.

Ainda na questão 4, indagamos através do item "b" sobre a interpretação da área A abaixo do gráfico v x t. De fato, esse ponto pareceu bem confuso para os estudantes. Mesmo para os que realizaram a leitura prévia. A abordagem analítica que costuma ser apresentada parece dificultar a conexão simples entre o valor numérico da área A com o valor numérico do espaço percorrido pelo objeto Δs. Apresentamos duas explicações para este fato, uma mais analítica, e outra, com valores numéricos.

Na explicação analítica, consideramos um gráfico do tipo v x t, com velocidade constante v. Basicamente, propomos a obtenção de uma expressão para a área do gráfico, considerando um intervalo Δt. A referida área é dada por $A = v\Delta t$, pois é justamente a área de um retângulo de base Δt e altura v. Por outro lado, a velocidade média é dada por uma razão entre variação de espaço Δs e variação de tempo Δt. Como no MRU ocorre a coincidência entre velocidade média e velocidade instantânea, podemos escrever $\Delta s = \mathrm{v}\Delta t$. A comparação entre os resultados anteriores permite escrever:

$$A = \Delta s \tag{4.1}$$

que nos revela a coincidência numérica entre a área A e o espaço percorrido Δs.

Numericamente, podemos solicitar o cálculo da área relativo ao gráfico para diferentes intervalos de tempo Δt_i , propondo uma comparação com os valores encontrados a partir da expressão $\Delta s = v\ \Delta t$. Por exemplo, se considerarmos o móvel do problema a 2 m/s, a área do gráfico após um intervalo de tempo $\Delta t = 5$ s é numericamente igual a "10". Através da expressão $\Delta s = v\ \Delta t$, o estudante deve ser capaz de encontrar o mesmo valor. Isso indica que o móvel percorre 10 m ao longo de 5 s. Após essas discussões, os estudantes realizam comentários mais coerentes da ideia expressa pela equação 4.1:

Comentário 36: "Então a área é o espaço percorrido?"
Comentário 37: "Basta calcular a área! Se a área for 40, o espaço percorrido é 40!"

Já na questão 5, propõe-se uma discussão sobre as conversões entre m/s e km/h. Curiosamente, os alunos que realizaram a leitura prévia se antecipam à discussão. Quando indagados pela questão, se a velocidade indicada estava no sistema internacional de unidades, eles rapidamente respondem:

Comentário 38: "Está no sistema internacional! No sistema internacional a velocidade é metros por segundo!"
Comentário 39: "Metros por segundo é sistema internacional ..."

Contudo, quando perguntamos sobre os valores e o procedimento, certas dificuldades surgem. Alguns estudantes chegam a mencionar corretamente o fator de conversão igual a 3,6, embora o procedimento explícito de conversão não seja fornecido com segurança, observe:

Comentário 40: "Eu vi que tem um negócio de dividir e multiplicar por 3,6 ..."
Comentário 41: "Multiplica ou divide por 3,6, agora não sei dizer quando multiplica e quando divide ..."

No entanto, alguns respondem corretamente ao questionamento, mencionando a leitura prévia realizada:

Comentário 42: "Se for de m/s para km/h tem que multiplicar por 3,6. Se for o contrário, divide."
Comentário 43: "De km/h para m/s divide, de m/s para km/h multiplica ..."

Nesse momento, pode ser oportuno explicar a origem do fator 3,6 aos alunos, prosseguindo com a resolução conjunta do exercício. O professor pode realizar explicitamente a conversão:

$$1\ km/h = \frac{1000\ m}{60\ \min} = \frac{10^3 m}{60 \times 60\ s} = \frac{10^3}{3600}\frac{m}{s} = \frac{1}{3,6}\frac{m}{s} \Rightarrow 1\ {}^{m}\!/_{s} = 3,6\ {}^{km}\!/_{h} \qquad (4.2)$$

indicando que 1m/s = 3,6 km/h ou 1km/h = (1 / 3,6) m/s. Assim, para converter 2 m/s em km/h, basta realizar o procedimento:

$$2\ m/s = 2\ \left(3,6\ {}^{km}\!/_{h}\right) = 7,2\ {}^{km}\!/_{h}$$

e, inversamente:

$$7,2\ {}^{km}\!/_{h} = 7,2\ \left(\frac{1}{3,6} m/s\right) = 2,0\ m/s.$$

Ou seja, quando vamos realizar uma transformação de unidades, de "m/s" para "km/h", devemos multiplica-la pelo fator 3,6. Quando vamos realizar o processo inverso, devemos dividi-la por 3,6. Após essa discussão, os alunos revelam maior destreza com o procedimento, estabelecendo um algoritmo com as palavras do parágrafo anterior:

Comentário 44: "De metros por segundo para quilômetros por hora multiplico por 3,6. No caso contrário, divido."

O próximo passo da sequência foi apresentar o problema P1 aos estudantes. O problema propõe a investigação em grupo de um MRU. Uma tabela com valores de posição e tempo é apresentada. As indagações realizadas são a respeito dos gráficos *s* x *t*, *v* x *t*, e sobre a velocidade média v_m no percurso apresentado. Uma consideração sobre a existência de aceleração no movimento apresentado também é realizada. As soluções propostas para o problema P1 devem ser entregues na aula seguinte.

4.1.3 O terceiro encontro

O terceiro encontro é destinado à discussão do Problema P1. Iniciamos a aula recolhendo as soluções propostas pelos alunos, perguntando-lhes o que acharam do problema. Em geral, os estudantes nas três turmas experimentais mencionaram que foi difícil, mas que supostamente haviam conseguido resolver.

Passemos à discussão realizada em sala de aula, considerando cada item do Problema P1 proposto (Figura 4.2).

Problema - P1

Considere o movimento da bicicleta abaixo, supondo um MRU.

t (s)	s (m)
0,0	0,5
0,1	1,0
0,2	1,5
0,3	2,0
0,4	2,5
0,5	3,0
0,6	3,5
0,7	4,0
0,8	4,5
0,9	5,0
1,0	5,5
1,1	6,0
1,2	6,5
1,3	7,0

a) Esboce o gráfico *s* x *t*.

b) Obtenha a velocidade linear média da bicicleta no percurso.

c) Esboce o gráfico *v* x *t*.

d) Existe aceleração, no MRU?

Figura 4.2 – Problema P1 proposto aos alunos das turmas experimentais.

No item "a", o gráfico *s* x *t* da posição (*s*) em função do tempo (*t*) é solicitado. Em todas as turmas experimentais, 4 dos 5 grupos (80%) apresentaram corretamente o gráfico. A ideia de que o espaço aumenta linearmente à medida que o tempo passa, segundo uma função afim do tipo $f(x) = A + Bx$, foi apresentada pela maioria dos grupos (80%). Contudo, equívocos relativos ao coeficiente linear A apareceram na resposta de três grupos experimentais. Esses grupos esboçaram gráficos com a posição inicial diferente de $s_0 = 0{,}5$ m, em desacordo com a tabela apresentada. A figura 4.3 revela dois gráficos onde esse erro é encontrado (Figura 4.3).

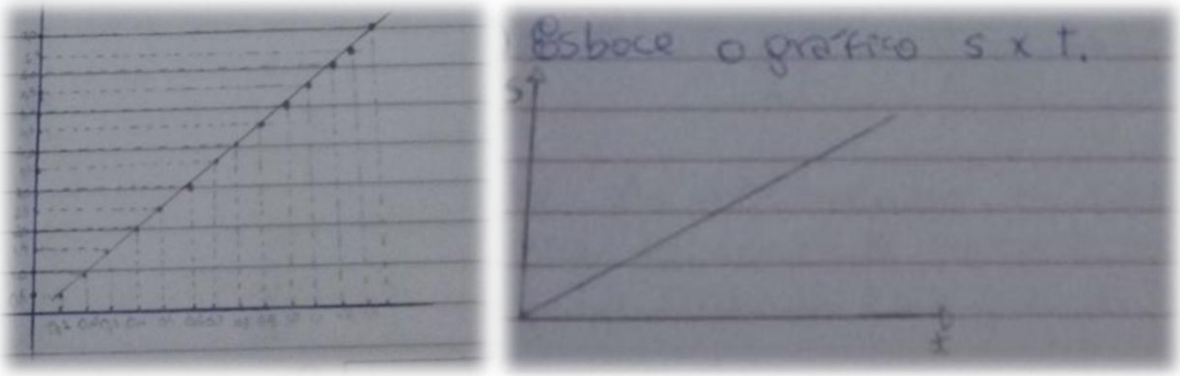


Figura 4.3 – Gráficos *s* x *t* apresentados por dois grupos experimentais, onde podemos observar o equívoco na indicação da posição inicial s_0.

Já na figura 4.4, temos dois exemplos que atendem ao questionamento proposto, pois revelam corretamente a relação linear entre *s* e *t*, com o espaço inicial igual a s_0 = 0,5 m (Figura 4.4).

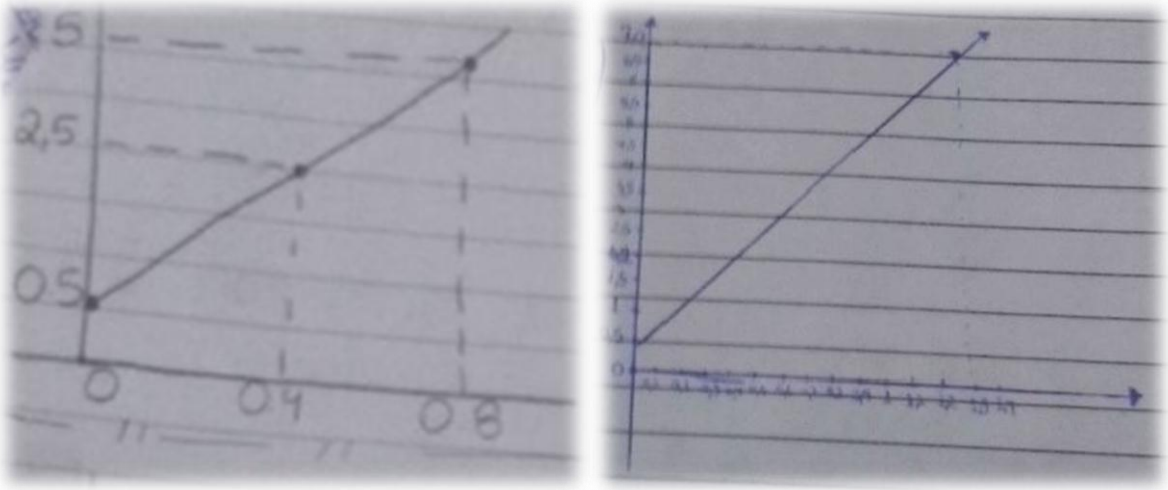


Figura 4.4 – Gráficos *s* x *t* apresentados por dois grupos experimentais, onde a relação linear esperada entre espaço e tempo é indicada.

O item levou três grupos ao erro. Contudo, ao longo das discussões em sala, os grupos revelam entender que de fato, a posição inicial do objeto investigado é igual a s_0 = 0,5 m. O gráfico deve conter, necessariamente, o ponto de coordenadas t_0=0 s e s_0 = 5 m. Na figura seguinte apresentamos o gráfico esperado para atender ao item “a” do problema

P1. Observe que o espaço (s) é uma função do tempo (t) na forma $f(t) = A + Bt$, cujo coeficiente linear A apresenta o valor de 0,5 (Figura 4.5).

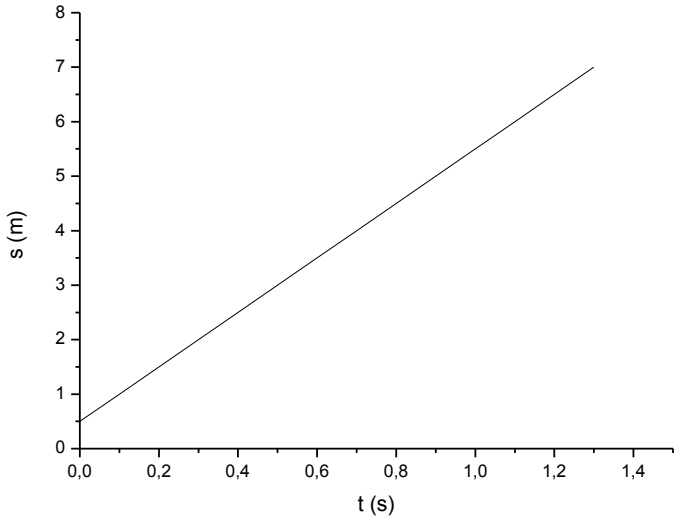


Figura 4.5 – Gráfico s x t para a bicicleta apresentada no problema P1.

Já no item "b", o problema solicita a velocidade linear média v_m no percurso. Todos os grupos experimentais responderam corretamente à questão (100% de acertos). Em geral, os discentes argumentaram que a velocidade poderia ser obtida a partir da tabela apresentada na questão, considerando dois pares ordenados (t, s). A solução mais comum é ilustrada pelas frases abaixo:

Comentário 45: "Essa foi fácil: bastou fazer 7,0 menos 0,5 e dividir por 1,3. A resposta é 5 m/s!"
Comentário 46: "Ele andou 6,5 m em 1,3 s, então a velocidade é de 5 m/s."

Na sequência, os alunos foram motivados a conferir o valor da velocidade média obtida a partir de outros pares ordenados. Como a velocidade no MRU é constante, eles observam que qualquer intervalo de tempo utilizado para obter a velocidade média retorna o valor de 5 m/s. Por exemplo, considerando os dois primeiros pares ordenados (0; 0,5) e (0,1; 1,0) obtemos 5 m/s, pois:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1,0 - 0,5}{0,1 - 0,0} = 5 \ m/s$$

De fato, os discentes parecem ter observado que o fato de a velocidade se manter constante, implica em um valor comum para a velocidade média, quaisquer que sejam os dois pares ordenados escolhidos para seu cálculo. Podemos encontrar essa ideia nas seguintes frases:

Comentário 47: "A velocidade é constante, então não pode mudar de um cálculo para o outro ..."
Comentário 48: "A variação de espaço no tempo é a mesma! Qualquer variação obtida de espaço e tempo na tabela vai me fornecer a velocidade do corpo ..."

Passando ao item "c", encontramos uma indagação sobre o gráfico *v* x *t* da velocidade (*v*) em função do tempo (*t*). Em duas turmas experimentais (TE1 e TE2) o percentual de acertos foi igual a 100%. Na outra turma, a TE3, os acertos foram de 4 em um total de 5 grupos (80%). O percentual de acertos envolvendo todas as turmas, TE1, TE2 e TE3, ficou em 93%. A figura 4.6 apresenta um exemplo de resposta que atende ao questionamento juntamente com uma resposta equivocada do problema (Figura 4.6).

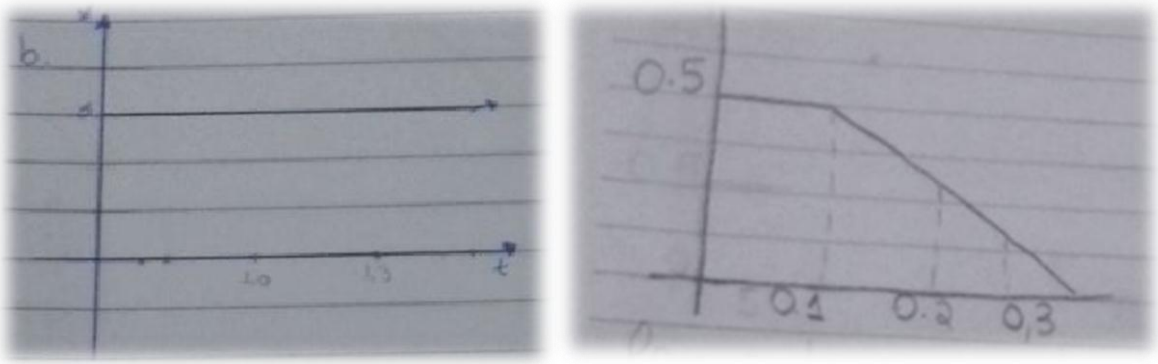


Figura 4.6 – Gráficos *v* x *t* apresentados por dois grupos experimentais. O gráfico da esquerda exemplifica a resposta mais comum encontrada entre as turmas experimentais. O único gráfico apresentado incorretamente encontra-se à direita.

Nas discussões que ocorreram em sala de aula, os alunos parecem ter caminhado no sentido de aceitar a ideia geral de que a velocidade se mantém constante, descrevendo uma reta paralela ao eixo *t*. O gráfico esperado como resposta ao item "c" do problema se encontra abaixo. Observe que a velocidade é uma constante, no caso, igual a 5 m/s (Figura 4.7).

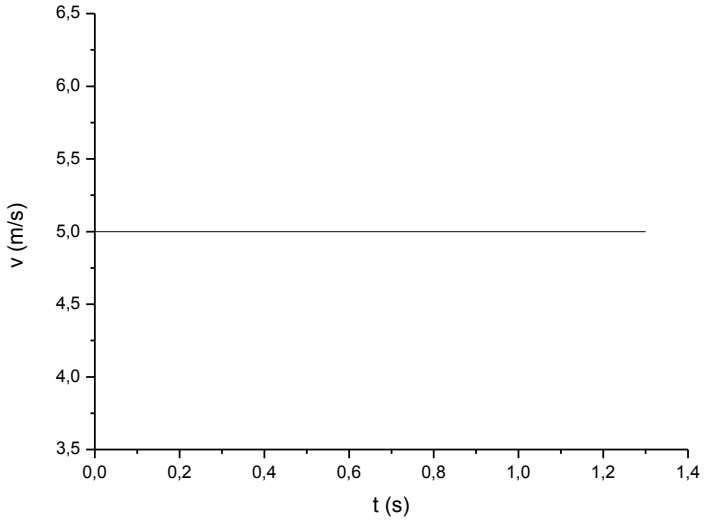


Figura 4.7 – Gráfico *v* x *t* para a bicicleta apresentada no problema P1.

No último item, é perguntado aos alunos sobre a existência de aceleração no MRU. Esse item não apresentou problema algum, aparentemente, pois 100% dos grupos responderam que a aceleração no MRU deveria ser nula. As respostas abaixo ilustram essa ideia:

Aluno 49: "A velocidade é constante, não muda! Não existe aceleração ..."
Aluno 50: "A velocidade não muda nunca no MRU, então não existe aceleração."

Após a discussão do item "d", chegamos ao final do terceiro encontro. Vale destacar que recomendamos a leitura do capítulo sobre o MCU, para discussão na aula seguinte.

4.1.4 O quarto encontro

O objetivo deste encontro foi discutir o MCU. Os discentes deveriam chegar à aula com a leitura prévia realizada, ou seja, com alguma familiaridade em relação ao MCU. Dito isso, iniciamos a aula discutindo o fato de a velocidade angular ω se apresentar constante, no MCU. Destacamos, também, a trajetória da partícula em MCU, que necessariamente está contida ao longo de um arco de circunferência. Após essa breve discussão, apresentamos o vídeo que registrou o movimento da roda dianteira de uma bicicleta, filmada a partir de um referencial solidário ao eixo da roda, conforme discutido na seção 3.2.

Encerrada a apresentação do vídeo, começamos a questionar os discentes sobre as leituras realizadas. A primeira questão revela uma pequena esfera *E* em MCU, conforme mostra a figura abaixo (Figura 4.8). A rotação se dá no sentido horário, sendo fornecido o módulo da velocidade linear da esfera *E* pelo enunciado da questão.

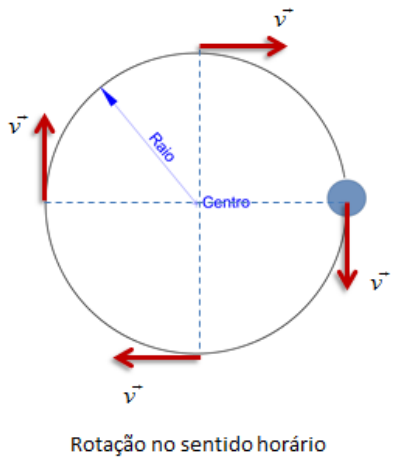


Figura 4.8 – A figura revela uma pequena esfera *E* em MCU, descrevendo uma trajetória circular de raio *R*.

Observe que o questionamento faz referência ao vetor velocidade, remetendo à discussão do conceito de aceleração centrípeta. Essa questão foi estruturada para uma discussão simultânea dos itens “a” e “b”. De fato, a questão causou grande confusão nas turmas. Mesmo após as leituras realizadas, o aluno apresentou, em geral, dificuldades na

consideração do caráter vetorial da velocidade. Por exemplo, o item "a" indagou se a velocidade seria constante. Os alunos respondem prontamente:

Comentário 51: "Obviamente que sim, o vetor $\vec{v}$ aparece em todo lugar, não muda ..."

Comentário 52: "Sim, o vetor $\vec{v}$ não muda, tem o mesmo tamanho ao longo da curva ..."

Comentário 53: "O movimento é 'uniforme', logo a velocidade é constante ..."

Observe que mesmo se referindo à velocidade como sendo um vetor matemático, a maioria dos alunos se esquece de avaliar as direções e sentidos envolvidos. No entanto, em duas turmas (TE1 e TE3) os alunos atentaram para a variação do vetor velocidade, quando indagados sobre a direção e sentido:

Professor: "A velocidade é um vetor, certo?"

Comentário 54: "Sim um vetor ..."

Professor: "Então, podemos concordar que o módulo (ou intensidade) é constante, certo? Mas o que acontece com a direção e sentido do vetor, ao longo da trajetória?"

Comentário 55: "Tá mudando ..."

Comentário 56: "Sim, está variando (...) O vetor varia então ..."

Na turma TE2, a característica vetorial não foi levantada pelos alunos, o que dificultou a resposta correta do item "a". No entanto, como muitos alunos não conseguiram entender nas leituras prévias a característica vetorial da velocidade, coube uma explanação breve, por parte do professor, sobre a mudança constante da direção e sentido do vetor velocidade. Foi dito que apesar do módulo ser constante (digamos, 3m/s), sua direção e sentido variam ao longo da trajetória. Essa variação de velocidade pode ser associada a uma aceleração, que muda continuamente a direção e o sentido do vetor $\vec{v}$. Chamamos essa aceleração de centrípeta ($\vec{a}_{cp}$). Nesse momento, recomenda-se a apresentação de exemplos (pode ser utilizado o próprio livro didático), no intuito de conduzir o aluno à associação de $\Delta\vec{v}$ com a aceleração centrípeta $\vec{a}_{cp}$. O professor pode justificar que a aceleração centrípeta aponta sempre para o centro, apresentando também a expressão que permite seu cálculo, a partir de *v* e *R* (ver Apêndice B).

O item “b” também revelou-se como um obstáculo aos estudantes. De início, eles não conseguem entender qual seria a aceleração associada ao MCU, uma vez que a velocidade angular se mantém constante. Contudo, depois da discussão vetorial da velocidade, os alunos parecem relacionar corretamente a aceleração à manutenção do movimento circular, alterando o sentido e direção da velocidade. Quando eles passam a aceitar a variação do vetor velocidade no item “a”, acabam aceitando a existência de uma aceleração relativa a essa variação $\Delta\vec{v}$. No entanto, não parece claro que o conceito tenha sido entendido por todos:

Comentário 57: “O movimento é uniforme, mas tem aceleração?”
Comentário 58: “Com essa aceleração o objeto não tem que aumentar a velocidade?”

Ao final da discussão, respostas mais alinhadas ao pensamento científico vigente são encontradas. Observe os comentários realizados por alguns alunos:

Comentário 59: “A aceleração está ligada a variação do vetor velocidade, mas não afeta a velocidade de giro, certo?”
Comentário 60: “A velocidade angular se mantém constante, a partícula não acelera ao longo da circunferência (...) Essa aceleração aí só mantém o trajeto circular ...”
Comentário 61: “No livro estava escrito isso, a aceleração centrípeta mantém o trajeto (...) Ela aponta para o centro ...”

Mais uma vez devemos lembrar que o professor pode comentar, conforme julgar necessário, sobre as características da aceleração centrípeta, justificando a expressão que permite seu cálculo, bem como a determinação do sentido apresentado. No apêndice B fazemos essa descrição em detalhes.

Já a questão 2 parece não ter oferecido muitos problemas. Ela apresenta uma partícula em trajetória circular de raio R = 0,20 m, que completa uma volta a cada 2 s. A maioria dos estudantes conseguiu indicar corretamente a posição do objeto após os intervalos de tempo indagados, iguais a 1 s, 1,5 s e 2 s. As posições $\varphi(t)$ foram respondidas corretamente, como sendo $-\pi$, $\frac{-3\pi}{2}$ e 2π.

Passando à questão 3, encontramos outras indagações a respeito do movimento circular de raio R = 0,2 m, com período T = 2 s. O item "a" pergunta justamente sobre o período T e a frequência f associada ao movimento. Alguns alunos revelam que não sabem como calcular a frequência f solicitada, embora o período seja respondido pela maioria dos alunos, quase que instantaneamente. Observe:

Comentário 62: "A esfera dá uma volta a cada 2 s. O período é de 2 s."
Comentário 63: "O período é 2 s. O tempo para dar uma volta ..."
Comentário 64: "O período tudo bem, mas a frequência, não sei como fazer?"

Contudo, nas três turmas alguns alunos conseguiram apontar corretamente a relação entre período e frequência, conforme podemos verificar abaixo:

Comentário 65: "A frequência é o inverso do período, basta fazer 1 sobre 2 ..."
Comentário 66: "A frequência é 0,5, pois o inverso do período é 1 dividido por 2."
Comentário 67: "A frequência é igual a 1/T. No caso, é igual a 1/2."

Ainda na questão 3, encontramos o item "b", que pergunta sobre o espaço percorrido em uma volta completa. O item indaga também sobre o valor da velocidade angular do movimento. Os primeiros comentários foram:

Comentário 68: "Uma volta é 360º, ele anda 360º, não é isso?"
Comentário 69: "Ele anda uma circunferência, 2πR ..."

No entanto, quando chamamos atenção para o nosso interesse na descrição angular do movimento, em termos das grandezas angulares definidas, os alunos começam a discutir sobre a revolução do corpo na trajetória circular, fazendo alusão ao tal ângulo de 360º. Contudo, quando mencionamos a definição de radianos, alguns alunos comentam que já estudaram essa relação:

Comentário 70: "O π vale 180º ..."
Comentário 71: "Sim, 2π vale a volta de 360º (...) Assim π vale 180º ..."
Comentário 72: "Então uma volta é 360º, ou 2π radianos ..."

Embora alguns alunos consigam comentar corretamente a relação decorrente da definição de 1 rad (ver Apêndice B), onde 2π equivale a 360º, existem alunos que apresentam desconforto em trabalhar matematicamente com essa equivalência. O professor pode discutir um pouco mais a relação $2\pi = 360º$, comentando a associação matemática entre o arco AB definido por dois pontos A e B sobre uma circunferência C, e o ângulo central θ subentendido por este arco. Essa discussão se encontra no apêndice B. Em nosso caso, realizamos uma breve discussão sobre a definição de radianos, realizando explicitamente algumas conversões (com os ângulos de 30º, 45º, 60º e 90º), a título de exemplo.

A segunda parte do item "b" foi corretamente respondida pelas turmas. A velocidade angular média pode ser entendida como a razão entre a variação da coordenada φ e a variação de tempo Δt. No caso, $\omega = \Delta\varphi / \Delta t$. Abaixo seguem algumas respostas apresentadas:

Comentário 73: "A velocidade angular é a variação do espaço angular pelo tempo. Então basta dividir 2π pelo tempo de 2s."
Comentário 74: "A velocidade angular é $\Delta\varphi / \Delta t = 2\pi / 2 = \pi$. Pode ser π a resposta?"

Passemos, então, ao item "c" do problema P2. Podemos observar que este item foi respondido pela maioria dos estudantes. Em uma das turmas (TE1), os alunos não conseguiram apresentar claramente a relação entre as grandezas angulares e lineares. Após essa dificuldade inicial, decorridos alguns minutos de discussão, a turma experimental conseguiu admitir a relação correta entre as grandezas angulares e lineares, envolvidas no problema analisado. Nas três turmas, os estudantes acabaram respondendo corretamente que a velocidade linear pode ser obtida através da multiplicação entre a velocidade angular ω e o raio R:

Comentário 75: "Basta multiplicar a velocidade angular e o raio."
Comentário 76: "A velocidade linear é a angular vezes o raio!"

Dito isso, passemos ao último item da questão 3. Ele indagava sobre a possibilidade de se obter a aceleração centrípeta do objeto em MCU. Os alunos responderam corretamente que a aceleração centrípeta poderia ser calculada através da expressão:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{R} \tag{4.3}$$

conforme descrevemos no Apêndice B. Observe algumas dessas respostas:

Comentário 77: "Só usar aquela fórmula do v^2 sobre R."

Comentário 78: "A aceleração centrípeta é v^2 sobre o raio. Já calculamos a velocidade e temos o raio."

Já na questão 4, encontramos dificuldades pontuais. Ela apresenta dois carros em duas pistas P_1 e P_2, com diferentes raios. O item "a" pergunta qual delas possui o maior raio, enquanto o item "b" questiona sobre a aceleração centrípeta. Nas três turmas alguns alunos atentam de imediato aos procedimentos necessários para responder a questão:

Comentário 79: "A pista de cima tem maior raio. E pela fórmula vai ter menor aceleração centrípeta ..."

Comentário 80: "A de cima é maior, e a aceleração centrípeta vai ser menor. Só olhar a expressão ..."

Comentário 81: "Temos que $a_{cp}= v^2/R$. E o raio da primeira é maior ..."

Apesar disso, muitos alunos apresentaram dificuldades em admitir a pista P_1 como tendo maior raio. A relação inversamente proporcional entre a_{cp} e raio R também não foi de fácil visualização. Nesse momento, os estudantes tentaram explicar aos colegas suas respostas. Após alguns minutos, parece que os grupos chegaram a um consenso de que a pista P_1 possuía maior raio R, e que a aceleração centrípeta sobre o carro C_1 era menor, quando comparada ao carro C_2, na pista P_2. Ao remeter os estudantes à ideia de completar as circunferências relativas a cada uma das curvas, e, à utilização da expressão 4.3, podemos observar maior aceitação das respostas defendidas pelos primeiros colegas, que apontaram corretamente os procedimentos de resolução.

Para finalizar, passamos à discussão de mais duas questões. Uma delas questiona sobre a rotação de um disco em torno de um eixo vertical apresentado. A outra, sobre a transmissão de um movimento circular uniforme. Na primeira indagação, contida na questão 5, um motor *M* mantém um disco *D* em rotação uniforme. Dois pontos A e B são marcados no disco, sendo A um ponto mais interno. O questionamento é em cima das velocidades

apresentadas por A e B. As velocidades lineares seriam iguais? E as velocidades angulares? Os estudantes discutiram durante algum tempo a questão, solicitando detalhes sobre o eixo de rotação evolvido. Após algumas argumentações acalorada dos grupos, houve consenso sobre a velocidade angular:

Comentário 82: "A velocidade angular é a mesma (...). Eles completam uma volta no mesmo tempo."
Comentário 83: "A velocidade angular é igual, podemos afirmar isso ..."

Em relação à velocidade linear, após algum tempo de discussão, os alunos acabam mencionando a relação correta entre v e ω. Nas três turmas a questão foi respondida em alguns minutos pelos grupos, após discussão conjunta. Observe que a velocidade angular ω deve ser a mesma, enquanto a linear v vai depender do raio:

Comentário 84: "A velocidade linear depende da distância do ponto ... tem haver com o raio ..."
Comentário 85: "Ele anda mais quando está mais longe né?"

Após a discussão entre os alunos, o professor regente comentou brevemente sobre a relação existente entre velocidade linear e angular. O fato do espaço percorrido pelo ponto externo ser maior do que o percorrido pelo ponto interno, considerando o mesmo tempo, também foi destacado. Basicamente, os pontos descrevem ângulos de 2π em intervalos de tempo T, ou seja, apresentam mesma velocidade angular ω. Em relação à velocidade linear, basta observar que $\Delta s_B > \Delta s_A$, o que leva a $v_B > v_A$, pois o tempo envolvido nas variações $s_B - s_{B0}$ e $s_A - s_{A0}$ são idênticos, $\Delta t_B = \Delta t_A$.

Na última pergunta, questão 6, duas transmissões de MCU são apresentadas. Uma transmissão se dá pelo contato entre duas polias, e, a outra, pela correia que liga as duas polias. É proposto aos estudantes que relacionem as velocidades lineares e angulares dos pontos externos dos discos destacados. De fato, a questão pareceu bem confusa para os alunos. Nas três turmas, a discussão consumiu consideráveis minutos. Os alunos discutiram livremente sem chegar a um consenso.

Comentário 86: "Acho que a velocidade do disco maior é menor, deve ter relação com o tamanho ..."
Comentário 87: "A rotação não é a mesma? Acho que é a mesma velocidade angular também ..."

Após uma breve intervenção, por parte do professor, os alunos parecem melhorar suas respostas. Por exemplo, o docente solicitou que os alunos se concentrassem na correia que ligava as polias. Prontamente os alunos parecem entender que os pontos da correia devem apresentar velocidade constante *v*, pois ela não arrebenta e nem se deforma. Isso permite concluir a relação solicitada entre as velocidades lineares de A e B. Observe o comentário 88 abaixo, onde a igualdade entre as velocidades lineares é considerada. O comentário 89 revela uma indagação sobre a velocidade angular, e, o comentário 90, propõe um procedimento que teria sido apresentado no livro didático:

Comentário 88: "Então a velocidade linear de A é igual a de B ..."
Comentário 89: "Mas e a angular, no caso da correia?"
Comentário 90: "Temos que igualar, $v_A = v_B$, isso estava no livro (...) Daí para frente não sei o que tem que fazer ..."

De fato, em todas as turmas, a relação entre as velocidades angulares não foi fácil. O professor teve que intervir e remeter os estudantes ao procedimento de comparação, considerando o ponto de partida aparentemente entendido pelos alunos: a igualdade entre as velocidades lineares dos pontos externos. Observe que, admitindo:

$$v_A = v_B \tag{4.4}$$

podemos utilizar a relação $v=\omega R$, reescrevendo (15) na forma:

$$\omega_A R_A = \omega_B R_B$$

que nos conduz à relação:

$$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{R_B}{R_A}, \tag{4.5}$$

que associa a razão entre os raios das polias à razão entre suas velocidades angulares. Por exemplo, se o raio R_A for o dobro do raio R_B, segue que:

$$\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{R_B}{R_A} \Rightarrow \frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{R_B}{2R_B} \Rightarrow \frac{\omega_A}{\omega_B} = 0,5$$

ou seja, a velocidade angular relativa a A é a metade da velocidade angular B, ou ainda, a velocidade angular de B é o dobro da velocidade angular A.

A ideia de que no contato ocorre situação semelhante, mudando apenas o sentido de rotação foi motivada pelo professor. A justificativa se concentrou no fato de que a velocidade imprimida ao ponto externo de um disco D_1 deve ser a mesma transmitida ao ponto externo do disco D_2, em contato com D_1, uma vez que não existe deslizamento entre as superfícies desses discos. Após as intervenções do professor, os grupos parecem chegar a um consenso:

Comentário 91: "Então é a quase a mesma coisa, só muda o sentido da rotação ..."
Comentário 92: "A velocidade linear é igual nos dois casos, mas a angular vai depender dos raios, é isso?"

O encontro terminou com a apresentação do Problema P2. Nesse problema, as posições angulares de um ponto fixo Q na roda de uma bicicleta são apresentadas em função do tempo. O raio admitido é de 28 cm, enquanto o período associado é de 0,35 s. Uma tabela no enunciado do problema revela os pares do tipo (φ, t) para o ponto Q. O problema é proposto para ser entregue na aula seguinte.

4.1.5 O quinto encontro

O quinto encontro é destinado à discussão do Problema P2 (Figura 4.9). Novamente, iniciamos com o recolhimento das soluções propostas pelos alunos, convidando-os para uma discussão conjunta do problema. Vamos apresentar os detalhes do Problema P2, juntamente com os comentários e resoluções apresentadas pelos estudantes.

Problema - P2

Considere o movimento da roda dianteira da bicicleta, supondo um MCU de raio R=28 cm e período de 0,35 s.

t (s)	φ (rad)
0,00	0,00
0,05	-0,90
0,10	-1,80
0,15	-2,69
0,20	-3,59
0,25	-4,49
0,30	-5,39
0,35	-6,28

a) Esboce o gráfico de φ x t.

b) Obtenha a velocidade angular média da roda no percurso.

c) Esboce o gráfico ω x t.

d) Existe aceleração, no MCU?

Figura 4.9 – Problema P2 proposto aos alunos das turmas experimentais.

Em síntese, o problema apresenta um conjunto de quatro itens. No item "a", solicita-se a construção do gráfico de φ x t. Já no item "b", propõe-se o cálculo da velocidade angular média da roda dianteira ω_m. O item "c" propõe a construção do gráfico ω x t, e, finalmente, o item "d", apresenta um questionamento sobre a aceleração no MCU (Figura 4.9).

Em relação ao item "a" do Problema P2, os estudantes revelaram certo desconforto em trabalhar com a tabela apresentada. Mesmo assim, o gráfico φ x t do espaço angular (φ) em função do tempo (t) foi apresentado corretamente pela maioria dos grupos. Em duas turmas experimentais (TE1 e TE3), 4 dos 5 grupos (80%) responderam corretamente ao item. Na outra turma (TE2) o índice de acertos foi de 100%. O percentual global de acertos ficou em 87%. A figura seguinte revela o gráfico apresentado por dois grupos das turmas experimentais, que atendem à indagação do item (Figura 4.10).

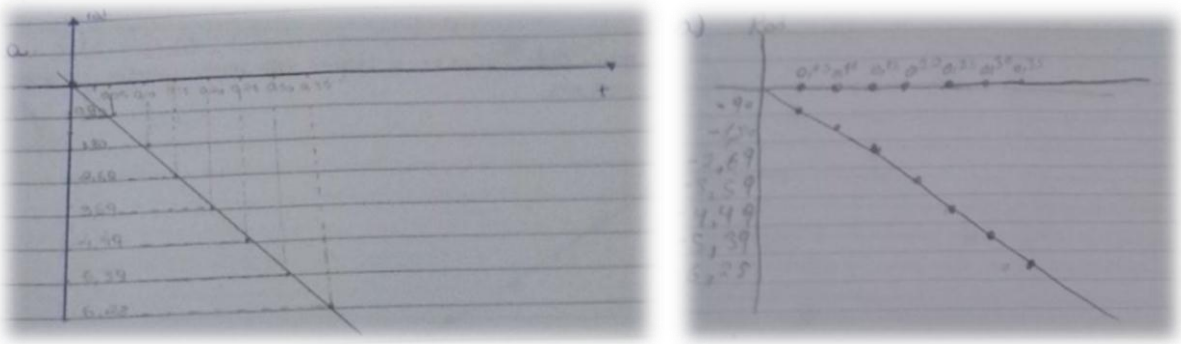


Figura 4.10 – Gráficos φ x t apresentados por dois grupos das turmas experimentais.

A figura seguinte indica o gráfico esperado em resposta ao item "a" discutido (Figura 4.11). Observe que a relação funcional entre φ e t foi indicada corretamente nos gráficos anteriores apresentados pelos alunos.

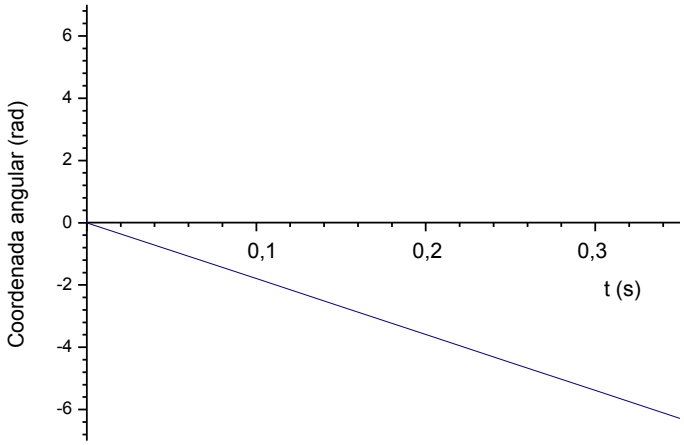


Figura 4.11 – Gráfico φ x t solicitado no item "a" do Problema P2. A coordenada φ é apresentada em radianos.

Já o item "b" do Problema P2, perguntou aos discentes sobre o valor da velocidade angular no percurso. Todos os grupos (100%) obtiveram corretamente o valor de aproximadamente 18 rad/s. Observe algumas respostas:

Comentário 93: "Ele dá uma volta em 0,35 s. Temos que dividir o 6,24 pelo 0,35 ..."

Comentário 94: "Ele anda 2π no período de 0,35 s, dividindo dá 17,92 ..."

Comentário 95: "Esse 2π equivale ao 360º, nessas unidades aí dá aproximadamente 18 ..."

Passando ao item "c", encontramos a solicitação de um esboço do gráfico ω x t. A relação funcional entre ω e t é indicada corretamente pela maioria dos estudantes (87%) conforme ilustra a figura 4.12. Na turma TAGPE 2A, o percentual de acertos foi de 100%. Nas turmas TE2 e TE3, o percentual de acertos dos grupos foi 4 em 5 (80%). Observe que a roda está em MCU, o que nos leva a uma velocidade angular ω constante. Dois gráficos apresentados pelos alunos são indicados na figura seguinte (Figura 4.12).

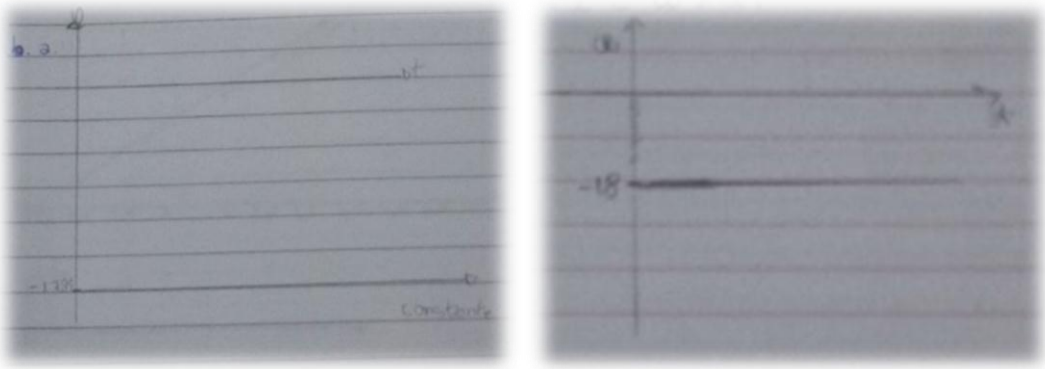


Figura 4.12 – Gráfico ω x t solicitado no item "c" do problema P2, apresentado por dois grupos da turma experimental.

O gráfico esperado é revelado na figura abaixo (Figura 4.13). Observe que os esboços anteriores apresentam corretamente o comportamento do gráfico ω x t solicitado.

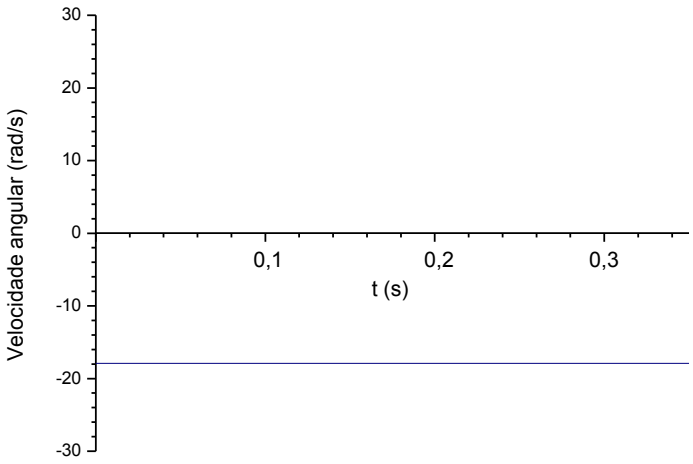


Figura 4.13 – Gráfico ω x t solicitado no item "a" do problema P2.

O Problema P2 continua no item "d". Os estudantes são questionados sobre a existência de aceleração. Observamos que 73% dos grupos acertam (11 dos 15 grupos) o item, considerando todas as três turmas experimentais. O resultado da turma TE3 foi um pouco pior, pois apenas 3 dos 5 grupos (60%) responderam corretamente o item. Nas turmas TE1 e TE2, os acertos foram de 4 em 5 (80%). Observe algumas respostas corretas:

Comentário 96: "Não possui aceleração angular, mas tem aquqela aceleração que mantém a trajetória circular (...). Tem aceleração centrípeta."
Comentário 97: "A velocidade angular se mantém constante, a partícula não acelera ao longo da circunferência (...) Já vimos que isso é a aceleração centrípeta ..."
Comentário 98: "Acho que entendi mais ou menos (...). A velocidade de rotação não aumenta, então não tem aquela aceleração de rotação. Mas o vetor velocidade está mudando o tempo todo ... isso tem haver com a aceleração centrípeta."

Vale destacar que os estudantes mencionaram a aceleração centrípeta conforme havíamos discutido no encontro anterior. De fato, observamos um esforço para compreender a ideia de associar à variação do vetor velocidade a uma aceleração, ainda que o módulo dessa velocidade permaneça constante. Esse item levou ao menor índice de acertos de todas

as respostas apresentadas nos Problemas P1 e P2, chegando a 60% em uma das turmas experimentais (TE3).

A discussão desse item encerra o quinto encontro. Observe que a sequência foi estruturada de forma a permitir uma discussão das respostas apresentadas pelos grupos. Ao final da sequência, os estudantes podem conferir os pontos mais críticos, os erros mais comuns e os conceitos mais dominados pela turma. Muito provavelmente, se uma oportunidade de refazer os problemas fosse conferida aos estudantes, alguns erros cometidos poderiam ser corrigidos. A discussão conjunta dos conceitos de MRU e MCU ao longo da sequência permite aos alunos reavaliarem suas ideias iniciais sobre os problemas investigados.

4.1.6 O sexto encontro

Finalmente, o último encontro é destinado à aplicação do teste de conhecimentos. Inicialmente, passamos aos alunos as recomendações gerais que deveriam ser seguidas durante a realização do teste. O tempo de duração foi informado, juntamente com os cuidados necessários para a marcação do cartão-resposta. Os alunos responderam individualmente ao teste, sem utilização de dispositivos eletrônicos ou alguma outra fonte de consulta. Na turma de controle (TC), o procedimento de aplicação para o teste de conhecimentos foi idêntico.

O teste teve duração máxima de dois tempos, contendo 50 minutos cada. O tempo médio observado para a resolução do teste nas quatro turmas foi praticamente o mesmo. Após o primeiro tempo, alguns alunos começaram a entregar os testes. Em todas as turmas, mais de 70% dos alunos continuaram na sala até o término da aplicação, ou seja, utilizaram o tempo total de 100 minutos (Figura 4.14).

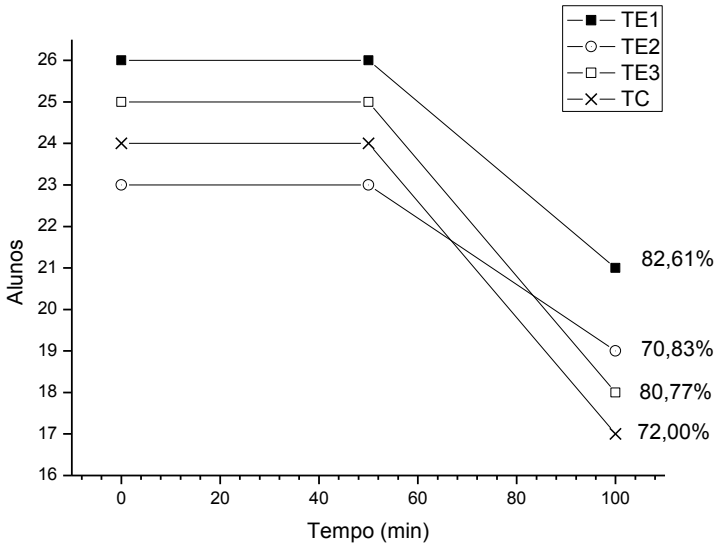


Figura 4.14 – Número de alunos realizando o teste no início do primeiro tempo, no início do segundo tempo, e, ao término do segundo tempo.

4.2 SOBRE AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NA TURMA DE CONTROLE

Na turma de controle todas as atividades se concentraram da exposição de conteúdos, sem tentativa de contextualizar, necessariamente, as questões apresentadas. As questões trabalhadas com aS turmas de controle foram as mesmas trabalhadas nas turmas experimentais, conforme podemos ver no Apêndice C.

Ao longo dos encontros a dinâmica da aula foi praticamente a mesma: a turma enfileirada e em silêncio nas carteiras ouvia o professor fazer a "exposição do conteúdo", realizando em um momento ou outro, perguntas sobre o tema discutido. Percebemos que neste tipo de formato os alunos parecem mais intimidados, revelando um comportamento mais contido na discussão que é proposta, considerando essa perspectiva mais tradicional.

O trabalho buscou, inicialmente, investigar a evolução da turma experimental, utilizando a turma controle em seu formato clássico: apenas o fator testado – ou seja, a videoanálise em contextos colaborativos – não é utilizado na turma controle. Não descrevemos os encontros pelo fato de não desejarmos avaliar a evolução da turma controle. Ela é utilizada para apontar possíveis tendências em relação ao teste de conhecimentos, aplicado nela e nas turmas experimentais. Contudo, uma ampliação considerando a

metodologia estendida de forma integral à turma controle pode ser considerada em trabalhos futuros. O fato do trabalho não estender integralmente as atividades à turma de controle insere uma significativa limitação no trabalho, pois compromete a avaliação global entre as turmas, permitindo apenas as ponderações realizadas de forma complementar em relação ao teste de conhecimentos.

O último encontro com a turma, dentro do contexto da pesquisa, foi durante a aplicação do teste de conhecimentos. Passemos, na sequência, à discussão dos resultados da pesquisa.

4.3 SOBRE AS RESPOSTAS APRESENTADAS AOS PROBLEMAS P1 E P2

A análise das respostas apresentadas aos problemas P1 e P2 foi realizada segundo um critério simples de classificação. A resposta fornecida pelo grupo foi considerada correta somente quando atendia completamente ao questionamento proposto. Os gráficos seguintes revelam o número N de grupos que responderam corretamente aos itens a, b, c e d dos problemas P1 e P2, em cada uma das turmas experimentais (Figuras 4.15 e 4.16).

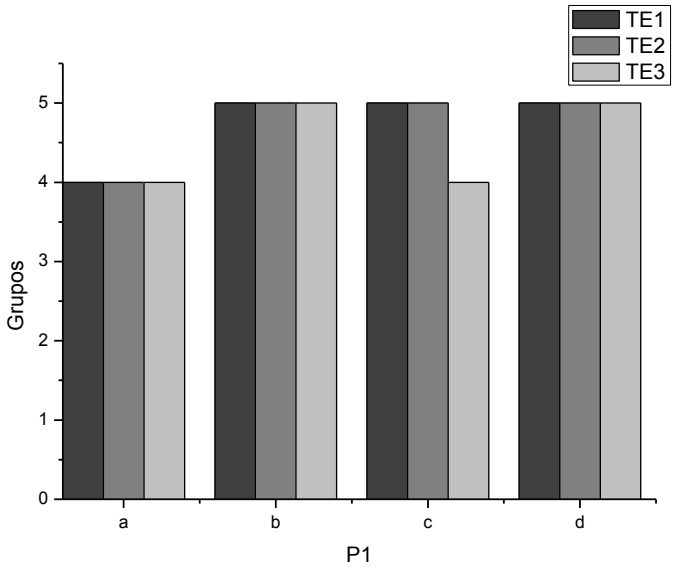


Figura 4.15 – Grupos que responderam adequadamente ao problema P1. O gráfico revela a distribuição de acertos por turma, em cada um dos quatro itens: a, b, c e d. Cada turma apresenta 5 grupos.

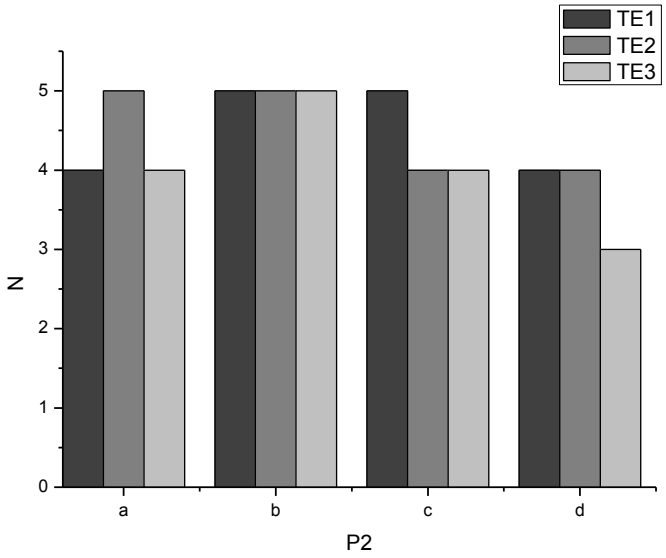


Figura 4.16 – Grupos que responderam adequadamente ao problema P2. O gráfico revela a distribuição de acertos por turma, em cada um dos quatro itens: a, b, c e d. Cada turma apresenta 5 grupos.

Observamos que as principais dificuldades apresentadas pelos grupos podem ser relacionadas à análise gráfica, e, ao conceito de aceleração centrípeta. As questões que envolviam explicitamente a construção de gráficos revelaram percentuais de acertos menores. Por exemplo, percebemos que nos itens “a” e “c” do problema P1, os percentuais de acertos são iguais a 80% e 93%, respectivamente, quando consideramos as três turmas experimentais. Esses itens envolvem justamente a construção de gráficos. Já considerando os itens “b” e “d”, que não envolvem gráficos, o percentual de acertos é 100%. O mesmo pode ser identificado nos itens “a” e “c” do problema P2. Os percentuais de acerto são de 87% nos dois casos. Já no item “b” do mesmo problema, que não envolve análise gráfica, temos um percentual de acertos igual e 100%. Contudo, observamos no item “d” um percentual de acertos igual a 73%. Nas turmas TE1 e TE2, esse percentual ficou em 80%, enquanto na turma TE3, o valor foi de 60%.

Em relação ao último item do problema P2 (item “d”), observamos grande dificuldade em admitir uma aceleração relativa à variação do vetor velocidade. O pior percentual apresentado por uma turma, em todas as questões dos problemas P1 e P2, foi exatamente nesse item. Observamos respostas que seguiram (2 de 5 na TE1, 1 de 5 nas turmas TE2 e TE3) a tendência de não reconhecer explicitamente a aceleração centrípeta no MCU, mesmo após toda a discussão realizada no quarto encontro. Contudo, a relação da

aceleração centrípeta com a variação do vetor velocidade não é intuitiva. A partir das leituras realizadas e discussões de sala de aula, 73% dos grupos (11 de 15) responderam corretamente ao item, embora uma investigação mais profunda dessa questão possa revelar dificuldades de compreensão conceitual. Esse indício é percebido em algumas respostas apresentadas ao longo dos encontros. Observe novamente as seguintes frases, registradas ao longo do quarto encontro:

Comentário 57: "O movimento é uniforme, mas tem aceleração?"
Comentário 58: "Com essa aceleração o objeto não tem que aumentar a velocidade?"

Algumas delas sinalizam o aceite da aceleração centrípeta, mas aparentam, ainda, certa hesitação. Observe os comentários 59 e 61 repetidos abaixo:

Comentário 59: "A aceleração está ligada a variação do vetor velocidade, mas não afeta a velocidade de giro, certo?"
Comentário 61: "No livro estava escrito isso, a aceleração centrípeta mantém o trajeto (...) Ela aponta para o centro ..."

Vale destacar que ideias semelhantes foram apresentadas na discussão conjunta dos problemas. De fato, o conceito de aceleração centrípeta foi apresentado corretamente pela maioria dos grupos, embora algumas dificuldades tenham sido observadas nas soluções apresentadas, pois 27% dos grupos (4 de 15) erraram o item "d" do Problema P2. Contudo, esse resultado está associado às respostas entregues pelos alunos antes da discussão conjunta. Espera-se que alguns desses equívocos tenham sido superados ao longo do quinto encontro da sequência, onde a discussão do problema P2 foi realizada em maiores detalhes.

Observe que a discussão realizada após a entrega das respostas, por parte dos estudantes, permite uma reconsideração das ideias apresentadas ao professor. Os grupos entram em contato, ao longo dos debates, com outros pontos de vista. A discussão, envolvendo alunos e professores, pode ajudar na superação de possíveis dificuldades encontradas pelos discentes no enfrentamento autônomo dos problemas propostos.

4.3 SOBRE O DESEMPENHO NO TESTE DE CONHECIMENTOS

O teste de conhecimentos foi aplicado às turmas experimentais e a turma de controle. As quatro turmas onde o teste foi aplicado passaram pelo primeiro ano do curso, onde a disciplina “Física” foi ministrada, com carga horária de 102 horas. A ementa para esse período propõe a discussão de tópicos contendo mecânica: (1) Movimentos, Variações e Conservações; (2) Princípio da Inércia; (3) O Princípio Fundamental da Dinâmica; (4) Princípio da Ação e Reação; (5) Aplicações das Leis de Newton; (6) Hidrostática; (7) Quantidade de Movimento e Impulso; (8) Energia e Trabalho; (9) Máquinas Simples; (10) Teoria do Big Bang; (11) As leis de Kepler do movimento planetário; (12) A Lei da gravitação universal.

Embora a ementa não contenha explicitamente a cinemática, uma discussão inicial envolvendo cinemática linear e angular costuma ser realizada pelos professores, em todos os cursos do *campus*, buscando um debate mais qualificado em dinâmica e aplicações decorrentes. Contudo, uma discussão envolvendo os objetivos dos cursos e a sequência curricular considerada deve se manter aberta, ajudando a evitar problemas como o enfrentado atualmente pela equipe pedagógica. Se conceitos cinemáticos são necessários em disciplinas técnicas no segundo e terceiros anos do curso (do total de três anos), talvez fosse o caso de considera-los explicitamente na ementa do primeiro ano, para evitar equívocos sequenciais.

De início, podemos observar que as quatro turmas participantes – três experimentais e uma de controle – estão sujeitas à mesma ementa de física nos três anos de curso. Vamos considerar uma comparação entre as turmas experimentais, onde aplicamos a sequência didática, com a turma de controle, onde aulas expositivas foram ministradas, discutindo os apontamentos extraídos dessa comparação.

A pesquisa envolveu um total de 98 alunos, sendo 73 referentes às turmas experimentais e 25 relativos à turma de controle. A figura seguinte revela a distribuição por turma desses 98 estudantes. Observe que o número total de participantes por turma é semelhante (Figura 4.17).

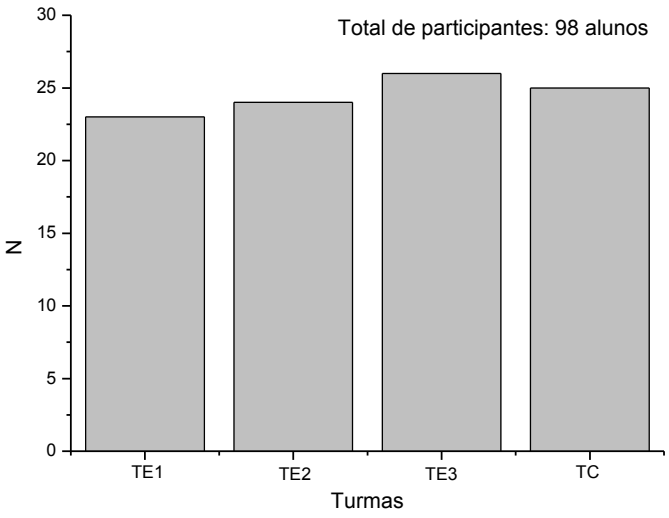


Figura 4.17 – Gráficos de barras indicando o número total de alunos participantes, bem como a distribuição por turma desses alunos.

Os histogramas das notas obtidas pelos alunos nas quatro turmas participantes são apresentados nas figuras seguintes (Figuras 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21). As notas observadas para as turmas experimentais apresentam um deslocamento para a direita, em relação à turma de controle. Isso indica que as notas maiores se concentram nas turmas experimentais (Figuras 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21).

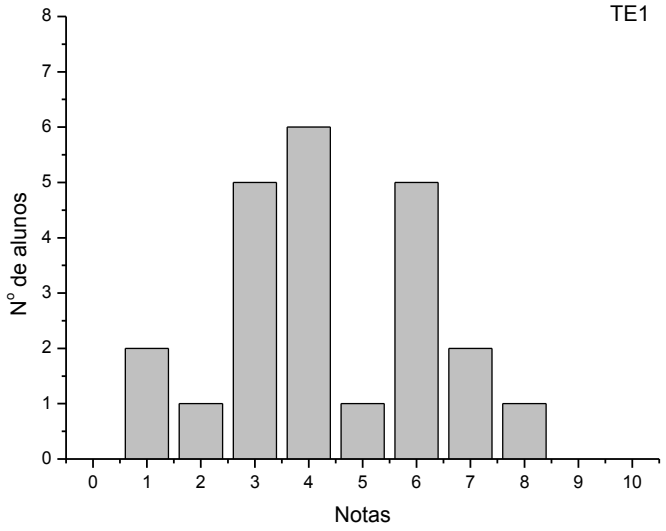


Figura 4.18 – Distribuição de frequências das notas relativas aos alunos da turma experimental TE1.

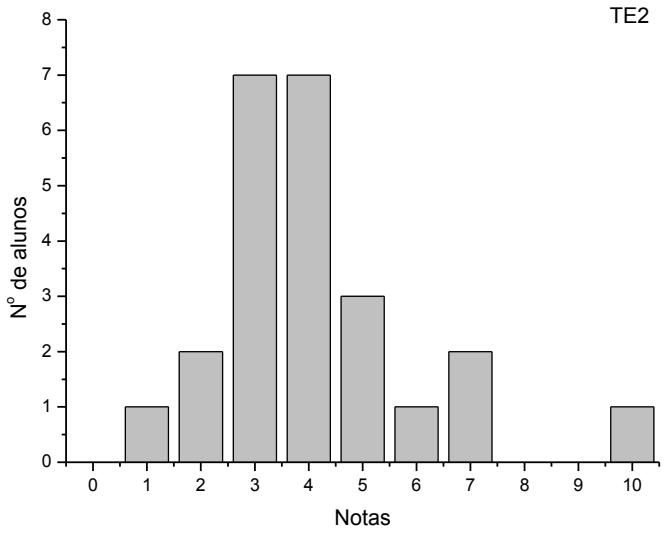


Figura 4.19 – Distribuição de frequências das notas relativas aos alunos da turma experimental TE2.

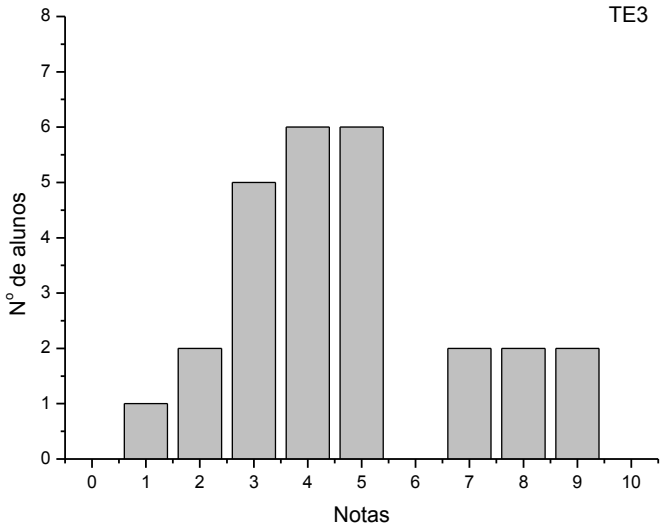


Figura 4.20 – Distribuição de frequências das notas relativas aos alunos da turma experimental TE3.

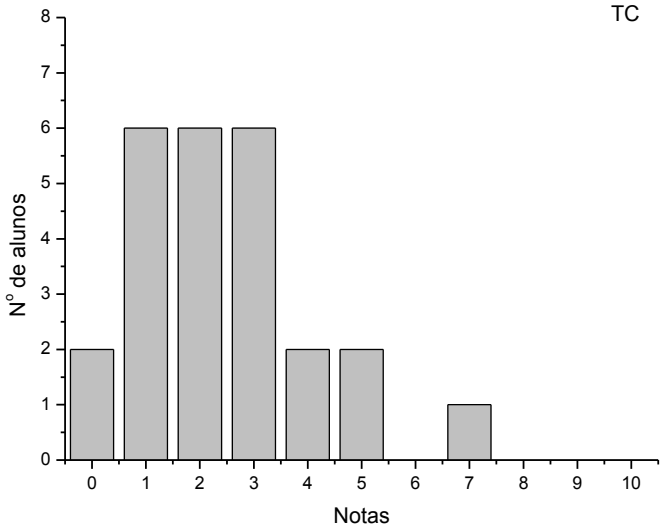


Figura 4.21 – Distribuição de frequências das notas relativas aos alunos da turma de controle TC.

Observe que o resultado no teste de conhecimentos revela que as turmas experimentais TE1, TE2 e TE3 obtiveram médias de 4,3 $\pm$ 0,4, 4,1 $\pm$ 0,4 e 4,7 $\pm$ 0,4,

respectivamente[2]. Já a turma de controle (TC), obteve média igual a 2,4 ± 0,3. O gráfico seguinte resume esses resultados. A linha pontilhada revela a média obtida entre as turmas experimentais, igual a 4,4. Observe que o desvio absoluto, em relação à turma de controle, é $\delta = 2{,}0$. (Figura 4.22).

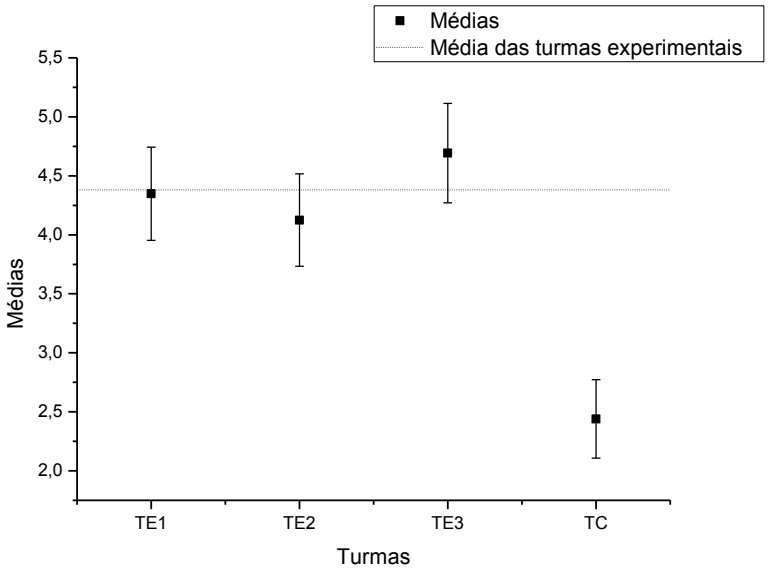


Figura 4.22 – Médias das turmas experimentais (TE1, TE2 e TE2) e da turma de controle (TC) no teste de conhecimentos. A curva pontilhada revela a média das turmas experimentais.

Considerando as características delineadas acima, podemos observar que as médias no teste tradicional das turmas experimentais são maiores que a média apresentada pela turma de controle. A amostra estudada e resultados obtidos permitem apontar, em um primeiro momento, que a sequência didática aplicada pode funcionar como mediadora da relação ensino-aprendizagem. Na intervenção considerada, que utiliza a apresentação da videoanálise para discussão em contextos colaborativos, os ganhos observados na média do

---

[2] Observe que dada uma média < x > na forma $\langle x \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}$, o desvio padrão da média pode ser avaliado pela expressão: $\sigma_{\langle x \rangle} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}}$, onde $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \left(x_i - \langle x \rangle \right)^2}{N-1}}$ (VUOLO, 1996; BARLOW, 1997; TAYLOR, 1997).

teste de conhecimentos são substancias, quando comparamos o grupo de controle com o experimental.

Contudo, ponderações podem ser consideradas sobre os dados apresentados. Primeiramente, existe alguma diferença no rendimento médio das turmas? Para avaliar essa questão, voltemos às médias de ingresso. No exame de seleção para os dois cursos, Técnico em Agropecuária (TA) e Técnico em Meio ambiente (TMA), as médias observadas são de 26,4 e 25,7, em uma pontuação total de 60 pontos. Isso equivale a um percentual de acerto igual a 44% e 43%, respectivamente. Podemos observar que eles são semelhantes. De fato, realizando um teste *t* de Student[3] para os percentuais indicados (MORETTIN; BUSSAB, 2010; FONSECA; MARTINS, 2010), verificamos que não existe diferença significativa entre eles, considerando um nível de confiança de 99%. Observe que, considerando as amostras N_1 e N_2, denotando os percentuais de acertos por $\overline{x}_1$ e $\overline{x}_2$, juntamente com seus desvios-padrão s_1 e s_2, podemos obter o valor de *t* a partir da equação:

$$t = \frac{\overline{x}_1 - \overline{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}}, \tag{4.6}$$

que nos fornece t = 1,85 (Tabela 4.1). O valor crítico para um nível de confiança de 99% (bicaudal) é de 2,62. Isso revela que as médias comparadas não apresentam diferenças significativas entre si (MORETTIN; BUSSAB, 2010; FONSECA; MARTINS, 2010). Em outras palavras, não podemos apontar disparidade entre as notas de ingresso dos aprovados para o curso de Técnico em Agropecuária (TA) e as notas de ingresso dos aprovados para o curso de Técnico em Meio Ambiente (TMA).

[3] O teste t-Student (ou teste t) é um teste de hipótese utilizado para realizar inferências estatísticas a partir de uma ou mais amostras *n*, escolhidas aleatoriamente, com seus escores seguindo uma distribuição estatística normal. O teste verifica se uma hipótese H_0, denotada por hipótese nula, pode ser rejeitada ou não. Inicialmente, calcula-se o valor de *t*, verificando se os valores críticos (geralmente dispostos em forma de tabela) permitem rejeitar ou não H_0. O teste t avalia o desvio que uma amostra, com pequeno número de sujeitos, apresenta em relação à distribuição normal (achatamento). Os valores críticos de t permitem rejeitar ou não H_0 (MORETTIN; BUSSAB, 2010; FONSECA; MARTINS, 2010).

Tabela 4.1 – Médias de ingresso para os cursos técnicos integrados ao ensino médio de Agropecuária (TA) e Meio ambiente (TMA), juntamente com o desvio-padrão amostral e o número de estudantes aprovados *N*.

Amostras	$\overline{x}$	s	N
TA	26,4	2,8	52
TMA	25,7	3,2	52

Outro aspecto que podemos considerar está relacionado à nota no teste de conhecimentos. Ela é muito diferente da média usualmente encontrada nas avaliações de física das turmas? Para avaliar essa questão, realizamos um teste *t* de Student com os dados (MORETTIN; BUSSAB, 2010; FONSECA; MARTINS, 2010). Se admitirmos que as médias obtidas pelas turmas na avaliação anterior à intervenção realizada é a média esperada nas avaliações de física das turmas, podemos verificar a compatibilidade entre o percentual de acertos do teste e as médias esperadas.

Assim, admitindo a hipótese nula H_0 como sendo a igualdade entre as médias obtidas no teste de conhecimentos $\overline{x}$ e as médias esperadas μ, podemos calcular *t* a partir da expressão:

$$t = \frac{\overline{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{N}}}, \tag{4.7}$$

que fornece o valor de *t* para cada uma das turmas. O procedimento não permite rejeitar a hipótese nula H_0 para as turmas experimentais TE1, TE2 e TE3. Contudo, a mesma hipótese é rejeitada para a turma de controle (Tabela 4.2). Isso insere uma ponderação nos resultados obtidos. Dito de outra forma, não obtemos diferenças significativas entre as médias esperadas para as turmas experimentais (TE1, TE2 e TE3) e o número de acertos no teste de conhecimentos. Contudo, a média obtida pela turma de controle (TC) no teste de conhecimentos encontra-se bem abaixo da média esperada, considerando avaliações semelhantes para esses estudantes.

Tabela 4.2 - Teste *t* de Student para verificação da possível diferença entre a nota do teste de conhecimentos e a média de física esperada, para cada uma das turmas participantes.

Amostras	$\overline{x}$	s	N	μ	t	N.C.	$t_{crítico}$	H_0
TE1	4,3	1,9	23	4,6	-0,75724	99%	2,508	NÃO REJEITADA
TE2	4,1	1,9	24	5,0	-2,32057	99%	2,500	NÃO REJEITADA
TE3	4,7	2,1	26	4,0	1,699673	99%	2,485	NÃO REJEITADA
TC	2,4	2,1	26	5,0	-6,31307	99%	2,485	REJEITADA

4.4 SOBRE AS DIFICULDADES OBSERVADAS NO TESTE DE CONHECIMENTOS

Em relação às respostas apresentadas aos problemas P1 e P2, pudemos observar que a principal dificuldade está associada em relacionar a aceleração centrípeta com a variação da direção do vetor velocidade. Essa relação não parece intuitiva para os discentes. Isso pode ser observado não só nos comentários 57, 58, 59 e 61, como também nos percentuais de erro (27%) discutidos nas Seções 4.1 e 4.2.

Outra dificuldade percebida pode ser relacionada ao esboço e interpretação de gráficos. De fato, os alunos revelam desconforto na análise gráfica demandada pela sequência didática. Ao longo dos encontros, eles parecem melhorar algumas habilidades na interpretação dos diferentes gráficos investigados. Contudo, a sequência estruturada não permite apontar quantitativamente essa suposta melhoria. No entanto, devemos reconhecer que as médias obtidas no teste de conhecimentos apontam um melhor rendimento da turma experimental em relação à turma de controle, quando questionada sobre tópicos de MRU e MCU, incluindo a análise gráfica.

Observe que a sequência utiliza a apresentação da videoanálise como componente motivador, buscando uma discussão mais fenomenológica, em contextos colaborativos. Nosso interesse é promover um ambiente de reflexão científica dos tópicos propostos: o MRU e o MCU. A utilização de um teste de conhecimentos se deu de forma complementar, pois permite um diálogo com os pares e também apontamentos de natureza mais quantitativa.

Vale destacar que o teste de conhecimentos funcionou, na perspectiva delineada, como uma ferramenta de avaliação externa, pois suas questões foram elaboradas pensando em outras situações investigativas. Elas foram aplicadas identicamente nas turmas experimentais e de controle, independentemente do nível de dificuldade apresentado. Nossa

análise se concentrou no resultado geral obtido no teste. Não estamos interessados em entender os erros específicos apresentados pelos alunos nesse teste, mas sim, comparar o rendimento médio dos alunos experimentais com o rendimento médio da turma de controle.

O objetivo dessa análise é simples. As dificuldades apresentadas em um teste de conhecimentos são oriundas de uma análise mais pontual, diferentemente daquelas mapeadas ao longo de um conjunto de atividades. A sequência didática buscou uma mediação mais argumentativa da relação ensino-aprendizagem, sendo natural considerar um peso avaliativo maior no conjunto de encontros do que no teste de conhecimentos, realizado em 100 minutos.

O gráfico seguinte revela a distribuição de acertos por item do teste, para as TE1, TE2, TE3 e TC (Figura 4.23). Os itens 4 e 5 apresentaram o menor percentual de acertos em todas as turmas investigadas: 9% e 11%, respectivamente. Por outro lado, o item 7 apresentou o maior percentual de acertos (71%), seguido pelos itens 3 (58%), e os itens 6 e 8 (ambos com 52%) (Figura 4.24). As questões são apresentadas no Apêndice D.

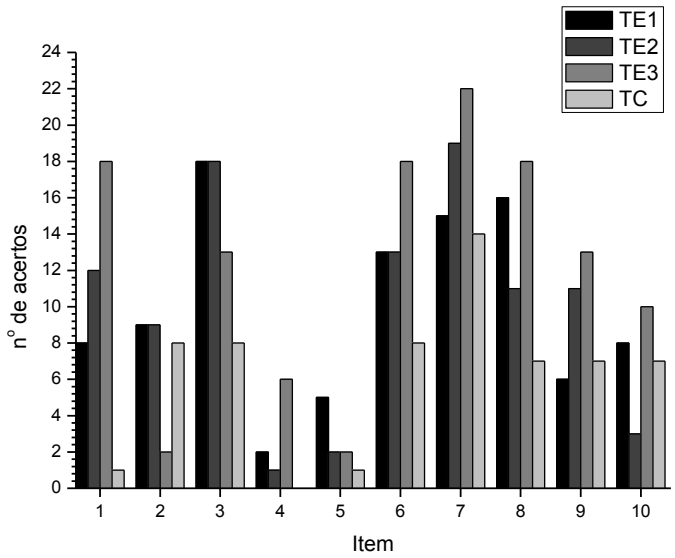


Figura 4.23 – Distribuição de acertos no teste de conhecimentos para as turmas TE1, TE2, TE3 e TC.

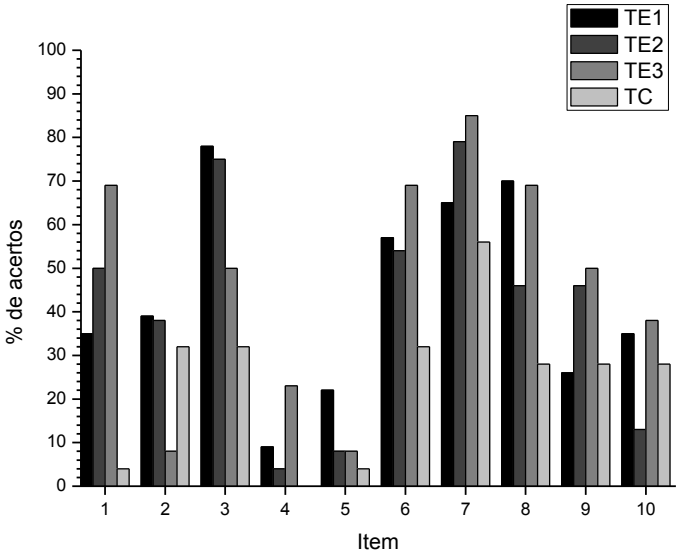


Figura 4.24 – Percentual de acertos no teste de conhecimentos para as turmas TE1, TE2, TE3 e TC.

Observe que a questão 1 solicitou do estudante a identificação do gráfico associado ao movimento com maior espaço percorrido. O discente deveria ser capaz de associar a área dos gráficos apresentados com o espaço percorrido. O gráfico com maior área deve ser associado pelo discente ao movimento com maior deslocamento. Nesse item percebe-se que o percentual de acertos em todas as turmas experimentais é maior do que o percentual de acertos da turma de controle (Figura 4.24). De acordo com o TUGK (BEICHNER, 1994), a questão possui o seguinte objetivo: dado um gráfico da velocidade em função do tempo, o aluno é capaz de determinar o deslocamento associado? Nosso resultado aponta que o desempenho foi melhor nas turmas experimentais, ainda que uma flutuação grande seja observada entre as turmas TE1 e TE3. Isso não permite apontar, do ponto de vista estatístico, se a habilidade foi dominada pelas referidas turmas.

Na questão 2, um gráfico s x t com o espaço variando na forma $s(t) = s_0 + vt$ foi apresentado. A questão indagou qual seria a melhor interpretação para o gráfico. O discente deveria associar o gráfico a um movimento de velocidade constante. Podemos observar nesse item que o desempenho da turma de controle é semelhante ao desempenho das turmas experimentais (Figura 4.24). Não identificamos, assim, diferenças significativas entre o efeito das metodologias utilizadas nas turmas experimentais e de controle. O percentual de acertos nessa questão não permite apontar correlação com o tipo de metodologia adotada. De

fato, admitindo a análise proposta pelo TUGK (BEICHNER, 1994), a questão possui o seguinte objetivo: dado um gráfico de cinemática, o aluno é capaz de selecionar a descrição textual correspondente? Nosso resultado permite apontar que o objetivo não foi alcançado na turma TE3, dentro da análise proposta via TUGK. Os percentuais de acertos são de 39% na TE1, 38% na TE2, 8% na TE3 e 32% na TC (Figura 4.24). Em outras palavras, não encontramos correlação entre o desempenho no teste e a metodologia empregada pela sequência didática.

Já no item 3, um gráfico v x t é apresentado, para um intervalo de tempo igual a 5 s. A questão solicita a velocidade no instante t = 2 s. Os alunos deveriam identificar a variação de espaço Δs no intervalo de tempo igual a 2 s, dividindo esse valor pela variação de tempo correspondente, 2 s. Isso permite a obtenção da velocidade do corpo no instante t = 2 s. De acordo com o desempenho dos discentes nesse item, podemos observar que as turmas experimentais apresentam maior percentual de acertos, quando comparadas com a turma de controle (Figura 4.24). No contexto do TUGK, por exemplo, a questão possui o seguinte objetivo: dado um gráfico da posição em função do tempo, o aluno é capaz de determinar a velocidade? Os resultados apontam um cenário mais favorável nas turmas experimentais, considerando a habilidade avaliada.

No item 4, um gráfico s x t fragmentado é apresentado. Inicialmente, o objeto encontra-se em repouso, em uma posição s_0. A partir de um instante t_1 ele passa a se movimentar com velocidade negativa, pois $\Delta s < 0$. A partir de um instante t_2, ele volta ao repouso, permanecendo na posição s = 0 m. A interpretação correta desse gráfico deveria ser indicada pelo estudante, entre as alternativas apresentadas. Mais uma vez percebemos um melhor desempenho das turmas experimentais, na comparação com a turma de controle (Figura 4.24). O percentual de acertos é, em média, menor que aqueles encontrados nas questões anteriores, mas certamente melhores nas turmas experimentais. Admitindo os pressupostos do TUGK, a questão apresenta o seguinte objetivo: dado um gráfico de cinemática, o aluno é capaz de selecionar a descrição textual correspondente? Nossos resultados apontam que o percentual de acertos é melhor nas turmas experimentais, embora não seja possível apontar correlação estatística com a metodologia utilizada. De acordo com o teste proposto em Beichner (1994), não podemos apontar nada em relação à habilidade avaliada pelo item.

Já a questão 5 apresentou um gráfico s x t, indagando qual seria o gráfico v x t associado. O discente deveria observar que a variação do espaço nos primeiros 2 s

corresponde a um movimento de velocidade constante. Depois o objeto entra em repouso durante 2 s, voltando a se movimentar com velocidade negativa, no instante t = 4 s. Essa interpretação é expressa na alternativa D. O desempenho dos discentes nesse item também é melhor, na comparação com a turma de controle (Figura 4.24). De acordo com o TUGK, a questão apresenta o seguinte objetivo: dado um gráfico de cinemática, o aluno é capaz de selecionar um outro gráfico correspondente? Os resultados não permitem apontar correlação com a metodologia do ponto de vista estatístico. O único apontamento obtido é que a habilidade avaliada pelo item, no contexto do TUGK (BEICHNER, 1994), não foi adquirida em nenhuma das quatro turmas.

Passando à questão 6, temos a apresentação de um conjunto com 5 gráficos. O questionamento é sobre qual deles corresponderia a um MRU. Apenas dois deles são compatíveis com um movimento de velocidade constante. A resposta correta é B. Observe que o percentual de acertos das turmas experimentais é maior do que o percentual encontrado na turma de controle (Figura 4.24). O TUGK vincula o seguinte objetivo à questão: dado um gráfico de cinemática, o aluno é capaz de selecionar a descrição textual correspondente? Novamente, os resultados indicam uma correlação com a metodologia utilizada. No contexto do TUGK, as turmas experimentais apresentam maior percentual de acertos em relação à habilidade investigada. Podemos, ainda, realizar um comentário em relação às habilidades avaliadas pelo TUGK. Segundo o referido teste, os objetivos das questões 2, 4 e 6 são os mesmos. Nessa perspectiva, observando que no item 2 a correlação entre metodologia e acertos não pode ser apontada de forma clara, podemos realizar uma ponderação imediata no resultado obtido: o objetivo preconizado pelo TUGK não foi alcançado satisfatoriamente, admitindo que não existe inconsistência de ordem taxonômica no teste. De fato, é possível discutir a estrutura de classificação proposta pelo TUGK, que considera as três questões mencionadas como representantes de uma mesma “classe” de objetivos. Contudo, não é intenção deste trabalho discutir a estrutura do TUGK. Podemos observar isso pela maneira com que as questões foram utilizadas. No entanto, a ponderação realizada pode ser aqui registrada para investigações futuras, a quem interessar.

Na questão 7, o estudante deve ser capaz de analisar a velocidade linear de dois pontos em movimento circular, a diferentes distâncias do centro. Como o ponto B é mais externo do que o ponto A, temos que a velocidade linear de B é maior. Assim como no item anterior, observamos melhor desempenho das turmas experimentais em relação à turma de controle (Figura 4.24). A questão 7 foi adaptada do trabalho de Silva (1990). Conforme

mencionamos, o autor realizou uma investigação clínica de como adolescentes e crianças, de diferentes faixas etárias, construíam suas noções sobre velocidade. As turmas experimentais revelaram maior desempenho em relação à habilidade investigada, que permite discutir o entendimento do conceito de velocidade linear em movimentos curvilíneos.

A questão 8 apresenta indagação semelhante, mas os pontos estão sobre a superfície de um cone. Novamente, a velocidade linear de B é maior, pois $\Delta s_B > \Delta s_A$, o que leva a $v_B > v_A$, pois o intervalo de tempo associado a uma volta é idêntico. Mais uma vez, observamos que as turmas experimentais apresentam um desempenho melhor, quando comparadas à turma de controle (Figura 4.24). A questão, adaptada de Silva (1990), permite discutir qualitativamente a noção dos alunos em relação ao conceito de velocidade linear. Conforme mencionamos, não buscamos nos aprofundar em apontamentos de ordem clínica. No entanto, o percentual de acertos observados, em relação à habilidade investigada, é maior nas turmas experimentais.

Encerrando o teste, temos as questões 9 e 10, que questionam os discentes sobre as velocidades lineares de dois pontos A e B, contidos em diferentes polias, numa situação de transmissão por corrente (questão 9), e, numa situação de transmissão por contato (questão 10). As velocidades lineares dos pontos externos são as mesmas, conforme discutimos na seção 4.1.4, relativo ao quarto encontro. Na questão adaptada do trabalho de Silva (1990), observamos percentuais de acertos semelhantes entre as turmas experimentais e de controle. Esse resultado não permite apontar correlação entre o número de acertos e a metodologia empregada.

Cabe aqui, uma síntese em relação aos resultados anteriores, relativos ao teste de conhecimento. Observamos que a correlação entre metodologia e percentual de acertos pode ser inferido em 3 das 10 questões, ou seja, em 30% dos casos. A correlação pode ser apontada na avaliação dos itens 3, 6 e 8 apenas. Em todos os outros itens, podemos verificar que o percentual de acertos (ou alternativamente pelo número de acertos absolutos) não é possível sinalizar correlação entre rendimento e metodologia.

4.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Nossos resultados revelam um percentual de acertos para os problemas propostos acima de 60%, em todas as turmas experimentais investigadas. Esse número passa a 73%

quando observamos o percentual global, considerando as três turmas. Por outro lado, a aplicação do teste de conhecimentos permite apontar uma correlação entre a metodologia utilizada e o percentual de acertos do teste em apenas 30% das questões que o compõe (Figura 4.24). Devemos destacar, ainda, que o número de acertos obtidos pela turma de controle no teste de conhecimentos encontra-se abaixo do esperado, conforme discutimos na Seção 4.3.

4.6 BREVE DIÁLOGO COM A LITERATURA RECENTE

Deve ser destacado que os apontamentos realizados em trabalhos de aprendizagem ativa tem se concentrado em turmas do ensino superior. Uma demanda por resultados no ensino médio é apresentada na literatura, conforme descrito ao longo do Capítulo 2. Partindo desse contexto, nosso trabalho realizou uma análise qualitativa dos encontros, combinada com uma análise quantitativa oriunda de um teste de conhecimentos. Isso busca contribuir com a literatura recente, apresentando uma análise voltada ao ensino médio, com avaliações quantitativas (HENRIQUES; PRADO; VIEIRA, 2014; MORGADO *et al*., 2016).

Cabe uma justificativa em relação ao modelo proposto de validação da sequência didática. Se considerarmos as principais seleções brasileiras, seja para cursos de graduação, pós-graduação, concursos públicos, ou até mesmo em entrevistas de emprego, observamos um formato baseado em procedimentos tradicionais, compostos por exames de múltipla escolha e provas discursivas. Podemos justificar a ampliação de nossas discussões, para além da participação nas atividades na sala de aula, considerando, também, seus resultados em um teste padrão de conhecimentos. A comparação com uma turma de controle se faz por motivos práticos: dado um conjunto semelhante de estudantes, alguns submetidos a uma intervenção, e, outros não, a comparação do desempenho pode apontar supostos efeitos da intervenção admitida (WHITFIELD, 2002).

Na literatura encontramos, ainda, procedimentos que buscam mapear vantagens e desvantagens de metodologias de aprendizagem ativa (SILBERMAN, 1996; KREMER; BRANNEN; GLENNERSTER, 2013).

Não realizamos um procedimento de coleta desse tipo, embora as observações de aula apontem para aspectos positivos semelhantes: (1) a metodologia permite maior confronto de ideias durante as aulas; (2) o método revela-se motivador para parte dos estudantes; (3) o método permite ouvir os alunos e suas dificuldades; entre outras. As

desvantagens também acompanham aos apontamentos de Ribeiro e Mizukami (2004): (1) a atividade força o aluno a participar mais ativamente da aula, devendo esse procedimento respeitar as características individuais dos alunos; (2) a necessidade de maior tempo para as discussões ao longo dos próprios encontros; (3) a dificuldade em explorar sozinho informações para resolver os problemas propostos.

Uma característica a se destacar da sequência proposta é o fato dela permitir ampla discussão dos problemas propostos. Embora os alunos realizem a entrega das soluções no começo dos encontros 3 e 5, a discussão dessas questões se prolonga ao longo de todos os momentos subsequentes. Percebemos, assim, que os estudantes passam a apresentar respostas mais adequadas ao longo dos debates, quando comparamos essas respostas com as respostas iniciais entregues pelos mesmos grupos de alunos. Em outras palavras, se indagássemos os discentes novamente sobre as mesmas questões, poderíamos obter um percentual de acertos ainda maior. Conforme já justificamos, essa ideia costuma ser utilizada nos chamados protocolos "pré-pós", onde um mesmo teste é aplicado antes e depois da sequência didática. Pelos motivos já expostos, preferimos não realizar esse procedimento (ver Capítulo 3).

No presente trabalho, buscamos seguir para além dos apontamentos qualitativos encontrados nos trabalhos envolvendo a aprendizagem ativa. Buscamos, ainda, avaliar uma sequência implementada no ensino médio (SILBERMAN, 1996; LAMBROS, 2004; KREMER; BRANNEN; GLENNERSTER, 2013; MORGADO *et al*., 2016). De fato, ainda que considerações de natureza qualitativa estejam presentes na discussão das atividades de sala, nossos resultados verificam um ganho substancial no desempenho das turmas experimentais em um teste de conhecimentos padrão, tomando por base uma turma de controle adequada.

5 A FORMATAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A sequência didática propôs um conjunto de atividades orientadas pela aprendizagem ativa, utilizando a apresentação da videoanálise, em contextos colaborativos, como componente motivador das discussões de sala. A relação ensino-aprendizagem foi mediada através da apresentação de situações-problemas, construídas a partir de vídeos (de curta duração) de fenômenos reais, tratados a partir das técnicas de videoanálise. Os resultados permitiram mapear algumas dificuldades encontradas pelos estudantes, ao longo de suas respostas orais e escritas.

Por outro lado, o desempenho das turmas experimentais em um teste de conhecimentos foi melhor do que o desempenho da turma de controle. O aproveitamento nesse exame tradicional revelou uma média bem maior para as turmas experimentais, de 4,3 $\pm$ 0,4, 4,1 $\pm$ 0,4 e 4,7 $\pm$ 0,4, quando comparadas ao valor de 2,4 $\pm$ 0,3, obtida pela turma de controle. De acordo com o teste, podemos observar um número absoluto de acertos maior nas turmas experimentais, embora a correlação entre a metodologia utilizada e o percentual de acertos por questão só possa ser apontada em 30% do teste. Em outras palavras, as turmas experimentais apresentam uma evolução qualitativa nas atividades trabalhadas em contextos colaborativos, como observamos na análise das respostas apresentadas aos problemas propostos, embora o rendimento no teste de conhecimentos não possa ser considerado tão diferente da turma de controle, pois a correlação estatística com a metolodogia só pode ser apontada em 30% do teste de conhecimentos. Contudo, devemos ter cuidado ao tentar relacionar diretamente o efeito da intervenção didática à diferença observada nas médias do teste. O percentual de acertos apresentado pela turma de controle foi mais baixo do que média esperada para a turma, considerando a avaliação de física anterior. Esse fato deve ser destacado para evitar apontamentos equivocados, não só neste trabalho, como em investigações futuras. Os dados não permitem garantir que a pequena diferença detectada seja oriunda, unicamente, da intervenção didática.

Os resultados descritos possibilitam utilizar a metodologia em trabalhos futuros, sendo oportuna a formatação de um produto educacional. Vamos apresentar as considerações preliminares para a estruturação da sequência didática, bem como o passo a passo para sua implementação, em forma de produto didático. Maiores detalhes podem ser conferidos no produto educacional integrante desta dissertação, em forma de livreto.

6 **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A dissertação apresenta os resultados de uma sequência didática utilizando a videoanálise apresentada em contextos colaborativos, implementada em três turmas da rede federal de ensino, utilizando também uma turma de controle. A intervenção buscou atuar em caráter revisional, em turmas de 2º ano com dificuldades em cinemática, mapeadas pela equipe pedagógica da instituição. De acordo com nossos resultados, o percentual de acertos nos problemas propostos para discussão conjunta ficou acima de 60%, em todas as turmas experimentais investigadas. O percentual aumenta para 73%, quando observamos o rendimento global das três turmas (Capítulo 4). Em relação ao teste de conhecimentos aplicado, a consideração é mais tímida. Ele permite apontar uma correlação entre o percentual de acertos da turma com a metodologia utilizada em apenas 30% dos casos (Capítulo 4). A análise das turmas experimentais, encontro por encontro, também revelou uma evolução de ordem qualitativa, quando pensamos no âmbito da aprendizagem ativa (Seção 4.2). Em síntese, os resultados descritos apontam para a possibilidade de se utilizar a sequência didática proposta como mediadora da relação ensino-aprendizagem, em contextos colaborativos. No entanto, um acompanhamento das turmas submetidas às atividades deve ser realizado no próximo ano letivo, buscando uma análise de longo prazo dos efeitos associados à intervenção realizada.

A sequência didática aqui exposta convida os discentes para uma participação mais ativa na gestão de suas aprendizagens. Nesse contexto, observamos que as metodologias ativas de aprendizagem, como a sequência didática apresentada, buscam envolver o estudante nas situações de estudo modeladas. Esse envolvimento parece ser, de longe, o aspecto mais relevante de todos.

Referências

ADAMS, W.K.; REID, S.; LEMASTER, R.; S.B. MCKAGAN; K.K. PERKINS; DUBSON, M.; WIEMAN, C.E. A Study of Educational Simulations Part I - Engagement and Learning. *Journal of Interactive Learning Research*, Chesapeake, v.19, n.3, p.397-419, 2008.

AGRELLO, D.A.; GARG, R. Compreensão de Gráficos de Cinemática em Física Introdutória. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.21, n. 1, p.103-115, Mar. 1999.

ARAUJO, A. V. R. de; SILVA, E. S.; JESUS, V. L. B. de and OLIVEIRA, A. L. de. Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*., São Paulo, v.39, n.2, e2401, 2017.

ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida: Uma proposta para engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 30, n. 2, p. 362-284, 2013.

ARAÚJO, Ulisses F. A quarta revolução educacional: a mudança de tempos, espaços e relações na escola a partir do uso de tecnologias e da inclusão social. *ETD: educação temática digital*, Campinas, v.12, 2011.

AUSUBEL, D.P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Editora Plátano, 2003.

AUSUBEL, D.P. *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

BARLOW, R.J. *Statistics – a guide to the use of statistical methods in the physical sciences*. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 1997.

BARRETO, R. G. A apropriação educacional das tecnologias da informação e da comunicação. In: Alice Casimiro Lopes; Elizabeth Macedo (Org.). Currículo: debates contemporâneos. 1ed. São Paulo: Cortez Editora, 2002. v.2, p.216-237.

BARROS, J. A. et al. Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 63-69, 2004.

BARROWS, H.S.; TAMBLYM, R.M. *Problem-based learning: an approach to medical education*. New York: Springer Publishing, 1980, 206 p.

BEICHNER, R. The impact of video motion analysis on kinematic graph interpretation skills. *American Journal of Physics*, v.64, p.1272–1277, 1996.

BEICHNER, R.J. Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, v.62, n.8, p.750-762, 1994.

BEZERRA JR. A. G.; DE OLIVEIRA, L. P.; LENZ, J. A.; SAAVEDRA, N. Videoanálise com software livre Tracker no laboratório didático de física: movimento parabólico e segunda lei de Newton. *Caderno Brasileiro de Ensino de Fís*ica, Florianópolis, v. 29, n. Especial 1: p. 469-490, 2012.

BONJORNO, J. R.; BONJORNO, R. F. S. A.; BONJORNO, V.; RAMOS, C. M. R.; PRADO, E. P., CASEMIRO, R. *Física: Mecânica*. 2.ed. São Paulo: FTD, 2013.

BROWN, D. COX. A.J. Innovative Uses of Video Analysis. *The Physics Teacher*, v. 47, Mar 2009.

DE JESUS, V.L.B. *Experimentos e videoanálise – Dinâmica*. 1.ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

DESLAURIERS, L.; SCHELEW, E.; WIEMAN, C. Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class. *Science*, v.332, n. 6031, p.862-864, 2011.

FONSECA, J. S. e MARTINS, G. A. *Curso de estatística*. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2010.

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia. Saberes necessários à prática educativa*. 27. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, P. *Pedagogia do oprimido*. 50. ed. São Paulo: Paz e Terra, 2011.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousandstudent survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, v. 66, p. 64-74, 1998.

HENRIQUES, V. B.; PRADO, C. P. C.; VIEIRA, A. P. Editorial convidado: Aprendizagem ativa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.36, n.4, 4001, 2014.

HOFSTEIN, A.; KIND, P.M., *Learning In and From Science Laboratories*. B.J. Fraser et al. (eds.), Second International Handbook of Science Education, Springer International Handbooks of Education, New York, v.24, 2012.

HUSSEIN, B.A., A Blended Learning Approach to Teaching Project Management: A Model for Active Participation and Involvement: Insights from Norway. *Educ. Sci.* v.5, p.104–125, 2015.

KREMER, M.; BRANNEN, C.; GLENNERSTER, R. The Challenge of Education and Learning in the Developing World. *Science*, v.340, n.6130, p.297-300, 2013.

LAMBROS, A. *Problem-Based Learning in Middle and High School Classrooms – A Teacher's Guide to Implementation*. Thousand Oaks: Corwin Press, Inc. 2004.

LAWS, P.; PFISTER, H. Using digital video analysis in introductory mechanics projects. *Physics Teacher*, v.36, p.282–287, 1998.

LIBÂNEO, J. C. *Democratização da escola pública: a pedagogia crítico-social dos conteúdos*. São Paulo: Loyola, 1992.

MARINELI, F.; PACCA, J.L.A. Uma interpretação para dificuldades enfrentadas pelos estudantes em um laboratório didático de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.28, n.4, p.497-505, 2006.

MOREIRA, M.A. *A teoria da mediação de Vygotsky. Teorias de aprendizagem*. 2 ed. São Paulo, 2011, p.107-120.

MOREIRA, M.A. *A teoria de aprendizagem significativa e sua implementação na sala de aula*. Brasília: Editora da UnB, 2006.

MOREIRA, M.A.; MASINI, E.A.F. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Editora Moraes, 1982.

MORETTIN, P. A. e BUSSAB, W. de O. *Estatística Básica*. 6.ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

MORGADO, S.; LEITE, L.; DOURADO, L.; FERNANDES, C.; SILVA, E., Ensino orientado para a aprendizagem baseada na resolução de problemas e ensino tradicional: um estudo centrado em "Transformação de matéria e de energia". *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, v.18, n. 2, p.1-25, 2016.

MURPHY, C. Vygotsky and Primary Science. B.J. Fraser et al. (eds.), Second International Handbook of Science Education, Springer International Handbooks of Education, New York, v.24, 2012.

NARDI, R.; GATT, S.R.T., Uma revisão sobre as investigações construtivistas nas últimas décadas: concepções espontâneas, mudança conceitual e ensino de ciências. *Rev. Ensaio*, Belo Horizonte, v.6, n.02, p.115-144, 2004.

NOVAK, G. M.; PATTERSON, E. T.; GAVRIN, A. D.; CHRISTIAN, W. *Just-in-Time Teaching: blending active learning with web technology*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

NOVAK, J.D.; GOWIN, D.B. *Learning how to learn*. New York: Cambridge University Press., 1984.

O'GRADY, G., YEW, E., GOH, K.P.L., SCHMIDT, H. (Eds.). *One-day, One-problem. An approach to Problem-Based Learning*. Singapore: Springer, 2012.

OLIVEIRA, M.K. *Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento, um processo sócio-histórico*. 4.ed. São Paulo: Scipione, 2002.

OWEN, H.; DUNHAM, N., Reflections on the Use of Iterative, Agile and Collaborative Approaches for Blended Flipped Learning Development. *Educ. Sci.*, v.5, p.85–103, 2015.

PARO, V.H. *Reprovação Escolar: Renúncia à Educação*. Xamã, São Paulo, 2001.

PEDUZZI, L.O.Q.; ZYLBERSZTAJN, A.; MOREIRA, M.A., As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história da ciência numa sequência de conteúdos em Mecânica: o referencial teórico e a receptividade de estudantes universitários à abordagem histórica da força e movimento. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.14, n.4, 1992.

PENAFORTE, J. C. *John Dewey e as raízes filosóficas da aprendizagem baseada em problemas*. In: MAMEDE, S.; PENAFORTE, J. C. (Org.). Aprendizagem baseada em problemas: anatomia de uma nova abordagem educacional. São Paulo: Hucitec/ESP-CE, 2001.

POZO, J.I.; CRESPO, M.A.G. *A aprendizagem e o ensino de física: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

POZO, J.I. *Aprendizes e mestres: a cultura da aprendizagem*. Tradução de Ernani Rosa. Porto Alegre: ARTMED, 2002.

PRINCE, M. Does Active Learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, Malden, v.93, n.3, p.223-231, 2004.

REGO, T. R. *Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação*. 21.ed. Petrópolis: Vozes, 2010.

ROCHA, F. *Correntes pedagógicas contemporâneas*. 2. ed. Aveiro: Estante, 1988.

SASAKI, D. G. G. and JESUS, V. L. B. de. Avaliação de uma metodologia de aprendizagem ativa em óptica geométrica através da investigação das reações dos alunos. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.39, n.2, e2403, 2017.

SILBERMAN, M. *Active learning: 101 strategies do teach any subject*. Massachusetts: Ed. Allyn and Bacon, 1996.

SILVA, D. O ensino construtivista da velocidade angular. *Textos: Pesquisas para o Ensino de Ciências*, n. 4, São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, 1990. 59p.

SOUZA, S. C.; DOURADO, L. Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. *Holos*, Ano 31, v. 5, p.182-200, 2015.

TAYLOR, J.R. *Error analysis: the study of uncertainties in physical measurements*. 2 ed. California: University Science Books, 1997.

VAN OERS, B. In the zone. *Children in Europe*, (August) special Vygotsky issue, p.14-15, 2007.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

VILLANI, A.; PACCA, J. L. A.; FREITAS, D. Science teacher education in Brazil: 1950-2000. *Science & Education*, Dordrecht, v.18, n.1, p.125-148, 2009.

VUOLO, J.H. *Fundamentos da teoria de erros*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1996.

Site do aplicativo *Tracker*. Disponível em <http://physlets.org/tracker>. Acesso em: 12 de dez. 2016.

Site do *Open Source Physics*. Disponível em <http://www.opensourcephysics.org>. Acesso em: 12 de dez. 2016.

Apêndice A – Acoplamento do suporte à bicicleta

A filmagem realizada a partir do referencial solidário ao eixo da roda foi obtida considerando uma montagem utilizando os seguintes materiais: (1) suporte de celular (também conhecido como "bastão de *selfie*"), (2) câmera para filmagem, (3) arame inox e (4) fita adesiva. O procedimento de montagem pode ser sintetizado da seguinte forma:

1. Acoplar o bastão de selfie ao suporte da cesta, com auxílio do arame (Figura A.1).
2. Posicionar a câmera no bastão de *selfie* e verificar se o ângulo visual está correto.
3. Utilizar os arames de suporte para manter o ângulo visual correto (Figura A.2 e Figura A.3).
4. Cortar os excessos de arame e passar a fita adesiva nas extremidades para evitar acidentes.

Figura A.1 – Materiais utilizados e esquema de acoplamento do bastão de *selfie*.

Outras montagens foram testadas. O principal fator avaliado foi a oscilação da câmera quando a bicicleta passava pelo trecho retilíneo demarcado. A montagem apresentada foi a que gerou os vídeos mais estáveis em relação ao fator testado.

Figura A.2 – Acoplamento do bastão de *selfie* no garfo da bicicleta utilizando o arame inox.

Figura A.3 – Bastão de *selfie* preparado para as filmagens.

Apêndice B – Considerações sobre cinemática linear e angular

Apresentamos neste apêndice os aspectos básicos de cinemática linear e angular necessários para o acompanhamento da sequência didática proposta. A discussão foi realizada utilizando considerações matemáticas acessíveis aos estudantes do atual nível médio.

B.1. MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME (MRU)

Dizemos que uma partícula está em Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) quando sua velocidade se mantém constante ao longo do tempo, sendo essa constante não nula. A trajetória apresentada é uma linha reta. Podemos realizar a análise cinemática desta partícula monitorando a evolução de algumas grandezas no decurso do tempo. Vamos apresentar as chamadas grandezas lineares, mantendo a discussão ao alcance dos alunos de nível médio.

Considere uma partícula *P* percorrendo uma distância *s* ao longo da semirreta $\overrightarrow{AB}$, indo do ponto A ao ponto B. Podemos definir o deslocamento Δs da partícula *P* como sendo o comprimento percorrido ao longo do deslocamento da posição s_A para a posição s_B.

Uma vez definida a posição *s* e o deslocamento Δs, podemos acompanhar a evolução temporal dessa coordenada *s*, caracterizando outra grandeza, chamada de velocidade linear. Considere um ponto qualquer de referência O, sobre a reta $\overleftrightarrow{AB}$. O ponto *A* determina uma posição inicial s_0, quando consideramos o instante de tempo t_0. Analogamente, o ponto B pode ser associado a uma posição final *s*, associado ao instante final *t*. Podemos definir, assim, a velocidade linear média de *P*, no intervalo de tempo Δt, a partir da expressão:

$$v_m = \frac{s - s_0}{t - t_0} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad . \tag{B.1}$$

Se considerarmos dois instantes de tempo próximos, tais que $t \to t_0$, podemos definir a velocidade linear instantânea *v*, utilizando o conceito de limite:

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{s - s_0}{t - t_0} \quad . \tag{B.2}$$

Como no MRU a velocidade v permanece constante, podemos considerar que $v_m = v$ = cte. Isso conduz a uma aceleração média nula.

Observe que considerando as dimensões fundamentais de massa (M), tempo (T) e comprimento (L), podemos definir a dimensão de qualquer grandeza G na forma:

$$[G] = M^{\alpha} L^{\beta} T^{\gamma} \tag{B.3}$$

onde os expoentes α, β e γ devem ser determinados para a referida caracterização. Sendo assim, podemos indicar as dimensões da posição s, tempo t e velocidade v na forma: $[s] = M^0 L\, T^0$, $[t] = M^0 L^0 T$ e $[v] = M^0 L T^{-1}$.

Podemos seguir um raciocínio, semelhante ao utilizado para definir velocidade média, para definir a aceleração linear média. Considerando a variação apresentada pela velocidade linear, quando a partícula P se desloca entre dois pontos A e B, da semirreta $\overrightarrow{AB}$, podemos considerar uma variação de velocidade linear $v - v_0$, relativa a um intervalo de tempo Δt, definindo assim a aceleração linear média a_m:

$$a_m = \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \tag{B.4}$$

Analogamente, podemos considerar o limite onde $t \to t_0$. Tal fato permite-nos definir a aceleração linear instantânea *a:*

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{v - v_0}{t - t_0} \tag{B.5}$$

onde a dimensão de aceleração é dada por: $[a] = M^0 L T^{-2}$.

Contudo, vale destacar que no Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) a velocidade linear média permanece constante, conforme já apontamos, levando à nulidade da aceleração linear descrita acima.

B.2. MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME (MCU)

Considere um movimento que se realiza com velocidade escalar[4] constante v, ao longo de uma circunferência ou arco de circunferência. Esse movimento é chamado de *Movimento Circular Uniforme* (MCU).

[4] As grandezas escalares são aquelas que podem ser representadas por um número (e sua unidade correspondente), sem necessidade de especificarmos uma orientação. Já as grandezas vetoriais, necessitam também de uma orientação. O vetor é um ente matemático especificado por módulo, direção e sentido. Por exemplo, tempo e temperatura são grandezas escalares, enquanto aceleração e força são grandezas vetoriais.

Obviamente, ainda que o módulo da velocidade permaneça constante, temos que a direção e sentido da mesma variam no decorrer do tempo. Sendo assim, considerando o caráter vetorial da velocidade, podemos dizer que ela varia, sendo a aceleração responsável por tal variação denominada aceleração centrípeta. Antes de discutir esses detalhes, situemos as grandezas angulares utilizadas para descrever o movimento circular, assim como fizemos no caso anterior do movimento retilíneo.

B.2.1 Grandezas angulares

Considere um ponto material descrevendo uma trajetória circular ou descrita por um arco de circunferência. Suas posições podem ser determinadas por meio dos deslocamentos ao longo dos arcos de circunferência descritos, conforme descrevemos no item anterior, ou, alternativamente, pelos ângulos centrais determinados por esses arcos. No primeiro caso, basta considerar os deslocamentos Δs ao longo do arco correspondente, seguindo com a análise das posições e demais grandezas lineares, conforme indicado no item 1 deste apêndice.

Contudo, desejamos discutir a descrição do movimento na perspectiva dos ângulos centrais. Dessa forma, vamos iniciar definindo as grandezas angulares. Considere uma partícula *P* se deslocando ao longo de um arco de circunferência AB, se movendo de A para B. O vetor posição $\vec{r}$, com origem no centro da circunferência O e extremidade na partícula *P*, pode ser localizado num sistema de coordenadas polares. Considere um eixo polar OA, contido no plano π, onde a partícula *P* é localizada pela distância em relação ao ponto O e pelo o ângulo φ que o vetor posição faz com o eixo polar (Figura B.1). Quando a partícula se desloca de A para B, o ângulo central varia de φ_0 para φ. A variação observada na coordenada φ pode ser relacionada à variação de espaço Δs ao longo do arco AB, através da relação matemática:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{R} \tag{B.6}$$

com o ângulo central φ sendo medido em radianos. Define-se radiano como sendo o ângulo central, correspondente ao comprimento de arco Δs, que coincide com o raio *R*. Observe que as dimensões de *s* e *R* são dadas por $[s] = \mathrm{M^0LT^0}$ e $[R] = \mathrm{M^0LT^0}$. A coordenada φ tem natureza adimensional. A figura seguinte revela um sistema de coordenadas polares, onde a

partícula P é localizada no plano π pela coordenada φ e pela distância r até o centro O (Figura B.1).

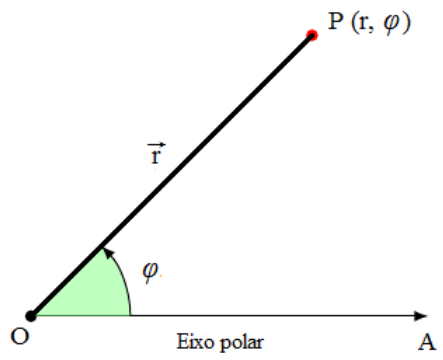


Figura B.1 – Coordenadas polares utilizadas para localizar a partícula P no plano π.

Uma vez definida a coordenada φ, podemos acompanhar a evolução temporal dessa coordenada, caracterizando outra grandeza angular. Quando a partícula P vai de A até B, percorrendo o arco $\overset{\frown}{AB}$, ela apresenta uma variação na coordenada angular $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$. Podemos definir, assim, a velocidade angular média ω_m do ponto P, no intervalo de tempo Δt, pela expressão:

$$\omega_m = \frac{\varphi - \varphi_0}{t - t_0} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \qquad \text{(B.7)}$$

Se considerarmos dois instantes próximos de tempo, onde que $t \to t_0$, podemos definir a velocidade angular instantânea ω, através do limite:

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\varphi - \varphi_0}{t - t_0}. \qquad \text{(B.8)}$$

Assim, como no MCU a velocidade se mantém constante, podemos considerar que $\omega_m = \omega = cte$. Note que podemos indicar a dimensão da velocidade angular na forma $[\omega] = M^0L^0T^{-1}$. Observe, ainda, que a velocidade angular média pode ser relacionada à velocidade linear, pois a relação (B6) permite escrever uma variação de espaço na forma:

$$s - s_0 = \varphi R - \varphi_0 R \;\Rightarrow\; s - s_0 = (\varphi - \varphi_0) R\,,$$

Considerando que sua ocorrência se associa a um intervalo de tempo Δt, podemos escrever:

$$\frac{s - s_0}{t - t_0} = \frac{(\varphi - \varphi_0)}{t - t_0} R \tag{B.9}$$

e observando os resultados obtidos em (B1), (B2), (B7) e (B8), segue que:

$$v = \omega R. \tag{B.10}$$

Um raciocínio semelhante pode ser utilizado para definir uma aceleração angular média α, a partir de uma variação da velocidade angular, quando a partícula P se move entre dois pontos A e B, de um arco $\overset{\frown}{AB}$. Podemos considerar uma variação de velocidade angular $\omega - \omega_0$ dada em um intervalo de tempo Δt, definindo assim a aceleração angular média α_m:

$$\alpha_{\mathrm{m}} = \frac{\omega - \omega_0}{\mathrm{t} - \mathrm{t}_0} = \frac{\Delta\omega}{\Delta \mathrm{t}} \tag{B.11}$$

Analogamente, podemos tomar o limite $t \to t_0$ na expressão acima e definir a aceleração angular instantânea α:

$$\alpha = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\omega - \omega_0}{t - t_0} \tag{B.12}$$

cuja dimensão pode ser escrita na forma $[\alpha] = M^0L^0T^{-2}$. Observe, ainda, que podemos escrever a aceleração angular considerando a variação da velocidade angular no tempo. Considere a variação $\omega - \omega_0$ indicada a seguir:

$$v - v_0 = \omega R - \omega_0 R \;\Rightarrow\; v - v_0 = (\omega - \omega_0) R\,.$$

Como sua ocorrência está associada a um intervalo de tempo Δt, podemos escrever:

$$\frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{(\omega - \omega_0)}{t - t_0} R$$

e observando os resultados obtidos em (B4), (B5), (B10) e (B11), segue que:

$$a = \alpha R. \tag{B.13}$$

Contudo, no MCU a velocidade angular média permanece constante, levando à nulidade da aceleração angular. Veremos mais adiantes que a aceleração existente, chamada de aceleração centrípeta, é responsável apenas pela manutenção da partícula na trajetória circular.

B.2.2 Período e frequência

Um movimento é dito *periódico* quando se repete identicamente em intervalos de tempo iguais. Estes intervalos de tempo podem ser utilizados para caracterizar a repetição. O menor intervalo de tempo necessário para a repetição do fenômeno é chamado de *período* (T). O período possui dimensão de tempo, ou seja, $[T] = M^0L^0T$. O Movimento Circular Uniforme (MCU) é um movimento periódico, por construção.

Outra grandeza utilizada na análise de movimentos periódicos é a *frequência*. Muitas vezes estamos interessados em saber o número de repetições do evento na unidade de tempo. Matematicamente, podemos considerar:

Tempo	**Número de repetições**
T	1 (vez)
1	f (vezes)

cuja regra de três simples nos conduz a $f = 1/T$. A grandeza f é denominada *frequência* e definida como:

$$f = \frac{1}{T} \tag{B.14}$$

Lembrando que o período T possui dimensão temporal. Assim, a frequência definida acima apresenta dimensão na forma: $[f] = M^0L^0T^{-1}$.

B.2.3 Equações horárias do MRU e do MCU

B.2.3.1 Equação horária do MRU

Observe que no movimento retilíneo uniforme (MRU), a velocidade se mantém constante, o que nos permite escrever:

$$v = \frac{s - s_0}{t - t_0}$$

considerando o deslocamento $s - s_0$ da partícula no intervalo de tempo $t - t_0$. Fazendo t_0=0,

podemos reescrever a expressão acima na forma:

$$s(t) = s_0 + vt \tag{B.15}$$

que permite obter a posição da partícula para qualquer instante de tempo *t*, dada as condições iniciais relativas à posição e velocidade. Essa expressão costuma ser chamada de *função horária das posições*. Trata-se de uma função linear do tipo *y* (x) = *A* + *Bx*, indicando que a evolução temporal da posição obedece à equação de uma reta. Temos que o gráfico *s* x *t* associado é uma reta, onde a inclinação da mesma é dada pela velocidade *v*.

Já a evolução temporal da velocidade pode ser representada por uma expressão na forma:

$$v = cte \tag{B.16}$$

indicando que o gráfico *v* x *t* associado é de uma reta paralela ao eixo temporal.

B.2.3.2 Equação horária do MCU

Observe que no movimento circular uniforme (MCU), a velocidade se mantém constante, o que nos permite escrever:

$$\omega = \frac{\varphi - \varphi_0}{t - t_0}$$

considerando o deslocamento $\varphi - \varphi_0$ da partícula no intervalo de tempo $t - t_0$. Fazendo t_0=0, podemos reescrever a expressão acima na forma:

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \omega t \tag{B.17}$$

que permite obter a coordenada φ da partícula para qualquer instante de tempo *t*, dada as condições iniciais relativas à posição e velocidade. A expressão representa uma *função horária da coordenada* φ. Trata-se de uma função linear do tipo *y* (x) = *C* + *Dx*, indicando que a evolução temporal da posição obedece a equação de uma reta. Dessa forma, o gráfico φ x *t* associado é uma reta, onde a inclinação da mesma é dada pela velocidade angular ω.

Já a evolução temporal da velocidade pode ser representada por uma expressão na forma:

$$\omega = cte \tag{B.18}$$

indicando que o gráfico *v* x *t* associado é de uma reta paralela ao eixo x.

Já mencionamos que o intervalo de tempo associado a uma volta é chamado de período (*T*) (ver Seção 2.2.1). O ângulo relativo a uma volta é igual a 2π, isso permite escrever:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \tag{B.19}$$

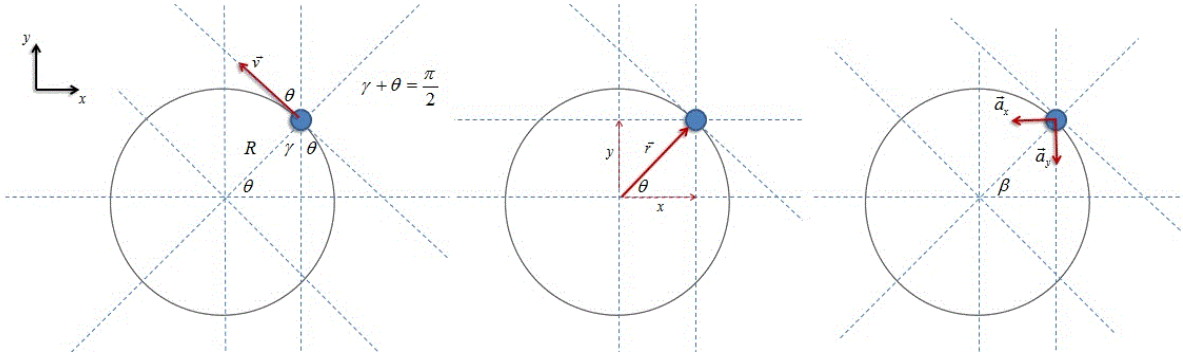
ou ainda, segunda a equação (13),

$$\omega = 2\pi f \tag{B.20}$$

B.2.4 Movimento circular e aceleração centrípeta

Considere uma partícula em movimento circular, com velocidade de módulo constante, igual a *v*. Ainda que o módulo se apresente constante, temos uma mudança contínua na direção e sentido dessa velocidade. Dizemos que o vetor velocidade varia no tempo. Tal variação pode ser associada a uma aceleração, uma vez que variações de velocidades ao longo do tempo definem justamente as acelerações. Sendo assim, estabelecemos que uma aceleração é responsável pela variação do vetor velocidade indicado, denominando-a aceleração centrípeta. Vamos estudar uma partícula em MCU e justificar geometricamente a dependência da aceleração centrípeta com o raio *R* e velocidade *v*. A discussão é realizada com o objetivo de se apresentar acessível aos estudantes do atual nível médio.

Considere uma partícula percorrendo uma trajetória circular de raio *R* e velocidade constante *v*, no plano XY (Figura B2a).



(a) (b) (c)

Figura B.2 – (a) velocidade da partícula *P* em um instante *t*. (b) Coordenadas *x* e *y* da partícula *P* em um instante *t*. (c) componentes da aceleração da partícula *P* em um instante *t*.

A velocidade da partícula *P* possui componentes v_x e v_y, sendo expressa por:

$$\vec{v} = v_x\hat{x} + v_y\hat{y} \tag{B.21}$$

onde $\hat{x}$ e $\hat{y}$ são vetores unitários com direção e sentido idênticos aos eixos x e y, respectivamente. Observando a figura B2a, podemos escrever a equação anterior em termos do ângulo θ:

$$\vec{v} = -v\sin\theta\,\hat{x} + v\cos\theta\,\hat{y} \tag{B.22}$$

pois $v_x = -\sin\theta$ e $v_x = -\cos\theta$. Mas da figura.B2b, temos que $\cos\theta = x/R$ e $\sin\theta = y/R$, assim:

$$\vec{v} = -v\left(\frac{y}{R}\right)\hat{x} + v\left(\frac{x}{R}\right)\hat{y} = \frac{-vy}{R}\hat{x} + \frac{vx}{R}\hat{y}. \tag{B.23}$$

Podemos obter, então, a aceleração da partícula a partir da diferenciação da equação B.22, com respeito ao tempo:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{-v}{R}\frac{dy}{dt}\hat{x} + \frac{v}{R}\frac{dx}{dt}\hat{y} = \frac{-v}{R}v_y\hat{x} + \frac{v}{R}v_x\hat{y}. \tag{B.24}$$

Como já foi dito, $v_x = -\sin\theta$ e $v_x = -\cos\theta$. Isso nos permite escrever B.23 na forma:

$$\vec{a} = \frac{-v}{R}(v\cos\theta)\hat{x} + \frac{v}{R}(-v\sin\theta)\hat{y} = -\frac{v^2}{R}\cos\theta\,\hat{x} - \frac{v^2}{R}\sin\theta\,\hat{y}. \tag{B.25}$$

A partir das componentes a_x e a_y, podemos obter o módulo da aceleração que buscamos:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{\left(-\frac{v^2}{R}\cos\theta\right)^2 + \left(-\frac{v^2}{R}\sin\theta\right)^2} = \sqrt{\frac{v^4}{R^2}\left(\cos^2\theta + \sin^2\theta\right)} = \frac{v^2}{R}, \tag{B.26}$$

indicando que seu módulo é v^2/R. Para determinar a direção e o sentido, basta calcularmos a tangente do ângulo β indicado na figura.B2c:

$$\tan\beta = \frac{a_y}{a_x} \;\rightarrow\; \tan\beta = \frac{\left(-\frac{v^2}{R}\sin\theta\right)}{\left(-\frac{v^2}{R}\cos\theta\right)} = \tan\theta, \tag{B.27}$$

o que revela a igualdade entre β e θ. Dessa forma, a aceleração investigada aponta para o centro da circunferência.

Apêndice C – Questões propostas nas aulas e problemas

Apresentamos abaixo as questões de aula e problemas. Optamos em apresentar os *slides* utilizados na sequência didática, em sua íntegra. Conforme destacado ao longo da dissertação, eles serviram para direcionar as discussões durante as aulas, apresentando as questões de sala e os problemas recomendados aos grupos, considerando as orientações teóricas da *Aprendizagem Ativa*.

Inicialmente, seguem os *slides* utilizados nas turmas experimentais TE1, TE2 e TE3, onde as discussões foram realizadas juntamente com a apresentação da videoanálise em contextos colaborativos (Apêndice C1).

Na sequência, apresentamos os *slides* utilizados na turma de controle TC, onde as discussões seguiram o formato clássico expositivo. A diferença básica é que na exposição dialogada não foram apresentadas as videoanálises VA1 e VA2 (Apêndice C2).

C.1 Questões e problemas utilizados nas turmas experimentais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MATO GROSSO

ENSINO MÉDIO – FÍSICA I
2 Tempos

Física I

Movimento Retilíneo Uniforme (MRU)

Professor: Erick dos Santos Silva

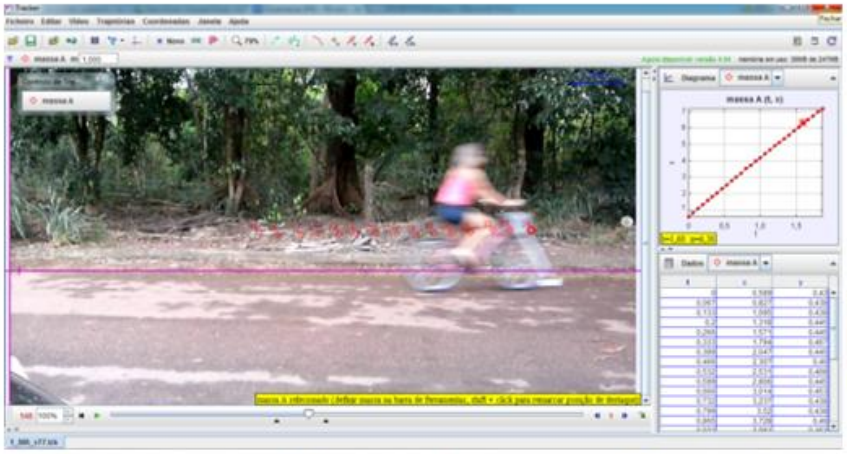
1º Bimestre de 2016

Cronograma

1. Movimento Retilíneo Uniforme (MRU).
2. Gráficos de s x t, v x t e a x t.
3. Equação horária da posição.

Aplicação: o movimento da bicicleta como um MRU.

Videoanálise do movimento de uma bicicleta



Videoanálise da bicicleta, considerando um modelo de MRU

Abrir a videoanálise...

Questão 01

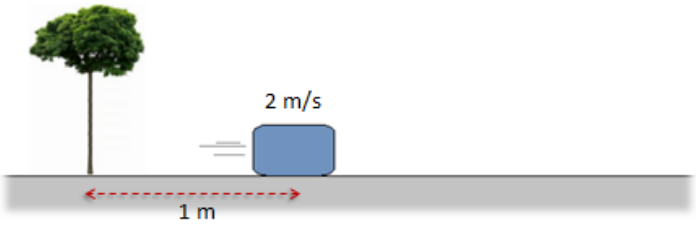
Uma pessoa menciona que um corpo está em movimento retilíneo e uniforme.

a) O que está indicado pelo termo “retilíneo”?

b) O que está indicado pelo termo “uniforme”?

Questão 02

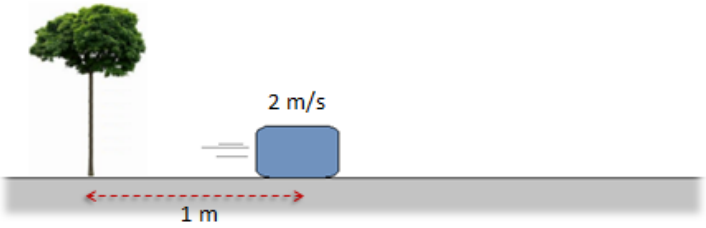
Considere um objeto em MRU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra a $1m$ de uma árvore A.



Podemos prever o comportamento futuro deste objeto? Justifique.

Questão 03

Considere um objeto em MRU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra a 1*m* de uma árvore *A*.

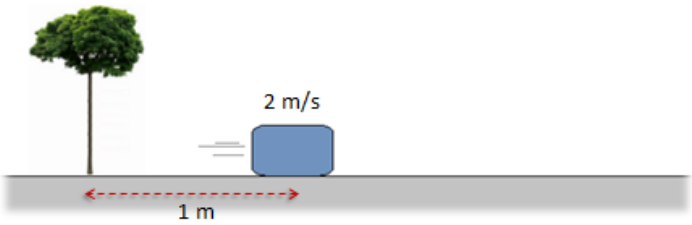


Obtenha a posição deste objeto, em relação à árvore:

a) após 10 s.
b) após 20 s.
c) após 1 min.

Questão 04

Considere um objeto em MRU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra a 1*m* de uma árvore *A*.

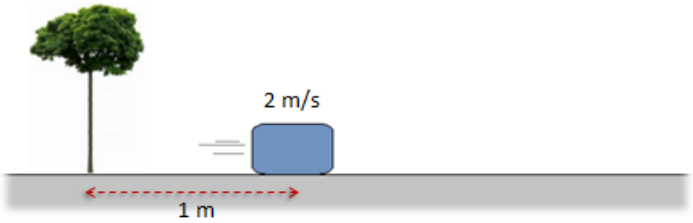


a) Esboce o gráfico *v* x *t* pare este móvel.
b) O que representa a área do gráfico? Qual o seu valor?

Questão 05

Dado: 3,6 km/h = 1m/s.

Considere um objeto em MRU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra a 1*m* de uma árvore *A*.



a) A velocidade acima encontra-se no S.I. Qual seria esse valor em km/h?
b) Indique um procedimento para a conversão da velocidade de m/s para km/h. Apresente pelo menos dois exemplos.

Problema - P1

Considere o movimento da bicicleta abaixo, supondo um MRU.

t (s)	s (m)
0,0	0,5
0,1	1,0
0,2	1,5
0,3	2,0
0,4	2,5
0,5	3,0
0,6	3,5
0,7	4,0
0,8	4,5
0,9	5,0
1,0	5,5
1,1	6,0
1,2	6,5
1,3	7,0

a) Obtenha a velocidade média da bicicleta no percurso (utilize a tabela).
b) Esboce o gráfico *v* x *t*.
c) Esboce o gráfico *s* x *t*.
d) Existe aceleração, no MRU?

Próxima aula:

- Discussão do problema P1.
- Discussão complementar da videoanálises VA1.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MATO GROSSO

ENSINO MÉDIO – FÍSICA I
2 Tempos

Física I

Movimento Circular Uniforme (MCU)

Professor: Erick dos Santos Silva

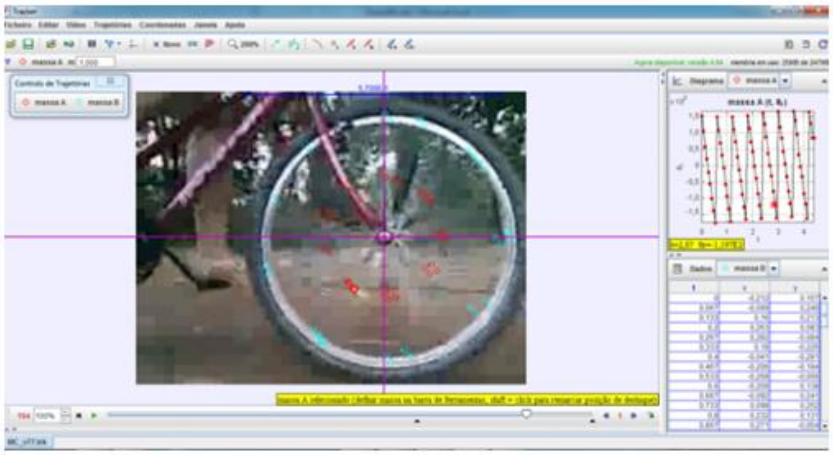
1º Bimestre de 2016

Cronograma

1. Movimento Circular Uniforme (MCU).
2. Gráficos de φ x t, ω x t e α x t.
3. Equações horárias.

Aplicação:
o movimento da roda dianteira da bicicleta como um MCU.

Videoanálise do movimento de uma bicicleta

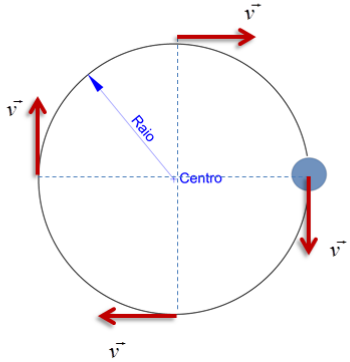


Videoanálise da roda dianteira, considerando um modelo de MRU

Abrir a videoanálise ...

Questão 01

Um partícula encontra-se em MCU, conforme indica a figura abaixo.



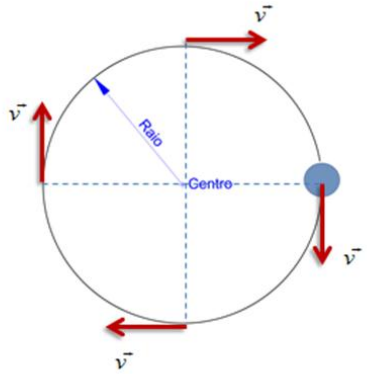
Rotação no sentido horário

a) A velocidade é constante?

b) A partícula possui aceleração?

Questão 02

Considere um objeto em MCU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra em uma trajetória circular de raio 0,20 *m*. Sabe-se que o objeto completa 1 volta a cada 2s.



Rotação no sentido horário

Obtenha a posição deste objeto:

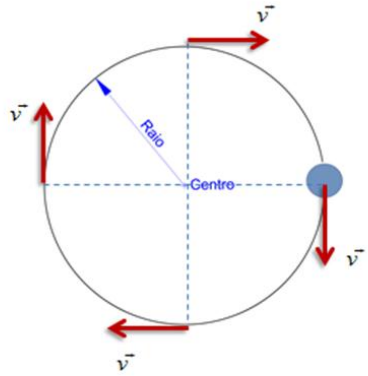
a) Após 1 s.

b) Após 1,5 s.

c) Após 2 s.

Questão 03

Considere um objeto em MCU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra em uma trajetória circular de raio a 0,20 c*m*. Sabe-se que o objeto completa 1 volta a cada 2s.

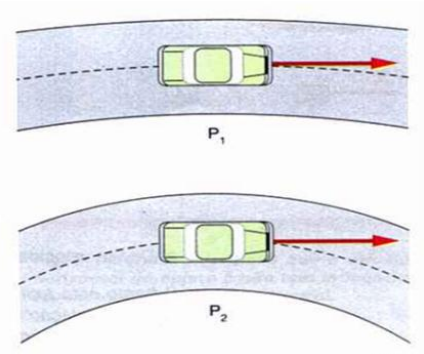


Rotação no sentido horário

a) Determine o período e a frequência do movimento.
b) O espaço angular percorrido em um período e a velocidade angular.
c) Podemos obter a velocidade linear? Justifique.
d) Podemos obter a aceleração centrípeta? Justifique.

Questão 04

Dois carros se deslocam com a mesma velocidade linear nas pistas P1 e P2.



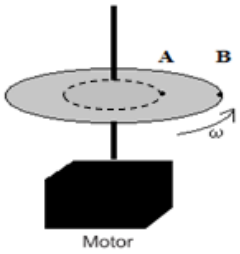
Máximo, A; ALVARENGA, B., 2006.

a) Qual das pistas tem maior raio?

b) Para qual dos carros a aceleração centrípeta é maior? Justifique.

Questão 05

A figura abaixo revela a rotação uniforme de um disco mantida por um motor M. Dois pontos A e B são indicados, um mais interno e outro mais externo.

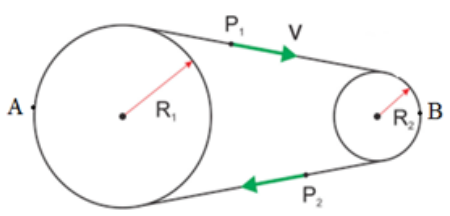


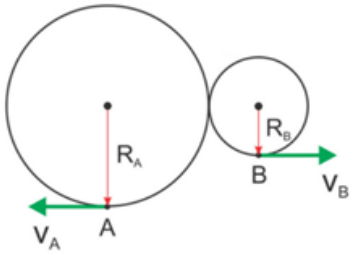
a) Podemos dizer que os pontos A e B possuem mesma v?

b) Podemos dizer que os pontos A e B possuem mesma ω?

Questão 06

Abaixo temos a transmissão de MCU por corrente e por contato.





Podemos dizer que os pontos A e B do disco possuem:

a) mesma velocidade linear v?

b) Mesma velocidade angular ω?

Problema - P2

Considere o movimento da roda dianteira da bicicleta, supondo um MCU de raio R=28 cm e período de 0,35 s.

t (s)	φ (rad)
0,00	0,00
0,10	1,57
0,20	3,14
0,30	4,71
0,35	6,28

a) Esboce o gráfico de φ x t e ω x t.

b) Como podemos obter a velocidade angular média da roda no percurso?

c) Explique o papel dos pedais e corrente.

d) Existe aceleração, no MCU?

Próxima aula:

- Discussão do problema P2.
- Discussão complementar da videoanálise VA2.

C.2 Questões utilizadas na turma de controle

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MATO GROSSO

ENSINO MÉDIO – FÍSICA I
2 Tempos

Física I

Movimento Retilíneo Uniforme (MRU)

Professor: Erick dos Santos Silva

1º Bimestre de 2016

Cronograma

1. Movimento Retilíneo Uniforme (MRU).
2. Gráficos de s x t, v x t e a x t.
3. Equação horária da posição.

Questão 01

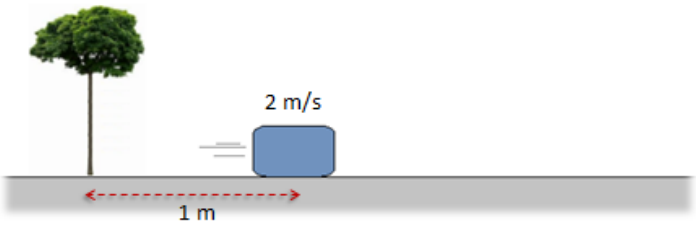
Uma pessoa menciona que um corpo está em movimento retilíneo e uniforme.

a) O que está indicado pelo termo "retilíneo"?

b) O que está indicado pelo termo "uniforme"?

Questão 02

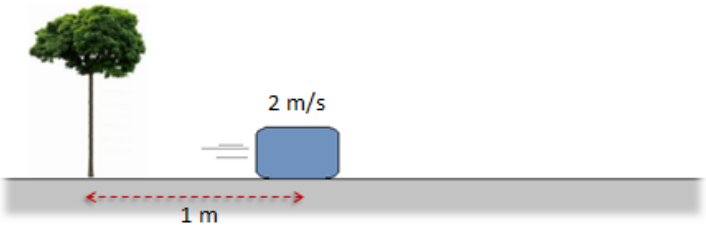
Considere um objeto em MRU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra a $1m$ de uma árvore A.



Podemos prever o comportamento futuro deste objeto? Justifique.

Questão 03

Considere um objeto em MRU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra a $1m$ de uma árvore A.

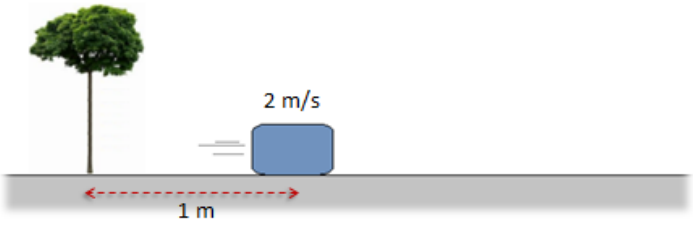


Obtenha a posição deste objeto, em relação à árvore:

a) após 10 s.
b) após 20 s.
c) após 1 min.

Questão 04

Considere um objeto em MRU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra a $1m$ de uma árvore A.

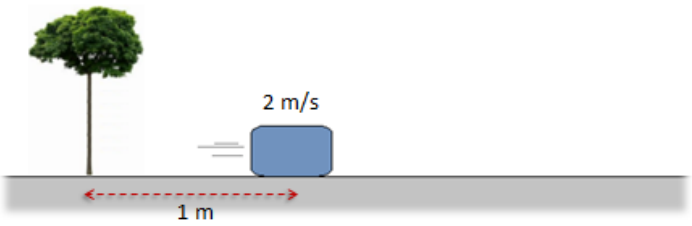


a) Esboce o gráfico v x t pare este móvel.
b) O que representa a área do gráfico? Qual o seu valor?

Questão 05

Dado: 3,6 km/h = 1m/s.

Considere um objeto em MRU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra a $1m$ de uma árvore A.



a) A velocidade acima encontra-se no S.I. Qual seria esse valor em km/h?
b) Indique um procedimento para a conversão da velocidade de m/s para km/h. Apresente pelo menos dois exemplos.

Próxima aula:

- Discussão do problema P1.
- Discussão dos exemplos e aplicações.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
MATO GROSSO

ENSINO MÉDIO – FÍSICA I
2 Tempos

Física I

Movimento Circular Uniforme (MCU)

Professor: Erick dos Santos Silva

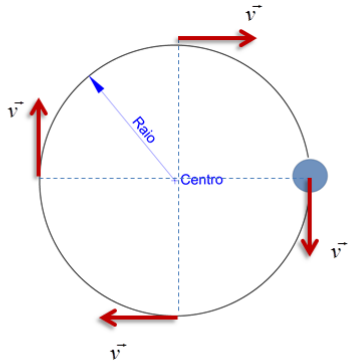
1º Bimestre de 2016

Cronograma

1. Movimento Circular Uniforme (MCU).
2. Gráficos de φ x t, ω x t e α x t.
3. Equações horárias.

Questão 01

Um partícula encontra-se em MCU, conforme indica a figura abaixo.



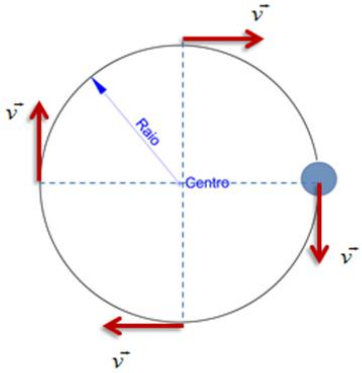
Rotação no sentido horário

a) A velocidade é constante?

b) A partícula possui aceleração?

Questão 02

Considere um objeto em MCU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra em uma trajetória circular de raio 0,20 *m*. Sabe-se que o objeto completa 1 volta a cada 2s.



Rotação no sentido horário

Obtenha a posição deste objeto:

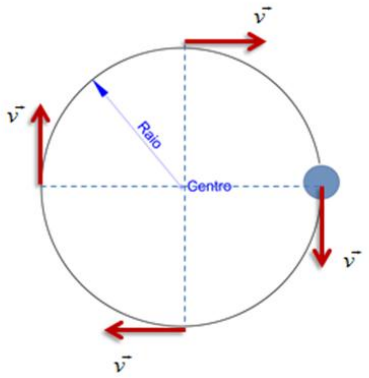
a) Após 1 s.

b) Após 1,5 s.

c) Após 2 s.

Questão 03

Considere um objeto em MCU. Apresentamos abaixo uma foto instantânea do objeto, quando ele se encontra em uma trajetória circular de raio a 0,20 *cm*. Sabe-se que o objeto completa 1 volta a cada 2s.

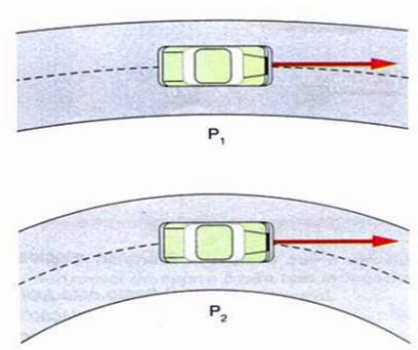


Rotação no sentido horário

a) Determine o período e a frequência do movimento.
b) O espaço angular percorrido em um período e a velocidade angular.
c) Podemos obter a velocidade linear? Justifique.
d) Podemos obter a aceleração centrípeta? Justifique.

Questão 04

Dois carros se deslocam com a mesma velocidade linear nas pistas P1 e P2.



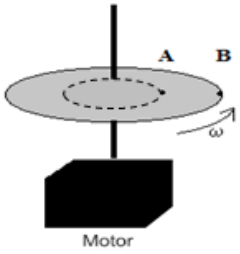
Máximo, A; ALVARENGA, B., 2006.

a) Qual das pistas tem maior raio?

b) Para qual dos carros a aceleração centrípeta é maior? Justifique.

Questão 05

A figura abaixo revela a rotação uniforme de um disco mantida por um motor M. Dois pontos A e B são indicados, um mais interno e outro mais externo.

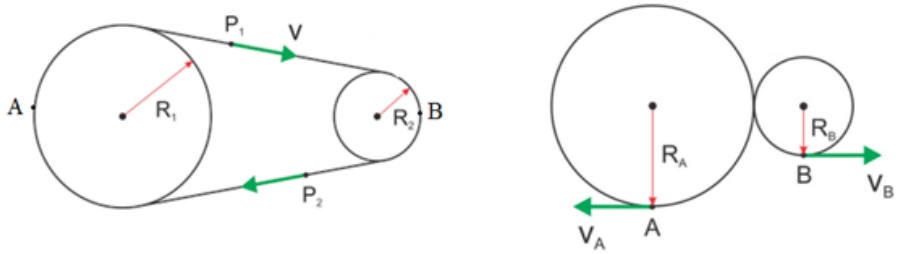


a) Podemos dizer que os pontos A e B possuem mesma v?

b) Podemos dizer que os pontos A e B possuem mesma ω?

Questão 06

Abaixo temos a transmissão de MCU por corrente e por contato.



Podemos dizer que os pontos A e B do disco possuem:

a) mesma velocidade linear v?

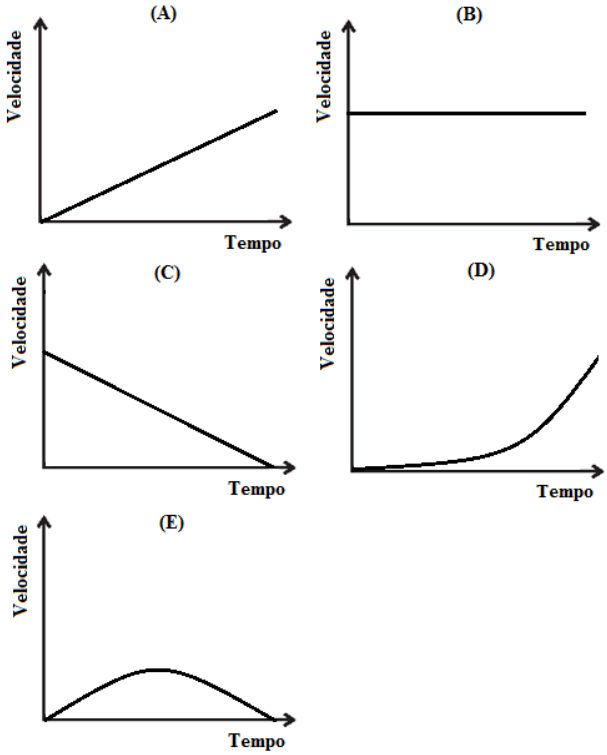
b) Mesma velocidade angular ω?

Próxima aula:

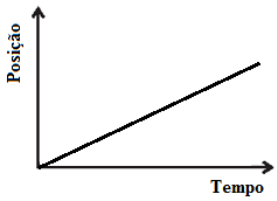
- Discussão do problema P2.
- Discussão dos exemplos e aplicações.

Apêndice D – Teste de conhecimentos

Questão 01 (Adaptada de Agrello e Garg, 1999) – Gráficos de velocidade *versus* tempo para cinco objetos são mostrados abaixo. Todos os eixos têm a mesma escala. Qual objeto apresenta maior variação da posição durante o intervalo?



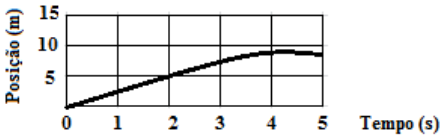
Questão 02 (Adaptada de Agrello e Garg, 1999) – Abaixo está o gráfico do movimento de um objeto.



Qual das sentenças abaixo melhor interpreta este gráfico?

a) O objeto está se movendo com aceleração constante, diferente de zero.
b) O objeto não está se movendo.
c) O objeto está se movendo com velocidade uniformemente crescente.
d) O objeto está se movendo com velocidade constante.
e) O objeto está se movendo com aceleração uniformemente crescente.

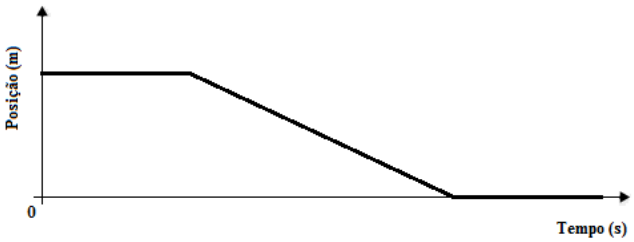
Questão 03 (Adaptada de Agrello e Garg, 1999) – Observe o gráfico abaixo.



A velocidade no tempo t=2 s é:

a) 0,4 m/s
b) 2,0 m/s
c) 2,5 m/s
d) 5,0 m/s
e) 10,0 m/s

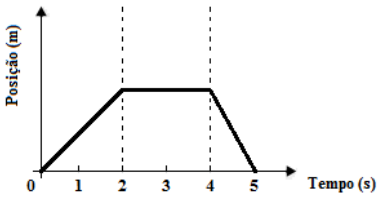
Questão 04 (Adaptada de Agrello e Garg, 1999) – Abaixo vemos o gráfico relativo ao movimento de um objeto.



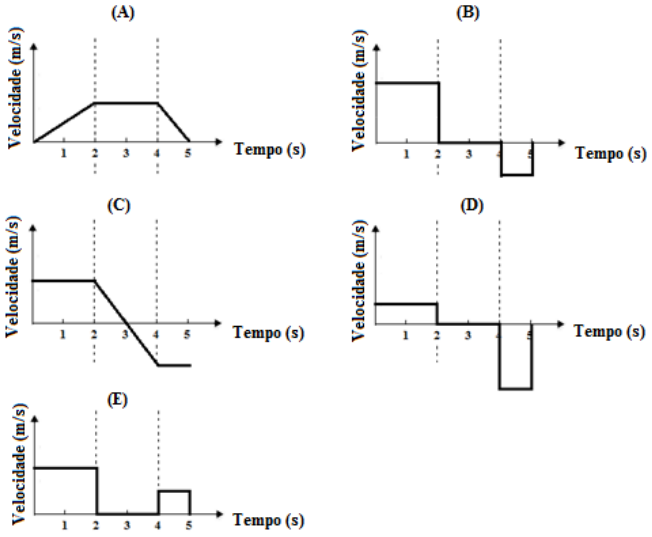
Qual das sentenças a seguir é uma interpretação correta deste gráfico?

a) O objeto rola ao longo de uma superfície plana. Depois ele rola descendo uma montanha e finalmente para.
b) O objeto não se move inicialmente. Depois ele rola descendo uma montanha e finalmente para.
c) O objeto está se movendo com velocidade constante. Depois diminui a velocidade e para.
d) O objeto não se move inicialmente. Depois se move para trás e finalmente para.
e) O objeto se move ao longo de uma área plana, depois se move para trás descendo a montanha e então continua se movendo.

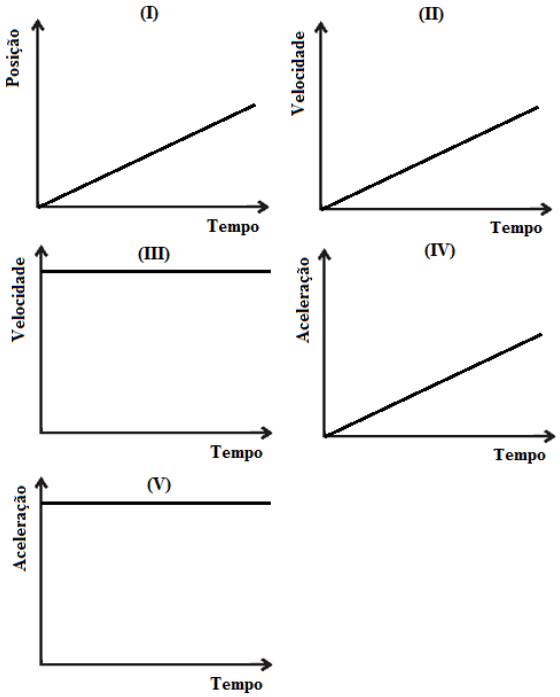
Questão 05 (Adaptada de Agrello e Garg, 1999) – A seguir vemos o gráfico de posição-tempo para um objeto em um intervalo de tempo igual a 5 segundos.



Qual dos seguintes gráficos de velocidade *versus* tempo representaria melhor o movimento do objeto, durante o mesmo intervalo de tempo acima?



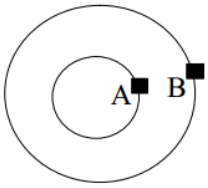
Questão 06 (Adaptada de Agrello e Garg, 1999) – Considere os seguintes gráficos, notando os diferentes eixos:



Qual desses gráficos representa um movimento com velocidade constante?

a) I, II e IV
b) I e III
c) II e V
d) IV somente
e) V somente

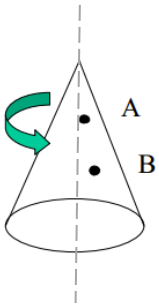
Questão 07 (Adaptada de SILVA, 1990) – Dois móveis A e B percorrem pistas concêntricas, sempre lado a lado.



Podemos dizer que:

a) a velocidade de linear de A é igual a de B.
b) a velocidade linear de A é maior do que a de B.
c) a velocidade linear de A é menor do que a de B.

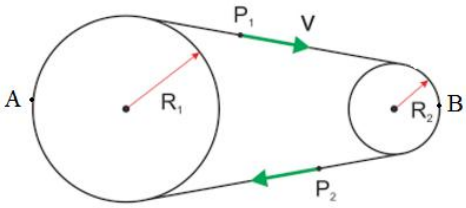
Questão 08 (Adaptada de SILVA, 1990) – Considere um cone, girando em torno do seu eixo de simetria. Dois pontos A e B, na superfície deste cone, são indicados.



Podemos dizer que:

a) a velocidade linear de A é igual a de B.
b) a velocidade linear de A é maior do que a de B.
c) a velocidade linear de A é menor do que a de B.

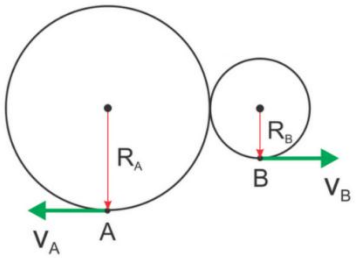
Questão 09 (Adaptada de SILVA, 1990) – Sabemos que a transmissão do movimento circular, de uma polia para outra, pode ser realizada por meio de uma corrente. Observe a figura indicando dois pontos A e B.



Podemos dizer que:

a) a velocidade linear de A é igual a de B.
b) a velocidade linear de A é maior do que a de B.
c) a velocidade linear de A é menor do que a de B.

Questão 10 (Adaptada de SILVA, 1990) – Sabemos que a transmissão do movimento circular, de uma polia para outra, pode ser realizada por contato entre as polias. Observe a figura indicando dois pontos A e B.



Podemos dizer que:

a) a velocidade linear de A é igual a de B.
b) a velocidade linear de A é maior do que a de B.
c) a velocidade linear de A é menor do que a de B.

GABARITO

1. B
2. D
3. C
4. D
5. D
6. B
7. C
8. C
9. A
10. A

Anexo A – Termo de autorização para a pesquisa no IFMT

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA
DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA NA INSTITUIÇÃO

Venho por meio deste documento autorizar o(a) pesquisador(a), ERICK DOS SANTOS SILVA, a desenvolver o projeto intitulado "VÍDEOANÁLISE EM CONTEXTOS COLABORATIVOS: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO SIMULTÂNEO DO MRU E MCU", no INSTITUTO FEDERAL DE MATO GROSSO – CAMPUS JUÍNA. Cabe citar que estou ciente de que o (a) pesquisador(a) está regularmente matriculado no programa de pós-graduação stricto sensu em Ensino de Ciências da *Unidade Nilópolis do Instituto Federal, Campus Nilópolis*.

Foi esclarecido que os sujeitos da pesquisa serão DISCENTES DO NÍVEL MÉDIO. Estou ciente de que a pesquisa consiste na COLETA DE DADOS para investigações sobre a implementação de metodologias no contexto da aprendizagem ativa no ensino de Física, não comprometendo a qualidade de ensino e nem os sujeitos da pesquisa. A qualquer momento, os alunos poderão desistir de participar da pesquisa, não causando nenhum prejuízo às instituições envolvidas, à pesquisa ou aos alunos. Cabe citar que os procedimentos adotados pelo (a) pesquisador(a) garantem sigilo da identidade dos participantes. Os dados serão utilizados para realização de relatórios internos e publicações científicas.

Juína - MT, _____ de _____ de 2016.

_____

GERALDO APARECIDO POLEGATTI
Diretor Geral do IFMT – Campus Juína

A.1 Termo de autorização para a pesquisa no IFMT

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RIO DE JANEIRO
Campus Nilópolis

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO DE JANEIRO - IFRJ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENSINO DE CIÊNCIAS
CREDENCIADO PELA CAPES/MEC

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA
DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA NA INSTITUIÇÃO

Venho por meio deste documento autorizar o(a) pesquisador(a), ERICK DOS SANTOS SILVA, a desenvolver o projeto intitulado "VÍDEOANÁLISE EM CONTEXTOS COLABORATIVOS: UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO SIMULTÂNEO DO MRU E MCU", no INSTITUTO FEDERAL DE MATO GROSSO – CAMPUS JUÍNA. Cabe citar que estou ciente de que o (a) pesquisador(a) está regularmente matriculado no programa de pós-graduação stricto sensu em Ensino de Ciências da *Unidade Nilópolis do Instituto Federal, Campus Nilópolis*.

Foi esclarecido que os sujeitos da pesquisa serão DISCENTES DO NÍVEL MÉDIO. Estou ciente de que a pesquisa consiste na COLETA DE DADOS para investigações sobre a implementação de metodologias no contexto da aprendizagem ativa no ensino de Física, não comprometendo a qualidade de ensino e nem os sujeitos da pesquisa. A qualquer momento, os alunos poderão desistir de participar da pesquisa, não causando nenhum prejuízo às instituições envolvidas, à pesquisa ou aos alunos. Cabe citar que os procedimentos adotados pelo (a) pesquisador(a) garantem sigilo da identidade dos participantes. Os dados serão utilizados para realização de relatórios internos e publicações científicas.

Juína - MT, 03 de Novembro de 2016.

GERALDO APARECIDO POLEGATTI
Diretor Geral do IFMT – Campus Juína

Geraldo Aparecido Polegatti
Diretor Geral
Port. IFMT Nº 1957 de 20 de Agosto de 2015
IFMT - CAMPUS JUÍNA

Anexo B – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, RG _____, aluno(a) da disciplina _____, oferecida pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, *Campus* Juína, declaro por meio deste termo que me voluntario a participar da coleta de dados para a investigação científica da metodologia de ensino utilizada na disciplina. A pesquisa será realizada pelo professor *Erick dos Santos Silva*, vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, *Campus* Nilópolis.

Declaro estar informado sobre os objetivos gerais da pesquisa em andamento:

- avaliar a implementação de uma sequência didática utilizando a videoanálise em contextos colaborativos de aprendizagem ativa, em uma disciplina de Física, tendo em vista a posterior análise e comparação dos resultados obtidos com outros trabalhos encontrados na literatura especializada;

- entender os elementos constituintes dos métodos de aprendizagem ativa e avaliação de seus impactos na geração de aprendizagens significativas em Física.

Declaro que fui igualmente informado de que as informações coletadas a partir desta pesquisa serão utilizadas apenas em situações acadêmicas ou científicas, sem revelar minha identificação, gerar custo ou compensação financeira. Autorizo somente para uso acadêmico as informações prestadas, as fotos e filmagens obtidas durante minha participação na disciplina. Minha colaboração terá início quando eu entregar este presente termo devidamente assinado, tendo ciência que posso dirimir qualquer dúvida sobre o projeto, a qualquer momento, com o pesquisador responsável.

Juína, ____ de _____ de 2016.

_____

Assinatura do pesquisador responsável

_____

Assinatura do voluntário ou responsável legal