



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
Instituto de Física  
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física  
Mestrado Profissional em Ensino de Física  
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física



## **Jogo educacional para o ensino básico de Relatividade Galileana**

Otávio Fossa de Almeida

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:  
Penha Maria Cardozo Dias  
Antônio Carlos Fontes dos Santos

Rio de Janeiro  
Outubro de 2016

# Jogo educacional para o ensino básico de Relatividade Galileana

Otávio Fossa de Almeida

Orientadores:

Penha Maria Cardozo Dias  
Antônio Carlos Fontes dos Santos

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Profa. Dra. Penha Maria Cardozo Dias (Presidente)

---

Prof. Dr. Nelson Studart Filho

---

Prof. Dr. Marcos Veríssimo Alves

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Magalhães de Aguiar

Rio de Janeiro  
Outubro de 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

A447j Almeida, Otávio Fossa de  
Jogo educacional para o ensino básico de Relatividade Galileana / Otávio Fossa de Almeida. – Rio de Janeiro: UFRJ/IF, 2016.  
14, 205 f. : il. ; 30 cm.  
Orientadores: Penha Maria Cardozo Dias; Antônio Carlos Fontes dos Santos.  
Dissertação (mestrado) – UFRJ / Instituto de Física / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2016.  
Referências Bibliográficas: f. 203-205.  
1. Ensino de Física. 2. Relatividade galileana. 3. Role-playing game. I. Dias, Penha Maria Cardozo. II. Santos, Antônio Carlos Fontes dos. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Jogo educacional para o ensino básico de Relatividade Galileana.

A meus pais, professores e alunos.

## **Agradecimentos**

Agradeço a meus pais, Sávio e Maria Inês, por terem incentivado meu interesse pela Ciência, desde a mais tenra idade e por me ensinarem que a criatividade é o suporte para os bons profissionais. Agradeço a meus professores, do jardim de infância à universidade, pois sem a paciência, a dedicação e o auxílio deles este presente trabalho não poderia existir. Também, agradeço enormemente a meus alunos e aos jovens que, mesmo não sendo diretamente meus alunos, contribuíram para a confecção do jogo, tanto com ideias, quanto participando das entrevistas. Finalmente, agradeço ao programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF, ligado à Sociedade Brasileira de Física – SBF, e à CAPES pelo suporte financeiro.

## RESUMO

### Jogo educacional para o ensino básico de Relatividade Galileana

Otávio Fossa de Almeida

Orientadores:

Penha Maria Cardozo Dias  
Antônio Carlos Fontes dos Santos

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Uma proposta para superar dificuldades no aprendizado de uma ciência é envolver o aluno em atividades extraclasse, que lhe permitam desenvolver os conhecimentos prévios apropriados. Com esse propósito, esta dissertação propõe um jogo virtual do tipo *role-playing game* (RPG), que pode ser aproveitado pelos professores como atividade extraclasse anterior à aulas específicas. Os jogos do tipo RPG são prioritariamente em primeira pessoa, o que estimula o protagonismo do jogador, e são baseados em uma estrutura de missões ou enigmas, geralmente designadas como *quests*. Essas características são muito similares às características das atividades investigativas, que se baseiam no protagonismo do aluno na construção do conhecimento e na estrutura de perguntas guias. O assunto de Física a ser investigado é a relatividade galileana. O roteiro do jogo desenvolve-se em torno de concepções prévias sobre a relatividade do movimento e em metodologias de atividades investigativas.

Palavras chave: Ensino de Física, Relatividade galileana, Role-playing game.

Rio de Janeiro  
Outubro de 2016

## ABSTRACT

### Educational game for basic teaching Galilean relativity

Otávio Fossa de Almeida

Supervisors:

Penha Maria Cardozo Dias  
Antônio Carlos Fontes dos Santos

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

In order to overcome difficulties in the learning of science, it has been proposed that the student be engaged in extra class activities that allow the development of appropriate prior knowledge. With this aim in view, this dissertation proposes a virtual game of the kind role-playing game (RPG) that can be used by teachers as extra class activity previous to the class. Contrary to many games, the RPG is mainly in the first person, which encourages de player's participation, and is based on missions or riddles, usually called *quests*. These characteristics are similar to those of the inquiry-based learning, which are based on the participation of the student in knowledge construction, and in the structure of guiding questions. The physics subject to be inquiry is the Galilean relativity. The story of the game is developed from previous conceptions on relativity, and from inquiry-based learning.

Keywords: Physics Teaching, Galilean relativity, Role-playing game.

Rio de Janeiro  
Outubro de 2016

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Revisão da literatura</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Recursos gráficos</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>O roteiro do JEDI</b>	<b>23</b>
4.1	Cena 0 . . . . .	25
4.2	Cena 1 . . . . .	27
4.2.1	Configuração para um “avatar” que defende a existência de um referencial privilegiado . . . . .	29
4.2.2	Configuração para um “avatar” que defende as demais concepções . . . . .	31
4.3	Cena 2 . . . . .	33
4.3.1	Configuração para um “avatar” que ainda não formulou o conceito de Referencial . . . . .	35
4.3.2	Configuração para um “avatar” que já formulou o conceito de referencial . . . . .	36
4.4	Cena 3 . . . . .	37
<b>5</b>	<b>As avaliações</b>	<b>44</b>
5.1	Cena 0 . . . . .	45
5.2	Cena 1 . . . . .	46
5.2.1	Primeira ramificação da cena . . . . .	46
5.2.2	Segunda ramificação da cena . . . . .	49
5.3	Cena 2 . . . . .	50
5.3.1	Primeira ramificação da cena . . . . .	50
5.3.2	Segunda ramificação da cena . . . . .	51
5.4	Cena 3 . . . . .	52
5.5	Entrevistas e Questionários . . . . .	54

<b>6</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>58</b>
<b>A</b>	<b>Entrevistas</b>	<b>62</b>
A.1	Cena 0 . . . . .	63
A.1.1	Entrevista 1 (Pedro Paulo - 17 anos) . . . . .	63
A.2	Cena 1 . . . . .	68
A.2.1	Entrevista 2 (João Victor - 16 anos) . . . . .	68
A.2.2	Entrevista 3 (João Victor - 16 anos) . . . . .	73
A.3	Cena 2 . . . . .	79
A.3.1	Entrevista 4 (Eduardo - 11 anos) . . . . .	79
A.3.2	Entrevista 5 (Eduardo - 11 anos) . . . . .	84
A.3.3	Entrevista 6 (Fabrício - 19 anos) . . . . .	87
A.4	Cena 3 . . . . .	93
A.4.1	Entrevista 7 (Aline - 20 anos) . . . . .	93
A.4.2	Entrevista 8 (Aline - 20 anos) . . . . .	99
<b>B</b>	<b>Questionários</b>	<b>104</b>
B.1	Cena 0 . . . . .	104
B.1.1	Questionário 1 . . . . .	104
B.2	Cena 1 . . . . .	108
B.2.1	Questionário 2 . . . . .	108
B.2.2	Questionário 3 . . . . .	110
B.3	Cena 2 . . . . .	113
B.3.1	Questionário 4 . . . . .	113
B.3.2	Questionário 5 . . . . .	115
B.3.3	Questionário 6 . . . . .	119
B.4	Cena 3 . . . . .	121
B.4.1	Questionário 7 . . . . .	121
B.4.2	Questionário 8 . . . . .	125
<b>C</b>	<b>Fluxogramas</b>	<b>131</b>
C.1	Cena 0 . . . . .	133
C.1.1	Fluxograma 1 . . . . .	133
C.2	Cena 1 . . . . .	135
C.2.1	Fluxograma 2 . . . . .	135
C.2.2	Fluxograma 3 . . . . .	137
C.2.3	Fluxograma 4 . . . . .	139
C.2.4	Fluxograma 5 . . . . .	141
C.3	Cena 2 . . . . .	143
C.3.1	Fluxograma 6 . . . . .	143
C.3.2	Fluxograma 7 . . . . .	144

C.3.3	Fluxograma 8 . . . . .	146
C.3.4	Fluxograma 9 . . . . .	148
C.4	Cena 3 . . . . .	150
C.4.1	Fluxograma 10 . . . . .	150
C.4.2	Fluxograma 11 . . . . .	152
<b>D</b>	<b>Scripts</b>	<b>154</b>
D.1	Sc0Dia1Script . . . . .	154
D.2	AvatarScript . . . . .	159
D.3	Sc1Dia1Script . . . . .	161
<b>E</b>	<b>O Grande Inventor (Manual do Professor)</b>	<b>169</b>
E.1	Cena 0 . . . . .	170
E.2	Cena 1 . . . . .	175
E.3	Cena 2 . . . . .	184
E.4	Cena 3 . . . . .	192
	<b>Referências bibliográficas</b>	<b>203</b>

# Lista de Figuras

3.1	Rei <i>Amado III</i> , visto no <i>MakeHuman</i> . . . . .	20
3.2	O centro da Cidade do Rochedo, visto no <i>Unity3D</i> . Note que os materiais e as texturas ainda precisam de retoques. . . . .	21
4.1	A <i>Ficha</i> com as principais informações do <i>avatar</i> . . . . .	25
4.2	Mapa do <i>Reino de Lindomar</i> e suas principais cidades. . . . .	26
4.3	A rota de comércio entre <i>Lindomar</i> e a <i>Cidade do Leste</i> , capital do <i>Império dos Cinco</i> . . . . .	29
4.4	Esboço dos aparatos de Plácido. A primeira caixa tem o suporte 1 fixo, o qual ocupa o centro das circunferências descritas pelo movimento dos outros dois suportes. A segunda caixa tem o suporte 4 fixo, o qual ocupa o centro do anel que carrega o suporte 5, que por sua vez é o centro da circunferência descrita pelo movimento do suporte 6. . . . .	38
4.5	Modelo Heliocêntrico 3. . . . .	39
4.6	Modelo Heliocêntrico 4. . . . .	40
4.7	Modelo Geocêntrico 1. . . . .	41
4.8	Modelo Selenocêntrico 2. . . . .	42
B.1	Um veleiro e alguns de seus elementos mais básicos. . . . .	109
B.2	Modelo Heliocêntrico. . . . .	125
B.3	Modelo Geocêntrico. . . . .	127
B.4	Modelo Heliocêntrico modificado. . . . .	128
B.5	Modelo Selenocêntrico. . . . .	129
E.1	Mapa do <i>Reino de Lindomar</i> e suas principais cidades. . . . .	171
E.2	A rota de comércio entre <i>Lindomar</i> e a <i>Cidade do Leste</i> , capital do <i>Império dos Cinco</i> . . . . .	176
E.3	Um veleiro e alguns de seus elementos mais básicos. . . . .	180

E.4	Esboço dos aparatos de Plácido. A primeira caixa tem o suporte 1 fixo, o qual ocupa o centro das circunferências descritas pelo movimento dos outros dois suportes. A segunda caixa tem o suporte 4 fixo, o qual ocupa o centro do anel que carrega o suporte 5, que por sua vez é o centro da circunferência descrita pelo movimento do suporte 6. . . . .	194
E.5	Modelo Heliocêntrico. . . . .	198
E.6	Modelo Geocêntrico. . . . .	199
E.7	Modelo Heliocêntrico modificado. . . . .	200
E.8	Modelo Selenocêntrico. . . . .	201

# Lista de Tabelas

2.1	Classificação das atividades investigativas, segundo Tamir ( <i>apud</i> Sá et al. [18]) . . . . .	17
5.1	Distribuição das respostas dos alunos em relação ao ano do Ensino Médio e à concepção prévia em relatividade do movimento. . . . .	56
B.1	Respostas à situação 1, questionário 1. . . . .	105
B.2	Respostas à situação 2, questionário 1. . . . .	105
B.3	Respostas à situação 3, questionário 1. . . . .	106
B.4	Respostas à situação 4, questionário 1. . . . .	107
B.5	Respostas à situação 5, questionário 1. . . . .	108
B.6	Respostas à situação 1, questionário 2. . . . .	108
B.7	Respostas à situação 2, questionário 2. . . . .	109
B.8	Respostas à situação 3, questionário 2. . . . .	110
B.9	Respostas à situação 4, questionário 2. . . . .	110
B.10	Respostas à situação 1, questionário 3. . . . .	110
B.11	Respostas à situação 2, questionário 3. . . . .	111
B.12	Respostas à situação 3, questionário 3. . . . .	111
B.13	Respostas à situação 4, questionário 3. . . . .	111
B.14	Respostas à situação 5, questionário 3. . . . .	112
B.15	Respostas à situação 6, questionário 3. . . . .	112
B.16	Respostas à situação 7, questionário 3. . . . .	113
B.17	Respostas à situação 1, questionário 4. . . . .	113
B.18	Respostas à situação 2, questionário 4. . . . .	114
B.19	Respostas à situação 3, questionário 4. . . . .	114
B.20	Respostas à situação 4, questionário 4. . . . .	115
B.21	Respostas à situação 1, questionário 5. . . . .	116
B.22	Respostas à situação 2, questionário 5. . . . .	116
B.23	Respostas à situação 3, questionário 5. . . . .	117
B.24	Respostas à situação 4, questionário 5. . . . .	118
B.25	Respostas à situação 5, questionário 5. . . . .	118

B.26	Respostas à situação 6, questionário 5. . . . .	119
B.27	Respostas à situação 1, questionário 6. . . . .	120
B.28	Respostas à situação 2, questionário 6. . . . .	120
B.29	Respostas à situação 3, questionário 6. . . . .	121
B.30	Respostas à situação 1, questionário 7. . . . .	121
B.31	Respostas à situação 2, questionário 7. . . . .	121
B.32	Respostas à situação 3, questionário 7. . . . .	122
B.33	Respostas à situação 4, questionário 7. . . . .	123
B.34	Respostas à situação 5, questionário 7. . . . .	124
B.35	Respostas à situação 6, questionário 7. . . . .	125
B.36	Respostas à situação 1, questionário 8. . . . .	126
B.37	Respostas à situação 2, questionário 8. . . . .	128
B.38	Respostas à situação 3, questionário 8. . . . .	129
B.39	Respostas à situação 4, questionário 8. . . . .	130
B.40	Respostas à situação 5, questionário 8. . . . .	130
C.1	Organização dos fluxogramas segundo a cena e o perfil envolvido.	131

# Capítulo 1

## Introdução

É comum ouvir nas mais acaloradas discussões entre professores, como uma tragédia encenada entre uma aula e outra e regada a alguns goles de café, que a educação atual está falida e que os alunos são apáticos. Porém, talvez seja difícil afirmar que a educação brasileira piorou nos últimos anos, pois são projetos completamente distintos, como veremos a seguir.

O ensino tradicional, que consiste em escolas por turnos e em aulas expositivas, além de contar com o forte *background* familiar, que oferece no contra turno um contínuo suporte ao desenvolvimento cognitivo do estudante, atende somente a um grupo seletivo de jovens, normalmente oriundos de classes sociais mais abastadas. Nesse ponto, essas escolas tradicionais e que atendem a esse público de maior renda continuam apresentando bons resultados.

As políticas educacionais que se desenvolveram após a promulgação da Constituição de 1988, que culminaram na LDB de 1996, no entanto, tornaram obrigatório e universal o ensino formal até o Ensino Médio, o que gerou o desafio de levar instrução para uma grande maioria da população brasileira que não possui a tradição de valorizar e incentivar esse tipo de cultura ou que não possui condições para tal. Segundo Luiz A. Cunha [1], essa expansão das vagas atraiu para a escola diferentes perfis de usuários, o que fez surgir novas exigências para a qualidade.

Assim, a maioria dos professores espera um aluno com uma bagagem

adequada de vivências pessoais, por essas vivências serem capazes de servir de “ganchos cognitivos” a que os conteúdos escolares podem se “prender”, ou espera que os responsáveis legais do estudante percebam qualquer deficiência na aprendizagem e ofereçam o apoio extra classe necessário, mas se deparam com uma realidade completamente diferente.

A realidade é que a grande maioria dos alunos é oriunda de famílias pobres ou desestruturadas, principalmente na rede pública de ensino, cujas condições de vida não oferecem diversidade de experiências sensoriais e culturais ou cujos responsáveis são pouco participativos na formação pessoal do estudante. Também, é crescente o número de jovens provenientes da nova família de classe média, em que os pais trabalham o dia inteiro e dispõem de pouco tempo para dar a atenção necessária à formação dos filhos. Para Juliana L. R. Riani e Eduardo L. G. Rios [2], a importância da educação materna — ou educação familiar — nos indicadores educacionais é muito grande, o que demonstra a alta estratificação educacional existente no Brasil, mesmo que a melhora da rede escolar constitua um importante fator na diminuição dessa estratificação.

Nesse contexto, a escola, que era considerada uma “formalizadora” de conhecimento, passa quase que efetivamente a ser a fonte de novas vivências e novos paradigmas. Deste modo, há um grande esforço no meio acadêmico brasileiro de desenvolver propostas para a melhoria da qualidade de ensino, principalmente no ensino público, investigando metodologias cada vez mais abrangentes e que atendam ao grande número de alunos e suas diversidades culturais e cognitivas.

Dentre tais esforços, são notáveis os grupos que, seguindo uma tendência mundial, defendem entusiasmadamente a aprendizagem baseada em jogos digitais (*digital game-based learning*). A justificativa inicial mais básica e a definição mais elementar desse tipo de aprendizagem pode ser lida abaixo, nas próprias palavras de seu idealizador, Marc Prensky ([3], p.5):

Embora, como veremos, não haja um consenso sobre como exatamente as pessoas ou os adultos aprendem, quase todas as teorias reconhecem que é fundamental o envolvimento dos alunos no processo. E, embora às vezes

seja possível que a aprendizagem por si só seja uma motivação envolvente, muito do que as pessoas precisam aprender, particularmente em um ambiente empresarial, não é intrinsecamente motivadora para a maioria delas. Mas isso não significa que a aprendizagem não pode ser divertida — pelo contrário. A Aprendizagem Baseada em Jogos Digitais trata precisamente do divertimento e do envolvimento, e da junção da aprendizagem séria e do entretenimento interativo em um emergente e altamente excitante meio — os Jogos Digitais de Aprendizagem.<sup>1</sup>

Neste trabalho será proposta uma metodologia baseada no que doravante chamaremos, por falta de um consenso terminológico em língua portuguesa, de Jogos Educacionais em ambientes Digitais e Interativos (JEDIs), que são feitos para computadores ou *smartphones* e que permitem não só simulações pontuais de fenômenos físicos, como, também, a imersão do jogador-aluno num ambiente totalmente contextualizado, ou seja, com características sociais, filosóficas e tecnológicas que recriam momentos históricos importantes na Física ou que criam um novo mundo que, de alguma maneira, faça paralelos com o mundo real.

Essa metodologia se insere no contexto da chamada Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*), que consiste na obtenção prévia por parte do estudante (uma espécie de pré-dever de casa) de informações na forma de vídeos, de leituras, de buscas na internet, etc., para posterior trabalho do conteúdo pelo professor em sala de aula, o que vai permitir a confecção de atividades de fixação, como o dever de casa propriamente dito.

A Sala de Aula Invertida pode ser definida, segundo Jacob L. Bishop e Matthew A. Verleger [4], como uma técnica educacional dividida em duas partes: atividades extra classe individuais mediadas diretamente por computador e atividades interativas de aprendizagem em grupo dentro da sala de

---

<sup>1</sup>Original: While, as we will see, there is no consensus on exactly how people or adults learn, almost all theories recognize that it is key to have learners engaged in the process. And while it is sometimes possible for learning for it's own sake to be an engaging motivator, much of what people need to learn, particularly in a business setting, is not intrinsically motivating to most of the population. But this doesn't mean learning it can't be fun — on the contrary. Digital Game-Based Learning is precisely about fun and engagement, and the coming together of and serious learning and interactive entertainment into a newly emerging and highly exciting medium — Digital Learning Games.

aula. Vale frisar que esses autores [4] rejeitam que simples atividades de leitura extra classe para posterior discussão em sala de aula sejam consideradas sala de aula invertida, porque uma definição demasiadamente generalizada torna impossível verificar a eficácia da técnica e porque os alunos tendem a não ler completamente as leituras sugeridas.

Dessa maneira, o JEDI proposto neste trabalho tem a função de preparar o aluno para a posterior formalização do conteúdo em sala de aula, oferecendo os conhecimentos prévios necessários para essa formalização e abrindo caminho para a consolidação daquele conhecimento na estrutura cognitiva do estudante, o que pode ser objetivamente verificado tanto nas avaliações somativas internas da escola quanto nas externas, uma vez que alguém dificilmente seria capaz de discorrer consistentemente sobre um assunto que ignora.

No entanto, propor o uso de computadores e *smartphones* no ensino requer algumas ressalvas. Segundo Alexandre Medeiros e Cleide F. de Medeiros [5], não é de hoje que tecnologias inovadoras são aclamadas como perspectivas mirabolantes para a educação. Por exemplo, em 1922, Thomas Edison já fazia previsões entusiasmadas sobre o uso do cinema na educação (*apud* Medeiros e Medeiros [5], p.77):

(...) as figuras em movimento estão destinadas a revolucionar o nosso sistema educacional. Em poucos anos, elas suplantarão amplamente, senão inteiramente, o uso dos livros didáticos.

Para Medeiros e Medeiros [5], outras tantas tecnologias inovadoras para sua época foram alardeadas como solução definitiva para o ensino, enquanto as frustrações de tais expectativas sempre eram creditadas ao despreparo dos professores, inadequação das escolas, falta de recursos financeiros e etc.

Esses autores [5] também contrastam em seu artigo pontos positivos no uso de computadores no ensino, como a inclusão de recursos audiovisuais como apoio às aulas, o uso de simulações para representar fenômenos de difícil acesso e o acesso facilitado à informação a partir da internet, com os pontos negativos, como o perigo de se considerar a tecnologia quase autônoma da supervisão de um profissional da educação e de se ter simulações desco-

nexas da realidade ou que pretendam substituir totalmente a necessidade de experimentos reais.

Tendo isso em mente, esta dissertação não propõe o uso dos JEDIs como solução definitiva para promover o processo de ensino e aprendizagem, alcançando os mais diversos tipos de estudantes, mas se vale de um recurso bastante atrativo à maioria dos jovens atuais para tentar estimular neles vivências extraclasse capazes de serem aproveitadas como conhecimentos prévios úteis ao ensino formal.

É importante ressaltar que este trabalho leva a sério o perigo de se oferecer uma atividade extraclasse sem a supervisão docente. Por isso, é proposto conhecer o máximo possível as concepções prévias dos estudantes a respeito do objeto de estudo e propor atividades investigativas e de pesquisa que sejam guiadas da maneira mais explicativa possível, sem, contudo, tolher sua liberdade intelectual. Da mesma forma, apesar do JEDI proposto ser liberado para o grande público, ele pode e deve ser usado como apoio ao professor, que tem a função de assistir a experiência adquirida por seu aluno. Com essa finalidade, foi produzido um manual, destacável desta dissertação e que consiste no Apêndice E, para professores que queiram usar esse *game* como atividade pré-instrucional.

Segundo Rafael J. Ribeiro *et al.* [6], cerca de 40% (11 de 27) dos *softwares* educacionais brasileiros analisados, em diferentes áreas do conhecimento, não relatam explicitamente o uso de alguma teoria de aprendizagem, o que interfere diretamente em seu sucesso. Também, segundo os mesmos autores [6], cerca de 59% (16 de 27) dos *softwares* analisados não possuem quaisquer instrumentos de verificação de seus objetivos pedagógicos. Dessa maneira, a fundamentação teórica usada para a confecção do JEDI proposto é explicada com maior profundidade no Capítulo 2, enquanto que a avaliação do desempenho dos jogadores-alunos é apresentada no Capítulo 5.

Para a idealização do JEDI, entendeu-se que a melhor maneira de se introduzir uma atividade investigativa seja através do *Role-playing game* (RPG), que surgiu na década de 1970. Diferentemente dos jogos do tipo teatro, em que o jogador interpreta um personagem com *script* fechado, e os do tipo estratégia, que são impessoais, como o xadrez, o RPG é prioritariamente em

primeira pessoa, o que estimula o protagonismo do jogador, e é baseado em uma estrutura de missões ou enigmas, geralmente designadas como *quests*. Em sua versão original, também conhecida como “RPG de mesa”, os jogadores e o narrador (o “mestre”) se reúnem ao redor de uma mesa onde ficam os manuais do jogo, os dados e as fichas de cada personagem e a aventura se desenrola de forma flexível a partir da interação interpessoal. Estas características são muito similares às características das atividades investigativas, que se baseiam no protagonismo dos alunos com a finalidade de construir o conhecimento, na interação entre eles e na estrutura de perguntas guias.

Destarte, os objetivos gerais deste trabalho são:

- Tornar o ensino de Física lúdico e atrativo, sem perder seu aspecto científico;
- Incentivar o autodidatismo, a criatividade e o aprendizado para além da escola;
- Oferecer e reunir recursos, como simulações de fenômenos físicos, que, de outra forma, seriam inacessíveis aos estudantes;
- Discutir a viabilidade de produção de *games* didáticos com roteiros cativantes e de alta performance gráfica, como mostra o Capítulo 3, de recursos gráficos, e o Apêndice D, de exemplos de *scripts* de programação.

Enquanto que os objetivos específicos são:

- Apresentar como produto do mestrado profissional um protótipo de JEDI, cujo roteiro é explicado no Capítulo 4 e cuja transcrição dos principais diálogos é apresentada no Apêndice C, baseado no *Role-playing game* (RPG);
- Apresentar, também como produto, um pequeno manual desse JEDI para professores que queiram usá-lo como apoio às aulas;<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup>Apêndice E.

- Ensinar de maneira contextualizada a relatividade do movimento segundo a Mecânica Clássica, ou seja, a Relatividade Galileana.

Vale salientar, enfim, que o JEDI proposto foi produzido a partir da participação ativa dos estudantes, que deram sugestões em relação ao roteiro e foram entrevistados, simulando o tradicional “RPG de mesa”. Algumas dessas entrevistas podem ser lidas no Apêndice A. Já as perguntas guia, que foram organizadas em questionários e que podem ser acessadas em detalhes no Apêndice B, foram aplicadas de forma ampla em sala de aula e seus resultados são discutidos na seção 5.5. Outras discussões e algumas complementações são feitas nas considerações finais no Capítulo 6.

## Capítulo 2

### Revisão da literatura

A ideia de usar jogos como ferramentas ativas no processo de ensino e aprendizagem vem se fortalecendo nos últimos anos, com inúmeros grupos de trabalho espalhados pelo mundo e inúmeros encontros focados nessa área, como só neste ano de 2016: a *12th Games, Learning & Society Conference*,<sup>1</sup> que ocorre anualmente na University of Wisconsin, em Madison; a *10th European Conference on Games Based Learning*,<sup>2</sup> que ocorreu na University of the West of Scotland; a *9th International Conference of Education, Research and Innovation*,<sup>3</sup> que ocorreu em Sevilha, Espanha; a *Games & Learning Conference*,<sup>4</sup> promovida pelo *Center for Games & Learning* da MidAmerica Nazarene University; a *Conference of Serious Games*,<sup>5</sup> que ocorreu na University of North Carolina; a *Playful Learning 2016*,<sup>6</sup> que ocorreu na Manchester Metropolitan University; etc. No entanto, Alessandra R. Arantes, Márcio S. Miranda e Nelson Studart Filho [7] ressaltam que poucas são as equipes nas instituições brasileiras que se dedicam a esse fim, mesmo como iniciativas isoladas, que é justamente o caso deste presente trabalho.

Como apontam Rafael Savi e Vânia R. Ulbricht [8], os jogos apresentam

---

<sup>1</sup><http://glsconference.org>

<sup>2</sup><http://www.academic-conferences.org/conferences/ecgbl>

<sup>3</sup><http://iated.org/iceri>

<sup>4</sup><http://www.mnu.edu/resources/center-for-games-and-learning/events.html>

<sup>5</sup><http://seriousplayconf.com>

<sup>6</sup><http://conference.playthinklearn.net/blog>

grandes potencialidades, pois estimulam um grande envolvimento pessoal dos estudantes com o objeto de estudo, estimulam a criatividade e a curiosidade e os encorajam a assumirem riscos intelectuais sem grandes medos do fracasso, o que vai de encontro aos atuais modelos educacionais. Também, segundo Liane M. R. Tarouco *et al.* [9], os jogos constituem uma maneira mais divertida de aprender e melhora a flexibilidade cognitiva.

Para Studart [10]), muitos especialistas reconhecem a importância dos *games* como elemento sociocultural significativo e que eles são mais “atraentes, motivadores, desafiadores e engajadores” do que os recursos usados pela escola tradicional. Ele também discorda dos contra-argumentos difundidos pela mídia de que os *games* contribuem para um comportamento antissocial, são viciantes, estimulam a agressividade, levam à vida sedentária, e tornam os jovens resistentes aos valores e expectativas escolares, à autoridade dos pais e professores e ao cumprimento de horários preestabelecidos.

Studart [10]) concorda que os objetos educacionais digitais formados por animações, audiovisuais, simulações e *games* não são uma panaceia para os males da prática docente e que eles perdem muito de sua efetividade se não forem acompanhados de metodologias inovadoras. Mais ainda, o autor afirma categoricamente que não faz sentido usar as tecnologias de informação e comunicação se os métodos tradicionais e enfadonhos de ensino continuarem a ser empregados, pois isso seria persistir no mesmo, mas com roupagem nova.

Nessa perspectiva, a técnica de Sala de Aula Invertida é centrada no aluno e necessita de uma metodologia de aprendizagem ativa, em que o estudante deixa de ser um mero espectador em sala de aula e passa a participar ativamente na construção do conhecimento, o método escolhido neste trabalho é um híbrido entre a Aprendizagem por Investigação, com foco maior nas atividades experimentais e na relação entre o estudante e o meio exterior, e o Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*), que se insere no campo da Aprendizagem Significativa e é focada principalmente na estrutura cognitiva intrínseca ao estudante, levando em consideração os conhecimentos prévios dos alunos na elaboração das aulas.

A Aprendizagem por Investigação, também conhecida como Atividade Investigativa, é caracterizada pela identificação de uma situação-problema

que norteia a investigação dos alunos e de atividades principalmente experimentais e em grupo. Ela constitui uma das tendências atuais na educação, por incentivar o raciocínio formal dos estudantes, por desenvolverem suas habilidades cognitivas e estimularem a cooperação entre eles, como explicam Andreia F. Zompero e Carlos E. Laburu [11]. A solução da situação-problema se dá pelo esforço e pelo interesse dos estudantes, mas esse esforço é conduzido por uma série de perguntas-guias elaboradas normalmente pelo professor.

No Ensino sob Medida, o ponto principal é permitir ao professor planejar suas aulas a partir das dificuldades e conhecimentos prévios de seus estudantes, que podem ser revelados por respostas que eles fornecem em questionários ou atividades que antecedem a aula formal, como comentam Ives S. Araújo e Eric Mazur [12]. Para estes autores, essas dificuldades são mapeadas em uma etapa preparatória, anterior à aula, em que os alunos são convidados a estudar os materiais fornecidos pelo professor e a fornecer respostas que permitam avaliar o nível de compreensão alcançado sobre os conteúdos.

Assim, como um primeiro passo na análise da estrutura cognitiva do jogador-aluno, este trabalho tem o cuidado especial de tentar conhecer *a-priori* seu público-alvo e explorar quais são os principais conceitos prévios dos estudantes em relação ao objeto de estudo, principalmente por se tratar de uma atividade liberada ao grande público e que pode ser usada pelos professores como material pré-instrucional em contextos completamente diversos.

Dentre os muitos trabalhos sobre concepções prévias analisados em Relatividade Galileana, o artigo publicado por Sadhir Panse, Jayashree Ramadas e Arvind Kumar [13] e suas continuações publicadas por Ramadas, Shrish Barve e Kumar [14, 15] são os mais completos e precisos encontrados, elencando mais de duas dezenas de conceitos revelados pelos alunos dos anos iniciais do ensino superior (*college*) em Bombaim, na Índia.

No primeiro artigo, os autores pretendem estudar as concepções alternativas dos estudantes a respeito do conceito de referencial que, em Física, se refere ao espaço vetorial usado para descrever o movimento dos corpos. Para tanto, eles dividiram o trabalho em duas etapas que denominaram de testes de “resposta livre” (*free-response*) e de “opção forçada” (*forced-option*).

Na primeira, selecionaram um grupo de 20 estudantes de diferentes instituições de Bombaim que estavam cursando sua primeira disciplina de relatividade e fizeram uma força tarefa de professores para identificar as barreiras conceituais recorrentes nos alunos. Depois, formaram outro grupo com 50 estudantes, diferentes dos do grupo anterior e que já haviam concluído a disciplina, e apresentaram diferentes situações envolvendo o conceito de referencial. Nessa etapa, três alunos foram entrevistados e puderam articular livremente suas respostas sem qualquer julgamento por parte dos professores.

Já na segunda etapa, a análise qualitativa do etapa anterior permitiu a confecção de um questionário com questões objetivas contendo vários aspectos de uma ou mais concepções alternativas, dentre as sete elencadas no artigo. Esse questionário foi aplicado para 111 alunos da graduação que podiam escolher apenas uma alternativa de resposta por questão. Essas respostas permitiram uma análise quantitativa da prevalência de cada concepção alternativa entre os estudantes.

Nesse artigo, as sete concepções alternativas (*alternative conceptions* - AC) elencadas foram:

**AC(I):** Tratando referenciais como objetos concretos — ou seja, por exemplo, o referencial de um carro trafegando numa estrada é o próprio carro;

**AC(II):** Localizando referenciais a partir da extensão dos objetos em que estão ‘fixos’ — ou seja, por exemplo, se o motorista do carro que trafega pela estrada colocar a mão para fora da janela, essa mão não está mais contida no referencial em que o carro é descrito em repouso;

**AC(III):** Tratando corpos menores localizadas dentro de corpos maiores como ‘parte do referencial’ do corpo maior — ou seja, por exemplo, o motorista faz parte do referencial em que o carro é descrito em repouso unicamente por ser menor;

**AC(IV):** Associando um fenômeno particular a um referencial particular — ou seja, por exemplo, o movimento do bonequinho pendurado no

retrovisor interno do carro só pode ser descrito usando o referencial em que o carro é descrito em repouso;

**AC(V):** Realidade e aparência de movimento — ou seja, por exemplo, o carro parece estar parado para o motorista, mas, na verdade, está em movimento;

**AC(VI):** Descrição física através da visualização — ou seja, por exemplo, um livro sobre o banco do passageiro só “está” no referencial em que o carro é descrito em repouso porque pode ser visto pelo motorista;

**AC(VII):** Pseudo-relativismo — ou seja, por exemplo, o bonequinho pendurado no retrovisor interno, e que fica balançando, tem seu movimento descrito de forma diferente pelo motorista e pelo carona, já que eles observam o movimento a partir de pontos de vista diferentes.

O segundo artigo, escrito por Ramadas, Barve e Kumar [14], teve por objetivo estudar como os alunos manuseiam situações envolvendo transformações de quantidades cinemáticas básicas, como tempo, distância, velocidade e energia. A etapa de “resposta livre” foi realizada com 39 estudantes, sendo quatro deles selecionados para a entrevista, e a etapa de “opção forçada” foi aplicada a 102 estudantes veteranos. As seis concepções elencadas foram:

**AC(I):** Uso implícito do tempo absoluto sem a explícita consciência da invariância de intervalos de tempo ( $\Delta t$ ) — ou seja, o estudante até consegue aplicar a soma de velocidades, mas não percebe que a distância deve mudar para garantir a invariância do intervalo de tempo;

**AC(II):** Invariância do intervalo espacial entre quaisquer dois eventos — ou seja, os estudantes usam a invariância do intervalo espacial para garantir se os eventos são simultâneos ou não, o que pode levar à violação da invariância do intervalo de tempo;

**AC(III):** Visualizando as transformações cinemáticas surgindo a partir do ‘arrasto físico’ — ou seja, a composição de velocidades funciona pela ação de um “vento” ou “correnteza” que carrega o corpo consigo;

**AC(IV):** Leis são equações, isto é, coordenadas de descrições de trajetórias — ou seja, por exemplo, um corpo que cai em trajetória retilínea necessariamente está submetido a uma lei diferente da de um corpo que cai em trajetória parabólica;

**AC(V):** Preferência pela explicação cinemática/dinâmica em relação ao raciocínio baseado na ‘invariância de leis’ — ou seja, os alunos preferem entender a Relatividade Galileana como baseada em exemplos isolados em vez de uma poderosa lei que responde a muitas situações onde a cinemática e a dinâmica podem ser confusas;

**AC(VI):** Conservação de energia através dos referenciais — ou seja, por exemplo, mesmo que a velocidade de um corpo mude de um referencial para outro, a energia cinética permanece a mesma.

O terceiro artigo [15], teve por objetivo estudar a percepção dos alunos em relação aos referenciais inerciais e não-inerciais e as “pseudo-forças”. A etapa de “resposta livre” foi realizada com 17 estudantes, sendo quatro deles selecionados para a entrevista, e a etapa de “opção forçada” foi aplicada a 77 estudantes veteranos. As oito concepções elencadas foram:

**AC(I):** Um referencial é inercial se você se move com ele; não-inercial se, quando se olha ‘de fora’, ele está rodando/acelerando — o enunciado é autoexplicativo;

**AC(II):** Algumas rotações são reais, algumas aparentes — ou seja, por exemplo, uma pessoa “fora” de um carrossel girando considera a força centrífuga sofrida por outra pessoa “dentro” como fictícia e refuta a afirmação de que, para o segundo, ele é que se move com velocidade angular oposta;

**AC(III):** Todos os movimentos são relativos (Ultra-relativismo) — ou seja, por exemplo, tanto faz se a Terra que gira ao redor do Sol, ou o contrário, pois não há motivos para considerar uma explicação melhor que a outra;

**AC(IV):** A característica inercial ou não-inercial é uma propriedade relativa entre referenciais — ou seja, por exemplo, o Sol é descrito por um referencial inercial e a Terra por um não-inercial, mas a recíproca também é verdadeira;

**AC(V):** A força centrífuga age sobre objetos rodantes — ou seja, por exemplo, a pessoa “fora” do carrossel é descrita girando no referencial em que o carrossel é descrito em repouso, logo ela sofre a ação da força centrífuga;

**AC(VI):** Julgando forças pelo critério antropomórfico — ou seja, as forças são verificadas pela experiência sensorial do observador;

**AC(VII):** Localizando referenciais rodantes a partir da extensão dos objetos associados — ou seja, por exemplo, tudo que está “fora” do carrossel não pode ser descrito pelo referencial correspondente;

**AC(VIII):** Pseudoforças são forças ‘aparentes’ ou imaginárias — ou seja, elas realmente não existem, são apenas impressão;

Voltando à discussão desta dissertação, é comum, no ensino básico de Relatividade Galileana, o antagonismo simples entre a ideia de Aristóteles, de um referencial privilegiado para todos os movimentos (sejam naturais ou violentos), e o conceito de relatividade do movimento, explorado por Galileu Galilei no século XVII, mas isso é criar um maniqueísmo que não existe na cabeça dos alunos, como bem explicam Flávia Rezende e Susana S. Barros [16], e que turva a contribuição da história do pensamento na construção da ciência.

No geral, mesmo que o aluno perceba que o movimento possa ser relativo, isso não implica que ele tenha imediatamente entendido todo o conceito clássico de Relatividade. Os artigos supracitados [13–15] revelam uma grande quantidade de concepções alternativas criadas pelos estudantes, mesmo após superado o ensino básico.

Devido ao grande número de concepções verificadas, o *game* desenvolvido nesta dissertação avalia explicitamente apenas dois estágios intermediários

entre o conceito de referencial absoluto com a inércia associada exclusivamente ao repouso, que doravante será chamado de Referencial Privilegiado, e o conceito clássico, que passará a ser denominado de Relatividade Padrão. A escolha objetiva desses estágios, mesmo que outras concepções intermediárias possam ser discutidas de passagem, deve-se primordialmente a uma questão de simplicidade técnica, já que a “equipe” de produção do JEDI é formada por apenas um integrante, este autor, que, além de suas funções como professor de física da educação básica, atua também como roteirista, *designer* gráfico e programador de jogos eletrônicos independentes (*indie games*). Essa parte técnica é mais bem explicada no Capítulo 3.

A primeira concepção intermediária escolhida a partir do artigo de Panse, Ramadas e Kumar [13] é a AC(VI) que revela uma confusão entre os conceitos de referencial e observador e está em um nível mais inicial da compreensão da relatividade do movimento. Nesta dissertação a chamaremos de Pseudo-Relativismo, mesmo que esse nome seja usado no artigo original para representar outra concepção. A AC(VI) foi escolhida por possuir a maior dispersão na taxa de prevalência entre as concepções levantadas pelos autores [13], chegando a 80% dos estudantes avaliados.

A segunda é a AC(III), ou Ultra-Relativismo, que surge no segundo artigo de Ramadas, Barve e Kumar [15], está em um nível mais avançado de compreensão e mostra a tendência dos estudantes em fazer a equivalência displicente entre fenômenos descritos em referenciais inerciais e em não-inerciais. Esta concepção é a que tem menor dispersão da taxa de prevalência entre as concepções levantadas pelos autores [15], e foi escolhida exatamente por isso. Como referenciais não-inerciais são um estágio mais avançado no estudo da relatividade do movimento, discutir concepções de maior prevalência com jovens a partir de 13 anos pode ser um serviço demasiadamente árduo para a capacidade técnica da “equipe” de produção do JEDI.<sup>7</sup>

Vale salientar, neste ponto, conforme explicam Rezende e Barros [16], que a identificação dessas concepções pelos estudantes não significa que eles possuam um sistema teórico bem organizado, sendo perfeitamente possível

---

<sup>7</sup>Essa é a idade que corresponde oficialmente ao 8º ano do Ensino Fundamental, ano em que muitas escolas começam a ensinar Física aos alunos.

que deem respostas conflitantes ao longo das avaliações, transitando de uma a outra concepção, segundo a situação e a conveniência. As autoras [16] reúnem uma série de trabalhos sobre concepções prévias em mecânica elementar, identificando que a grande maioria dos alunos relacionam diretamente movimento com a existência de forças, sendo o repouso o estado fundamental dos corpos — o que chamamos nesta dissertação de Referencial Privilegiado — mas que isso não significa que eles chegam a uma visão de mundo bem fundamentada como a teoria de Aristóteles.

Outro ponto importante sobre as concepções prévias, e que vale ser ressaltado, é que muitas delas são bastantes persistentes e normalmente permanecem na estrutura cognitiva do aluno mesmo depois da instrução formal, podendo coexistir com a concepção dita científica. Assim, segundo Eduardo F. Mortimer, Phil H. Scott e Charbel N. El-Hani [17], a abordagem em perfis conceituais é baseada na ideia de que as pessoas exibem diferentes maneiras de ver e conceitualizar o mundo e, desse modo, diferentes modos de pensar que são usados em contextos distintos.

Nesse ínterim, o JEDI proposto não pretende apontar o jogador-aluno como membro de uma escola de pensamento ou considerar que, após o jogo, ele tenha invariavelmente assumido como padrão os conceitos científicos, mas apenas oferecer argumentos e reflexões ao estudante que auxiliem na sistematização de seu próprio conhecimento, promovendo ao máximo sua autonomia intelectual. Uma vez que o estudante adquire essa “vivência” do conteúdo, a etapa seguinte é sua formalização em sala de aula.

Por outro lado, uma vez conhecido uma boa parte do público-alvo do JEDI, outro cuidado especial que se deve ter é usar um bom método para guiar o processo de ensino e aprendizagem. No caso específico do JEDI proposto por este trabalho, estas perguntas-guias são as missões ou aventuras (*quests*) que surgem ao longo do jogo.

Segundo Eliane F. de Sá et al. [18], muitos pesquisadores afirmam que a atividade experimental orientada pela investigação aumenta o potencial pedagógico no ensino das ciências. No modelo de ensino e aprendizagem por investigação, as perguntas que guiam a construção do conhecimento do estudante precisam ser claras e precisas, conforme o grau de abertura intelectual

que se queira incentivar.

Como cita Sá et al. [18], Pinchas Tamir afirma que as praticas investigativas são significativamente diferentes das tradicionais. Nestas, o problema, o objetivo e o procedimento são dados pelo professor e cabe ao aluno colher os dados e tirar as conclusões com o auxilio docente. No entanto, ainda segundo os autores [18], nas atividades investigativas, a identificação de problemas, a formulação de hipóteses, a escolha dos procedimentos, a coleta de dados e a obtenção de conclusões, são tarefas dos alunos. Com isso, Tamir apresenta uma classificação de atividades práticas segundo o grau de abertura intelectual que se deseja dar ao estudante, indo das atividades tradicionais (Nível 0) até as atividades investigativas mais complexas (Nível 3), como é apresentado na Tabela 2.1.

Nível de investigação	Problemas	Procedimentos	Conclusões
Nível 0	Dados pelo professor	Dados pelo professor	Conduzidas pelo professor
Nível 1	Dados pelo professor	Dados de professor	Em aberto Em aberto
Nível 2	Dados pelo professor	Em aberto	Em aberto
Nível 3	Em aberto	Em aberto	Em aberto

Tabela 2.1: Classificação das atividades investigativas, segundo Tamir (*apud* Sá et al. [18])

Assim, por mais que o objetivo desta dissertação seja alcançar uma atividade prática aberta, é impraticável, pelas limitações técnicas já citadas, desenvolver uma atividade investigativa complexa, sofisticada e que desenvolva totalmente a independência intelectual do aluno. Tendo isso em vista, este trabalho pretende um JEDI com objetivos mais sóbrios ao apresentar uma atividade de investigação de Nível 1, cujas *quests* são problemas pré-definidos e cujas regras do RPG funcionam como procedimentos bem estabelecidos, mas cujas conclusões são obtidas pelo estudante a partir do máximo de liberdade possível. Essas atividades são melhor explicadas no Capítulo 4.

## Capítulo 3

# Recursos gráficos

Em um mundo repleto de *games* bem trabalhados, com histórias cativantes e gráficos exuberantes, é de se supor que os jovens, que podem ser chamados de “nativos digitais” segundo Prensky [19], sejam um público bastante exigente, então é importante ressaltar que até o presente momento o JEDI proposto não atingiu seu estado da arte, mesmo possuindo a estrutura completa de um material pré-instrucional. O corrente estado do JEDI proposto neste trabalho é o de versão piloto, ou versão *alfa*, que na linguagem dos desenvolvedores significa que o *software* ainda é um protótipo e que possui uma série de defeitos (*bugs*) que prejudicam a experiência do usuário. No entanto, a versão alfa possui todos os elementos essenciais do *game*, tornando-o apto ao uso.

Como já comentado ao longo deste trabalho, a maior limitação técnica para atingir o estado da arte do JEDI é a falta de pessoal para compor a equipe de desenvolvimento. Na indústria dos jogos digitais, é comum encontrar equipes formadas por cinco ou mais integrantes, dentre roteiristas e profissionais das áreas de *designer* gráfico e programação, que possuem dedicação exclusiva ao desenvolvimento do *game*. Mesmo assim, o tempo gasto entre as primeiras reuniões para o desenvolvimento do roteiro e a homologação da versão final, ou versão *gold*, é de 2 a 4 anos.

Já entre os desenvolvedores de jogos independentes (*indie games*), que produzem seus *games* nas horas vagas e sem o vínculo com as grandes empresas, ainda sim o número de colaboradores no projeto é alto, tanto em

colaboradores diretos, quanto em indiretos, uma vez que existem inúmeros fóruns na *web* dedicados exclusivamente à troca de conteúdo e no auxílio mútuo (como é o caso da *Comunidade Unity*).<sup>1</sup> Também, mesmo contanto com um grande número de desenvolvedores, a produção de um *game* simples pode durar vários anos.

Nesse ínterim, é importante alertar que o autor desta dissertação não é um profissional em programação ou em *designer* gráfico e, tão pouco, possui cursos de formação nessas áreas (salvo o conhecimento de programação básica oferecido pela graduação em Física), podendo, assim, ser considerado um autodidata e total amador. Dessa forma, a produção de um JEDI de alto nível, com belos gráficos, roteiro cativante e ainda mantendo o cuidado especial com o aspecto pedagógico para torná-lo um objeto educacional sério e eficiente, é um desafio gigantesco, mas possível de ser realizado até mesmo por um grupo reduzido de desenvolvedores amadores.

Em relação à produção do *game* em si, é interessante comentar sobre as técnicas usadas e, principalmente, como se montar o *software*. O ponto inicial da produção do produto aferecido por esta dissertação foi a elaboração do esboço do roteiro, que é a parte mais importante do jogo, pois permite planejar previamente todo o esforço necessário para se concretizá-lo. A segunda etapa é a modelagem básica dos cenários e dos personagens principais, que é bastante trabalhosa.

Para a modelagem dos personagens do JEDI proposto foi usado o *MakeHuman*,<sup>2</sup> um programa *opensource* que permite produzir personagens tridimensionais com grande facilidade e de forma muito intuitiva. Na Figura 3.1, é possível ver o modelo do rei *Amado III*, um dos personagens principais do *game*. Já suas animações e vestimentas foram feitas usando o *Blender*,<sup>3</sup> outro programa *opensource* que permite gráficos e animações de alto desempenho e que seria capaz de fazer o jogo inteiro se não fosse de difícil manuseio para leigos. O *MakeHuman* possui uma boa integração com o *Blender*, permitindo a exportação e importação de objetos com facilidade.

---

<sup>1</sup><https://unity3d.com/pt/community>

<sup>2</sup><http://www.makehuman.org>

<sup>3</sup><http://www.blender.org>



Figura 3.1: Rei *Amado III*, visto no *MakeHuman*.

Para a modelagem de edifícios e objetos foi usado o *Sketchup*,<sup>4</sup> que é destinado aos profissionais da arquitetura e produz modelos tridimensionais de edificações e mobílias com simplicidade e de forma intuitiva. Tem uma versão gratuita e uma versão pro, que é paga. O programa também possui a *3D Warehouse*,<sup>5</sup> onde edifícios, mobílias e outros modelos podem ser compartilhados livremente entre os usuários.

Também, como adendo, é interessante comentar sobre a produção dos mapas do *game*, que foram feitos em um aplicativo *online* próprio para a produção de mapas de RPG oferecido pelo *site Inkarnate*.<sup>6</sup> Para usar o aplicativo, que é bastante simples e intuitivo, basta fazer o cadastro gratuito no *site* e depois fazer o *login*.

A terceira etapa da produção do *software* foi a montagem dos cenários básicos, já com os edifícios, paisagens e personagens principais. Essa montagem foi feita no *Unity3D*,<sup>7</sup> que é um programa especializado em produção de jogos e que possui recursos facilitadores para esse fim. O programa pos-

<sup>4</sup><https://www.sketchup.com/pt-BR>

<sup>5</sup><https://3dwarehouse.sketchup.com/?hl=pt-BR>

<sup>6</sup>[http://inkarnate.com/users/sign\\_in](http://inkarnate.com/users/sign_in)

<sup>7</sup><https://unity3d.com/pt>

sui uma versão gratuita e uma versão *pro*, que é paga. Tanto o *Blender* quanto o *Sketchup* permitem a exportação de objetos do tipo FBX (*Filmbox*) e que são facilmente importadas pelo *Unity3D*. Também, este programa permite a produção de paisagens, possuindo um modelador de terrenos bastante razoável. Na Figura 3.2, é possível ver o centro da *Cidade do Rochedo*, a principal cidade do jogo.



Figura 3.2: O centro da Cidade do Rochedo, visto no *Unity3D*. Note que os materiais e as texturas ainda precisam de retoques.

Finalmente, a quarta etapa consistiu na programação do JEDI em si. As linguagens de programação usadas na produção do *software* foram o *javascript* e, principalmente, *C#*. O *Unity3D* vem integrado ao *MonoDevelop*, que é um programa editor de *scripts* de programação, possui um compilador interno para estas linguagens e um banco de funções pré-prontas, também conhecidas como *engine*, que já são incluídas no pacote de instalação ou podem ser adquiridas na *Asset Store*.<sup>8</sup> Para quem se interessar, alguns dos *scripts* de programação usados no JEDI, mesmo que editados, estão disponíveis para o leitor e compõem o Apêndice D.

É importante comentar que esse processo de produção do *software* não é linear ou rígido, permitindo que os passos anteriores sejam revistos para

<sup>8</sup><https://www.assetstore.unity3d.com/en/>

melhor se adequarem às necessidades do passo posterior. Assim, esse processo pode ser mais bem classificado como cíclico, cujo fim só é alcançado com o lançamento da versão *gold*.

## Capítulo 4

# O roteiro do JEDI

O **Grande Inventor** é um jogo didático para *Windows* e *OS X* com a finalidade de servir como pré-instrução para os conceitos fundamentais da Relatividade do Movimento Clássica e pode ser obtido gratuitamente em <http://www.if.ufrj.br/~otavio/game/>. Os requisitos mínimos do sistema para executar o *software* são:

**Sistema Operacional:** Windows 7 64x ou superior. OS X 10.11 El Capitan ou superior.

**Processador:** Intel/AMD 1.1 GHz (se possuir *turbo boost*) ou superior.

**Memória Ram:** 4 GB ou superior (recomenda-se acima de 8 GB).

**Placa de Vídeo:** Intel HD Graphics 5300, ou compatível ou superior.

**Espaço em Disco:** 5 GB.

O roteiro do JEDI proposto neste capítulo ainda é uma versão preliminar, uma vez que é passível de correções e pequenas alterações conforme o *software* for sendo atualizado. Essa discussão sobre atualizações é retomada no Capítulo 6. Nesse ínterim, o jogo é constituído de quatro cenas: a primeira é introdutória e as demais abordam alguns motivadores para o desenvolvimento da ciência. Dentre as muitas motivações sociais, culturais e econômicas que poderiam ser abordadas neste trabalho, foram eleitos os seguintes temas motivadores:

- A aplicação técnica para fins econômicos, que é um forte fator para que a iniciativa privada e o poder público invistam na pesquisa científica.
- A aplicação técnica para fins bélicos, que é um fator estratégico para esse investimento, principalmente do poder público.
- A pesquisa pura com a finalidade em si mesma, baseada no esforço e na curiosidade inerente a cada cientista para compreender o funcionamento do Universo.

O jogo tem como cenário um mundo fictício, onde se localiza o *Reino de Lindomar*. A escolha por um mundo fictício deve-se, principalmente, a dois fatores:

- A dificuldade em uma coerente e simplificada contextualização histórica, já que o desenvolvimento do conceito de relatividade do movimento requereu grande esforço intelectual de inúmeros pensadores ao longo de milênios, tendo como pano de fundo várias culturas e lugares.
- A predileção da geração atual de jovens por histórias de fantasia.

Nesse reino fictício, o personagem principal, ou *avatar*, ocupa o cargo de *Inventor-mor*, que é uma espécie de conselheiro científico do rei *Amado III Vela-Negra*, “o carismático”. Apesar do contexto sócio-político-econômico do jogo conspirar para o objetivo proposto de ensino de relatividade do movimento, a narrativa do jogo é inspirada em situações históricas reais e sua natureza é regida pelas mesmas leis que a natureza do mundo real. Assim, *Lindomar* é um reino situado no hemisfério sul de um mundo, chamado de *Grande Mar*, com geografia própria, em um período histórico inspirado principalmente na Renascença. Mais ainda, esse mundo fictício substitui a Terra em sua localização no Sistema Solar, possuindo, portanto, as mesmas características astronômicas do nosso planeta.

## 4.1 Cena 0

A Cena 0 do jogo é uma introdução a esse mundo fictício e serve como um breve tutorial, contando um pouco da história do reino, sua economia e sua cultura, inclusive a religião. Nessa cena o jogador-aluno escolhe o nome de seu *avatar* e dá características ao personagem, que ficam registrados em sua *Ficha*, como mostra a Figura 4.1, e são usadas como parâmetros durante o jogo.



Figura 4.1: A *Ficha* com as principais informações do *avatar*.

O reino de *Lindomar*, como mostra a Figura 4.2, surgiu como uma colônia de um povo comerciante e de poder descentralizado, os *caboclos*, que se espalharam ao longo de séculos ao redor do agitado e tempestuoso *Mar das Tormentas*. O nome do reino, por sinal, advém das atípicas águas tranquilas do *Golfo Azul*, uma região cercada por uma cordilheira vulcânica, as *Montanhas Estrondosas*, e ligada ao *Mar das Tormentas* pelo *Estreito Raso*, este com cerca de 10 km de uma margem à outra.

Por uma questão de defesa, os *caboclos* escolheram uma ilha não muito longe da costa para fundar sua colônia, formada por um vulcão extinto. A



Figura 4.2: Mapa do *Reino de Lindomar* e suas principais cidades.

cidade fundada ali foi chamada de a *Cidade do Rochedo*, ou simplesmente o *Rochedo*. Com o passar dos séculos, a colônia prosperou e se espalhou por todo o *Golfo Azul*, transformando *Rochedo* em sua capital.

A riqueza gerada pelo comércio local fortaleceu o poder dos chefes da colônia, que passaram a se autoproclamar reis de *Lindomar*. O primeiro rei foi *Coral I*, “o pioneiro”, conhecido pelas singulares velas negras de seu navio. Seus descendentes mantiveram o hábito e o transformaram em tradição, sendo conhecidos, assim, pelo sobrenome de *Vela-Negra*.

Apesar de ter se tornado um reino, a sociedade de *Lindomar* não é muito segmentada, mesmo que o comércio tenha tornado alguns mais ricos que outros. De modo geral, pela grande prosperidade da região, até os mais pobres conseguem um padrão confortável de vida. Além de ser um grande entreposto comercial, o reino também é conhecido pela extração de minerais e pedras preciosas e pela criação de gado.

A religiosidade é forte entre os *caboclos*, mas a religião é “horizontal”, ou seja, sem uma centralização do poder religioso. Dos deuses de seu panteão, os mais venerados são o deus *Sol*, a deusa *Lua* e o deus *Mar*. O primeiro

é considerado o pai de todos os deuses e está associado ao tempo, pois é a partir de seu movimento que são calibrados os relógios e é feito o calendário. A segunda é considerada a mãe dos deuses e está associada à dança do mundo, pois os *caboclos* já sabiam que é ela quem principalmente rege as marés. Já o terceiro é o próprio mundo, é o *Grande Mar*, enquanto que a terra e o ar foram criados por ele para testar muitos de seus filhos. Assim, os ritos fúnebres dos *caboclos* incluem o rito de “*Retorno ao Mar*”, sendo o sepultamento em terra visto como a maior punição que uma pessoa pode receber.

Os sacerdotes solares são chamados de *Pais*, e seu líder atual é o *Venerável-Pai Domingos de Alvorada*. As sacerdotisas lunares são chamadas de *Mães* e sua líder atual é a *Venerável-Mãe Clara de Pedra Branca*. Finalmente, os sacerdotes do *Mar* são chamados de *Marinheiros*, e seu líder atual é o *Venerável-Marinheiro Ondino de Canoas*.

O jogo começa no ano de 932, contados a partir da fundação da *Cidade do Rochedo*, com o *avatar* de férias no norte do reino, quando é surpreendido por uma carta. Nela, nosso personagem é chamado pelo rei às pressas à capital, mas sem que o motivo seja previamente revelado.

Nesse ponto, o jogador tem a opção de visitar seu velho mestre, *Mentor das Leis*, o “três vezes sábio”, antes ou depois de se encontrar com o monarca. Esse diálogo, que está transcrito no Fluxograma 1,<sup>1</sup> possui a função de avaliação diagnóstica, como é discutido mais adiante, no Capítulo 5.

## 4.2 Cena 1

A Cena 1 é a cena principal do jogo, já que tem por objetivo mostrar que o movimento e o repouso são estados dos corpos, e não características intrínsecas a eles. Essa cena tem como pano de fundo um tema de Ciência aplicada para fins econômicos, pois a motivação é decidir se um navio comercial está em movimento ou em repouso em alto mar. A cena pretende mostrar ao jogador-aluno:

---

<sup>1</sup>Apêndice C.1.1.

- Que o movimento e o repouso não são características absolutas dos corpos.
- Que, na ausência de pontos de referência, não é possível saber se o barco está em movimento retilíneo e uniforme ou em repouso.

Após séculos de navegações, os *caboclos* descobriram que as correntes marítimas que fluem na superfície do oceano funcionam como a correnteza de um rio, levando os navios de um ponto a outro sem grande esforço. Também descobriram que o *Mar das Tormentas* é atravessado por uma grande corrente de águas quentes, que normalmente é superficial, que poderia ser usada para a navegação de *Lindomar* até o *Império dos Cinco*, a mais poderosa civilização conhecida na atualidade.

Infelizmente, a descoberta dessa corrente quente ocorreu da forma mais penosa possível, a partir de relatos de marinheiros que, após o naufrágio de suas embarcações e de dias à deriva agarrados aos destroços, chegaram milagrosamente à costa do *Império dos Cinco*.

No entanto, encontrá-la não é tarefa muito fácil. Por passar a uma distância considerável da costa e as condições climáticas do mar não serem muito favoráveis, seu uso é quase inviável economicamente. Perder-se em alto mar é praticamente uma sentença de morte e de perda de mercadorias, então é mais seguro fazer um caminho para o Sul, margeando o litoral, mesmo que o trajeto seja muitíssimo mais longo e demorado, além de ser muito mais oneroso financeiramente. A Figura 4.3 mostra a rota de comércio entre *Lindomar* e o *Império dos Cinco*.

Dessa forma, preocupado em melhorar a eficiência do comércio marítimo de *Lindomar*, a principal fonte de renda do reino, o rei *Amado III* pediu ao *Navegante-mor Leal de Cantão*, o conselheiro real responsável pelas finanças, que tentasse encontrar com segurança a tal corrente. Como *Leal* argumentou que essa era uma tarefa além de seus conhecimentos técnicos, o monarca, então, decidiu chamar o *Inventor-mor* de volta de suas férias para ajudar na tarefa.

Ao chegar perante o rei, o monarca ordena ao *avatar* que procure *Leal* para debater o problema da navegação no *Mar das Tormentas*, a descoberta da



Figura 4.3: A rota de comércio entre *Lindomar* e a *Cidade do Leste*, capital do *Império dos Cinco*.

corrente quente que se move em direção ao *Império dos Cinco*, a importância de seu uso para a navegação e como ela poderia ser usada para aumentar os lucros do comércio marítimo.

#### 4.2.1 Configuração para um “avatar” que defende a existência de um referencial privilegiado

Se o jogador-aluno acreditar que o movimento e o repouso são características inerentes aos corpos, assim como Aristóteles propunha a existência de movimentos naturais e violentos, os eventos do jogo se desenrolam da seguinte maneira: o *avatar* deixa o *Conselho da Navegação*, onde trabalha *Leal*, e vai para seu gabinete no *Conselho de Invenções*, onde deve fazer uma pesquisa em sua biblioteca pessoal para propor como encontrar a corrente.

Como a biblioteca pessoal do *avatar* não possui informação suficiente para ajudar na solução do problema, ele decide ir à *Biblioteca Real* para buscar livros especializados, que têm a função, inclusive, de explicar os termos

náuticos específicos. Lá, descobre que os principais métodos usados pelos marinheiros para medir o movimento dos navios são a contagem dos nós de uma corda tensionada e a determinação da posição das estrelas, o que permite medir a latitude em que se encontra o navio, noite após noite. Também, é revelado que a medida de longitude é feita a partir da comparação entre o horário mostrado por dois relógios embarcados, o primeiro sincronizado com o horário do porto de partida e o segundo mostrando o horário local. Essa pesquisa tem a função de avaliação formativa e é mais bem explicada no Capítulo 5.

Nessa pesquisa, ele encontra os trabalhos de uma das mais famosas sábias mestres do reino, a falecida *Graça da Hora*, que propôs que uma bola de ferro (um projétil de peça de artilharia, por exemplo) solta do cesto de gávea de um navio,<sup>2</sup> que navega no sentido a qual aponta sua proa,<sup>3</sup> tende a cair no sentido da popa.<sup>4</sup> Segundo ela, quanto mais rápido for esse movimento, mais distante da enora<sup>5</sup> do mastro de gávea no sentido da popa vai cair essa bola. No geral, a conclusão de *Graça* foi que o corpo sempre é visto cair em sentido oposto ao movimento do barco.

Com isso, o *avatar* manda uma carta a *Leal* marcando um encontro para maiores explicações. Esse diálogo, que está transcrito no Fluxograma 2,<sup>6</sup> tem a função de avaliação somativa, como é explicado no capítulo correspondente às avaliações.

Após o encontro, o *Navegante-mor*, satisfeito com a explicação intuitiva do *Inventor-mor* e baseando-se na autoridade intelectual da falecida *Graça*, ordena uma expedição em busca da famigerada corrente.

Passadas algumas semanas, a expedição retorna em desalento ao *Rochedo*. Não só o método proposto pelo *avatar* não funcionou, como a corrente não foi encontrada e a expedição foi pega por uma tempestade, perdendo um de seus cinco navios e matando dezenas de marinheiros.

---

<sup>2</sup>Cesto de gávea é o cesto de observação situado no mastro mais alto do navio, o mastro de gávea.

<sup>3</sup>Proa é parte frontal de uma embarcação

<sup>4</sup>Popa é a parte traseira de uma embarcação

<sup>5</sup>Enora é a abertura no convés por onde passa o mastro.

<sup>6</sup>Apêndice C.2.1.

Em vista do ocorrido, o *Inventor-mor* decide verificar experimentalmente se a proposta de *Graça* realmente não funciona ou se os marinheiros da expedição erraram em algo e, por isso, não encontraram a corrente. Desse modo, o *avatar* e *Leal* vão juntos ao maior rio do reino, o *Rio Grande*, para testar o procedimento em segurança em sua correnteza.

Esse experimento consiste em uma embarcação simples a remo, com um único mastro, que é arrastada pela correnteza praticamente constante do caudaloso rio. O movimento do barco pode ser atestado imediatamente pela observação da margem, o que é uma vantagem em relação ao experimento feito em alto mar, pois o uso de estrelas como referência não é uma tarefa fácil ou rápida. Também, há patamares a diferentes alturas no mastro, permitindo abandonar corpos com tempos de queda diferentes.

O resultado desse experimento é que o procedimento proposto por *Graça*, de fato, não funciona e que a bola de ferro solta do topo do mastro vai cair sempre junto à sua enora, o que é contraintuitivo. Com isso, o *avatar* é levado a contestar a ideia de movimento e repouso absolutos, já que o resultado leva à conclusão de que a queda do objeto se comporta como se o barco estivesse parado.

Mais ainda, ele passa a ter elementos suficientes para concluir (mesmo que não o faça) que, em um movimento retilíneo e uniforme, não é possível saber se o barco está em movimento ou em repouso. Assim, ocorre um diálogo, que está transcrito no Fluxograma 4,<sup>7</sup> entre o *avatar* e *Leal*, ainda dentro do barco, em que eles tentam explicar o experimento falho levando em conta as conclusões acima. Esse segundo diálogo também tem a função de avaliação somativa, como é mais bem explicado no Capítulo 5.

#### **4.2.2 Configuração para um “avatar” que defende as demais concepções**

Caso o jogador-aluno comece esta cena com algum conhecimento de movimento e repouso relativos, a ordem dos eventos do jogo se altera. Neste caso, o *game* leva o jogador-aluno a pesquisar em sua biblioteca pessoal so-

---

<sup>7</sup>Apêndice C.2.3.

bre a construção de termômetros, mas sem muita profundidade, para medir a variação da temperatura do *Mar das Tormentas* e encontrar, assim, a famigerada corrente quente. Essa pesquisa tem a função de avaliação formativa, da mesma forma que a outra ramificação da cena, e é mais bem explicada no próximo capítulo.

Sem grandes avanços, o *Inventor-mor* manda uma carta a Leal marcando um encontro para debaterem o assunto. No encontro marcado, o *avatar* cogita a ideia do uso de termômetros em uma série de expedições ao mar, o que é severamente rejeitado pelo *Navegante-mor*. Com isso, este último propõe, conforme o diálogo transcrito no Fluxograma 3,<sup>8</sup> a ideia de *Graça da Hora*. Esse diálogo têm a função de avaliação somativa, como é discutido no Capítulo 5.

Nesse ínterim, o *avatar* responde que o método provavelmente não vai funcionar e tenta fazer uma argumentação contrária, mas sem sucesso. Após o encontro, *Leal* ordena apressadamente uma expedição em busca da famigerada corrente. Enquanto essa expedição se desenrola, o *avatar* resolve oferecer provas contundentes de seus argumentos. Desse modo, ele convida *Leal* para uma demonstração experimental, usando a correnteza do *Rio Grande*, do porquê a hipótese proposta pela senhora *Graça* não funciona.

O experimento que se segue é similar ao já descrito no caso anterior, mas agora o *avatar* tem que explicar, como transcrito no Fluxograma 5,<sup>9</sup> para o *Navegante-mor* que a bola de ferro caindo do topo do mastro se comporta como se o barco estivesse parado e que, sem algo que sirva de referência, não seria possível saber se o barco estaria em repouso ou em movimento. Esse diálogo têm a função de avaliação somativa, como é mais bem explicado no capítulo correspondente às avaliações.

Pouco depois do experimento do *Rio Grande* demonstrar que a tal proposta não é válida, a expedição enviada por *Leal* retorna em desalento ao *Rochedo*. A corrente não só não foi encontrada, como já era de se esperar, como a expedição foi pega por uma tempestade, perdendo um de seus 5 navios.

---

<sup>8</sup>Apêndice C.2.2.

<sup>9</sup>Apêndice C.2.4.

\* \* \*

Em ambas as ramificações da cena, *Leal* sugere no diálogo final com a *avatar* que existe uma espécie de “correnteza invisível”, que está além da própria correnteza do rio e que arrasta não só o navio, como também a bola de ferro que cai do topo do mastro.

Por fim, eles voltam ao *Rochedo*, onde *Leal* leva pessoalmente a notícia ao rei de que ainda não foi possível encontrar satisfatoriamente a corrente marítima e justifica o que ocorreu com a expedição. Esse diálogo encerra a Cena 1 e deve marcar a total imersão do jogador-aluno no contexto do jogo, já que se espera que ele assuma definitivamente o papel do *Inventor-mor*, como é desejado em um jogo de RPG.

### 4.3 Cena 2

Esta cena também tem como pano de fundo um tema de ciência aplicada, mas dessa vez com um viés militar, pois será estudada a composição de movimento no lançamento de projéteis. Seu objetivo é:

- Diferenciar os conceitos de observador e referencial;
- Mostrar ao jogador-aluno, se necessário, que o movimento e o repouso são relativos especificamente ao referencial.

É um dado do jogo que existem muitos casos de pirataria ao longo da movimentada rota de comércio que liga *Lindomar* ao *Império dos Cinco*, passando pelas ilhas do sul. Porém, a notícia de que tais piratas estão usando colubrinas e meia-colubrinas embarcados para atacar navios mercantes enquanto navegavam emparelhados deixou todos espantados.<sup>10</sup>

A *Marinha Real* já vinha introduzindo peças de artilharia em seus navios de guerra nos últimos 15 anos e sua eficácia foi testada com sucesso na *Batalha do Forte Branco*, em 921, que marcou oficialmente o fim da Guerra dos 10

---

<sup>10</sup>Colubrinas e meia-colubrinas são peças de artilharia, comumente de uso naval, de calibres menores que os canhões e meio-canhões.

anos. Nessa guerra, a aliança formada por *Lindomar* e pelo *Império dos Cinco* combateu o *Reino de Ilha Grande*, que tentou taxar pesadamente os navios que cruzassem suas águas.

Apesar de contar com o apoio do poderoso exército do *Império dos Cinco*, a aliança estava tendo dificuldades em vencer as defesas da capital de *Ilha Grande*, *Porto Real*, principalmente por causa do *Forte Branco*, que ficava a algumas centenas de metros do porto. Graças ao fortíssimo bombardeio naval da *Marinha Real de Lindomar*, que estava ancorada em frente à cidade, é que o fortaleza finalmente ruiu, permitindo o avanço do exército imperial.

Assim, o uso de colubrinas e meia-colubrinas embarcadas só tinha sido testado, até então, para barcos parados com alvo fixo, o que era totalmente diferente da abordagem usada pelos piratas. Esse fato deixou o rei *Amado III* preocupado, fazendo-o ordenar ao *Almirante-chefe Altivo de Estridente*, comandante da *Marinha Real*, que testasse a nova técnica e a dominasse.

Para o *avatar*, que havia demonstrado que um objeto solto ou lançado dentro de um navio se moveria como se este estivesse parado, a notícia da nova técnica usada pelos piratas não foi surpresa. Por isso, o *Inventor-mor* resolve visitar o *Almirante-chefe* com o intuito de ajudar.

Ao chegar ao gabinete do militar, desenrola-se um diálogo entre ambos. *Altivo* defende a ideia de que emparelhar os navios para disparar as meio-colubrinas não é eficiente, pois o navio inimigo se deslocaria para frente, fazendo que parte dos “tiros diretos” acertasse sua popa e a outra parte acertasse a água.<sup>11</sup> Mais ainda, para acertar em cheio o veleiro oponente, o navio deveria virar a bombordo ou estibordo na hora do tiro de forma a apontar sua artilharia para uma posição à frente do inimigo. Esse desvio deveria ser maior quanto maior fosse a distância do oponente, o que tornaria a navegação quase impraticável.

O objetivo desse diálogo, que está transcrito no Fluxograma 6,<sup>12</sup> é tentar convencer o almirante de que os navios podem disparar mutuamente enquanto navegam lado a lado, sem ter que fazer desvios na hora do tiro ou

---

<sup>11</sup> “Tiro direto” ou “tiro tenso” é o nome dado a um disparo cuja trajetória é aproximadamente reta. As peças de artilharia, ou simplesmente peças, são caracterizadas por efetuarem esse tipo de disparo.

<sup>12</sup> Apêndice C.3.1.

sem a necessidade de qualquer outra artimanha para mirar as peças de artilharia. Como *Altivo* é um homem muito sagaz, ele entende os argumentos do *avatar* baseados no experimento feito no *Rio Grande* e o ocorrido na Cena 1, mas, por boa prudência, gostaria de ver uma demonstração real para ter certeza.

Esse diálogo serve como avaliação somativa e é mais bem explicado no Capítulo 5. Logo após há uma bifurcação no jogo baseada nas concepções prévias identificadas no jogador-aluno.

### 4.3.1 Configuração para um “avatar” que ainda não formulou o conceito de Referencial

Caso o jogador-aluno não tenha formulado o conceito de referencial e interprete a relatividade do movimento como uma mera questão de perspectiva, o jogo tem a seguinte sequência: No diálogo, que está transcrito no Fluxograma 6, o *avatar* argumenta que quem está em ambos os navios vê o disparo se mover como se a peça de artilharia estivesse parada e o alvo estivesse fixo, mas esse fenômeno depende exclusivamente do observador.

Como *Altivo* é um homem pragmático, o *avatar* sugere então que façam testes de tiro reais para provar sua hipótese e ambos combinam como seria essa simulação militar. Passados alguns dias, o *Inventor-mor* acompanha o almirante em um dos navios artilheiros, que tem, em um primeiro momento, por objetivo acertar um alvo que se move lado a lado consigo. Já em um segundo momento, tem por objetivo acertar um alvo fixo enquanto navega.

O resultado é que, no primeiro momento, os tiros atingem integralmente o alvo móvel. Já no segundo momento, os “tiros diretos” efetuados pelo navio no instante que ficam lado a lado com o alvo sempre atingem um ponto pouco a frente desse alvo, como era esperado pelo *avatar*.

Durante a demonstração, desenrola-se outro diálogo, que está transcrito no Fluxograma 7,<sup>13</sup> entre os dois, em que o *avatar* reitera sua explicação sobre movimento e repouso. Nesse diálogo, o inventor comenta sobre a proposição de que o movimento dos barcos e dos projéteis é como se estivessem imersos

---

<sup>13</sup>Apêndice C.3.2.

em uma mesma “correnteza imaginária”, como havia sugerido *Leal* na cena anterior, e *Altivo* a prefere em detrimento da simples ideia de perspectiva. Esse diálogo serve como avaliação somativa, como é explicado no Capítulo 5.

### 4.3.2 Configuração para um “avatar” que já formulou o conceito de referencial

Caso o jogador-aluno seja realmente consciente do conceito de referencial, o *avatar* dá a explicação mais correta a *Altivo* no diálogo que está transcrito no Fluxograma 6.

Os testes de tiro são realizados da mesma forma explicada na subseção anterior, mas o diálogo que se segue, que está transcrito no Fluxograma 8,<sup>14</sup> tem uma organização diferente. Agora, o *avatar* é quem propõe ao *Almirante-chefe* que o movimento dos barcos e dos projéteis é como se estivessem imersos em uma mesma “correnteza imaginária”, surpreendendo *Altivo*. Esse diálogo tem a função de avaliação somativa e suas características são melhor explicadas no capítulo de avaliações.

\* \* \*

Concluídos os trabalhos e de volta à casa, o *avatar* ainda pensa sobre a ideia de uma “correnteza imaginária” e se lembra da conversa que teve com *Mentor* logo após o retorno de suas férias. Nosso personagem, então, resolve visitar seu velho mestre e, curioso, inicia um novo diálogo, que está transcrito no Fluxograma 9,<sup>15</sup> que, entre outras coisas, retoma as perguntas feitas na Cena 0. É nesse novo diálogo:

- que a ideia de “correnteza imaginária” é formalizada e ganha o nome de referencial,
- que a preguiça dos corpos, ou inércia, também passa a incluir o movimento retilíneo e uniforme e

---

<sup>14</sup>Apêndice C.3.3.

<sup>15</sup>Apêndice C.3.4.

- que o movimento e o repouso são estados dos corpos e não intrínsecos a eles.

Nesse diálogo, *Mentor* comenta pela primeira vez sobre movimentos diferentes do retilíneo e uniforme, define o que são referenciais inerciais e chega à conclusão da equivalência entre eles. Esse diálogo tem a função de avaliação formativa (veja Capítulo 5).

## 4.4 Cena 3

Dando prosseguimento ao jogo, a Cena 3 aborda um tema de ciência pura, baseada simplesmente na curiosidade e no temor do ser humano frente à Natureza. Ela tem por objetivo verificar a habilidade do jogador-aluno em selecionar e propor soluções baseadas em argumentos que lhe são disponíveis, ou seja, sua capacidade investigativa e de ser coerente. Também, esta cena tenta mostrar para o jogador-aluno, caso seja necessário, que a relativização do movimento não deve ser feita de qualquer maneira, ou seja, que alguns referenciais (os referenciais inerciais) são mais privilegiados que outros (os referenciais não-inerciais), pelo menos na Relatividade de Galilei-Newton.

Essa cena começa com a convocação do *avatar* ao palácio real, onde o rei o espera alarmado. Ao encontrar-se com o monarca, este comenta que recebeu uma ameaça da famosa bruxa *Ignara*, enquanto fazia sua revista rotineira pelas ruas da cidade. Ela contou, em tom nefasto, que sonhara com o fim de seu reinado nas próximas semanas, pois a ira dos deuses se abaterá sobre ele. Como sinal de sua ira, a deusa *Lua* se cobrirá do sangue dos ímpios e somente ela, a bruxa, poderá livrá-lo de seu terrível destino.

Perturbado, o rei ordena ao *Inventor-mor* que descubra se a visão da bruxa tem algum fundamento. Assim, cabe ao *avatar* mostrar que o fenômeno da Lua de sangue, ou o eclipse total da Lua, é algo natural, que ocorre periodicamente e não é um evento sobrenatural, como propôs a bruxa. O monarca também pede explicações sobre o fenômeno para a *Venerável-Mãe Clara*.

Baseando seu argumento nos trabalhos de um dos mais sábios mestres

do reino, *Plácido de Alvorada*, o *avatar* propõe que a formação da Lua de sangue é um tipo de eclipse da Lua, que ocorre quando este astro passa totalmente pela sombra do *Grande Mar*. Para testar essa hipótese, o *avatar* deve construir um aparato que simule o movimento relativo do Sol, da Lua e do *Grande Mar* e deve mostrá-lo, publicamente, ao rei e a toda corte.

A escolha pelos trabalhos de *Plácido* é uma situação chave do jogo, pois outras alternativas de explicação são oferecidas ao jogador-aluno: a teoria do *Grande Mar* oco e a teoria do *Grande Mar* plano. A primeira consiste em considerar que nosso mundo é uma esfera oca e que habitamos o seu interior. Já a segunda consiste em considerar nosso mundo como um plano. Vale ressaltar que esse processo de escolha também é avaliado, enquadrando-se como avaliação formativa, conforme é explicado no Capítulo 5.

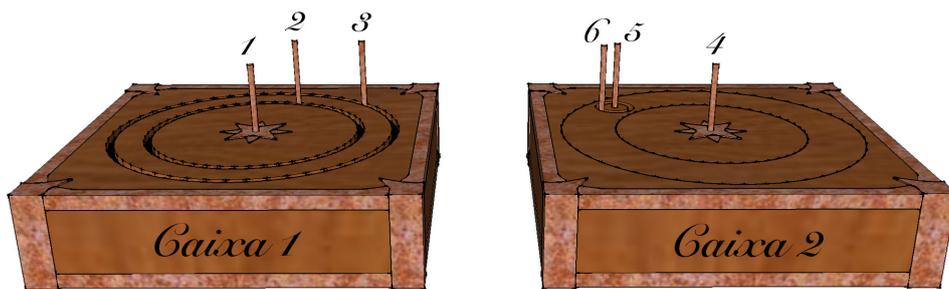


Figura 4.4: Esboço dos aparatos de Plácido. A primeira caixa tem o suporte 1 fixo, o qual ocupa o centro das circunferências descritas pelo movimento dos outros dois suportes. A segunda caixa tem o suporte 4 fixo, o qual ocupa o centro do anel que carrega o suporte 5, que por sua vez é o centro da circunferência descrita pelo movimento do suporte 6.

Os aparatos propostos por *Plácido*, como mostra a Figura 4.4 e que devem ser encomendados prontos em uma manufatura localizada na região portuária da *Cidade do Rochedo*, consistem em duas caixas de madeira com um sistema mecânico interno, cujo mecanismo é irrelevante e não precisa ser revelado, movido a manivela. O sistema mecânico move três suportes que emergem da parte superior de cada caixa, onde serão encaixadas as réplicas do Sol, da Lua e do *Grande Mar*.

As configurações possíveis para o jogador-aluno do Sol, da Lua e do

*Grande Mar* nesses aparatos se enquadram nos seguintes modelos:

**Heliocêntrico 1:** Na primeira caixa, o Sol é colocado no suporte 1; a Lua é colocada no suporte 2 e o *Grande Mar* é colocado no suporte 3. Esse modelo é capaz de explicar o eclipse do Sol, mas não é capaz de explicar o eclipse da Lua.

**Heliocêntrico 2:** Na primeira caixa, o Sol é colocado no suporte 1; o *Grande Mar* é colocado no suporte 2 e a Lua é colocada no suporte 3. Esse modelo é capaz de explicar o eclipse da Lua, mas não é capaz de explicar o eclipse do Sol.

**Heliocêntrico 3:** Na segunda caixa, o Sol é colocado no suporte 4; o *Grande Mar* é colocado no suporte 5 e a Lua é colocada no suporte 6. Esse modelo, mostrado na Figura 4.5, é capaz de explicar os eclipses do Sol e da Lua.

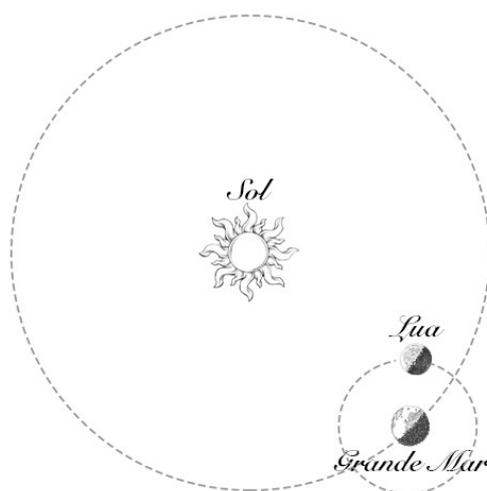


Figura 4.5: Modelo Heliocêntrico 3.

**Heliocêntrico 4:** Na segunda caixa, o Sol é colocado no suporte 4; a Lua é colocada no suporte 5 e o *Grande Mar* é colocado no suporte 6. Esse modelo, mostrado na Figura 4.6, é capaz de explicar os eclipses do Sol

e da Lua, mas é falho em explicar outros fenômenos naturais, como exemplificado abaixo.

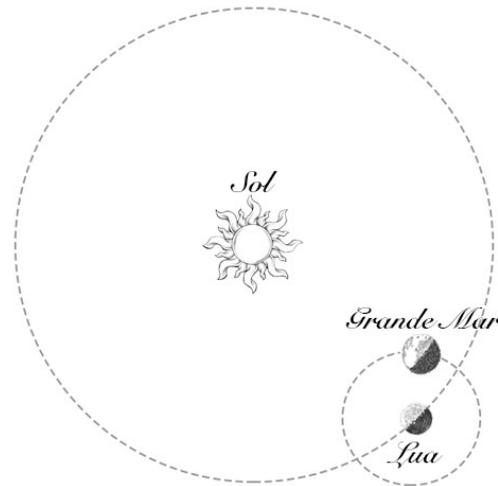


Figura 4.6: Modelo Heliocêntrico 4.

É um erro comum para os alunos, principalmente no Ensino Fundamental, considerar que o verão significa que o nosso planeta está mais próximo do Sol do que no inverno, e isso fica evidente no modelo Heliocêntrico 4. Também, além de ignorarem o fato de que não existem verões e invernos globais, esse modelo implica que o eclipse lunar deve necessariamente ocorrer no auge do verão, enquanto o eclipse solar deve ocorrer no auge do inverno, o que não corresponde à realidade. Se isso não bastasse, esse modelo também erra por resultar em fases da lua com duração igual às estações do ano.

**Geocêntrico 1:** Na primeira caixa, o *Grande Mar* é colocado no suporte 1; a Lua é colocada no suporte 2 e o Sol é colocado no suporte 3. Esse modelo, mostrado na Figura 4.7, explica os eclipses do Sol e da Lua.

**Geocêntrico 2 :** Na primeira caixa, o *Grande Mar* é colocado no suporte 1; o Sol é colocado no suporte 2 e a Lua é colocada no suporte 3. Esse modelo explica o eclipse da Lua, mas não explica o eclipse do Sol.

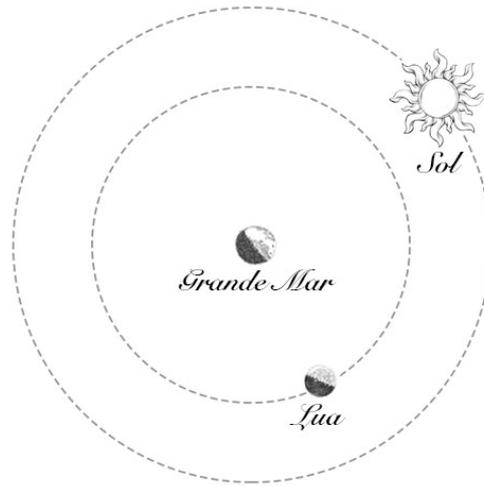


Figura 4.7: Modelo Geocêntrico 1.

**Geocêntrico 3:** Na segunda caixa, o *Grande Mar* é colocado no suporte 4; o Sol é colocado no suporte 5 e a Lua é colocada no suporte 6. Esse modelo explica o eclipse do Sol, mas não explica o eclipse da Lua.

**Geocêntrico 4:** Na segunda caixa, o *Grande Mar* é colocado no suporte 4; a Lua é colocada no suporte 5 e o Sol é colocado no suporte 6. Esse modelo explica o eclipse do Sol, mas não explica o eclipse da Lua.

**Selenocêntrico 1:** Na primeira caixa, a Lua é colocada no suporte 1; o Sol é colocado no suporte 2 e o *Grande Mar* é colocado no suporte 3. Esse modelo explica o eclipse do Sol, mas não explica o eclipse da Lua.

**Selenocêntrico 2:** Na primeira caixa, a Lua é colocada no suporte 1; o *Grande Mar* é colocado no suporte 2 e o Sol é colocado no suporte 3. Esse modelo, mostrado na Figura 4.8, explica os eclipses do Sol e da Lua, mas falha em explicar outros fenômenos naturais, como explicado abaixo.

Mais uma vez aparece, agora no modelo Selenocêntrico 2, a ideia de que as estações do ano estão relacionadas à distância do nosso planeta

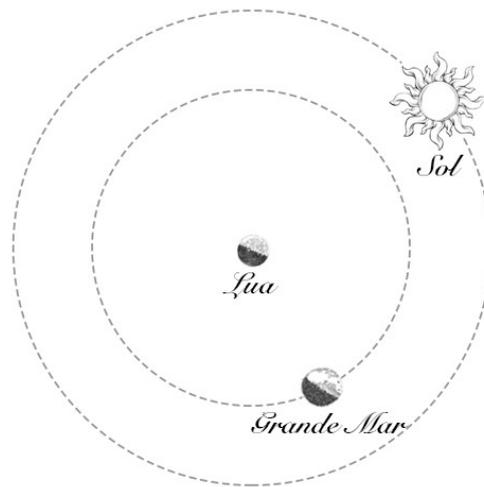


Figura 4.8: Modelo Selenocêntrico 2.

ao Sol. Esse modelo apresenta os mesmos problemas citados no modelo Heliocêntrico 4.

**Selenocêntrico 3:** Na segunda caixa, a Lua é colocada no suporte 4; o *Grande Mar* é colocado no suporte 5 e o Sol é colocado no suporte 6. Esse modelo explica o eclipse da Lua, mas não explica o eclipse do Sol.

**Selenocêntrico 4:** Na segunda caixa, a Lua é colocada no suporte 4; o Sol é colocado no suporte 5 e o Grande Mar é colocado no suporte 6. Esse modelo explica o eclipse da Lua, mas não explica o eclipse do Sol.

Faltando poucos dias para a apresentação, em uma visita, a melhor amiga do *avatar* e também ex-discípula de *Mentor*, *Morena Auxiliadora*, sugere a ele que se preocupe em também demonstrar o eclipse do Sol no mesmo aparato experimental, o que o *avatar* atende prontamente. Eles também discutem quais das configurações seriam mais corretas. Esse diálogo, que tem a função de avaliação formativa, que é melhor discutida no capítulo de avaliações e está transcrita no Fluxograma 10,<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup>Apêndice C.4.1.

Note que somente quatro modelos efetivamente explicam os eclipses do Sol e da Lua, ou seja, os modelos Heliocêntrico 3, Geocêntrico 1, Heliocêntrico 4 e Selenocêntrico 2, mesmo que esses dois últimos tenham problemas em explicar outros fenômenos naturais. Assim, a participação de *Morena* leva o *avatar* a selecionar para o debate apenas os modelos Heliocêntrico 3 e Geocêntrico 1, bem como a questionar sobre os efeitos do movimento do *Grande Mar* no nosso ambiente, caso ele ocorra.

Chegado o momento da demonstração pública, o *avatar* leva os dois aparatos montados segundo os modelos Heliocêntrico 3 e Geocêntrico 1 e os apresenta a todos da corte e ao rei, gerando uma forte reação do público. O debate que se segue está transcrito no Fluxograma 11 e é mais bem explicado no próximo capítulo.<sup>17</sup> Entre os presentes, o *Grande-Pai* argumenta que o Sol deveria estar no centro do Firmamento. Já a *Grande-Mãe* afirma que a Lua é quem deveria estar em seu centro. Por fim, o *Primeiro-Marinheiro* afirma que é o *Grande Mar* que ocupa tal lugar.

Em meio a fervoroso debate, o rei exige do *avatar* explicações sobre os motivos que o levaram a montar aquele aparato e qual dos astros está realmente no centro do sistema de três corpos. Assim, em uma discussão com o rei e outros personagens, todos eles conhecidos, o *avatar* deve defender o modelo que escolheu baseado nos conteúdos abordados pelo jogo. Tal discussão funciona como uma avaliação somativa, como é discutido no próximo capítulo.

O debate na sala do trono real encerra a Cena 3 e o próprio jogo, sendo finalizada com uma grande salva de palmas do público e do próprio rei à apresentação do *avatar*.

---

<sup>17</sup>Apêndice C.4.2.

# Capítulo 5

## As avaliações

Na Cena 0, introdutória, a primeira conversa com *Mentor* tem a função de avaliação diagnóstica, em que o jogador-aluno participa ativamente do diálogo, escolhendo entre algumas opções de resposta. Esse diálogo se adapta às suas escolhas e leva o jogo a classificar o *avatar* como pertencente a quatro perfis de concepções prévias:

**Perfil 1:** *Referencial Privilegiado*. Caracteriza-se pela concepção de repouso e movimento como inerentes ao corpo, de maneira análoga aos conceitos aristotélicos de movimentos naturais e violentos. Subentendida a essa concepção está a ideia de um referencial privilegiado que pode ser a Terra ou, no caso do *game*, o *Grande Mar*.

**Perfil 2:** *Pseudo-relativismo*. Consiste em uma confusão entre referencial e observador, dando a entender que o movimento ou o repouso são apenas uma questão de perspectiva.

**Perfil 3:** *Ultra-relativismo*. Consiste em levar às últimas consequências a relatividade do movimento, considerando que não há regras para passar de um referencial a outro e que referenciais inerciais e não-inerciais são equivalentes. Note que esta equivalência não significa um conhecimento de Relatividade Geral, mas sim um erro conceitual em Mecânica Clássica.

**Perfil 4:** *Relatividade Padrão*. É a concepção tacitamente mais aceita pela comunidade científica atual, mesmo que não se espere do aluno um conhecimento formal do assunto.

## 5.1 Cena 0

O perfil do jogador-aluno é a principal característica que o *avatar* recebe na Cena 0 e é a partir desse perfil que ele é avaliado nas cenas seguintes. Mesmo que esse perfil seja ignorado pelo jogador-aluno, todo um sistema de *Fama*, a nota da avaliação somativa, é montado em cima da coerência entre seu perfil e suas escolhas durante o jogo. Ao final, essa *Fama* é usada para montar um *ranking* de *avatars*.

No primeiro diálogo com *Mentor*,<sup>1</sup> as cinco perguntas principais são baseadas no Questionário 1,<sup>2</sup> que foi amplamente testado em sala de aula e cujos resultados são discutidos na seção 5.5, e são oferecidas quatro possibilidades de resposta por questão, cada uma se enquadrando em um dos perfis de concepção prévia. Esse diálogo foi baseado em entrevistas reais feitas com alguns alunos, sendo que uma dessas entrevistas está transcrita, a título de exemplo, na Entrevista 1.<sup>3</sup> Cada pergunta proveniente do questionário vale 1 ponto, que é acrescentado ao perfil respondido, como mostram as funções *Button* numeradas, como transcritas resumidamente na edição feita no *Sc0Dia1Script*.<sup>4</sup> Ao final desse diálogo, o jogo registra na *Ficha* de características do *avatar* exclusivamente o perfil mais respondido.

Vale comentar, nesse ponto, sobre os casos de empate no número de respostas que se enquadram em cada concepção. O critério de desempate segue a seguinte ordem: *Perfil 1*, *Perfil 2*, *Perfil 3* e *Perfil 4*, em ordem decrescente de prevalência. O registro na *Ficha* é feito pela função *ProfileResults*, como transcrito resumidamente no *AvatarScript*,<sup>5</sup> que foi convenientemente editado para compor esta dissertação. Por exemplo, se o jogador responde

---

<sup>1</sup>Fluxograma 1, apêndice C.1.1

<sup>2</sup>Apêndice B.1.1.

<sup>3</sup>Apêndice A.1.1.

<sup>4</sup>Apêndice D.1.

<sup>5</sup>Apêndice D.2.

duas perguntas seguindo a ideia de Referencial Privilegiado, duas de Pseudo-relativismo e uma de Relatividade Padrão, então o jogo vai registrar 2 pontos para o *Perfil 1*, 2 pontos para o *Perfil 2*, 0 (zero) para o *Perfil 3* e 1 para o *Perfil 4*. Também, o *avatar* será definido em sua *Ficha* como pertencente ao *Perfil 1*, que prevalece sobre o *Perfil 2*.

## 5.2 Cena 1

Já na Cena 1, o objetivo primordial é oferecer argumentos contra a concepção de Referencial Privilegiado e, ao final dela, espera-se que o jogador-aluno possa concluir que o referencial do *Grande Mar* não é melhor que o referencial do barco em movimento retilíneo e uniforme para descrever a queda dos objetos do topo do mastro.

### 5.2.1 Primeira ramificação da cena

Caso o *avatar* pertença ao *Perfil 1*, o jogador-aluno é levado a pesquisar sobre um método para saber se um navio está em movimento em alto mar e para onde é este movimento, o que não é trivial principalmente se a embarcação está à deriva. Nesse caso, com as velas recolhidas, com a quilha sem “cortar a água” e com água até onde a vista alcança é muito difícil saber se o navio está em movimento ou não.<sup>6,7</sup>

As opções de pesquisa são:

1. o uso de nós igualmente espaçados em uma corda tensionada para medir o movimento do navio em relação à água,
2. o uso da posição das estrelas e de relógios para se localizar em alto mar e
3. os trabalhos de *Graça da Hora* sobre a queda dos corpos.

---

<sup>6</sup>A quilha de um navio veleiro é considerada a “espinha dorsal” do casco e é onde se pregam as tábuas da carena (parte submersa do casco) e do costado (parte emersa).

<sup>7</sup>O termo “cortar a água” é usado para descrever o efeito da passagem da quilha pela água, enquanto a embarcação navega.

O método de contagem de nós consiste em uma corda marcada com nós em intervalos regulares de aproximadamente 14,5 metros, com uma das extremidades amarrada a uma prancha massiva de madeira e a outra extremidade a um carretel. Quando lançada ao mar, a prancha é frenada pela água, fazendo com que a corda se desenrole do carretel, que permanece no barco. A medida da velocidade é dada pelo número de nós que passam pela mão de um dos marinheiros, que sustenta a corda, por unidade de tempo.<sup>8</sup> No entanto, como o barco à deriva não se move em relação à água, mas é transportado pela corrente, o uso da contagem de nós não é eficiente.

Por sua vez, o uso da posição das estrelas para medir latitude é muito lento e são necessários muitos perigosos dias navegando pelo *Mar das Tormentas* para se notar alguma diferença nessas posições, uma vez que a corrente tem maior extensão longitudinal que latitudinal. Já o uso de relógios embarcados na medição da longitude não é muito útil, uma vez que as opções disponíveis (relógio de Sol, ampulheta, clepsidra, etc.) são muito imprecisos e os relógios a corda ainda não foram inventados. Dessa forma, o *avatar* deve ser levado pelo jogo a descartar o resultado dessas pesquisas. Note que esses não são problemas conceituais sobre relatividade do movimento, mas problemas técnicos, cujos erros pode ser atribuídos aos instrumentos de medida e não às teorias.

No entanto, como cogitar não é publicar, uma escolha inicial incorreta, mesmo que a título de curiosidade, não deve acarretar uma diminuição da *Fama*, mas faz com que o personagem ganhe um emblema, que funciona como avaliação formativa. Se o jogador-aluno insistir muito no método da contagem de nós na corda, o *avatar* ganha o emblema de “o contador de nós”. Já se ele insistir muito no método da latitude e longitude, o personagem ganha o emblema de “o cartógrafo”.

Por outro lado, a primeira avaliação somativa dessa cena para o *avatar* com o *Perfil 1* consiste na defesa das ideias de *Graça* e na capacidade de convencer *Leal* a aceitar tais argumentos. Essa primeira possibilidade de

---

<sup>8</sup>O método da contagem de nós era bastante comum entre os portugueses no período das Grandes Navegações

diálogo foi baseada em entrevistas reais feitas com alguns alunos,<sup>9</sup> cujo um exemplo foi transcrito na Entrevista 2.<sup>10</sup> Ela também contextualizou o Questionário 2,<sup>11</sup> que foi amplamente testado em sala de aula e cujos resultados são discutidos na seção 5.5.

Nesse contexto, a pontuação de cada perfil registrada no final da Cena 0 funciona como um fator multiplicativo para a pontuação intrínseca de cada resposta, que vale 1 ponto, enquanto as respostas sem sentido diminuem o total de *Fama*. Por exemplo, o *avatar* sempre inicia o jogo com pontuação total de *Fama* igual a 1000, como definido no AvatarScript, uma vez que o cargo de *Inventor-mor* requer uma pessoa famigerada. Se o *Perfil 1* possuir 3 pontos e o jogador-aluno responder de forma coerente às 4 perguntas principais do Fluxograma 2, que foram extraídas do Questionário 2 e adaptadas ao contexto, então a *Fama* obtida é:

$$4 \times 3 \times 1 = 12 \text{ pontos,}$$

tornando a *Fama* total igual 1012. Por outro lado, se o jogador-aluno escolher somente as respostas sem sentido, então ele perde 4 pontos, indo para uma *Fama* total de 996. O resumo do Sc1Dia1Script mostra como esse sistema de *Fama* é incorporado aos diálogos do jogo.<sup>12</sup>

Já a segunda avaliação somativa consiste na explicação do porquê o experimento do objeto caindo do mastro não funcionou para descobrir sobre o movimento do barco. Nesse diálogo,<sup>13</sup> que também foi baseado em entrevistas reais feitas com alguns alunos (veja o exemplo transcrito na Entrevista 3, Apêndice A.2.2) e que contextualizou o Questionário 3,<sup>14</sup> amplamente testado em sala de aula e discutido na última seção deste capítulo, o *avatar* deve fazer *mea culpa*.

Finalmente, a Cena 1 se encerra com uma mudança crucial na pontuação dos perfis. Doravante, o *Perfil 1* tem sua pontuação zerada, o que significa

---

<sup>9</sup>Fluxograma 2, Apêndice C.2.1.

<sup>10</sup>Apêndice A.2.1.

<sup>11</sup>Apêndice B.2.1.

<sup>12</sup>Apêndice D.3.

<sup>13</sup>Fluxograma 4, apêndice C.2.3.

<sup>14</sup>Apêndice B.2.2.

que o *avatar* não ganhará mais nada se seguir a concepção do Referencial Privilegiado. Isso porque, mesmo que esta cena tenha a função de mostrar que o movimento é relativo, as concepções alternativas são bastante robustas e resistentes à instrução formal, como comentado em Panse, Ramadas e Kumar [13]. Então, é de se esperar que o Referencial Privilegiado continue aparecendo nas cenas seguintes.

Também, seguindo a ordem de preferência dos perfis, a pontuação anterior do *Perfil 1* substitui a pontuação do *Perfil 2* e este se torna o perfil dominante para o *avatar*.

### 5.2.2 Segunda ramificação da cena

Caso a Cena 1 comece com o *avatar* pertencendo aos *Perfis 2, 3* ou *4*, a ordem dos eventos é alterada, como já foi comentado. Agora, uma quarta opção de pesquisa inicial é oferecida ao jogador-aluno:

4. A fabricação de termômetros rudimentares, uma vez que a corrente marítima possui águas “quentes”.

Essa pesquisa é feita sem muita profundidade, tem a função de avaliação formativa e segue um raciocínio similar à pesquisa da ramificação anterior. No entanto, se o jogador-aluno se der por satisfeito com a ideia dos termômetros, ele ganha o emblema de “o termólogo”, caso contrário, ganha o emblema de “o pesquisador I”. Em qualquer uma das hipóteses, o *Inventor-mor* manda uma carta a *Leal* marcando um encontro para debater o assunto.

Nesse novo contexto, o segundo diálogo inicial possível entre o *avatar* e *Leal* foi igualmente baseado no Questionário 2 e na Entrevista 2,<sup>15</sup> entre outras. Essa avaliação somativa consiste em tentar convencer *Leal* de que a ideia da senhora *Graça* não funciona. No entanto, a coerência na argumentação ainda sim vale ao *avatar* o selo de “o relativista”.

No caso da segunda avaliação somativa, agora o *Inventor-mor* explica com argumentos experimentais o porquê as ideias de *Graça* não funcionam. Como

---

<sup>15</sup>Fluxograma 3, apêndice C.2.2.

já explicado, o perfil prevalente no *avatar* vai dar o fator multiplicativo para a pontuação das perguntas, enquanto as respostas sem sentido diminuem a *Fama* acumulada na cena. Essa segunda possibilidade de diálogo entre *Leal* e o *avatar* também foi baseada em entrevistas reais feitas com alguns alunos,<sup>16</sup> como no exemplo transcrito na Entrevista 3, e contextualizou o Questionário 3 (veja discussão na seção 5.5).

A Cena 1, nesse caso, se encerra com a pontuação do *Perfil 1* sendo zerada, enquanto os outros perfis permanecem com a mesma pontuação.

## 5.3 Cena 2

Dando prosseguimento ao jogo, a Cena 2 tem por objetivo introduzir o conceito de referencial e mostrar que a relatividade do movimento não é uma mera questão de perspectiva, ou seja, apesar do *avatar* e do *Almirante* observarem os “tiros diretos” de pontos diferentes do barco, isso não significa que a descrição física dos disparos seja diferente para os dois.

A avaliação somativa que se desenvolve no primeiro diálogo entre *Altivo* e o *Inventor-mor* foi baseada no Questionário 4, que foi amplamente testado em sala de aula, e em entrevistas reais feitas com alguns alunos, como no exemplo transcrito na Entrevista 4.<sup>17,18,19</sup> Vale lembrar que, agora, as respostas correspondentes ao *Perfil 1* não alteram mais a *Fama* do *avatar*.

### 5.3.1 Primeira ramificação da cena

Caso o *avatar* comece a Cena 2 com o *Perfil 2* como dominante, independentemente do perfil ter sido definido na Cena 0 ou ter-se tornado o dominante com o fim da Cena 1, a avaliação somativa que se desenvolve no diálogo do Fluxograma 6 concede mais *Fama* ao *Inventor-mor* caso ele responda às questões com as respostas correspondentes ao *Perfil 2*. Isso porque as respostas correspondentes aos *Perfis 3* e *4* também pontuam, mas em menor

---

<sup>16</sup>Fluxograma 5, apêndice C.2.4.

<sup>17</sup>Fluxograma 6, apêndice C.3.1.

<sup>18</sup>Apêndice B.3.1.

<sup>19</sup>Apêndice A.3.1.

escala, conforme a maior pontuação entre elas.

Já a segunda avaliação somativa, que ocorre na primeira possibilidade de diálogo final com o *Almirante-chefe*,<sup>20</sup> foi baseada no Questionário 5,<sup>21</sup> amplamente testado em sala de aula e cujos resultados são discutidos na seção 5.5, e no exemplo de entrevista transcrita na Entrevista 5.<sup>22</sup> Nesse diálogo, o *Almirante-chefe* pergunta, enquanto os testes de tiro são realizados, ao *avatar* se os disparos acertam os alvos em situações variadas, como quando as distâncias de tiro aumentam ou quando as velocidades dos navios ficam maiores.

Esta avaliação confere pontos de *Fama* da mesma forma que a primeira avaliação. Um fato importante de ser ressaltado é que, logo em seguida a essa segunda avaliação, a pontuação do *Perfil 2* é zerada e transferida para o *Perfil 3*, tornando-o dominante.

### 5.3.2 Segunda ramificação da cena

Caso o *avatar* comece a Cena 2 com os *Perfis 3* e *4*, a performance coerente com esses perfis no diálogo transcrito no Fluxograma 6 e na segunda avaliação somativa que ocorre na segunda possibilidade de diálogo final com *Altivo*,<sup>23</sup> que também foi baseada no Questionário 5 e no exemplo de entrevista transcrita na Entrevista 5, é pontuada conforme o sistema de *Fama*.

Note que, nesta ramificação, espera-se uma desenvoltura maior nas respostas do *avatar*, principalmente referente aos elementos fundamentais no estudo do lançamento de projéteis, como, por exemplo, o alcance do tiro e a “velocidade de boca” do projétil.<sup>24</sup>

Finalmente, o encerramento da Cena 2, nesse caso, apenas zera a pontuação do *Perfil 2*, mantendo as outras pontuações inalteradas.

\* \* \*

---

<sup>20</sup>Fluxograma 7, apêndice C.3.2.

<sup>21</sup>Apêndice B.3.2.

<sup>22</sup>Apêndice A.3.2.

<sup>23</sup>Fluxograma 8, apêndice C.3.3.

<sup>24</sup>Velocidade de boca é a velocidade de um projétil imediatamente após abandonar o cano da peça de artilharia.

Em ambas as ramificações, a cena 2 se desfecha com o segundo diálogo com *Mentor*,<sup>25</sup> que foi baseado em entrevistas reais feitas com alunos, como no exemplo transcrito na Entrevista 6.<sup>26</sup> Essa entrevista recontextualizou o Questionário 1 e, em seguida, contextualizou o Questionário 6.<sup>27</sup> Ambos foram amplamente testados em sala de aula (veja discussão na seção 5.5).

Esse diálogo tem a função de avaliação formativa, tem o objetivo de construir formalmente a ideia de referencial e oferece ao *avatar* alguns emblemas. Assim, caso o jogador-aluno escolha respostas que demonstrem um aparente avanço rumo à concepção de Relatividade Padrão, isso em comparação com o primeiro encontro com *Mentor* na Cena 0, o personagem ganha o emblema de “o quebrador de paradigmas”. Caso não haja uma grande mudança no padrão das respostas, o *avatar* ganha o emblema de “o resoluto”. Finalmente, se o jogador-aluno apresentar respostas que demonstrem um avanço rumo à concepção de Referencial Privilegiado, o personagem ganha o emblema de “o tradicionalista”.

## 5.4 Cena 3

Na Cena 3, finalmente, o objetivo é oferecer argumentos contra o Ultra-relativismo, ou seja, mostrar que referenciais não-inerciais não são equivalentes aos referenciais inerciais, não, pelo menos, na Relatividade de Galilei-Newton, que é o foco desta dissertação. Note que os *Perfis 1* e *2* não atribuem mais pontuação de *Fama* ao *avatar*, então a coerência da participação do jogador-aluno no jogo é avaliada apenas nas respostas relacionadas ao Ultra-relativismo e à Relatividade Padrão.

Para a avaliação formativa da escolha dos trabalhos de *Plácido*, se o *avatar* rechaçar de imediato as teorias do *Grande Mar* oco e do *Grande Mar* plano, sem qualquer interesse em saber mais sobre elas, é-lhe atribuído o emblema de “o impaciente”. Se ele decidir saber mais sobre os argumentos destas teorias, é-lhe atribuído o emblema de “o pesquisador II”. Finalmente, se resolver

---

<sup>25</sup>Fluxograma 9, apêndice C.3.4.

<sup>26</sup>Apêndice A.3.3.

<sup>27</sup>Apêndice A.3.3.

aprofundar-se nelas, é-lhe atribuído o emblema de “o pseudo-cientista”.

O diálogo com *Morena* tem a função de auxiliar o jogador-aluno a escolher as configurações, montadas sobre os aparatos propostos por *Plácido*, mais consistentes para o sistema formado pelo Sol, pela Lua e pelo *Grande Mar* e tem a função de avaliação formativa. Esse diálogo foi baseado em entrevistas reais feitas com alguns alunos,<sup>28</sup> como no exemplo transcrito na Entrevista 7,<sup>29</sup> e contextualizou o Questionário 7,<sup>30</sup> que foi amplamente testado em sala de aula e cujos resultados são discutidos na próxima seção.

É claro que o *Perfil 1* se relaciona diretamente ao modelo Geocêntrico 1, mas este último também pode ser defendido por um *avatar* com o *Perfil 4*, desde que o argumento parta do princípio de que não há qualquer forma de perceber o movimento do *Grande Mar*, pois os referenciais não-inerciais são erroneamente equiparados aos referenciais inerciais.

Vale lembrar, nesse ponto, que a proposta de Copérnico, no século XVI, do modelo Heliocêntrico se baseou em um conhecimento profundo do movimento dos corpos celestes, não só do Sol e da Lua, e que a demonstração dos efeitos das forças inerciais de rotação da Terra só foi possível de ser realizada muito tempo depois, na segunda metade do século XIX, por Foucault. Tais conhecimentos técnicos são muito complexos para serem desenvolvidos de forma satisfatória nesse jogo, logo, por uma questão de coerência, é exigido como argumento do *avatar* apenas o que esse jogo pode oferecer.

Também, o modelo Heliocêntrico 3 pode ser defendido por um *avatar* com os *Perfis 2, 3 e 4*, desde que o primeiro argumento que a sensação de movimento é apenas oriunda da questão da perspectiva, que o segundo argumento que os fenômenos percebidos no *Grande Mar* em movimento circular seriam indistintos dos fenômenos percebidos se ele estivesse em repouso e o terceiro argumento que esse é um modelo bastante plausível, mas que, para explicá-lo, seria necessário incluir também o movimento dos planetas e outras informações ainda mais sofisticadas.

Do ponto de vista da avaliação somativa, o jogador-aluno que seguir a

---

<sup>28</sup>Fluxograma 10, apêndice C.4.1.

<sup>29</sup>Apêndice A.4.1.

<sup>30</sup>Apêndice B.4.1.

linha de argumentação dos *Perfis 1 e 2* não ganha qualquer ponto de *Fama*, e ainda pode diminuir a sua pontuação acumulada caso escolha respostas sem sentido. Já o jogador-aluno que seguir a linha de argumentação dos *Perfis 3 e 4* é avaliado de forma equivalente à avaliação das Cenas 1 e 2. Essa avaliação decorre do debate na sala do trono,<sup>31</sup> que foi baseado em entrevistas reais feitas com alunos, como no exemplo transcrito na Entrevista 8,<sup>32</sup> e que contextualizou o Questionário 8,<sup>33</sup> que foi amplamente testado em sala de aula e cujos resultados são discutidos na próxima seção.

Ao final da Cena 3, o JEDI disponibiliza o arquivo de registro de “campanha”, situado na subpasta *Campaign\_Log*, e o professor poderá solicitar ao estudante que lho envie. Esse arquivo contém uma descrição detalhada das respostas dadas pelo aluno durante as avaliações feitas durante o jogo, além de outras informações relevantes, e se encontram no arquivo *avatar\_name\_log.txt*. Reunidas tais informações, cabe ao docente escolher a melhor maneira de planejar a instrução formal em sala de aula.

## 5.5 Entrevistas e Questionários

O objetivo desta seção é mostrar como os questionários apresentados no Apêndice B foram desenvolvidos e dar um exemplo de aplicação feita em sala de aula, apresentando seus resultados. Tais resultados, mesmo que obtidos a partir de um grupo restrito de estudantes, são bastante relevantes, pois são compatíveis com a bibliografia adotada neste trabalho, como será discutido mais adiante, e dão um panorama do que os professores devem esperar ao analisar os dados obtidos pelos seus respectivos alunos.

Uma vez que as concepções alternativas dos estudantes são bastante conhecidas, principalmente a partir dos relevantes trabalhos de Panse, Ramadas, Barve e Kumar [13–15], o grande desafio na produção dos questionários é criar questões perfeitamente contextualizadas, segundo o roteiro do JEDI, e minuciosamente criteriosas, de forma a cumprirem com sua função de per-

---

<sup>31</sup>Fluxograma 11, apêndice C.4.2.

<sup>32</sup>Apêndice A.4.2.

<sup>33</sup>Apêndice B.4.2.

guntas guia da atividade investigativa. Para isso, foram entrevistados nove estudantes, não necessariamente perfazendo todas as etapas do *game*, e algumas dessas entrevistas são reproduzidas e comentadas no Apêndice A. A partir da dinâmica dessas entrevistas é que as questões foram definidas.

Essas questões foram testadas com cerca de 250 estudantes, mas foram selecionados aleatoriamente apenas 50 alunos do 1º ano, 25 alunos do 2º ano e 25 alunos do 3º ano, totalizando 100 alunos do Ensino Médio noturno do Colégio Estadual Profª Maria de Lourdes de Oliveira Lavôr - Tia Lavôr, localizado na cidade do Rio de Janeiro. A escola atende a uma clientela prioritariamente oriunda das classes C e D, enquanto que, no período noturno, a frequência dos alunos é menor que nos outros turnos, é comum alunos repetentes, há uma grande quantidade de estudantes com mais de 18 anos de idade e a grande maioria deles já está no mercado de trabalho, indo para a escola após suas atividades laborais.

A aplicação dos questionários ocorreu sem aviso prévio no início do segundo semestre de 2016, mas é presumido que todos os alunos receberam a instrução formal básica em relatividade do movimento (galileana), uma vez que esse é um conteúdo obrigatório para o primeiro bimestre do 1º ano, conforme o Currículo Mínimo [20] da rede pública estadual do Rio de Janeiro. Dessa forma, ao contrário do que se propõe o produto desta dissertação, a aplicação dos questionários foi feita após a instrução, mas não imediatamente após, uma vez que os alunos estudaram oficialmente o conteúdo de alguns meses a alguns anos antes.

No entanto, por mais que essa seja uma aplicação pós-instrução, os resultados são bastante interessantes, não só pela possibilidade de comparação com os resultados obtidos por Panse, Ramadas, Barve e Kumar [13–15], como também pela possibilidade de análise, mesmo que de forma singela, do impacto do ensino desse conteúdo para o ensino público brasileiro (especialmente o ensino carioca). Também, a análise de mais turmas permite uma maior quantidade de alunos, o que melhora os . A Tabela 5.1 mostra a distribuição das respostas dos alunos em relação ao ano e à concepção prévia em relatividade do movimento.

Como as respostas possíveis às perguntas dos questionários podem envol-

Concepção prévia	1º ano	2º ano	3º ano	Total
Referencial Privilegiado	19%	20%	24%	20%
Pseudo-relativismo	23%	23%	20%	23%
Ultra-relativismo	20%	18%	18%	19%
Relatividade Padrão	24%	21%	21%	22%
Sem sentido	14%	18%	17%	16%

Tabela 5.1: Distribuição das respostas dos alunos em relação ao ano do Ensino Médio e à concepção prévia em relatividade do movimento.

ver mais de uma concepção prévia, como o número delas muda para cada concepção e como a quantidade de alunos é diferente para cada ano do Ensino Médio, foi necessário dissociar tais respostas e normalizá-las para a produção da Tabela 5.1.

É interessante notar, em uma análise estatística simplória, que os alunos do 1º ano tiveram uma taxa de resposta maior para a concepção de Relatividade Padrão, mais coerente com a visão “científica”, e que essa taxa caiu levemente nos anos seguintes. Também é possível notar que a concepção de Pseudo-relativismo, em que a relatividade do movimento é atribuída ao observador e não ao referencial, só perde força no 3º ano, mas se mantém preponderante na análise total de alunos do Ensino Médio. Este fato corrobora, mesmo que em circunstâncias socio-culturais bastante diferentes, com o resultado para os anos iniciais do *college* na Índia obtido por Panse, Ramadas, Barve e Kumar [13–15] de que, mesmo que os estudantes tenham entendido que o movimento é relativo, eles tendem a atribuir esse fenômeno a uma simples questão de observação.

Não obstante, o que mais chama a atenção nos resultados obtidos é o crescimento da concepção de Referencial Privilegiado com o passar dos anos, o que mostra, provavelmente, que o efeito da instrução formal tende a diminuir com o passar do tempo caso o conteúdo não seja constantemente retomado. Em termos das “zonas” propostas por Mortimer, Scott e El-Hani [17], isso significa que a “zona” criada pelo aluno após a instrução formal perdeu força, com o tempo, para “zona” pré-instrução criada sob influência do senso comum.

Finalmente, vale comentar que, por ser uma análise pós-instrucional, a

distribuição das respostas tende a ser bem diferente de uma aplicação pré-instrução, em que se espera uma taxa bem maior de respostas seguindo a concepção de Referencial Privilegiado e uma bem menor de Relatividade Padrão. Outro ponto importante de se comentar é que o *game* ainda não possui recursos suficientes para produzir, por ele mesmo, uma análise estatística dos resultados, então cabe ao professor o trabalho de reunir essas informações, apartir dos arquivos *avatar\_name\_log.txt*, e montar sua própria análise segundo sua conveniência.

Nas seções deste apêndice, há mais detalhes sobre os questionários que basearam os diálogos do JEDI e os resultados obtidos apartir de suas aplicações com os alunos supracitados. É importante ressaltar que, ao lado de cada resposta possível, existe a indicação da(s) concepção(ões) prévia(s) associada(s) ao ítem ou a indicação se ela é uma das respostas consideradas “sem sentido”, ou seja, que diminuem a pontuação de *Fama*. Também há a porcentagem direta de respostas ao ítem dada pelos estudantes segundo o ano do Ensino Médio.

## Capítulo 6

### Considerações Finais

Estas considerações finais se dedicam a esclarecer alguns pontos importantes que não foram muito aprofundados nos capítulos anteriores por uma questão de linearidade do argumento, uma vez que pausas muito extensas poderiam prejudicar a linha de raciocínio do leitor.

O primeiro ponto a ser esclarecido é sobre a escolha do referencial teórico e como o JEDI proposto por este trabalho se enquadra na produção nacional e mundial de *softwares* educacionais. A pesquisa feita por Ribeiro *et al.* [6] compara as produções brasileiras com os resultados obtidos em escala mundial, mostrando que a linha construtivista representa a maioria dos trabalhos feitos e revelando que a teoria mais usada no Brasil é a Teoria Psicogenética do epistemólogo suíço Jean Piaget. Porém, neste trabalho, o construtivismo piagetiano só é interessante na definição da faixa etária mínima do JEDI, que não é recomendado para jovens menores de 13 anos. Essa é a idade padrão em que muitas escolas começam a ensinar Física para os alunos, seja como conteúdo subordinado à disciplina de Ciências ou seja em disciplina específica.

Também segundo Ribeiro *et al.* [6], a segunda teoria mais citada nos trabalhos brasileiros é a Teoria do Desenvolvimento Social do cientista bielorusso Lev Vygotsky. No caso desta dissertação, todavia, considera-se que o construtivismo vygotkiano, por mais que tenha sido um bom primeiro passo, não foi o passo derradeiro na compreensão do processo de aprendiza-

gem dos indivíduos. Deste modo, os referenciais teóricos adotados por este trabalho não excluem a pertinência da Teoria do Desenvolvimento Social, mas a aperfeiçoam até os limites das descobertas mais recentes.

Vale ressaltar que a teoria de aprendizagem mais citada no panorama internacional segundo Ribeiro *et al.* [6] é a Teoria Organizacional do psicólogo estadunidense David Kolb. Para este presente trabalho, esta vertente até poderia ser explorada, uma vez que consiste em considerar como preponderante a aprendizagem por experimentação, ou seja, o que é importante para o desenvolvimento cognitivo do indivíduo são suas “vivências”. Porém, há um limite para essa divagação, uma vez que o objetivo desta dissertação não é adentrar nos meandros mais profundos das teorias de aprendizagem em voga, mesmo porque elas tendem a se complementar e suas fronteiras são muito tênues.

O segundo ponto a ser discutido é sobre a chamada “mudança conceitual”, bastante comum em discussões sobre concepções prévias. É importante salientar, quantas vezes forem necessárias, que o objetivo deste trabalho não é tentar substituir as concepções alternativas dos jogadores-alunos por concepções ditas científicas. Isso explica porquê o Referencial Privilegiado, por exemplo, continua aparecendo como resposta possível nas Cenas 2 e 3, mesmo que argumentos contra tenham sido exaustivamente trabalhados na Cena 1.

Segundo Mortimer, Scott e El-Hani [17], cada perfil conceitual modela a diversidade de modos de pensar e é constituído por várias “zonas”. Cada zona representa um modo particular de pensar. Dessa forma, o JEDI proposto pretende incentivar a construção de uma zona cognitiva no e pelo jogador-aluno com um perfil mais “científico”, por isso a preocupação com a coerência nas respostas, isto é, a preocupação com a existência de um rigor metodológico que é característico do pensamento científico.

Outrossim, a persistência durante o jogo das respostas baseadas nessas concepções alternativas, mesmo depois de vários argumentos contrários a elas, também serve como um alerta ao professor que pretenda usar o *software* como material pré-instrucional, pois lhe permite preparar uma aula mais direcionada.

O terceiro ponto a ser esclarecido e ressaltado neste capítulo é que o JEDI

produzido até o momento não pode ser considerado uma versão *gold*, mas ainda está na versão *alfa*. Dessa forma, este trabalho se dedicou a mostrar a viabilidade de se produzir um jogo digital de alto nível, com belos gráficos e roteiro cativante e ainda manter todos os cuidados com o aspecto pedagógico, o que é fundamental. Uma equipe séria de jogos educacionais precisa ter um núcleo pedagógico bastante criterioso e este trabalho primou por isto, pois, mesmo que o autor seja amador em programação e em *design* gráfico, o mesmo amadorismo não pode ser admitido no aspecto educacional.

Assim, por mais que o JEDI proposto neste trabalho ainda não tenha sido largamente usado como apoio às aulas, os fiadores de sua credibilidade são os estudantes que ajudaram na sua produção. O *game* foi desenvolvido em parceria com alguns alunos, que deram sugestões entusiasmadas ao longo do processo e inspiraram os diálogos entre os personagens, como é mais bem explicado no Apêndice A. Por esse motivo, eles podem ser chamados de alunos-desenvolvedores, em contraposição aos jogadores-alunos. Também, os próprios questionários que inspiraram os diálogos foram amplamente testados em sala de aula, cujos resultados são apresentados no Apêndice B.

O último ponto a ser tratado é sobre o futuro do produto deste trabalho, uma vez que seu desenvolvimento deve continuar mesmo depois que se encerre o ciclo que termina com esta dissertação. O *Grande Mar* é um novo mundo rico em possibilidades e ainda muito pouco explorado, por tanto o JEDI proposto não deve ser abandonado no estágio rudimentar em que se encontra.

Vale ressaltar que o uso da palavra rudimentar não significa que o *software* não cumpra com sua função de material pré-instrucional, mas que ser “apenas” útil não significa ter boa aceitação entre os jovens atuais. Por sinal, muito se fala nas vantagens dos *softwares* educacionais, mas pouco se comenta sobre sua receptividade entre os alunos. Será que os estudantes consideram o uso de jogos educacionais no ensino como uma alternativa menos pior ao método tradicional ou como um método efetivamente melhor? Por exemplo, se esses jogos fossem oferecidos gratuitamente na *Steam*,<sup>1</sup> uma das mais conhecidas plataformas de entretenimento da *web*, será que os usuários se interessariam em jogá-los e quais seriam suas avaliações sobre essa ex-

---

<sup>1</sup><http://store.steampowered.com/>

periência?

O objetivo da continuidade do projeto é exatamente atingir seu estado da arte, ou seja, chegar à versão *gold*, o que não é uma tarefa trivial. Uma versão *alfa* contém todas as informações necessárias para ter um *software* funcional, mas sua estrutura pode ser confusa e pouco atrativa a seu público-alvo. A melhor maneira de corrigir isso é passar para a versão *beta*, ou versão de testes, finalmente disponível para os usuários e com um sistema de *feedback*. Mesmo que o objetivo dessa fase seja corrigir os *bugs*, muito da estrutura do jogo pode ser alterada a partir das opiniões dadas pelo público. Finalmente, somente depois de todo esse processo, é que é lançada a versão *gold*.

Destarte, o leitor não deve tomar o material pré-instrucional oferecido no Apêndice E como o material derradeiro, pois o “mundo” dos *games* é muito dinâmico, e deve ficar atento aos comunicados de atualização que venham a surgir, incluindo possíveis DLCs (*downloadable contents*), que são pacotes de expansões da versão *gold*. Por sinal, uma DLC bastante almejada é a que inclui a possibilidade de análise estatística, a partir de um servidor *on-line*, dos resultados obtidos pelo aluno em particular e pelo grupo, o que seria de grande serventia para o professor. No entanto, para que esse futuro ambicioso se concretize, colaboradores são muito bem vindos a se juntar à “equipe”!

# Apêndice A

## Entrevistas

Muitas das respostas possíveis ao *avatar* durante o JEDI são adaptações de respostas reais dadas por nove estudantes durante entrevistas, feitas em tempo real através de programas de comunicação instantânea (*messengers*), que podem estar inseridos em redes sociais ou não, e depois exportadas e organizados para compor este apêndice. Essa escolha se deve pela facilidade de superar distâncias e de obter uma integração simultânea entre áudio, vídeo e texto, permitindo o acesso direto à linguagem textual do aluno, que pode ser lida, aqui, em sua redação original.

Cada entrevista simulou a participação do estudante no jogo, mas seguindo o método tradicional do RPG de mesa. O *avatar* é interpretado pelo jovem enquanto o NPC (*non-player character*) é interpretado pelo *mestre*, que no caso é o autor desta dissertação. Mais uma vez, é importante ressaltar que as falas atribuídas ao *avatar* estão na redação original dada pelo aluno.

Também vale ressaltar que nem todos os alunos perfizeram toda a história oferecida pelo roteiro do JEDI, havendo algumas lacunas. Alguns estudantes começaram as entrevistas, mas não deram continuidade. Outros começaram em algum ponto no meio da história e foram criteriosamente até o final. Há aqueles que foram do início ao fim, mas saltaram etapas. Então, as entrevistas a seguir são apenas uma parte do espaço amostral e foram selecionadas conforme a respectiva justificativa.

## A.1 Cena 0

### A.1.1 Entrevista 1 (Pedro Paulo - 17 anos)

A entrevista com o Pedro Paulo foi escolhida para compor este Apêndice por ter sido bastante clara e por apresentar uma concepção alternativa do aluno muito interessante: para ele, o repouso de um corpo significa que as partes constituintes do corpo também precisam estar paradas, ou seja, o corpo precisa estar completamente imóvel.

\* \* \*

O *avatar* bate na porta e chama:

**Avatar:** – Mestre Mentor, está aí?

**Mentor:** – Quem é?

**Avatar:** – Sou eu, Pedro!

**Mentor:** – Ah, é você, entre logo!

**Avatar:** – como esta mentor ?

**Mentor:** – Estou bem, só com algumas dores nas costas! Velhice não é fácil.  
E você, meu jovem, como está?

**Avatar:** – um pouco cansado acabo de chegar de uma viagem, a mando do rei, do norte

**Mentor:** – E estava fazendo o que no norte?

**Avatar:** – estava de ferias mas tive q voltar o mais rapido o possivel , o rei mandou tem q cumprir ...

**Mentor:** – Entendo, mas a culpa é sua, sua ambição o fez chegar ao cargo de conselheiro, então aguarde as consequências! – *Mentor* solta um leve sorriso irônico.

**Avatar:** – Não fui ambicioso só aproveitei as oportunidades que apareceram, o que você faria no meu lugar?

**Mentor:** – Olhe ao seu redor. Apesar de toda minha fama e todas as oportunidades que já tive, moro em uma casa simples. Faço meus horários e não tenho rabo preso com ninguém. Já você, preferiu morar em um castelo!

**Avatar:** – Isso não vem mais ao caso, as escolhas já foram feitas. Agora estou aqui cansado... – O *avatar* suspira.

**Mentor:** – Pois bem, faça como quiser. A vida é sua. Mas, então, quanto tempo tirou de férias?

**Avatar:** – Só consegui tirar uma semana, eu gostaria de ficar no norte por mais tempo para descansar um pouco mais, mas tive que voltar a mando do rei

**Mentor:** – Mas já foi conversar com o rei ou veio aqui direto?

**Avatar:** – Vim direto para aqui, queria conversar um pouco com um amigo e desabafar um pouco

**Mentor:** – Então desabafe! Sou todo ouvidos.

**Avatar:** – Ahh então vamos lá, ultimamente tenho ficado com muita preguiça de fazer as coisas não sei se é a pressão mesmo do trabalho ou se é a falta de umas boas férias ...

**Mentor:** – Quem sabe não são as duas coisas! Se bem que, até onde me lembro, você sempre foi meio preguiçoso em fazer minhas lições.

*Mentor* volta a ser irônico.

**Avatar:** – Não vamos lembrar dos fantasmas do passado – O *avatar* ri da ironia de Mentor.

**Mentor:** – Por falar em preguiça, já há algum tempo estou pensando na preguiça das coisas, não só humanas. Parece que tudo nesse mundo tende a ter preguiça! O que acha?

**Avatar:** – nao entendi muito bem o que vc quis dizer

**Mentor:** – Veja esse copo d'água em cima da mesa, por que ele não se move sozinho até minha boca? A pesar da função do copo ser essa, ele não faz as coisas sozinho e fica aí parado ...

**Avatar:** – ue nao é logico? copos nao se movem ...

**Mentor:** – Sim, normalmente não se movem sozinhos. Mas e se não houver a mesa em baixo dele? O copo vai começar a se mover sozinho, só que para baixo!

*Mentor* pega o copo sobre a mesa e o solta fazendo com que caia no chão.

**Avatar:** – ainda nao entendi onde vc quer chegar com isso

**Mentor:** – Afinal, é natural para as coisas ficarem paradas ou não?

**Avatar:** – os corpos q tendem a se mexer vao se mexer e os q tendem a ficar parado vao ficar parados

**Mentor:** – Agora quem não entendeu fui eu! Explique.

**Avatar:** – bom vamos pegar como exemplo o copo se ninguem mexer no copo ele vai ficar parado e uma pessoa como exemplo vai estar se mexendo mesmo sem querer, seu coração vai bater, ele tem q respirar, etc

**Mentor:** – Deixa eu ver se entendi. Então quer dizer que coisas inanimadas tendem a ficar paradas, enquanto coisas animadas (como nós seres humanos e os animais) tendem a se moverem sozinhos?

**Avatar:** – pode-se dizer q sim

**Mentor:** – Certo, então para você há a diferença entre coisas animadas e inanimadas! Mas, voltando ao copo, se ele é inanimado, então porque ele cai naturalmente quando não há a mesa em baixo dele?

**Avatar:** – pois a mesma força q nos mantem com os pés no chão se aplica no copo

**Mentor:** – Não entendi.

**Avatar:** – bom ja q nao tem nada para separa o copo do chão ele tende a cair naturalmente...

**Mentor:** – Então, quer dizer que as coisas caem naturalmente, ou seja, se movem sozinhas mesmo sendo inanimadas?

**Avatar:** – bom pela logica, sim

**Mentor:** – Enfim, voltando à questão original, as coisas tendem a ficar paradas ou não?

**Avatar:** – sim pois a mesma força q nos mantem com os pés no chão se aplica no copo

**Mentor:** – Não entendi...

**Avatar:** – bom aquilo q nos puxa para o chão tbm pucha o copo qquando nao tem mesa

**Mentor:** – Mas como pode puxar se não tem nada amarrado no copo? Não existe uma espécie de "corda" puxando!

**Avatar:** – e uma força natural q nao permite q o corpo voe

**Mentor:** – Para mim isso que você disse parece bruxaria, isso sim! – *Mentor* solta uma estridente gargalhada.

**Avatar:** – pode se dizer q é uma bruxaria natural – O *avatar* também ri do comentário de *Mentor*.

**Mentor:** – Certo, certo! Agora, como saber se as coisas estão realmente paradas ou não?

**Avatar:** – bom eu diria q se nada mexer no objeto ele fica parado

**Mentor:** – É, faz sentido. Esses dias estava andando de charrete enquanto observava as coisas no caminho. Mas, a estrada de terra estava tão lisinha que, por um momento, tive a impressão de que as árvores, as cercas e as casas é que estavam se movendo para trás. Era como se eu estivesse parado!Será que isso foi impressão minha?

**Avatar:** – caro amigo eu diria q é impossível já que era você q estava se movendo na charrete...

**Mentor:** – Mas por que eu não poderia estar parado e o resto do mundo se movendo?

**Avatar:** – agora eu chamaria isso de bruxaria, explique melhor.

**Mentor:** – Sim, pode até parecer egoísmo de minha parte, mas por que eu não posso estar parado e as coisas que se movem ao meu redor?

**Avatar:** – ate q faz um pouco de sentido mas se eu estivesse paradoe olhando a sua charrete quem estaria se movendo seria vc, nao ?

**Mentor:** – Sim, mas porque o seu ponto de vista seria melhor que o meu?

**Avatar:** – nao estou dizendo q o meu ponto de vista e melhor q o seu, so q por que eu q estou parado estaria me movendo para vc ?

**Mentor:** – Exatamente esse o impasse! Será que existe algum observador melhor que o outro? Alguém privilegiado?

**Avatar:** – essa e uma boa questao meu amigo nos podemos tentar testar se existe "alguem privilegiado"mas como ?

**Mentor:** – Eu, até onde sei, não consigo imaginar ninguém que tenha mais privilégios que outros, a não ser por um argumento de maioria. Se

a maioria dos objetos estão parados e tendem a ficar parados, então talvez esses seriam privilegiados. Concorda?

**Avatar:** – nao entendi o q vc quis dizer

**Mentor:** – Sim, no caso do meu passeio de charrete, é mais fácil eu estar parado e as árvores, as cercas, as casas e as montanhas se moverem ou o contrário?

**Avatar:** – creio q o contrario

**Mentor:** – E por quê?

**Avatar:** – não consigo ver por quê vc q esta se mexendo estaria parado e eu q estou parado estaria me mexendo

**Mentor:** – Então podemos dizer que quem está parado é o Mundo, e nos que nos mexemos?

**Avatar:** – sim concordo contigo

**Mentor:** – É, parece-me razoável também. Enfim, você veio direto para cá e não foi ver o rei, se não se apressar daqui a pouco vai acabar preso por desobedecê-lo!

**Avatar:** – bom vc esta certo vou ver o rei e depois eu volto para chegarmos em algum lugar nessa discussão

## **A.2 Cena 1**

### **A.2.1 Entrevista 2 (João Victor - 16 anos)**

A entrevista com o João Victor foi escolhida por dois motivos. O primeiro foi um alerta quanto ao uso do termo “corrente quente” durante o jogo, pois isso automaticamente levou os alunos a proporem a construção de termômetros para encontrá-la. No caso do João, enquanto era feita a entrevista pelo Skype, ele chegou a pesquisar no Google como fazer um termômetro caseiro!

Já o segundo motivo foi mostrar que uma entrevista nem sempre chega aos objetivos desejados. O João, por exemplo, enrolou-se tanto que a entrevista foi abandonada no meio do caminho.

\* \* \*

O *avatar* bate à porta e chama Leal.

**Leal:** – Pois não?

**Avatar:** – É o Artur.<sup>1</sup> Encontrei respostas sobre o problema das correntes marítimas.

**Leal:** – Ah! Entre, entre...

**Avatar:** – Licença. Vim a mando do rei. Andei pesquisando e já tenho as respostas. Por onde começamos? – O *avatar* sorri.

**Leal:** Pelo começo, eu sugiro. Não sou especialista, então sugiro que vc vá bem devagar. – E *Leal* também sorri.

O *avatar* engole com um sorriso seco o sarcasmo de *Leal*.

**Avatar:** – O problema encontrado pela Graça é q as pessoas dentro da embarcação tem uma percepção diferente da bala atirada do canhão. Os navegantes dizem que o projétil “vai pra trás”.

**Leal:** – Que Graça? – *Leal* se demonstra confuso.

**Avatar:** – Perdoe-me. Uma grande sábia do reino, Graça da Hora. Deve conhecer. – O *vatar* percebe seu erro.

**Leal:** – Já ouvi falar, se não me engano na época da escola. Vc vai me desculpar, mas nunca fui muito bom nessas matérias de filosofia da natureza.

---

<sup>1</sup>Nota: Artur é nome que o João Victor escolheu para seu *avatar*.

**Avatar:** – Td bem, nem todo mundo tem essa afinidade com filosofia. Mas retomando... Tenho uma teoria de q o impulso gerado pela movimentação do navio para frente não está ligado à bala.

**Leal:** – Mas que bala? Parece que você está falando consigo mesmo. . .

**Avatar:** – A bala do canhão do navio. Não faz parte do foco do assunto?

**Leal:** – Eu acho que sim. . . Só não sei o que isso tem a ver com a corrente marítima!

**Avatar:** – Eu explico o restante da teoria. Como eu estava dizendo, a percepção de que a bala do canhão é lançada pra trás pode estar relacionada à corrente marítima. Nós usamos a corrente quente, não é mesmo? Seu curso é mais rápido. Com a velocidade da embarcação, dentro desta corrente, adicionada à velocidade marítima, a bala é lançada pra trás pelo impulso.

**Leal:** – Continue...

**Avatar:** – Sim, mas quero saber um feedback seu. Alguma dúvida até agora?

**Leal:** – Todas. Pode ser? – *Leal* começa a rir desdenhoso.

O *avatar* ri, preocupado.

**Avatar:** – Pergunte agora ou cale-se para sempre, meu caro. Estou aqui pra ensinar.

**Leal:** – Então. . . Eu não entendi como uma bala de canhão pode ajudar a encontrar a corrente, só isso. . .

**Avatar:** – Foi apenas uma ilustração. Bem, a partir desta análise podemos fazer um teste na água com algum aparato. O que me diz?

**Leal:** – E como seria esse teste?

**Avatar:** – Em uma pequena canoa, q caiba duas pessoas, é levada ao mar com um medidor de temperatura e velocidade, e q possa ser, depois, colocado no casco de um navio com um aparato que informe sobre este aparelho lá embaixo.

**Leal:** – Temperatura?

**Avatar:** – É uma palavra que usamos para dizer quando medimos o calor ou o frio de um objeto ou coisa natural. – E o *avatar* usa do sarcasmo.

**Leal:** – Você pretende colocar alguém com um termômetro para medir a temperatura do mar? – *Leal* fica surpreso

**Avatar:** – Pretendo. Minha ideia é unir um cabo de metal na superfície da estrutura, q pode ter sua forma variável e definida no projeto, um cabo fino longo q seja suficiente para chegar à uma profundidade q dê para medir a temperatura.

**Leal:** – Mas onde vamos encontrar termômetros para isso? Os termômetros são raros e enormes!

**Avatar:** – Somos inteligentes e projetaremos um em pequena escala.

**Leal:** – Mas como vamos construir um termômetro pequeno e preciso o suficiente?

**Avatar:** – Minha ideia é um termômetro simples. Enchemos cerca de 1/4 de um cilindro transparente e fino de graduação com água potável e álcool. Adicionamos pigmento para dar uma cor distinguível na solução. Colocamos um canudo transparente mais fino dentro desse frasco/cilindro. Para não evaporar rapidamente, passamos óleo no topo do canudo. Cobrimos o topo dos frascos com argila. Devemos ter cuidado para não passar muito ar na solução. Criamos uma vedação hermética, moldando ao redor da tampa do recipiente pro ar não passar. Por fim, testaremos para ver se o teste funciona, como um pré-teste antes do teste de verdade.

**Leal:** – E como testar isso no mar? Digo, é um termômetro pequeno e provavelmente vai ficar de baixo da água a maior parte do tempo, então como saber de forma rápida se a água está mais quente ou mais fria?

**Avatar:** – Precisaremos utilizar um cilindro que seja condutor de calor, neste caso da solução dentro, e de um metal que conduza esse calor, visto que ele estará preso/fundido diretamente no cilindro. Este metal será de comprimento bem extenso.

**Leal:** – Bem, normalmente metais são bons condutores de calor, mas não são transparentes!

**Avatar:** – Nossa, é mesmo! Acredito que vi esse aparato em um sonho e confundi com a realidade. – O *avatar* ri, desconcertado.

**Leal:** – Não que eu não ache sua ideia interessante, mas não sei se é viável. Mesmo que uma corrente quente seja mais quente que o resto do mar, ainda sim a temperatura da água varia muito e isso é perceptível. Basta pular na água que em alguns pontos você vai sentir a água ligeiramente mais quente ou mais fria. E também tem o efeito do Sol, se que de dia o calor do Sol pode influenciar a temperatura mostrada pelo termômetro. Bem, eu não sou o especialista em filosofia natural, mas conheço bem o mar. Isso que você propôs não me parece fácil, eficaz e seguro de ser feito, então eu não arriscaria homens e navios numa empreitada desse tipo.

**Avatar:** – Bem, acho melhor mesmo não arriscar. Conversamos tanto e me perdi na tese central. Qual o objetivo mesmo? Como encontrar uma corrente marítima?

**Leal:** – Exato! Nós sabemos que existe uma corrente quente que atravessa o Mar das Tormentas em direção ao Império dos Cinco, mas ninguém sabe onde, ao certo, ela passa! E aí você veio me dizer a tal da famosa senhora Graça da Hora e duas ideias, mas não concluiu. De repente, você entrou nesse assunto do termômetro... – *Leal* se demonstra ao mesmo tempo confuso e impaciente.

**Avatar:** – Ah sim, eu me perdi na explicação. Como eu dizia a respeito da tese da bala de canhão. Para descobrirmos a corrente marítima quente devemos observar as ondas na costeira de praias. As correntes marítimas quentes são rota para animais subaquáticos seguirem por caminhos seguros, logo, animais marinhos perambulam por recifes de corais.

**Leal:** – Ahm?<sup>2</sup>

### **A.2.2 Entrevista 3 (João Victor - 16 anos)**

A entrevista com o João foi escolhida de novo por uma questão de continuidade do raciocínio iniciado na entrevista anterior. Também, serviu como sua redenção, uma vez que ele conseguiu concluí-la sem problemas.

\* \* \*

**Avatar:** – Bem, Leal, aqui estamos. Bem vindo. Está muito frustrado?

**Leal:** – Arrasado, eu diria!

**Leal:** – Aliás, bom dia.

**Avatar:** – Bom dia. E espero que seja bom mesmo, já q pretendo te mostrar porque do fracasso e melhorar este... dia.

**Leal:** – É o mínimo que o senhor poderia fazer, senhor inventor. Perdemos 64 homens naquela tempestade...

**Avatar:** – Sim. Te devo desculpas. Pois bem. Viemos ao Rio Grande para demonstrar em ambiente mais fechado o experimento. Assim não corro o risco de nos matar – Artur sorri. – Está vendo este mastro no centro da embarcação? Vou começar explicando por ele.

**Avatar:** – Ouviu falar da teoria de Graça da Hora?

---

<sup>2</sup>Nota: A entrevista foi suspensa nesse ponto.

**Leal:** – Sim, o senhor já me explicou sobre ela no nosso último encontro. E ainda me convenceu de que essa teoria funcionava, mas... aparentemente não funcionou.

**Avatar:** – Revi a teoria após o incidente no mar. A teoria dela não está certa, porque mesmo q eu solte a bola do topo do mastro não dá para saber se o navio está em movimento ou parado.

**Leal:** – Por que?

**Avatar:** – Porque a bola não está dentro do navio, como uma pessoa, fixa e firme. A bola está desprendida das forças que atuam nele. Se eu solta-la, ela vai cair por causa da gravidade e não por causa da velocidade do próprio navio. Consegue assimilar onde errei com o senhor?

**Leal:** – Que bola???

**Avatar:** – A bala de canhão. A Chamei de bola para encurtar a explicação. A bola utilizada no experimento anterior, baseado na teoria da Dona Graça da Hora.

**Avatar:** – Posso te dar outro exemplo, se preferir.

**Leal:** – Ah, sim! Enfim, pelo que entendi do seu exemplo, a bola de ferro vai cair em linha reta sob ação apenas da gravidade e não vai adquirir a velocidade do barco, certo?

**Avatar:** – Certo. E isso não nos indica se o barco está em movimento. Aqui, no Rio Grande podemos ver a correnteza à margem do rio e saber do movimento do barco. Mas no mar aberto não.

**Leal:** – O que tem a ver alhos com bugalhos?

**Avatar:** – Perdão. Misturei outra explicação achando que ia facilitar. Até a parte do “movimento” é a resposta ao senhor.

**Leal:** – Segundo o que me parece, o fato da bola cair em linha reta vai fazê-la cair mais para trás do navio, uma vez que ele se move para

frente enquanto ela cai. Até onde eu me lembro, essa era exatamente a explicação da dona Graça...

**Leal:** – Certo.

**Avatar:** – Sim. Segundo ela, a bola cairia para trás porque ela ganharia velocidade própria. Em caso do navio estar em movimento, ela cairia para trás. Mas se ele estiver parado, a bola cairia mais perto do mastro.

**Leal:** – Cairia para trás por que ganharia velocidade própria? Algo me diz que o senhor está me enrolando...

**Avatar:** – Retificando: cairia pela ação da gravidade. Hoje estou um pouco distraído, perdão. Deve ser por causa do incidente.

**Avatar:** – E essa conversa também é para argumentar por que não encontramos a corrente marítima, correto?

**Leal:** – Sim. Mas o senhor me chamou aqui para mostrar experimentalmente porque não funciona e não para ficarmos aqui no cais parados, discutindo...

**Avatar:** – Muito bem, então vamos lá, Senhor Leal.

O *avatar* e *Leal* entram no barco e se dirigem ao centro do rio.

**Leal:** – Finalmente, aqui estamos. O senhor ia me explicar alguma coisa sobre o mastro, certo?

**Avatar:** – Sim. Vou explicar mostrando. O senhor se afaste um pouco do mastro. Subirei para demonstrar. – E o *avatar* sobe o mastro.

Do alto ele explica, com a bola de ferro em mãos:

**Avatar:** – Leal, se eu soltar esta bola de ferro, segundo a teoria de Graça da Hora, ela cairá para trás. Até aí td bem?

**Leal:** – Tudo bem.

O *avatar* solta a bola. Ela cai realmente por conta da gravidade. Mas cai junto ao “pé” do mastro.

**Avatar:** – Está vendo, Leal? Ela não cai para trás.

**Avatar:** – É aí que errei.

**Leal:** – Sim, surpreendente! Mas não será por estamos muito de vagar???

**Avatar:** – Não, porque a bola vai cair como se o barco estivesse parado, independente da velocidade dele.

**Leal:** – O senhor já fez o teste antes?

**Avatar:** – Após o incidente eu vim sozinho fazer inúmeros testes para descobrir em q ponto errei em confiar na teoria dela e não testar antes.

**Leal:** – Interessante! Mas, ainda sim, eu gostaria de ver para ter certeza...

**Avatar:** – Ver o que exatamente? Explique um pouco mais.

**Leal:** – Oras! O mastro tem vários patamares de diferentes alturas. Se o senhor abandonar o bola de cada um deles e mesmo assim ela continuar caindo em linha reta como se estivéssemos parados, aí eu ficaria satisfeito!

**Avatar:** – É só falar mais claro. Não se altere, Senhor Leal.

O *avatar* desce um patamar e exemplifica:

**Avatar:** – Novamente, a bola cai para perto do mastro, só que num tempo ligeiramente menor.

**Leal:** – E no patamar mais alto?

**Avatar:** – Foi o primeiro teste que fiz.

**Avatar:** – Estou vindo do alto para os patamares mais baixos.

**Leal:** – Certo...

**Leal:** – O que explicaria o fato da bola cair em linha reta como se o barco estivesse parado, sendo que estamos nitidamente em movimento?

**Avatar:** – Q ela não segue o movimento do objeto maior, no caso, o barco. Não há movimento absoluto.

**Avatar:** – Não é porque o barco está em movimento que a bola terá o mesmo movimento. São objetos diferentes.

**Leal:** – Eu diria o contrário. A bola está se movendo para frente junto com o barco. Se não fosse assim, ela ficaria para trás...

**Leal:** – O que acha da minha ideia?

**Avatar:** – Eu acho que a bola, independente dos experimentos, vai cair o mais próximo do ponto que em que foi solta, sempre devido à gravidade. Vejo que se a bola se movesse junto do barco, ela iria para a frente.

**Avatar:** – A ideia de movimento é relativo.

**Leal:** – Mas como ela iria para frente? Basta que ela ande com a mesma rapidez que o barco para simplesmente ficarem emparelhadas. Seria a mesma coisa que duas pessoas andando juntas, lado a lado, enquanto conversam.

**Avatar:** – Creio que dentro do barco os objetos se comportam como se ele estivesse parado.

**Avatar:** – A bola não tem pernas para andar, senhor Leal. Seria preciso colocar força nela para que ganhasse movimento.

**Leal:** – É, mas se só houvesse a gravidade e ela caísse somente para baixo e não se movesse também para frente junto com o barco, ela iria cair atingindo a parte de trás do convés, já que o barco se moveu pra frente. Algo na sua explicação, senhor, não está fazendo sentido.

**Leal:** – Veja, ela precisa se mover para frente junto com o navio, se não ela fica para trás. Simples assim.

**Avatar:** – Eu estava explicando a ação do objeto cair do mastro. Até aí. Creio q o senhor se adiantou.

**Avatar:** – Depois de cair, ela seguiria o movimento do barco, se ele estiver em movimento sim.

**Avatar:** – Acho que agora estamos nos entendendo.

**Leal:** – Pode ser. Ao meu ver, é como se a correnteza do rio estendesse suas ação ao barco e a tudo que estivesse nele e saísse dele, como a bola. É como se, mesmo depois de solta, ela ainda continuasse sendo arrastada junto com a correnteza. O que acha?

**Avatar:** – Então para ver se nos entendemos, posso dar um exemplo parecido?

**Avatar:** – Acho que sim, senhor Leal.

**Leal:** – Pode...

**Avatar:** – Se eu colocar uma laranja no centro deste barco e a esperar rolar, conforme o movimento da embarcação aqui no rio, eu saberei se está em movimento ou parado. É similar ao experimento da bola, só que depois de a bola ter caído no convés.

**Avatar:** – Acredito que agora não reste dúvidas.

**Leal:** – Não precisa ser um uma laranja, pode ser a própria bola de ferro. Podemos fazer o teste.

**Avatar:** – Bem, isso nos diz q está em movimento...

**Leal:** – Mas será que ela não vai ter o mesmo tipo de movimento quando atracarmos no cais de novo?

**Leal:** – Parece que a bola está indo para um lado e para o outro seguindo o balançar do barco. Mesmo atracado no cais, o barco continua balançando...

**Avatar:** – Pois então, está em movimento, mas não o movimento que esperamos (de navegar / sair do mesmo lugar).

**Avatar:** – O barco está balançando devido à correnteza.

**Leal:** – Devido às ondas... Até se estivéssemos em uma enseada sem correnteza, as ondas nos chacoalhariam...

**Leal:** – Talvez o movimento só seja percebido quando se muda o movimento. Por exemplo, se estamos navegando em águas calmas e com movimento uniforme, nem sentimos o movimento. Mas se batermos numa pedra submersa, somos imediatamente jogados pra frente.

**Avatar:** – Isso nos leva a pensar q o movimento não é único, tem várias formas de manifestação, não é mesmo?

**Leal:** – Pode ser, sim.

**Avatar:** – O movimento é relativo então.

**Avatar:** – O senhor tem mais alguma dúvida ou está satisfeito?

**Leal:** – Estou satisfeito. Podíamos ter tido essa conversa antes de enviar aquela expedição...

**Avatar:** – Pois é. Sinto pela perda de seus 64 homens... Não hesitarei na próxima vez. Testarei antes de ter certeza.

**Leal:** – Muito obrigado, senhor inventor.

**Avatar:** – Estou sempre às suas ordens, meu caro.

*O avatar e Leal retornam à terra, satisfeitos.*

## **A.3 Cena 2**

### **A.3.1 Entrevista 4 (Eduardo - 11 anos)**

A simulação apresentada nesta seção tem um caráter excepcional, pois foi feita com um aluno do 6º ano do Ensino Fundamental. O Eduardo, 11 anos,

está bem abaixo da idade em que a Física começa a ser ensinada nas escolas e ainda abaixo da idade mínima recomendada para o JEDI proposto (que é de 13 anos), mas teve um resultado surpreendente e que vale a pena ser compartilhado com o leitor.

\* \* \*

**Avatar:** – Ola,Altivo tudo bem posso ajudar em algo?

**Altivo:** – Senhor inventor! – Fica surpreso. – Estou bem sim, e o senhor? Se pode ajudar? Pode ajudar em que?

**Avatar:** – sim estou bem e porque andei pesquisando e descobri algo sobre pirataria na ilha.

**Altivo:** – Ah, sim. O senhor ficou sabendo. O rei me ordenou que resolvesse o problema.

**Avatar:** – sim,por isso gostaria de ajudar

**Altivo:** – Bem, toda ajuda é bem vinda! – *Altivo* fica satisfeito.

**Avatar:** – obrigado Altivo

**Altivo:** – Então, em que o senhor pretende ajudar?

**Avatar:** – tenho pistas de batalha de navios isso pode ser util

**Altivo:** – Ué, pistas de batalhas de navio? Como assim?

**Avatar:** – e porque como os vavios irão acertar um ao outro em movimento?

**Altivo:** – Essa é uma boa pergunta! Isso é um mistério... não sei como isso é possível! O rei também está alarmado...

**Avatar:** – e o seguinte se os dois navios estiverem em confronto lado a lado vai funcionar assim; se um atacar com o canhão traseiro para trás e o navio inimigo estiver em alta ou baixa velocidade as possibilidades de acertar as possibilidades de acertar emuita pequena ,com os canhões

laterais dependendo da velocidade do navio inimigo se a velocidade for baixa as chances de acertar são grandes se for alta a possibilidades de acertar a traseira do navio o navio atingira o meio. com os canhões frontais dependendo da velocidade se for baixa ele atingira um pouco da frente do navio se for alta ele atingira o meio do navio.

**Altivo:** – Bem, eu acho que se os artilheiros mirarem os canhões para trás, eles não irão nem mesmo acertar... – *Altivo* sorri sarcasticamente.

**Altivo:** – Bem, de fato, faz um certo sentido pensar que os canhões do meio do navio artilheiro irão acertar o meio do navio inimigo se eles estiverem em baixa velocidade e, se estiverem em alta velocidade, a bala vai acertar a traseira do navio. E, também faz sentido pensar que os canhões da frente do navio artilheiro podem acertar a frente do navio inimigo ou o meio dele. – *Altivo* fica pensativo.

**Avatar:** – de certa forma

**Altivo:** – Enfim, mas os relatos que temos de sobreviventes dos ataques é que as balas de canhão dos navios piratas acertaram eles em cheio. Mesmo navegando a toda vela, as balas disparadas na frente do navio pirata acertavam a frente do navio mercante, as do meio acertavam o meio do outro navio e a mesma coisa com as balas disparadas da parte de trás. Isso é o que está deixando todo mundo intrigado!

**Avatar:** – Concordo mas voce tem certeza

**Altivo:** – Bem, como eu disse, são relatos de sobreviventes do ataques.

**Avatar:** – podemos fazer um teste de dois navios

**Altivo:** – Tipo um teste real de tiro?

**Avatar:** – não pode ser com um material parecido com canhões

**Altivo:** – Não, não. Pode ser com canhões mesmo! Gostei da ideia! Podemos usar navios velhos como alvos!

**Avatar:** – sim e uma boa ideia e também podemos testar bombas como a dinamite

**Altivo:** – O que é dinamite?

**Avatar:** – ahhhhh. Esqueça

**Avatar:** – vamos só usar canhões mesmo

**Altivo:** – Pensei em fazer um alvo fixo também, O que acha? Um navio parado enquanto o navio artilheiro atira. Lembrando que o navio artilheiro vai estar em movimento. Agora, a minha pergunta é: Quando devemos atirar para acertar o alvo fixo? Antes de ficar lado a lado, quando ficarem lado a lado ou depois?

**Avatar:** – tem que ser quando estiver chegando perto do navio entre antes e depois

**Altivo:** – Mas entre o antes e o depois está exatamente o durante! – E *Altivo* começa a rir. – O senhor quer dizer que o navio artilheiro deve atirar pouco antes de ficar lado a lado com o alvo?

**Avatar:** – sim o alvo terá que atingir entre antes e durante ao mesmo tempo

**Altivo:** – Certo! Mandarei fazer os preparativos para nosso teste. Agora, uma última pergunta. Tanto no caso dos dois navios em movimento, quanto no exemplo do alvo fixo, a distância entre os navios influencia?

**Avatar:** – certo andarei estudando melhor amanhã nos encontramos amanhã nos preparativos. sim influencia um pouco

**Altivo:** – Influencia em que?

**Avatar:** – a distância entre os navios

**Altivo:** – Se influencia em quando deve ser dado o tiro?

**Avatar:** – depois porque a bala terá uma curva

**Altivo:** – Como assim fazer uma curva?

**Avatar:** – da velocidade do navio que ira puxar o vento para trás

**Altivo:** – Ah, o navio estar se movendo faz vento? Aí o vento vai desviar a bala?

**Avatar:** – dependendo do vento se estiver em direção contraria da navegação a bala ira para tras se não a bala ira reta

**Altivo:** – E se não tiver vento?

**Avatar:** – a bala irá reta tambem

**Altivo:** – Entendi.

**Avatar:** – certo tenha uma boa noite e encontro voce amnha nos preparativos

**Altivo:** – Certo.

### A.3.2 Entrevista 5 (Eduardo - 11 anos)

Dando prosseguimento à primeira simulação de diálogo com *Altivo*, segue abaixo a segunda simulação feita com o Eduardo.

\* \* \*

**Altivo:** – Seja, bem-vindo, senhor inventor!

**Avatar:** – obrigado senhor almirante

**Avatar:** – Vamos começar os testes

**Altivo:** – Excelente! Vamos começar pelo teste dos navios lado a lado, pode ser?

**Avatar:** – sim

*Altivo* dá o sinal para que os navios se preparem para o teste. O almirante e o *avatar* ficam em segurança no píer assistindo o teste.

**Altivo:** – Vamos ver o que acontece!

O teste se desenrola da maneira esperada, o navio artilheiro abre fogo e destrói o navio alvo.

**Altivo:** – Exatamente como nos relatos!

**Avatar:** – isso pode ser muito útil em batalha

**Altivo:** – Com certeza!

**Avatar:** – vamoá testar agora o navio fixo

**Altivo:** – Certo. Mas antes, eu gostaria de fazer alguns questionamentos. Como é possível o projétil acertar o navio inimigo?

**Avatar:** – porque o navio estava certamente localizando os canhões principais.

**Altivo:** – O que o senhor chama de canhões principais?

**Avatar:** – os canhões que estão no meio existem maiores chances de acertar o alvo que estão situadas no meio dele

**Altivo:** – Sim, mas eu quero saber porque isso ocorre! Que os tiros disparados pelos canhões centrais do navio artilheiro acertam o meio do navio alvo, eu vi.

**Avatar:** – porque na hora do confronto os navios estavam lado a lado certo?

**Altivo:** – Certo. Mas o que isso quer dizer?

**Avatar:** – a bala irá ficar para trás mas ela poderá acertar em cheio de qualquer forma

**Altivo:** – Entendo. Então, o que acontece se aumentarmos muito a distância de tiro?

**Avatar:** – o navio acertará mas a redução de impacto a força do vento fará que a bala acerte com menos precisão

**Altivo:** – Vamos fazer o teste, então!

**Avatar:** ordena um novo teste, quadruplicando a distância. Eles assistem o teste. E, aparentemente, tudo ocorre de forma parecida com a o teste anterior, a diferença é que as balas acertaram o casco em um ponto mais próximo da linha d'água.

**Altivo:** – Interessante, hoje é um dia sem vento praticamente nenhum, então o resultado foi praticamente o mesmo.

**Avatar:** – nunca vai ser como nós pensamos por isso teremos que pensar em vários fatores durante a batalha

**Altivo:** – De fato! Outra pergunta. Agora, o que acontece se aumentarmos a velocidade dos barcos?

**Avatar:** – a bala em uma velocidade superior irá para trás por isso ebom nessas horas usarmos os canhões frontais não irá acertar bem mas acertrá um pouco embaixo do casco

**Altivo:** – Também por causa do vento?

**Avatar:** – sim

**Altivo:** – Interessante! Vamos fazer o teste.

O *avatar* fica pensativo. *Altivo* ordena o teste e ambos assistem. Eles até acertam mais para trás, mas não tanto.

**Altivo:** – Como previsto! Agora vamos fazer o teste com o alvo fixo.

**Avatar:** – vamos lá

*Altivo* ordena o teste e ambos observam.

**Altivo:** – Uma pergunta, por que o projétil só vai acertar o alvo fixo se for disparado antes do navio ficar lado a lado com ele?

**Avatar:** – porque como o navio está em movimento voc e terá que mirarantes

**Altivo:** – Entendi. E isso vai acontecer até se aumentarmos a distância ou a velocidade?

**Avatar:** – se aumentar o disparo terá que ser bem antes

**Altivo:** – Também pensei isso. Vou pedir para os marinheiros fazerem o teste só por descargo de consciência. . .

Os testes confirmam a hipótese.

**Avatar:** – sim obrigado pelos testes Almirante vou entender e aprender novas táticas de batalha navalBoa noite,Sr Amirante até amanhã

**Altivo:** – Certo. E eu preciso organizar uma frota para caçar os piratas. Obrigado, senho inventor. Tchau.

**Avatar:** – TCHAU

### A.3.3 Entrevista 6 (Fabrício - 19 anos)

Como o Pedro Paulo não pôde, por motivos pessoais, fazer a simulação do segundo diálogo com *Mentor*, o que quebrou a sequência de apresentar as simulações do mesmo aluno para diálogos que envolvem o mesmo NPC (*non-player character*), foi escolhida uma outra entrevista para substituí-la. Assim, nesta Entrevista 6 foi escolhida a simulação feita com o Fabrício, de 19 anos, que, felizmente, apresentou uma visão de relatividade de movimento compatível com o *Perfil 2* (Pseudo-relativismo).

\* \* \*

O *avatar* bate à porta da casa de *Mentor*.

**Avatar:** – Ola! meu velho amigo, tenho dúvidas e gostaria de sua ajuda.

**Mentor:** – Fabrício, que bom que veio me visitar! Diga, o que precisa de mim?

**Avatar:** – já fiz alguns testes e gostaria de sua ajuda para formar uma teoria

**Mentor:** – Ah, fiquei sabendo... Na verdade, toda a corte ficou sabendo de sua viagem ao Rio Grande com o conselheiro Leal

**Avatar:** – E o outro foi um teste com um navio. se atirarmos um disparo em movimento o tiro segue a mesma trajetória do navio, ao invés de ficar para traz.

**Mentor:** – Sim, eu vi. Esqueceu que eu moro praticamente de frente para o porto? – *Mentor* sorri sarcasticamente.

O *avatar* sorri desconcertado, estava tão concentrado em suas descobertas que esquecera que todos estavam o observando.

**Avatar:** – existe essa força de movimento que gostaria de compreender melhor, você pode me ajudar?

**Mentor:** – Mas é claro! Parece que eu estava adivinhando, na nossa último conversa.

**Avatar:** – Como eu posso dizer, nos meus dois testes os resultados foram além do previsto. – O *avatar* anda de um lado a outro, coçando a cabeça eufórico.

**Mentor:** – Como assim?

**Avatar:** – Notei que se estivermos em movimento todos os nossos pertences também se movem conosco certo?

**Mentor:** – Acho melhor você dar um exemplo. . .

**Avatar:** – E, se lançarmos algo mesmo que em velocidade o objeto em questão conta seu ponto de partida de nós fazendo com que ele também esteja em movimento

**Mentor:** – Ah, sim.

**Avatar:** – Eu estou querendo entender como isso funciona

**Avatar:** – Como posso formar uma teoria devido minhas descobertas

**Mentor:** – Eu também estou curioso! A última vez que nos vimos, comentei sobre uma vez em que eu estava andando de carroça numa rua bem regular e vi um conhecido parado na calçada. Ele me pareceu em movimento e eu parecia estar parado. Lembra-se?

**Avatar:** – Então, se vc estava sentado na carroça enquanto ela estava em movimento. Logo vc estava em movimento devido a carroça certo? e o homem na calçada que estava parado, estava em movimento ha seus olhos, também por causa do movimento da carroça.

**Avatar:** – foi bem o que eu disse, todo corpo que se move, move consigo tudo o que nele há

**Mentor:** – Sim, sim. Mas eu não sei se é só uma questão de ponto de vista. Parece ser além disso.

**Avatar:** – Realmente o movimento parece simples para se entender mais complexo de se explicar

**Mentor:** – Sua resposta foi mais escorregadia que quiabo na manteiga... -  
E *Mentor* começa a rir.

**Avatar:** – Não riaa de minhas frustraões, estou tentando idealizar algo que não temos em livros ainda e isso nao é fácil - Continua andando de um lado ao outro pensando.

**Mentor:** – Bom, eu estou velho, mas ainda anoto as coisas para não me esquecer. – *Mentor* pega um caderninho de anotações – Então, na última vez que você esteve aqui, havia um copo com água em cima da mesa e eu perguntei se ele estava sempre parado ou se se movimentava de alguma forma. O que você tem a me dizer sobre isso agora?

**Avatar:** – Entao sobre o copo dàgua, ele esta em movimento dependendo de quem olha.

**Mentor:** – Ah, sim. E se não tiver ninguém olhando, ele vai estar em movimento ou em repouso?

**Avatar:** – Logicamente em repouso.

**Mentor:** – Entendo... Continuando as perguntas que eu havia feito a você daquela vez: Você está sentado ai na cadeira. Então, afinal, você está absolutamente parado ou está em movimento em relação a alguma coisa?

**Avatar:** – pelo seu ponto de vista eu estou parado, mesmo que minha aflição não seja assim tão contida.

**Mentor:** – Sua aflição?

**Avatar:** – como disse! pensar sobre isso é mais facil do que escrever sobre.

**Mentor:** – Isso é, com certeza! Deixa eu ver aqui, a quarta pergunta que lhe fiz aquela vez foi: Se nós estivéssemos no castelo de popa de um navio em movimento constante, em águas calmas e sem ondas, e eu soltar esse copo. Eu estou de costas para a proa do navio e você está

de frente. Então o copo cai no chão em linha reta, cai na sua direção ou cai na minha direção?

**Avatar:** – Vejamos, se estamos em movimento, objetos em repouso parecem em movimento em relação a nós. E se estivermos junto com algo, como em um navio. ambos estaremos em repouso, mesmo que o navio esteja em movimento

**Avatar:** – Você está falando muito sobre o copo, vc quer uma água? – O *avatar* sorri como o sarcasmo.

**Avatar:** – Já sabemos que ele cai perpendicular

**Mentor:** – Engraçadinho. – *Mentor* sorri. – Muito bem. Bem, vamos à última pergunta que fiz aquela vez: No caso do Sol e do Grande Mar, quem está parado e quem está em movimento?

**Avatar:** – nós estamos em movimento, o sol é um corpo celeste em repouso.

**Mentor:** – Mas como podemos ter certeza disso?

**Avatar:** – devido as estações que ocorrem ao ano e a posição em que o sol fica no céu

**Mentor:** – Mas, se o Grande Mar estivesse parado e o Sol estivesse girando ao seu redor, não daria na mesma?

**Avatar:** – Isso eu não sei responder.

**Mentor:** – Pois é, isso que me aflige! Não sei julgar realmente se algo está em movimento ou não! Parece que tudo depende do ponto de vista, mas não acho que seja só isso!

**Avatar:** – O Leal me disse sobre uma força que arrasta as coisas, mesmo que não possamos ver

**Avatar:** – uma espécie de correnteza invisível, estou aqui tentando torna-la visível, aí está minha frustração

**Mentor:** – Esse nome “correnteza invisível” é tão estranho. Ela não serve para dar uma referência se os objetos estão em movimento ou não?

**Avatar:** – Serve sim! e se ele arrasta as coisas que nele encontra ele deve ter um padrão a qual eu possa encontrá-lo.

**Mentor:** – Então vamos chamar de referencial em vez de correnteza!

**Avatar:** – concordo!

**Mentor:** – Bem, pelo menos temos um nome melhor! Isso é um bom começo. Agora, como identificar esse referencial? Por exemplo, você disse que o copo em cima da mesa estaria parado se não tivesse ninguém olhando, então imagino que você diria que o copo caindo no exemplo do castelo de popa também não estaria se movendo com o navio se não tivesse ninguém olhando. Certo?

**Avatar:** – certo!

**Mentor:** – Agora, como saber realmente se algo está parado ou em movimento? Se estivermos dentro de um navio e não pudermos olhar pela janela (e sem que ninguém nos contasse que o navio estava navegando ou não), como você saberia que o copo estaria se movendo para “frente” simultaneamente enquanto caía?

**Avatar:** – nao saberia, para mim ele estaria em repouso

**Mentor:** – Essa é a questão! Parece que não tem como saber se estamos nos movimento em linha reta e de modo constante, a não ser que olhemos pela “janela”. Entende?

**Avatar:** – sem um ponto de partida nao temos como saber se estamos em repouso ou em movimento

**Mentor:** – Sim, sim! Mais ainda, parece que os referenciais parados e os em movimento constante e retilíneo são equivalentes! Por exemplo, dentro do navio do exemplo anterior não tem como saber se ele está realmente

em movimento ou se ele está em repouso. Mas isso não importa, o copo vai cair perpendicularmente ao piso do navio em ambos os casos. É como se a Natureza se comportasse da mesma maneira nos dois casos: no movimento retilíneo e uniforme e no repouso! Concorda?

**Avatar:** – concordo!

**Mentor:** – Agora, qual seria uma forma de perceber o movimento se estamos presos em um ambiente hermeticamente fechado? No caso do barco, ele vai oscilar com as ondas até se estiver ancorado, mas se estivéssemos presos dentro do navio, o que precisaria acontecer para descobrir se estamos em movimento ou não?

**Avatar:** – só com a mudança de rota ou parar bruscamente

**Mentor:** – Uhm, eu não tinha pensado nisso! Então existem movimentos equivalentes ao repouso e movimentos que não são equivalentes?

**Avatar:** – tudo o que nos tire do nosso estado de repouso, são causados por mudanças no movimento a qual nos encontramos

**Mentor:** – “do nosso estado de repouso ou de movimento retilíneo e uniforme”. Lembra que eu tinha falado de preguiça com você? Então, as coisas tendem a permanecer paradas se estão paradas. Agora, será que o mesmo acontece com o movimento constante e em linha reta?

**Avatar:** – sim! assim como sua preguiça de permanecer parado. um corpo em movimento tende a permanecer em movimento. enquanto nada haja para mudar esse quadro.

**Mentor:** – Entendo. Então podemos fazer a diferença entre os referenciais preguiçosos, aqueles que estão parados ou se movem constantemente e em linha reta, e aqueles que provocam mudanças “bruscas”, eu diria. Os referenciais “bruscos”.

**Avatar:** – sim podemos.

**Avatar:** – obrigado pela ajuda, mais já esta ficando tarde. – O *avatar* se levanta e leva um copo com água para seu velho amigo.

**Mentor:** – Engraçadinho – E *Mentor* aceita a água.

**Avatar:** – Tome essa água, parecia que você estava com muita sede! – O *avatar* sorri e se despede com um aperto de mãos.

**Mentor:** – Venha sempre que quiser, meu amigo.

**Avatar:** – pode deixar, mais se idrate mais meu velho amigo!

**Mentor:** – Bem, velho tem que se hidratar mesmo... – Sorri. – Até mais.

**Avatar:** – até

## A.4 Cena 3

### A.4.1 Entrevista 7 (Aline - 20 anos)

Como a concepção de Ultra-relativismo envolve um nível mais avançado de conhecimento sobre a relatividade do movimento, para esta entrevista foi escolhida a simulação feita por uma aluna dos anos iniciais do curso de graduação em engenharia mecatrônica, a Aline, de 20 anos. Essa faixa de instrução já é compatível com os dados obtidos nos trabalhos de Ramadas, Barve e Kumar [15].

\* \* \*

*Morena* bate à porta do escritório do *avatar*.

**Avatar:** – Pois não?

**Morena:** – Fulano, sou eu, *Morena*!

**Avatar:** – *Morena*? Entra!

**Morena:** – Eae...

**Avatar:** – Oi para você também! Nossa, quanto tempo! Como você está?

**Morena:** – Eu estou bem, e você? – Ela sorri, satisfeita.

**Avatar:** – Melhor agora! Estava com saudades. Você desaparece, não me escreve, nem nada...

**Morena:** – Você não é o único ocupado aqui!

**Avatar:** – Enfim... – O *avatar* muda rapidamente de assunto – E a que devo o milagre de sua presença?

**Morena:** – Fazia muito tempo que não vinha pra cá, então aproveitei uma folga para viajar, fazer compras, ver os amigos...

**Avatar:** – Que bom! E já foi ver o Mentor?

**Morena:** – Já.

**Avatar:** – Pois é, quero ficar velho que nem ele. Ele está lúcido e afiadíssimo!

**Morena:** – Eu também. – Ela muda de assunto. – E o que você anda aprontando?

*Morena* aponta para os aparatos de *Plácido* sobre a mesa.

**Avatar:** – Lembra-se do mestre Plácido de Alvorada? Estava lendo seu tratado “Os Movimentos dos Corpos Celestes” e mandei fazer esses aparatos para explicar os eclipses da Lua.

**Morena:** – Sim, sim. A questão é por que essa preocupação com os eclipses?

**Avatar:** – Resumindo, uma bruxa praguejou no meio da rua que o reinado de Vossa Majestade acabaria na próxima “Lua de Sangue” e só ela poderia salvar o rei desse destino.

**Morena:** – Esperta ela! E o rei, o que fez?

**Avatar:** – Chamou a Grande-Mãe Clara e a mim para esclarecermos o assunto. Como a bruxa praguejou em público, Vossa Majestade quer uma demonstração pública de que ela está errada.

**Morena:** – É, quando?

**Avatar:** – Semana que vem! Por isso estou correndo com esses aparatos para preparar a apresentação.

**Morena:** – Entendi. E, afinal, como ocorrem os eclipses da Lua?

**Avatar:** – Os eclipses lunares ocorrem quando a Lua passa pela sombra do Grande Mar.

**Morena:** – Ok. E você já pensou em incluir a explicação dos eclipses do Sol na apresentação, também?

**Avatar:** – É, não tinha pensado nisso...

**Morena:** – Se eu fosse você, também incluiria. Vai que alguém pergunta...

**Avatar:** – Boa ideia!

**Morena:** – E como ocorrem os eclipses do Sol?

**Avatar:** – Os eclipses solares ocorrem quando o Grande Mar passa pela sombra da Lua.

**Morena:** – Certo. Então mostre para mim como funcionam os aparatos do Plácido...

**Avatar:** – Claro, basta colocar os astros sobre cada suporte e girar a manivela – E o *avatar* pega três esferas representando, cada uma, o Sol, a Lua e o *Grande Mar*.

**Morena:** – Simples, mas bem educativo.

**Avatar:** – Sim, sim.

**Morena:** – Então, se considerarmos o Sol parado no centro e o Grande Mar e a Lua em movimento, qual a configuração que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua?

**Avatar:** – Basta colocar o Grande Mar se movendo seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada no Grande Mar e o acompanha ao redor do Sol. – E o *avatar* monta o sistema sobre a Caixa 2 e começa a movê-lo girando a manivela.

**Morena:** – Sim, parece que funciona sim. Posso dar uma outra sugestão?

**Avatar:** – Claro!

**Morena:** – Por que você não coloca a Lua se movendo seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto o Grande Mar se move em uma órbita circular centrada na Lua e a acompanha ao redor do Sol? – E *Morena* monta o sistema sobre a Caixa 2 e começa a movê-lo girando a manivela.

**Avatar:** – Sim, isso também funciona.

**Morena:** – É...

**Morena:** – Agora, se considerarmos o Grande Mar parado e o Sol e a Lua em movimento, qual a configuração que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua?

**Avatar:** – Basta colocar a Lua e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas no Grande Mar, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio. – E o *avatar* monta o sistema sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.

**Morena:** – Uhm... Aparentemente funciona.

**Avatar:** – Sim, sim.

**Morena:** – É, mais uma configuração possível... Enfim, e se considerarmos a Lua parada e o Sol e o Grande Mar em movimento, qual a configuração que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua?

**Avatar:** – Basta colocar o Grande Mar e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas na Lua, com o Grande Mar descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio. – E o *avatar* monta o sistema sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.

**Morena:** – Uhm... Aparentemente funciona.

**Avatar:** – Sim, sim.

**Morena:** – Enfim, temos quatro configurações! Agora é saber qual delas é realmente a correta...

**Avatar:** – Isso eu não sei...

**Morena:** – Vamos ver, qual das quatro configurações que vimos também explica as estações do ano?

**Avatar:** – Acho que é a configuração em que o Grande Mar se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada no Grande Mar e o acompanha ao redor do Sol.

**Morena:** – Sim. Mas como ocorrem os invernos e os verões?

**Avatar:** – Bem, para isso o Grande Mar também tem que girar ao redor de si mesmo e com um eixo de giro inclinado em relação ao Sol. Assim, em uma época do ano um hemisfério recebe mais luz do que outro, e vice-versa...

**Morena:** – Entendi. Mas, pensando por esse ponto de vista, a configuração em que a Lua e o Sol se movem em órbitas circulares centradas no Grande Mar, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio, também funciona. Basta colocar a órbita do Sol inclinada em relação ao Grande Mar.

**Avatar:** – Sim, sim.

**Morena:** – Bem, já diminuámos as possibilidades para apenas duas!

**Avatar:** – Sim, mas qual delas corresponde à realidade?

**Morena:** – Não faço a menor ideia...

**Avatar:** – Oxi...

**Morena:** – Bem, já ajudei bastante, não acha? Não sei de tudo...

**Avatar:** – Tudo bem... Obrigado pela ajuda!

**Morena:** – Eu sempre ajudo quando posso...

**Avatar:** – Eu sei...

**Morena:** – Bem, eu tenho que ir!

**Avatar:** – Certo.

**Morena:** – Outro dia passo aqui para conversarmos mais. Devo ficar na cidade até semana que vem.

**Avatar:** – Ah, que bom! Você vai assistir minha apresentação, então?

**Morena:** – Espero que sim, mas vou exigir meu nome no trabalho como colaboradora, ehm? – Ela brinca.

**Avatar:** – É claro que eu coloco!

**Morena:** – Enfim, estou indo. Beijos. Até outro dia.

**Avatar:** – Beijos, até...

\* \* \*

#### A.4.2 Entrevista 8 (Aline - 20 anos)

Dando prosseguimento à simulação de diálogo com *Morena*, segue abaixo a simulação do debate na sala do trono feita com a Aline.

Após o longo discurso religioso da *Grande-Mãe Clara* contra as previsões da bruxa *Ignara*, o rei dá o sinal, alguns ajudantes trazem os dois aparatos de *Plácido*, cada um montado segundo os modelos Geocêntrico e Heliocêntrico, e os colocam sobre uma mesa no meio da sala do trono em um ponto visível a todos. O *avatar* se encaminha para o centro do salão e começa sua apresentação.

**Avatar:** – Senhoras e senhores. – Cumprimenta, o *avatar*. – Gostaria de parabenizar a Grande-Mãe pelas suas explicações.

**Clara:** – Obrigada. – Responde, a *Grande-Mãe*.

**Avatar:** – Eu gostaria de reforçar a ideia de que o fenômeno das “Luas de sangue” não representam uma ameaça, ao contrário da crença popular, mas consiste em um fenômeno comum da Natureza.

**Público:** – Uhm. – Murmúrios uníssonos.

**Avatar:** – Trouxe essas duas caixas para mostrar em que consistem as “Luas de sangue” e porque elas são inofensivas.

**Amado III:** – Interessante... – Fala em voz baixa.

**Avatar:** – Basta girar a manivela de qualquer uma das caixas que as esferas começam a se mover...

**Amado III:** – Que esferas? – Interrompe, o rei.

**Avatar:** – As esferas que representam o Sol, amarela, a lua, branca, e o grande mar, azul.

**Amado III:** – Ah, sim...

**Avatar:** – Continuando... – O *avatar* começa a girar a manivela da Caixa 2. – Podemos ver o momento exato em que o Grande Mar passa entre o Sol e a Lua, fazendo com que sua sombra seja projetada sobre ela... – O *avatar* para de girar a manivela com as esferas nessa configuração.

**Amado III:** – A sombra do Grande Mar? – Interrompe, o rei.

**Avatar:** – Sim, Alteza, é a sombra do Grande Mar que provoca as tais “Luas de sangue”. Ou melhor, e vou usar um nome mais correto, causam os eclipses totais da Lua.

**Amado III:** – Então, a sombra do Grande Mar é avermelhada? Como pode isso?

**Avatar:** – Há fortes indícios de que a sombra do Grande Mar seja, de fato, avermelhada.

**Amado III:** – Por que?

**Avatar:** – Bem, existem muitos registros de eclipses e em todos eles a Lua ficou avermelhada

**Amado III:** – Entendo...

**Avatar:** – Porém, ainda ninguém chegou a uma conclusão de porque isso ocorre.

**Amado III:** – Uhm... E por que você trouxe duas caixas com configurações diferentes para o Sol, a Lua e o Grande Mar?

**Avatar:** – Uma excelente pergunta! Trouxe as duas porque não existe um consenso no meio científico sobre qual das configurações representa a realidade, mesmo que elas funcionem e expliquem outros fenômenos naturais, como os eclipses do Sol. – O *avatar* gira a manivela da Caixa 1 de forma a representar um eclipse solar.

**Amado III:** – Então, o eclipse do Sol acontece quando o Grande Mar passa pela sombra da Lua?

**Avatar:** – Exato! E, o mais interessante, é que a sombra da Lua é totalmente negra, até onde sabemos!

**Amado III:** – Bem, era de se esperar, não? Esse é o comum...

**Domingos:** – Vossa Alteza? Posso me manifestar? – Interrompe humildemente, o *Grande-Pai*.

**Amado III:** – Claro. Vá em frente.

**Domingos:** – Senhor inventor, proponho que, na minha posição de alto-sacerdote do Sol, a configuração em que o Sol está no centro é a configuração correta. O que me diz?

**Avatar:** – Provavelmente sim. Ela explica os eclipses do Sol e da Lua e suas fases. Também explica os dias e as noites.

**Ondino:** – Aproveitando a fala do Venerável-Pai, eu, na posição de alto-sacerdote do Mar, proponho a configuração em que o Grande Mar está no centro como a correta.

**Avatar:** – Talvez, como explicação bastante básica, até pode funcionar. Porém, se também incluirmos o movimentos dos planetas e outras observações mais detalhadas, veremos que essa configuração é insustentável.

**Clara:** – Oras, senhor inventor! Se trocarmos o Grande Mar pela Lua como centro, na configuração que o senhor Grande-Marinheiro defende, também explicaríamos os eclipses do Sol e da Lua, certo? – E ela aponta para a Caixa 1.

**Avatar:** – Sim, mas essa sua configuração chega à conclusão de que os verões ocorrem quando o Grande Mar está mais próxima do Sol, enquanto o inverno ocorre quando ela está mais longe. Porém, sabemos que isso não pode ocorrer...

**Clara:** – Por que não?

**Avatar:** – Porque não existem um única estação no mundo todo ao mesmo tempo. Se aqui no hemisfério sul é verão, no hemisfério norte é inverno, por exemplo. Não tem a ver com a distância do Sol.

**Clara:** – Sei... E se trocarmos o Grande Mar pela Lua como centro, na configuração que o senhor Grande-Pai defende, também explicaríamos os eclipses do Sol e da Lua, certo? – E ela aponta para a Caixa 2.

**Avatar:** – Sim, mas essa sua configuração chega à conclusão que as fases da Lua duram o mesmo período das estações do ano, ou seja, por exemplo, que há Lua Cheia durante todo o verão e Lua Nova durante todo o inverno.

**Clara:** – Não é possível que a Lua, a mãe dos deuses, seja colocada em uma posição tão periférica! – Comenta, revoltada.

**Avatar:** – Senhora Grande-Mãe, perdoe-me, mas não irei entrar nesse mérito religioso. Falo a partir das evidências científicas que possuo e só tenho autoridade para falar sobre elas.

De repente, *Mentor* surge na plateia e, enquanto se escora em *Morena*, pergunta avidamente:

**Mentor:** – Com licença, Vossa Alteza – Acena respeitosamente ao rei e depois se dirige ao *avatar* – E se o Grande Mar estiver em movimento ao redor do Sol, por que não o percebemos da mesma maneira que percebemos um carro fazendo uma curva em uma estrada?

**Avatar:** – Ah, meu velho , se não percebemos é porque há uma força, que chamamos de gravidade, muito maior que nos prende à superfície da Terra!

**Mentor:** – Da terra?

**Avatar:** – Ou do mar, tanto faz... – O *avatar* conserta rapidamente.

**Mentor:** – Entendo...

Depois de algum tempo de silêncio, o rei pergunta:

**Amado III:** – Mais alguém tem outra pergunta? Não? Então, gostaria de agradecer ao Inventor-mor por suas palavras. – O rei inicia a salva de palmas.

**Avatar:** – Obrigado, obrigado, obrigado... – Agradece repetidamente, o *avatar*, voltando-se primeiro ao rei e depois ao público.

# Apêndice B

## Questionários

O objetivo deste apêndice é mostrar detalhadamente os questionários que fundamentaram as perguntas feitas pelos personagens do JEDI durante os diálogos e a taxa de resposta dada pelos alunos a cada item. Essas questões foram testadas com cerca de 250 estudantes, mas foram selecionados aleatoriamente apenas 50 alunos do 1º ano, 25 alunos do 2º ano e 25 alunos do 3º ano, totalizando 100 alunos do Ensino Médio noturno do Colégio Estadual Profª Maria de Lourdes de Oliveira Lavôr - Tia Lavôr, localizado na cidade do Rio de Janeiro.

### B.1 Cena 0

#### B.1.1 Questionário 1

**Situação 1.** Uma pessoa se move com sua carroça em um trecho reto, sem declives e sem muitas irregularidades no chão de uma estrada de terra, quando passa por um conhecido que está parado e em pé à margem dessa estrada. É correto afirmar que:

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	É óbvio que essa pessoa está sempre em movimento e seu conhecido está sempre parado.	Referencial Privilegiado	68%	8%	64%	52%
(b)	Depende do ponto de vista, pois a pessoa se sente parada, enquanto vê seu conhecido em movimento.	Pseudo-relativismo	8%	28%	0%	11%
(c)	A pessoa está parada em relação à carroça, por exemplo, mas em movimento em relação ao chão.	Relatividade Padrão	22%	64%	36%	36%
(d)	Tanto faz quem está em movimento, já que nunca é possível distinguir se algo se movimenta ou não.	Ultra-relativismo	2%	0%	0%	1%

Tabela B.1: Respostas à situação 1, questionário 1.

**Situação 2.** Em uma casa, um copo com água repousa sobre a mesa. É correto afirmar que:

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	O copo só está em repouso em relação à mesa, por exemplo, ou em relação à própria casa.	Relatividade Padrão	16%	28%	4%	16%
(b)	Dependendo de quem olha (uma pessoa passando correndo ao lado dele, por exemplo), o copo pode parecer em movimento.	Pseudo-relativismo	24%	8%	8%	16%
(c)	Se o copo está parado ou não, isso nunca vai chacoalhar a água dentro dele.	Ultra-relativismo	2%	0%	20%	6%
(d)	O copo está sempre parado, independente de quem olha para ele ou de qualquer outra coisa.	Referencial Privilegiado	58%	64%	68%	62%

Tabela B.2: Respostas à situação 2, questionário 1.

**Situação 3.** Em uma casa, uma pessoa está sentado em uma cadeira conversando com uma outra. É correto afirmar que:

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	A primeira pessoa está parada como um todo apenas aos olhos da segunda, mesmo que seus braços se mexam, que esteja respirando, que seu coração esteja batendo, etc.	Pseudo-relativismo	34%	12%	0%	20%
(b)	A primeira pessoa está parada como um todo, independente se seus braços se mexem, se está respirando, se seu coração está batendo, etc.	Referencial Privilegiado	42%	4%	56%	36%
(c)	Perguntar se a primeira pessoa está parada como um todo é irrelevante, pois ela não sentiria se estivesse em movimento.	Ultra-relativismo	2%	32%	4%	10%
(d)	A primeira pessoa está parada como um todo em relação à cadeira, por exemplo, independente se seus braços se mexem, se está respirando, se seu coração está batendo, etc.	Relatividade Padrão	22%	52%	40%	34%

Tabela B.3: Respostas à situação 3, questionário 1.

**Situação 4.** Duas pessoas estão no castelo de popa de um navio que navega em linha reta, com velocidade constante e em águas muito calmas. Um copo d'água sobre a mesa é alçado por uma das pessoas e, logo em seguida, abandonado de uma determinada altura, caindo finalmente sobre o piso de madeira. É correto afirmar que:

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Como o navio se move para “frente”, o copo cai mais para “trás” de sua posição inicial.	Referencial Privilegiado	30%	8%	12%	20%
(b)	Como o copo se move junto com o navio, ele cai perpendicularmente ao piso.	Relatividade Padrão	32%	12%	52%	32%
(c)	As pessoas veem a queda do copo de modo perpendicular ao piso, uma vez que se movem para “frente” junto com ele.	Pseudo-relativismo	16%	60%	20%	28%
(d)	A queda do copo deve ser descrita matematicamente de maneira similar, independente se o navio muda seu movimento e passa a acelerar, a freiar ou a fazer curva.	Ultra-relativismo	22%	20%	16%	20%

Tabela B.4: Respostas à situação 4, questionário 1.

**Situação 5.** Uma pessoa observa o pôr do sol por uma janela de uma casa. É correto afirmar:

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	As montanhas que ela vê no horizonte podem ser consideradas paradas, enquanto o Sol pode ser considerado em movimento dependendo do que se toma como referência.	Relatividade Padrão	62%	24%	24%	43%
(b)	Não importa se é o Sol que se move ou é o nosso mundo, pois seria impossível perceber quem se move ao redor de quem.	Ultra-relativismo	16%	76%	36%	36%
(c)	Nosso mundo está invariavelmente parado e é o Sol que se move ao seu redor.	Referencial Privilegiado	0%	0%	0%	0%

(d)	O Sol parece se mover porque a pessoa o está mirando daqui do nosso mundo. E é só “impressão” dela.	Pseudo-relativismo	22%	0%	40%	21%
-----	---	--------------------	-----	----	-----	-----

Tabela B.5: Respostas à situação 5, questionário 1.

## B.2 Cena 1

### B.2.1 Questionário 2

**Situação 1.** Em alto mar, um navio está à deriva. As velas estão recolhidas, a quilha não “corta a água” e só existe água até onde a vista alcança. Nessas condições, como os marinheiros sabem que estão parados ou sendo levados por uma corrente marítima?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Eles estão invariavelmente parados, já que o movimento pode ser facilmente percebido.	Referencial Privilegiado	22%	40%	64%	37%
(b)	Em princípio, não tem como saber. Seriam necessários vários dias observando a posição das estrelas ou, se tiverem sorte, finalmente avistarem terra.	Demais concepções	78%	60%	36%	63%

Tabela B.6: Respostas à situação 1, questionário 2.

**Situação 2.** Se uma pessoa abandonar um corpo enquanto anda em linha reta e com rapidez constante, é correto afirmar que:

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	O corpo vai cair lado a lado como se ela estivesse parada.	Demais concepções	16%	8%	0%	10%

(b)	O corpo vai ficar para “trás” enquanto ela prossegue seu movimento.	Referencial Privilegiado	52%	52%	84%	60%
(c)	O corpo vai ser lançado para “frente”.	Sem sentido	32%	40%	16%	30%

Tabela B.7: Respostas à situação 2, questionário 2.

**Situação 3.** Um marinheiro abandona uma bola de ferro (um projétil de artilharia, por exemplo) do cesto de gávea de um navio que navega para “frente”, com velocidade constante e em linha reta. Nessas condições, é correto afirmar que:

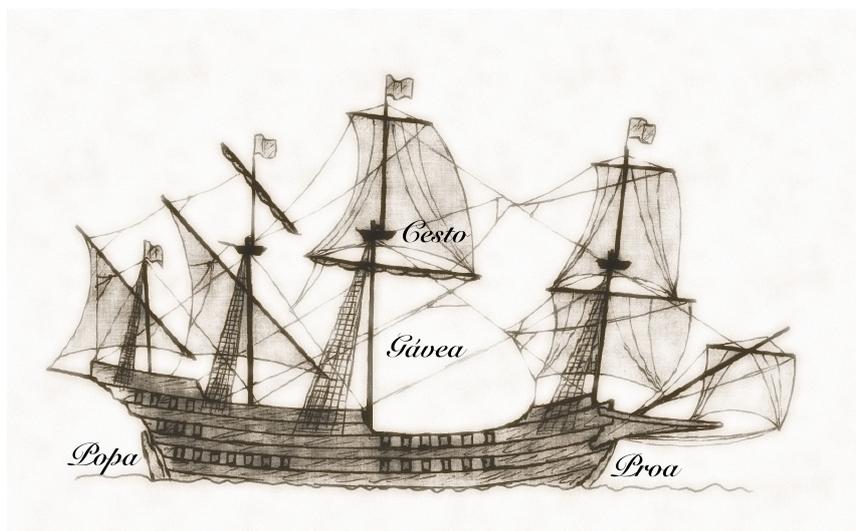


Figura B.1: Um veleiro e alguns de seus elementos mais básicos.

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Ela vai cair no sentido da popa desse navio.	Referencial Privilegiado	32%	12%	40%	29%
(b)	Ela vai cair no sentido da proa desse navio.	Sem sentido	36%	64%	48%	46%

(c)	Ela sempre vai cair próximo à enora do mastro como se o navio estivesse parado.	Demais concepções	32%	24%	12%	25%
-----	---	-------------------	-----	-----	-----	-----

Tabela B.8: Respostas à situação 3, questionário 2.

**Situação 4.** E se, agora, o navio estiver sendo arrastado por uma corrente marítima em uma direção desconhecida, para onde vai cair a bola de ferro?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Ela vai continuar se movendo no sentido da popa.	Sem sentido	18%	12%	44%	23%
(b)	Ela vai continuar caindo próximo à enora do mastro.	Demais concepções	2%	16%	4%	6%
(c)	Ela vai se mover no sentido oposto ao movimento do navio.	Referencial Privilegiado	80%	72%	52%	71%

Tabela B.9: Respostas à situação 4, questionário 2.

## B.2.2 Questionário 3

**Situação 1.** Um marinheiro abandona uma bola de ferro (um projétil de artilharia, por exemplo) do topo de um dos mastros de um navio que navega para “frente”, com velocidade constante e em linha reta. Nessas condições, é correto afirmar que:

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Ela vai cair no sentido da popa desse navio.	Referencial Privilegiado	58%	24%	68%	52%
(b)	Ela vai cair próximo à enora do mastro como se o navio estivesse parado.	Demais concepções	42%	76%	32%	48%

Tabela B.10: Respostas à situação 1, questionário 3.

**Situação 2.** O que acontece se o navio estiver se movendo com velocidade maior que na situação anterior?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	A bola vai continuar caindo próximo à enora do mastro como se o navio estivesse parado.	Referencial Privilegiado	26%	28%	28%	27%
(b)	A bola vai cair mais longe da enora do mastro, no sentido da popa do navio.	Demais concepções	74%	72%	72%	73%

Tabela B.11: Respostas à situação 2, questionário 3.

**Situação 3.** Agora, e se aumentarmos a altura do mastro?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	A bola vai continuar caindo próximo à enora do mastro como se o navio estivesse parado.	Demais concepções	38%	28%	36%	35%
(b)	A bola vai cair mais longe da enora do mastro, no sentido da popa do navio.	Referencial Privilegiado	62%	72%	64%	65%

Tabela B.12: Respostas à situação 3, questionário 3.

**Situação 4.** Nas três situações anteriores, é possível afirmar que a bola de ferro cai se mantendo lado a lado com o mastro do navio, mesmo depois de perder o contato (direto ou indireto) com ele?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Não.	Referencial Privilegiado	64%	72%	44%	61%
(b)	Sim.	Demais concepções	36%	28%	56%	39%

Tabela B.13: Respostas à situação 4, questionário 3.

**Situação 5.** Por que os corpos não permanecem normalmente em movimento por muito tempo?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Por causa do atrito, que os frena.	Demais concepções	78%	60%	60%	69%
(b)	Porque a tendência deles é sempre permanecerem parados.	Referencial Privilegiado	22%	40%	40%	31%

Tabela B.14: Respostas à situação 5, questionário 3.

**Situação 6.** O movimento pode ser considerado um estado, ou seja, uma característica transitória que depende do que se toma por referência ou é uma característica intrínseca, ou seja, há corpos que devem estar em repouso e corpos que devem estar em movimento por que é da natureza deles?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	É um estado. Assim, o que faz um corpo em movimento parar em relação à mesma coisa que se toma por referência é o atrito.	Demais concepções	52%	44%	68%	54%
(b)	É uma característica inerente. É natural que algo que deve estar parado permaneça parado e algo que deve se mover permaneça se movendo.	Referencial Privilegiado	48%	56%	32%	46%

Tabela B.15: Respostas à situação 6, questionário 3.

**Situação 7.** Voltando ao exemplo da bola em queda livre que também se move para “frente” junto com o navio, podemos dizer que é como se estivessem imersos em uma mesma “correnteza invisível” que os carrega lado a lado?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Não.	Referencial Privilegiado	40%	36%	68%	46%
(b)	Sim.	Demais concepções	60%	64%	32%	54%

Tabela B.16: Respostas à situação 7, questionário 3.

## B.3 Cena 2

### B.3.1 Questionário 4

**Situação 1.** Se uma peça de artilharia der um “ tiro direto ” de um navio contra uma embarcação inimiga que está se movendo lado a lado com ele, o projétil vai acertar o alvo?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Provavelmente não, pois o alvo se move para frente. O projétil vai passar atrás do navio inimigo ou, no máximo, acertar sua popa.	Referencial Privilegiado	8%	8%	28%	13%
(b)	Provavelmente sim, pois os navios estão como se estivessem parados lado a lado.	Demais concepções	56%	44%	40%	49%
(c)	Provavelmente não, pois o navio dá um impulso extra ao projétil que, por isso, vai passar a frente do navio inimigo.	Sem sentido	36%	48%	32%	38%

Tabela B.17: Respostas à situação 1, questionário 4.

**Situação 2.** Como seria possível, no exemplo anterior, o projétil acertar o navio inimigo, caso acerte?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	É possível por uma questão de perspectiva. Do ponto de vista de quem está em qualquer um dos navios, é como se eles estivessem parados lado a lado.	Pseudo-relativismo	34%	68%	8%	36%
(b)	É possível porque o navio artilheiro, o projétil e o navio inimigo se movem juntos para “frente”. É como se eles estivessem sendo arrastados uniformemente por uma mesma “correnteza”.	Relatividade Padrão e Ultra-relativismo	66%	32%	92%	64%

Tabela B.18: Respostas à situação 2, questionário 4.

**Situação 3.** No caso de uma peça de artilharia que dispara de um navio em movimento contra um alvo fixo. Quando é preciso disparar para acertar o alvo?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Pela lógica, a peça deve disparar um pouco antes de ficar lado a lado o barco com o alvo.	Demais concepções	66%	44%	68%	61%
(b)	Pela lógica, a peça deve disparar no momento exato em que o navio fica lado a lado com o alvo.	Referencial Privilegiado	12%	52%	28%	26%
(c)	Pela lógica, a peça deve disparar imediatamente após o navio ficar lado a lado com o alvo.	Sem sentido	22%	4%	4%	13%

Tabela B.19: Respostas à situação 3, questionário 4.

**Situação 4.** No exemplo anterior, por que o projétil só vai acertar o alvo fixo se for disparado antes do navio ficar lado a lado com ele?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Nesse caso, apenas o navio e o projétil se movem juntos para “frente”, mesmo que este último tenha um movimento adicional para o lado. Assim, como o projétil se move simultaneamente para “frente” e para o “lado” ele precisa ser disparado antes do navio e do alvo ficarem lado a lado.	Relatividade Padrão e Ultra-relativismo	12%	16%	60%	25%
(b)	Essa é uma questão simples de perspectiva. Por exemplo, quem está dentro do navio o vê parado e vê o alvo em movimento para trás. Nesse ponto de vista, é necessário disparar antes que o alvo fique lado a lado com o barco para que dê tempo do projétil chegar até ele.	Pseudo-relativismo	88%	84%	40%	75%

Tabela B.20: Respostas à situação 4, questionário 4.

### B.3.2 Questionário 5

**Situação 1.** Se uma peça de artilharia disparar de um navio contra uma embarcação inimiga que está se movendo lado a lado com ele, como seria possível o projétil acertar o navio inimigo?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	É possível porque o navio artilhado, o projétil e o navio inimigo se movem juntos para frente. É como se eles estivessem sendo arrastados uniformemente por uma mesma “correnteza”.	Relatividade Padrão e Ultra-relativismo	54%	12%	4%	31%

(b)	É possível, desde que os artilheiros virem as peças de artilharia um pouco mais para frente, mirando na posição provável do navio inimigo alguns instantes após o tiro.	Referencial Privilegiado	12%	40%	60%	31%
(c)	É possível por uma questão de perspectiva. Do ponto de vista de quem está em qualquer um dos navios, é como se eles estivessem parados lado a lado.	Pseudo-relativismo	34%	48%	36%	38%

Tabela B.21: Respostas à situação 1, questionário 5.

**Situação 2.** Em relação ao exemplo anterior, isso ocorre até mesmo se aumentarmos a distância de tiro?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Sim, o projétil sempre atinge o alvo, independente da distância.	Sem sentido	20%	4%	48%	23%
(b)	Não, conforme a distância aumenta, fica mais difícil para os artilheiros mirarem no navio inimigo.	Pseudo-relativismo	24%	84%	32%	41%
(c)	Não, conforme a distância aumenta, maior tem que ser a “velocidade de boca” do projétil.	Relatividade Padrão e de Ultra-relativismo	56%	12%	20%	36%

Tabela B.22: Respostas à situação 2, questionário 5.

**Situação 3.** Também em relação ao exemplo anterior, isso ocorre até mesmo se aumentarmos a velocidade dos navios?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Não, conforme a velocidade aumenta, maior o atrito entre o projétil e ar, que pode ser considerado “parado” em relação ao <i>Mar</i> . Isso, é claro, em um dia sem vento.	Relatividade Padrão e de Ultra-relativismo	20%	40%	16%	24%
(b)	Não, conforme a velocidade aumenta, o vento aumenta. Mesmo em um dia sem vento, o movimento do navio faz surgir vento, que é facilmente sentido pela tripulação, e este vai desviar o projétil.	Pseudo-relativismo	60%	8%	40%	42%
(c)	Sim, isso sempre vai acontecer.	Sem sentido	20%	52%	44%	34%

Tabela B.23: Respostas à situação 3, questionário 5.

**Situação 4.** No caso de uma peça de artilharia que dispara de um navio em movimento contra um alvo fixo, por que o projétil só vai acertar o alvo fixo se for disparado antes do navio ficar lado a lado com ele?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Nesse caso, apenas o navio e o projétil se movem juntos para “frente”, mesmo que este tenha um movimento adicional para o lado. Assim, como o projétil se move simultaneamente para frente e para o lado ele precisa ser disparado antes do navio e do alvo ficarem lado a lado.	Pseudo-relativismo	58%	56%	76%	62%

(b)	Nesse caso, apenas o navio e o projétil se movem juntos para “frente”, mesmo que este tenha um movimento adicional para o lado. Assim, como o projétil se move simultaneamente para frente e para o lado ele precisa ser disparado antes do navio e do alvo ficarem lado a lado.	Relatividade Padrão e Ultra-relativismo	20%	16%	16%	18%
(c)	Normalmente, deve-se disparar os projéteis quando o navio artilheiro e o alvo estiverem lado a lado. Se disparar antes ou depois disso, provavelmente não vai acertar.	Referencial Privilegiado	22%	28%	8%	20%

Tabela B.24: Respostas à situação 4, questionário 5.

**Situação 5.** Em relação ao exemplo anterior, isso ocorre até mesmo se aumentarmos a distância de tiro?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Sim, isso vai acontecer. Porém, do ponto de vista de um marinheiro dentro do navio, o projétil terá que ser lançado mais tempo antes do navio ficar lado a lado com o alvo.	Pseudo-relativismo	22%	24%	36%	26%
(b)	Não, o projétil tem que ser disparado no momento exato em que o navio e o alvo estiverem lado a lado.	Sem sentido	64%	60%	40%	57%
(c)	Sim, isso vai acontecer. Porém, como o projétil vai se mover para “frente” com o navio, ela tem que ser lançada mais tempo antes do navio ficar lado a lado com o alvo.	Relatividade Padrão e Ultra-relativismo	14%	16%	24%	17%

Tabela B.25: Respostas à situação 5, questionário 5.

**Situação 6.** Também em relação ao exemplo anterior, isso ocorre até mesmo se aumentarmos a velocidade do navio artilheiro?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Sim, isso vai acontecer. Porém, como o projétil vai se mover para frente com o navio, ela tem que ser lançada mais tempo antes do navio ficar lado a lado com o alvo.	Relatividade Padrão e Ultra-relativismo	18%	8%	32%	19%
(b)	Não, o projétil tem que ser disparado no momento exato em que o navio e o alvo estiverem lado a lado.	Sem sentido	32%	52%	8%	31%
(c)	Sim, isso vai acontecer. Porém, do nosso ponto de vista, o projétil terá que ser lançado mais tempo antes do navio ficar lado a lado com o alvo.	Pseudo-relativismo	50%	40%	60%	50%

Tabela B.26: Respostas à situação 6, questionário 5.

### B.3.3 Questionário 6

**Situação 1.** Em uma casa, um copo com água repousa sobre a mesa. Se uma pessoa passar correndo pela janela da casa enquanto observa o copo, é correto afirmar que o copo está em movimento apenas por ser observado pela pessoa, pois, caso contrário, estaria absolutamente parado?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Sim, o movimento só é relativo por uma questão de ponto de vista. É quase uma ilusão de ótica.	Pseudo-relativismo	88%	52%	64%	73%

(b)	Não, a relatividade do movimento não tem a ver apenas com o ponto de vista. Seria melhor relacioná-la à descrição formal, ou matemática, do fenômeno.	Relatividade Padrão e Ultra-relativismo	12%	48%	36%	27%
-----	---	---	-----	-----	-----	-----

Tabela B.27: Respostas à situação 1, questionário 6.

**Situação 2.** Se estivermos presos em um ambiente hermeticamente fechado (uma caixa bem grande, por exemplo), é possível descobrir se esse ambiente está em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Sim, pois qualquer movimento pode ser sempre percebido.	Referencial Privilegiado	18%	16%	44%	24%
(b)	Não, pois o repouso e o movimento retilíneo e uniforme são equivalentes.	Relatividade Padrão e Ultra-relativismo	70%	20%	32%	48%
(c)	Sim, basta tentar observar o ambiente exterior.	Pseudo-relativismo	12%	64%	24%	28%

Tabela B.28: Respostas à situação 2, questionário 6.

**Situação 3.** No exemplo anterior, como é possível perceber se o ambiente se move ou não?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Só é possível de perceber se, de repente, o ambiente começar a fre- nar, acelerar ou a fazer uma curva.	Relatividade Padrão e Ultra-relativismo	74%	28%	36%	53%
(b)	A única maneira de perceber é tentando observar o ambiente exterior.	Pseudo-Relativismo	14%	64%	44%	34%

(c)	Não é difícil de perceber, já que qualquer movimento pode ser sentido pelo tato.	Referencial Privilegiado	12%	8%	20%	13%
-----	--	--------------------------	-----	----	-----	-----

Tabela B.29: Respostas à situação 3, questionário 6.

## B.4 Cena 3

### B.4.1 Questionário 7

**Situação 1.** Como ocorrem os eclipses da Lua?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Os eclipses lunares ocorrem quando a Lua passa pela sombra da Terra.	Todas as concepções.	66%	80%	36%	62%
(b)	Os eclipses lunares ocorrem quando a Lua passa pela sombra da Terra.	Sem sentido.	34%	20%	64%	38%

Tabela B.30: Respostas à situação 1, questionário 7.

**Situação 2.** Como ocorrem os eclipses do Sol?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Os eclipses solares ocorrem quando a Lua passa pela sombra da Terra.	Sem sentido.	60%	64%	60%	61%
(b)	Os eclipses solares ocorrem quando a Terra passa pela sombra da Lua.	Todas as concepções.	40%	36%	40%	39%

Tabela B.31: Respostas à situação 2, questionário 7.

**Situação 3.** Se considerarmos o Sol parado e a Terra e a Lua em movimento, a configuração a seguir que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua é:

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	A Lua e a Terra se movem em órbitas circulares centradas no Sol, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e a Terra a de maior raio.	Sem sentido.	4%	24%	20%	13%
(b)	A Lua e a Terra se movem em órbitas circulares centradas no Sol, com a Terra descrevendo a circunferência de menor raio e a Lua a de maior raio.	Sem sentido.	10%	24%	20%	16%
(c)	A Terra se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada na Terra e a acompanha ao redor do Sol.	Relatividade Padrão, Pseudo-relativismo e Ultra-relativismo.	76%	20%	52%	56%
(d)	A Lua se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Terra se move em uma órbita circular centrada na Lua e a acompanha ao redor do Sol.	Ultra-relativismo.	10%	32%	8%	15%

Tabela B.32: Respostas à situação 3, questionário 7.

**Situação 4.** Se considerarmos a Terra parada e o Sol e a Lua em movimento, a configuração a seguir que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua é:

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	A Lua e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Terra, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio.	Referencial Privilegiado, Pseudo-relativismo e Ultra-relativismo.	38%	4%	40%	30%
(b)	A Lua e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Terra, com o Sol descrevendo a circunferência de menor raio e a Lua a de maior raio.	Sem sentido.	12%	16%	8%	12%
(c)	O Sol se move seguindo uma órbita circular centrada na Terra, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada no Sol e o acompanha ao redor da Terra.	Sem sentido.	34%	44%	12%	31%
(d)	A Lua se move seguindo uma órbita circular centrada na Terra, enquanto o Sol se move em uma órbita circular centrada na Lua e a acompanha ao redor da Terra.	Sem sentido.	16%	36%	40%	27%

Tabela B.33: Respostas à situação 4, questionário 7.

**Situação 5.** Se considerarmos a Lua parada e o Sol e a Terra em movimento, a configuração a seguir que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua é:

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	A Terra e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Lua, com o Sol descrevendo a circunferência de menor raio e a Terra a de maior raio.	Sem sentido.	10%	36%	32%	22%

(b)	A Terra e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Lua, com a Terra descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio.	Ultra-relativismo.	64%	16%	28%	43%
(c)	A Terra se move seguindo uma órbita circular centrada na Lua, enquanto o Sol se move em uma órbita circular centrada na Terra e a acompanha ao redor da Lua.	Sem sentido.	16%	48%	24%	26%
(d)	O Sol se move seguindo uma órbita circular centrada na Lua, enquanto a Terra se move em uma órbita circular centrada no Sol e o acompanha ao redor da Terra.	Sem sentido.	10%	0%	16%	9%

Tabela B.34: Respostas à situação 5, questionário 7.

**Situação 6.** Qual configuração a seguir que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua e que é coerente com a ocorrência das estações do ano?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	A Terra se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada na Terra e a acompanha ao redor do Sol.	Relatividade Padrão, Pseudo-relativismo e Ultra-relativismo.	68%	60%	24%	55%
(b)	A Lua se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Terra se move em uma órbita circular centrada na Lua e a acompanha ao redor do Sol.	Pseudo-relativismo e Ultra-relativismo.	12%	24%	32%	20%

(c)	A Lua e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Terra, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio.	Referencial Privilegiado, Pseudo-relativismo e Ultra-relativismo.	12%	16%	28%	17%
(d)	A Terra e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Lua, com a Terra descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio.	Pseudo-relativismo e Ultra-relativismo.	8%	0%	16%	8%

Tabela B.35: Respostas à situação 6, questionário 7.

### B.4.2 Questionário 8

**Situação 1.** O modelo abaixo, chamado de Modelo Heliocêntrico, pode ser considerado relativamente bom para explicar os eclipses da Lua e do Sol, além de outros fenômenos associados a esses astros?

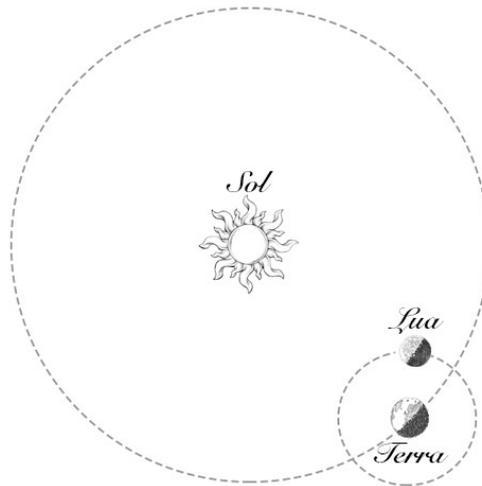


Figura B.2: Modelo Heliocêntrico.

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Sim. Ele explica os eclipses do Sol e da Lua e as fases desta última. Também explica a alternância de dias e noites, desde que a Terra gire em torno de si mesma, e o fenômeno das estações do ano, desde que o eixo de rotação seja inclinado em relação ao Sol.	Relatividade Padrão.	28%	20%	12%	22%
(b)	Sim. Ele explica todos os fenômenos associados ao Sol e à Lua. Porém, não devem existir evidências conclusivas de que a Terra se move ao redor do Sol, e não o contrário, então essa ainda é uma questão em aberto.	Ultra-relativismo.	28%	16%	32%	26%
(c)	Sim. Ele explica todos os fenômenos associados ao Sol e à Lua. Porém, a construção desse modelo é baseada no ponto de vista de um observador situado no Sol. Então, para um observador situado na Terra, seria necessário idealizar um outro modelo.	Pseudo-relativismo.	14%	8%	52%	22%
(d)	Não. Por mais que ele explique todos os fenômenos associados ao Sol e à Lua, não é plausível que a Terra se mova sem que percebamos, de alguma forma, tal movimento! Então ele só pode estar errado.	Referencial Privilegiado.	30%	56%	4%	30%

Tabela B.36: Respostas à situação 1, questionário 8.

**Situação 2.** O modelo abaixo, chamado de Modelo Geocêntrico, pode ser considerado relativamente bom para explicar os eclipses da Lua e do Sol, além de outros fenômenos associados a esses astros?

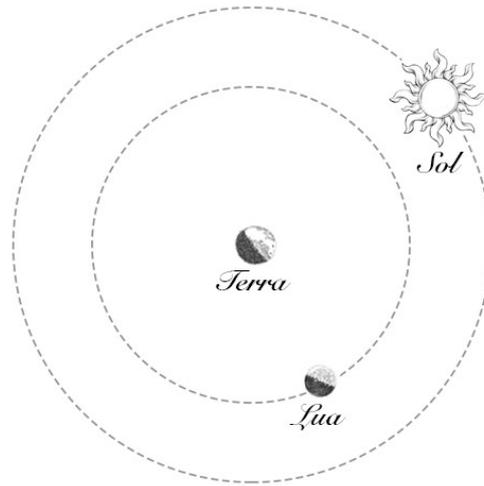


Figura B.3: Modelo Geocêntrico.

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Sim. Ele explica todos os fenômenos básicos associados ao Sol e à Lua. Porém, a construção desse modelo é baseada no ponto de vista de um observador situado na Terra. Então, para um observador situado no Sol, seria necessário idealizar um outro modelo.	Pseudo-relativismo.	12%	4%	4%	8%
(b)	Sim. Ele explica todos os fenômenos associados ao Sol e à Lua e é bastante plausível porque o movimento circular da Terra seria facilmente percebido caso existisse.	Referencial Privilegiado.	6%	4%	60%	19%

(c)	Sim, como explicação bastante básica até pode funcionar. Porém, se também incluirmos o movimentos dos planetas e outras observações mais detalhadas, veremos que esse modelo é insustentável.	Relatividade Padrão.	78%	84%	36%	69%
(d)	Sim. Ele explica todos os fenômenos básicos associados ao Sol e à Lua. Porém, não devem existir evidências conclusivas de que a Sol se move ao redor da Terra, e não o contrário, então essa ainda é uma questão em aberto.	Ultra-relativismo.	4%	8%	0%	4%

Tabela B.37: Respostas à situação 2, questionário 8.

**Situação 3.** Apesar de explicar o fenômeno dos eclipses solares e lunares, por que o modelo abaixo não pode ser considerado um modelo consistente para o movimento relativo entre o Sol, a Lua e a Terra?

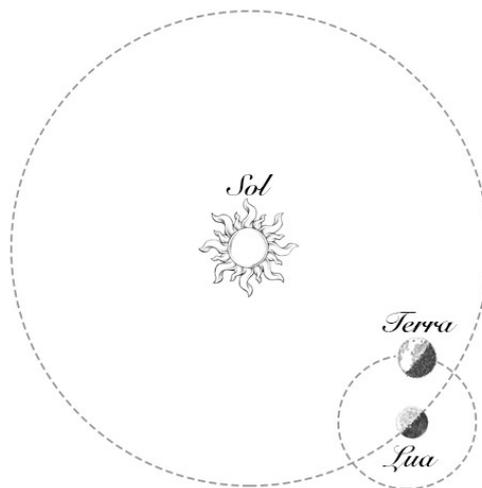


Figura B.4: Modelo Heliocêntrico modificado.

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Porque esse modelo chega à conclusão que as fases da Lua duram o mesmo período das estações do ano, ou seja, que há Lua Nova durante todo o verão e Lua Cheia durante todo o inverno.	Sem sentido.	62%	24%	36%	46%
(b)	Porque esse modelo chega à conclusão de que os verões ocorrem quando a Terra está mais próxima do Sol, enquanto o inverno ocorre quando ela está mais longe.	Todas as concepções.	38%	76%	64%	54%

Tabela B.38: Respostas à situação 3, questionário 8.

**Situação 4.** Apesar de explicar o fenômeno dos eclipses solares e lunares, por que o modelo abaixo não pode ser considerado um modelo consistente para o movimento relativo entre o Sol, a Lua e a Terra?

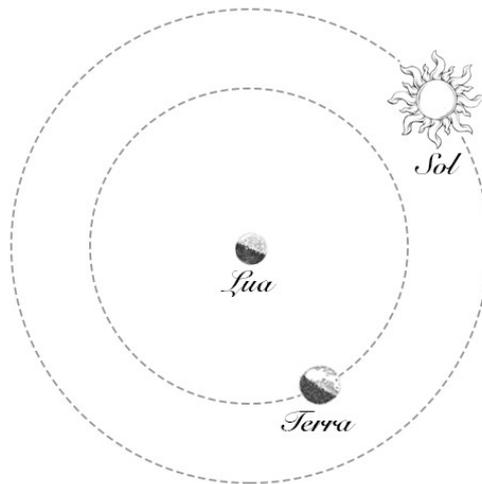


Figura B.5: Modelo Selenocêntrico.

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Porque esse modelo chega à conclusão que as fases da Lua duram o mesmo período das estações do ano, ou seja, que há Lua Cheia durante todo o verão e Lua Nova durante todo o inverno.	Todas as concepções.	74%	56%	68%	68%
(b)	Porque esse modelo chega à conclusão de que os verões ocorrem quando a Terra está mais longe do Sol, enquanto o inverno ocorre quando ela está mais perto.	Sem sentido.	26%	44%	32%	32%

Tabela B.39: Respostas à situação 4, questionário 8.

**Situação 5.** Se a Terra estiver em movimento ao redor do Sol, por que não somos lançados para “fora” da curva da mesma maneira que somos lançados quando estamos em um carro fazendo uma curva em uma estrada?

Item	Resposta	Concepção envolvida	1º ano	2º ano	3º ano	Total
(a)	Não somos lançados porque a Terra, de fato, está parada. Quem se move é o Sol!	Referencial Privilegiado.	10%	32%	16%	17%
(b)	E quem disse que somos lançados para “fora” da curva quando o carro faz a curva? Isso também não ocorre!	Ultra-relativismo.	6%	0%	16%	7%
(c)	Se não somos lançados é porque deve haver uma força muito maior que nos prende à superfície da Terra!	Relatividade Padrão.	16%	24%	60%	29%
(d)	O efeito do movimento da Terra é tão pequeno que não conseguimos vê-lo ou senti-lo.	Pseudo-relativismo.	68%	44%	8%	47%

Tabela B.40: Respostas à situação 5, questionário 8.

# Apêndice C

## Fluxogramas

O objetivo deste apêndice é transcrever os principais diálogos do jogo na forma de fluxogramas, uma vez que a estrutura deles possui várias ramificações dependendo da resposta dada pelo jogador-aluno. Isso impede, assim, que seja possível acompanhar todas as ramificações simultaneamente durante o jogo.

	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4
Cena 0	Fluxograma 1 (avaliação diagnóstica)			
Cena 1	Fluxograma 2 (aval. somativa)	Fluxograma 3 (avaliação somativa)		
	Fluxograma 4 (aval. somativa)	Fluxograma 5 (avaliação somativa)		
Cena 2	Não concede <i>Fama</i>	Fluxograma 6 (avaliação somativa)		
		Fluxograma 7 (aval. somativa)	Fluxograma 8 (avaliação somativa)	
		Fluxograma 9 (avaliação formativa)		
Cena 3	Não concede <i>Fama</i>		Fluxograma 10 (avaliação formativa)	
			Fluxograma 11 (avaliação somativa)	

Tabela C.1: Organização dos fluxogramas segundo a cena e o perfil envolvido.

Para facilitar a compreensão do conjunto de fluxogramas, a tabela C.1 resume o que está mais bem explicado no Capítulo 4 e os organiza segundo a cena do *game* e o perfil de concepção prévia envolvido, bem como o tipo de avaliação representada.

## C.1 Cena 0

### C.1.1 Fluxograma 1

O primeiro diálogo com *Mentor* tem a função de avaliação diagnóstica, em que o jogador-aluno participa ativamente do diálogo, escolhendo entre algumas opções de resposta. Esse diálogo se adapta às suas escolhas e leva o jogo a classificar o *avatar* como pertencente aos quatro perfis de concepções prévias.

O *avatar* bate na porta e chama:  
**Avatar:** – Mestre Mentor, está aí?  
**Mentor:** – Quem é?  
**Avatar:** – Sou eu, .....!  
**Mentor:** – Ah, é você? Entre logo!  
**Avatar:** – Como está, Mentor?  
**Mentor:** – Estou bem, só com algumas dores nas costas! Velhice não é fácil... E você, meu jovem, como está?  
**Avatar:** – Um pouco cansado. Acabo de chegar de uma viagem ao norte.  
**Mentor:** – E estava fazendo o que no norte?  
**Avatar:** – Estava de férias nas fontes termais de Caldéiras, mas tive que voltar o mais rápido possível. O rei mandou, ten que cumprir...  
**Mentor:** – Entendo... Mas a culpa é sua, sua ambição o fez chegar ao cargo de conselheiro, então agüente as consequências! – Ele solta um leve sorriso irônico.

**Avatar:** – Que mal há em ser ambicioso e correr atrás de seus objetivos? Isso se chama mérito próprio...

**Avatar:** – Não fui ambicioso, só aproveitei as oportunidades que apareceram. O que você faria no meu lugar?

**Mentor:** – Olhe ao seu redor. Apesar de toda minha fama e todas as oportunidades que já tive, moro em uma casa simples. Faço meus horários e não tenho rabo preso com ninguém... Já você, preferiu morar em um castelo!  
**Avatar:** – Isso não vem mais ao caso, as escolhas já foram feitas. Agora estou aqui, cansado... – Suspira.  
**Mentor:** – Pois bem, faça como quiser. A vida é sua... Mas, então, quanto tempo tirou de férias?  
**Avatar:** – Só consegui tirar uma semana. Eu gostaria de ficar no norte por mais tempo para descansar um pouco mais, mas tive que voltar.  
**Mentor:** – Mas já foi conversar com o rei ou veio aqui direto?

**Avatar:** – Vim direto para cá, queria conversar um pouco com um amigo e desabafar.

**Avatar:** – Fui ver o rei mais cedo, mas, assim que pude, vim para cá. Queria conversar um pouco com um amigo e desabafar.

**Mentor:** – Então desabafá! Sou todo ouvidos...  
**Avatar:** – Ah, então vamos lá! Ultimamente tenho ficado com muita preguiça de fazer as coisas. Não sei se é a pressão do trabalho ou se é a falta de umas boas férias...  
**Mentor:** – Quem sabe não são as duas coisas! Se bem que, até onde me lembro, você sempre foi meio preguiçoso em fazer minhas lições... – Volta a ser irônico.  
**Avatar:** – Não vamos lembrar dos fantasmas do passado! – Ri da ironia de *Mentor*.  
**Mentor:** – Por falar em preguiça, já há algum tempo estou pensando na preguiça das coisas, não só humanas. Parece que tudo neste mundo tende a ter preguiça! O que acha?  
**Avatar:** – Não entendi muito bem o que você quis dizer...  
**Mentor:** – Veja esse copo d'água em cima da mesa, por que ele não se move sozinho até minha boca? Apesar da função do copo ser essa, ele não faz as coisas sozinho e fica aí parado...  
**Avatar:** – Ué, não é lógico? Copos não se movem sozinhos... Ainda não entendi aonde você quer chegar com isso.  
**Mentor:** – Afinal, é natural para as coisas ficarem paradas ou não?

**Avatar:** – Claro, todas as coisas tendem, uma hora ou outra, a ficar paradas.  
**Mentor:** – Até mesmo os seres vivos?  
**Avatar:** – Sim, até a pessoa mais agitada precisa descansar uma hora.  
**Mentor:** – Talvez, mas até mesmo uma pessoa dormindo não está completamente parada. Seu coração bate, ela respira, etc.  
**Avatar:** – Ela está parada como um todo, independente se partes dela se movem.  
**Mentor:** – Como assim?  
**Avatar:** – Uma pessoa dormindo, por exemplo, não vai mudar de lugar só por respirar! Para isso ela tem que mexer o corpo todo.  
**Mentor:** – Sim, isso verdade.  
**Avatar:** – Também, a única certeza que existe, meu amigo, é que todos nós morreremos, então até para os seres vivos o destino é o repouso eterno. – Demonstra uma ironia mórbida.  
**Mentor:** – Certo, contra isso não posso argumentar... agora, como saber se as coisas estão realmente paradas ou não?  
**Avatar:** – Bom, isso parece meio óbvio. O chão está sempre parado, as montanhas estão sempre paradas. Então o que não se mover em relação a eles também está parado. Onde quer chegar?

**Avatar:** – Depende, os seres vivos são capazes de se mover sozinhos, já as coisas não-vivas tendem sempre a ficar paradas.  
**Mentor:** – Como assim?  
**Avatar:** – Bom, vamos pegar como exemplo o copo. Se ninguém mexer no copo ele vai ficar parado. Já uma pessoa, por outro lado, vai estar se mexendo mesmo sem querer, seu coração vai bater, ela tem que respirar, etc.  
**Mentor:** – Certo, então para você há a diferença entre coisas vivas e coisas não-vivas! Então vamos pensar nelas como um todo, e não em suas partes.  
**Avatar:** – Não entendi...  
**Mentor:** – Veja, por mais que você esteja respirando, seu coração esteja batendo e sua boca esteja se movendo enquanto fala, isso não significa que você deixou de estar sentado na minha frente.  
**Avatar:** – Ah! Verdade, mesmo que eu mexa meus braços, continuo sentado.  
**Mentor:** – Exato! Vamos ignorar os seres vivos... então, como saber se as coisas, como um todo, estão realmente paradas ou não?  
**Avatar:** – Bom, isso parece meio óbvio. O chão está sempre parado, as montanhas estão sempre paradas. Então o que não se mover em relação a eles também está parado. Onde quer chegar?

**Avatar:** – Depende, em algumas situações as coisas podem se mover sozinhas naturalmente. Por exemplo, se uma pessoa passar correndo por aquela janela, ela pode se considerar parada e ver o copo se movendo.  
**Mentor:** – Mas você não acabou de dizer que as coisas não se movem sozinhas? Aponta surpreso, Mentor.  
**Avatar:** – Ah, para nós que estamos sentados aqui olhando para o copo, é claro que ele não vai se mover sozinho mesmo. A não ser que hajam fantasmas assombrando sua casa!  
**Mentor:** – Excelente saída, meu amigo, por um momento achrei que você não sabia do que estava falando... – Mentor comenta aliviado – Agora, como saber se as coisas estão realmente paradas ou não?  
**Avatar:** – Como em disse, isso depende. Podemos discutir mais, o que acha?

**Mentor:** – E, faz sentido. Esses dias estava andando de charrrete enquanto observava as coisas no caminho.  
**Avatar:** – Uhum...  
**Mentor:** – Mas, a estrada de terra estava tão lisinha que, por um momento, tive a impressão de que as árvores, as cercas e as casas é que estavam se movendo para trás. Era como se eu estivesse parado! Será que isso foi impressão minha?

**Perfil 1**  
**Avatar:** – Caro amigo, eu diria que isso é impossível, já que era você que estava se movendo na charrète, enquanto o resto estava parado...  
**Mentor:** – Mas por que eu não poderia estar parado e o resto do mundo se movendo?  
**Avatar:** – Agora eu chamaria isso de bruxaria, explique melhor.  
**Mentor:** – Sim, pode até parecer egoísmo de minha parte, mas por que eu não posso estar parado e as coisas que se movem ao meu redor?  
**Avatar:** – Exatamente por isso, egoísmo seu. É mais fácil você ir até uma montanha do que essa montanha ir até você.  
**Mentor:** – Sim, até pode ser!

**Perfil 2**  
**Avatar:** – Caro amigo, eu diria que isso é possível, já que o movimento depende de quem está olhando. Então, no seu ponto de vista, você é que estava parado mesmo...  
**Mentor:** – Mas isso não poderia ser só impressão minha?  
**Avatar:** – Talvez sim.  
**Mentor:** – É exatamente essa a minha dúvida!

**Perfil 4**  
**Avatar:** – Caro amigo, eu diria que isso é possível, já que o movimento depende do que você toma como referência. Por exemplo, você podia se considerar parado em relação à charrète...  
**Mentor:** – Mas eu não estaria parado em relação à charrète!  
**Avatar:** – Como não?  
**Mentor:** – Para conduzi-la, eu precisaria mexer os braços, por exemplo. Não estaria parado.  
**Mentor:** prova...  
**Avatar:** – Não já chegamos à conclusão que o que importa é o movimento da pessoa como um todo. – Responde astutamente.  
**Mentor:** – Enfim.

**Perfil 3**  
**Avatar:** – Caro amigo, eu diria que isso é possível, já que tanto faz se você estava parado ou não. Você não teria como descobrir quem está realmente se movendo.  
**Mentor:** – Não entendi...  
**Avatar:** – Se esse copo estivesse na carroça, ele e a água em seu interior estariam com a mesma aparência que agora.  
**Mentor:** – Ambos olham para o copo sobre a mesa.  
**Mentor:** – Mesmo se a estrada não estivesse lisinha ou se eu parasse bruscamente a carroça?  
**Avatar:** – Sim.  
**Mentor:** – Enfim, não sei, isso me pareceu meio estranho!

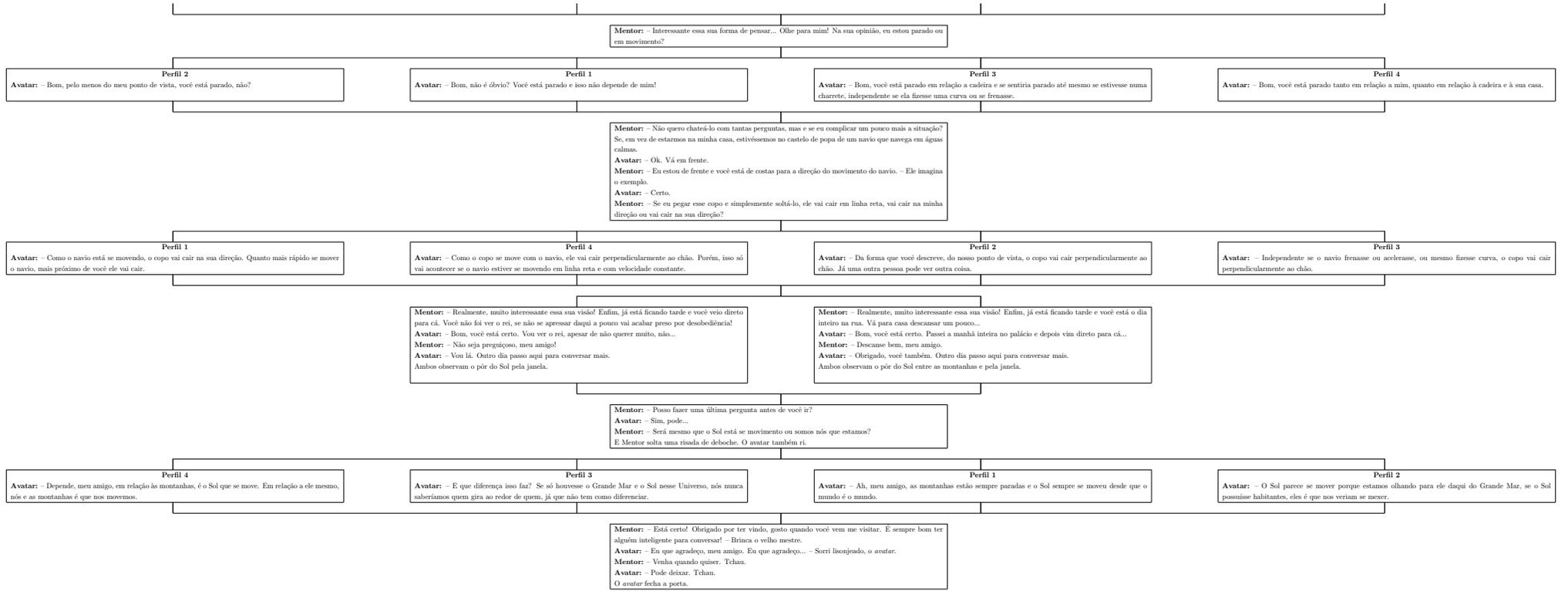
**Mentor:** – Bem, voltando ao exemplo do copo sobre a mesa. Então, na sua opinião, se alguém passar correndo pela janela e olhar para o copo, o que vai acontecer?

**Perfil 4**  
**Avatar:** – Ué, eu acho que o copo vai estar parado em relação à mesa, mas em movimento em relação à pessoa...

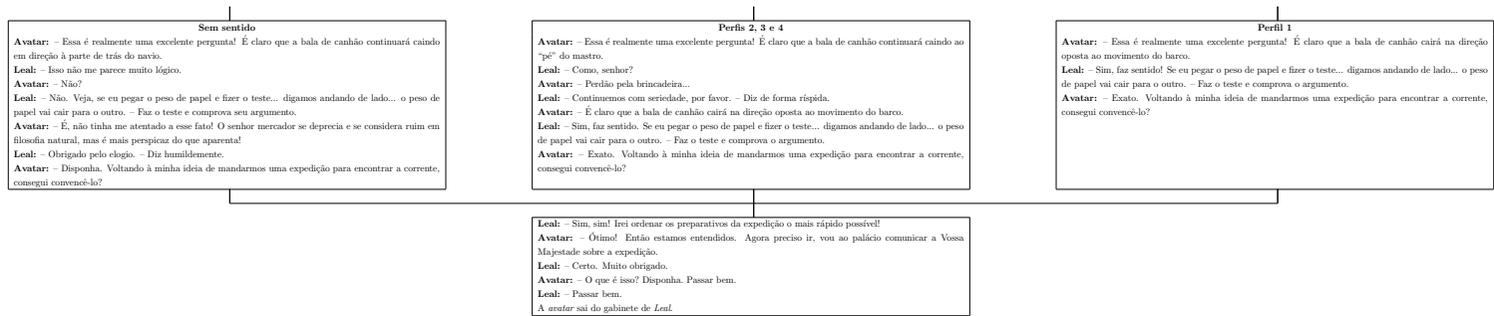
**Perfil 2**  
**Avatar:** – Ué, a pessoa normalmente vai ver o copo em movimento. Mas, se ela estiver correndo exatamente na direção do copo, ela vai vê-lo parado e aumentando de tamanho, conforme se aproxima!

**Perfil 3**  
**Avatar:** – Ué, não dá para saber se a pessoa está parada e o copo em movimento, ou o contrário! Eu acho que em nenhuma das duas situações a pessoa vai ver qualquer coisa diferente com o copo ou com a água dentro dele, então não dá para saber...

**Perfil 1**  
**Avatar:** – Ué, eu acho que o copo vai estar parado e pronto! A sensação de que ele se move é só uma mera impressão...



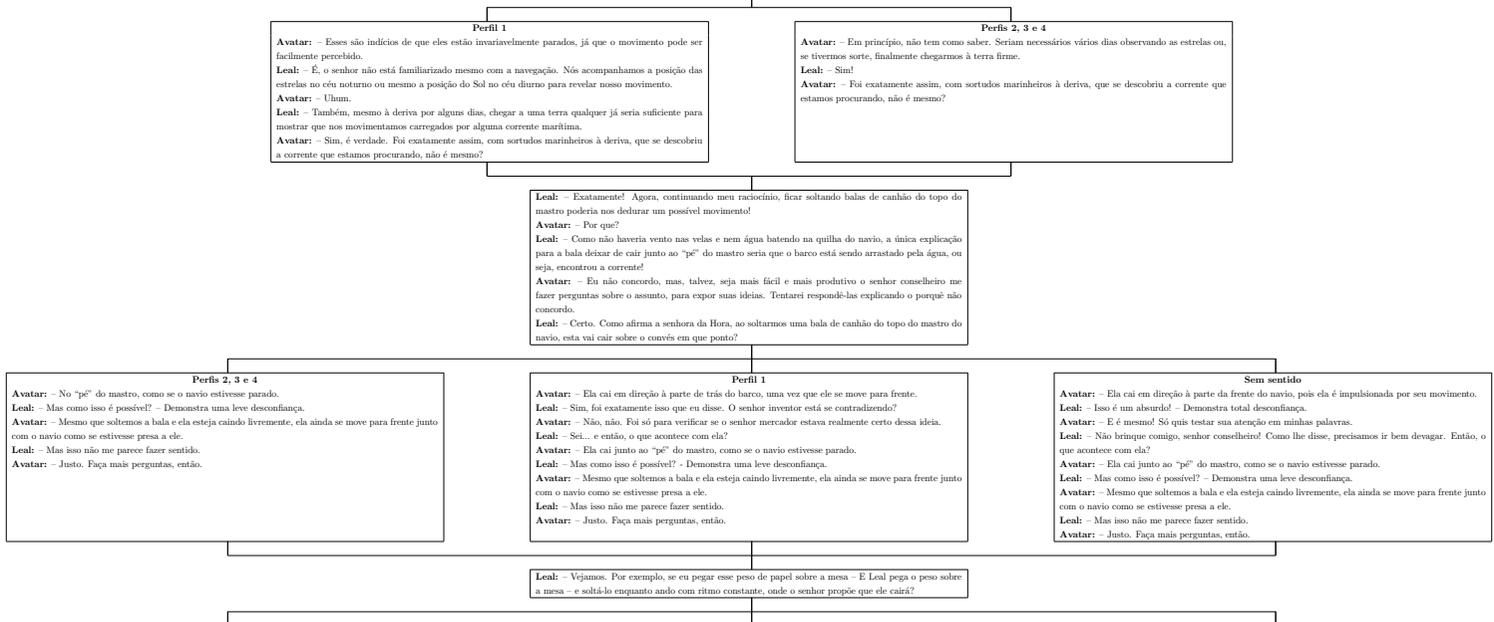


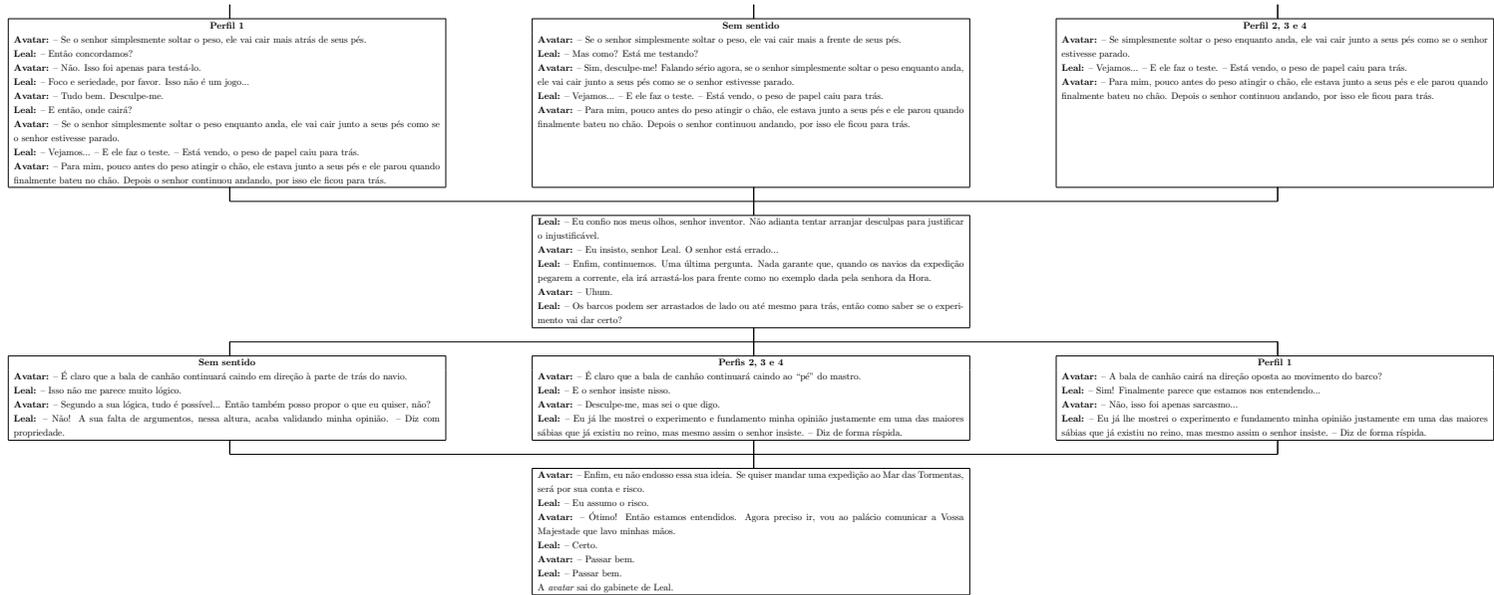


C.2.2 Fluxograma 3

Essa segunda possibilidade de primeiro encontro com *Leal* tem por objetivo fazer com que o jogador-aluno não seja convencido por *Leal* de que as ideias de *Graça da Hora* funcionam. Avaliação somativa para os Perfis 2, 3 e 4.

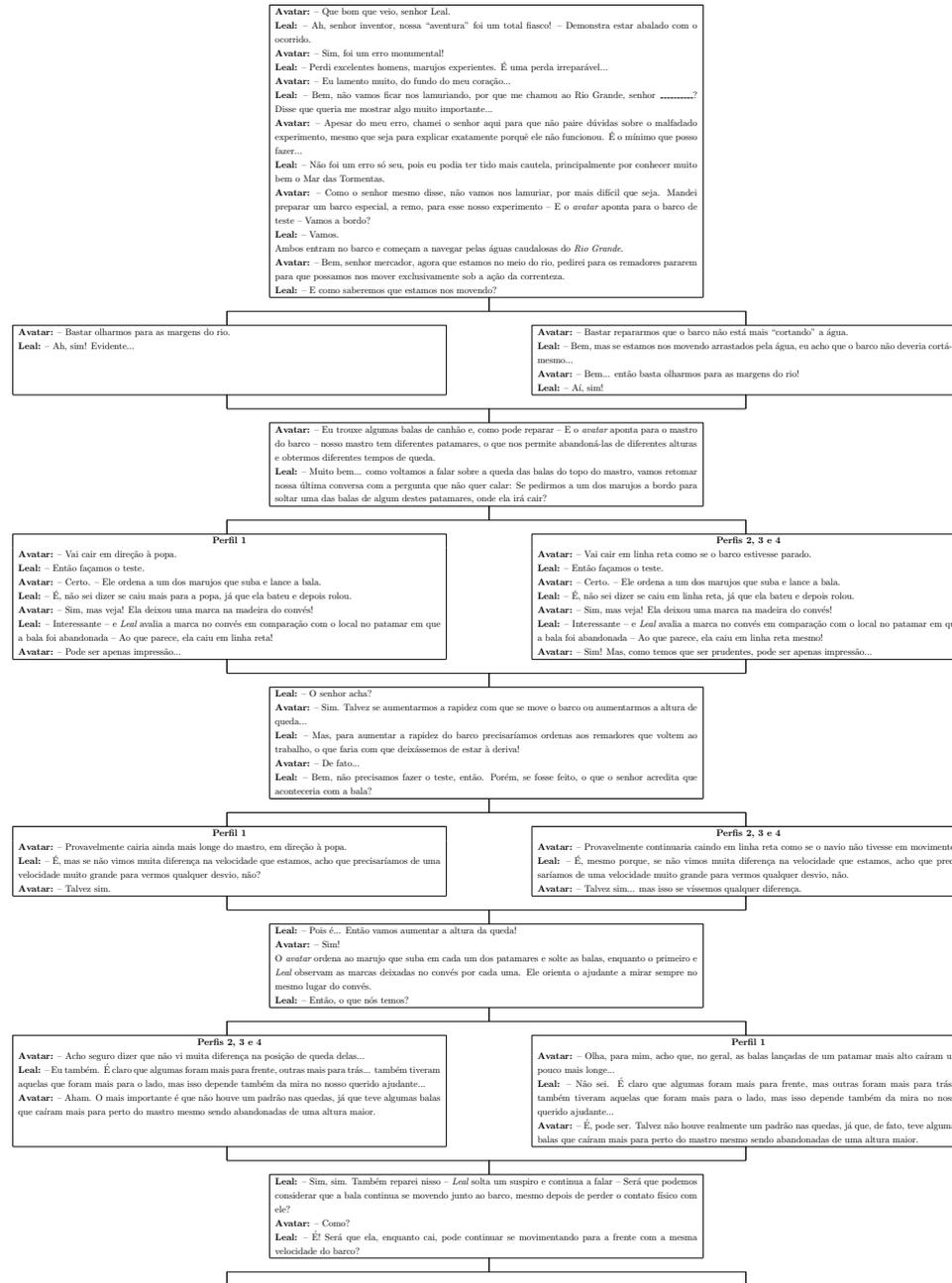
O avatar bate à porta do gabinete de *Leal*, já a abeirado.  
**Avatar:** - Senhor conselheiro?  
**Leal:** - Pois não?  
**Avatar:** - Sou eu, ..... Vin falar sobre o problema das correntes marítimas!  
**Leal:** - Ah! Entre, entre...  
**Avatar:** - Com sua licença. Como prometido, aqui estou. Encontrei alguns indícios de que podem ajudar a encontrar a corrente. Por onde começamos? - Ele sorri com entusiasmo.  
**Leal:** - Pelo começo, eu sugiro. Mas sou especialista, então sugiro que o senhor vá bem devagar.  
**Avatar:** - Encontrei alguns indícios de que a corrente que procuramos leva água quente do equador para a costa do Império dos Cinco, por isso que as águas de lá são muito mais quentes do que as águas do nosso litoral voltado para o Mar das Tormentas.  
**Leal:** - Interessante. Continue.  
**Avatar:** - Minha ideia é tentarmos construir um aparelho para medir a temperatura da água e, depois, mandarmos uma expedição com navios carregando esse aparelho. Quando chegarem em águas mais quentes, encontrarão a corrente.  
**Leal:** - Você quer dizer: construir um termômetro? - Solta um leve sorriso irônico.  
**Avatar:** - Exato!  
**Leal:** - Não sei se isso funcionaria...  
**Avatar:** - Mas por que?  
**Leal:** - Mesmo que consigamos construir um bom termômetro, a temperatura da água não é constante, o senhor inventor não deve ter o hábito de nadar, mas naturalmente tem dia que a água está mais quente e tem dia que está mais fria...  
**Avatar:** - Uhum.  
**Leal:** - E isso pode variar não só de dia a dia, como de época do ano ou até de minuto em minuto! Quem nunca esteve andando na água fria e, de repente, a água fica mais quente, sendo que poucos metros depois ela volta a ficar fria?  
**Avatar:** - De fato, não sabia disso. Então, por que dizem que as águas do Império do Cinco são mais quentes?  
**Leal:** - Porque, ao longo do ano, é mais fácil encontrar água a uma temperatura mais amena do que aqui em Lindomar. Mas isso é em média.  
**Avatar:** - Quem sabe fazendo várias expedições ao longo do ano, nós não podemos descobrir essa média, não?  
**Leal:** - O senhor inventor está maluco! Parece que o senhor se esqueceu que o Mar das Tormentas é um lugar perigoso de se navegar, então, se me convencer a mandar uma expedição já seria difícil, convencer-me a mandar várias, é quase impossível! - Ele olha de forma condescendente ao avatar.  
**Avatar:** - Então voltamos à estaca zero.  
**Leal:** - Nesses últimos dias também estive pensando sobre o problema e me lembrei que, quando era jovem, cheguei a estudar sobre as teorias da Graça da Hora. Conhece, né?  
**Avatar:** - Sim, ela foi muito famosa, mas eu não concordo com muitas de suas ideias.  
**Leal:** - Pois bem. Foi, então, que me lembrei de um exemplo, que meu professor tinha dado, de que um objeto que caísse do mastro de um navio em movimento ficaria para trás, ou seja, cairia em direção à parte de trás do navio.  
**Avatar:** - Sim...  
**Leal:** - Ai eu lhe pergunto: À deriva no meio do mar, com as velas recolhidas, vendo água por toda parte e sem água batendo na quilha, como sabemos se estamos parados ou não?

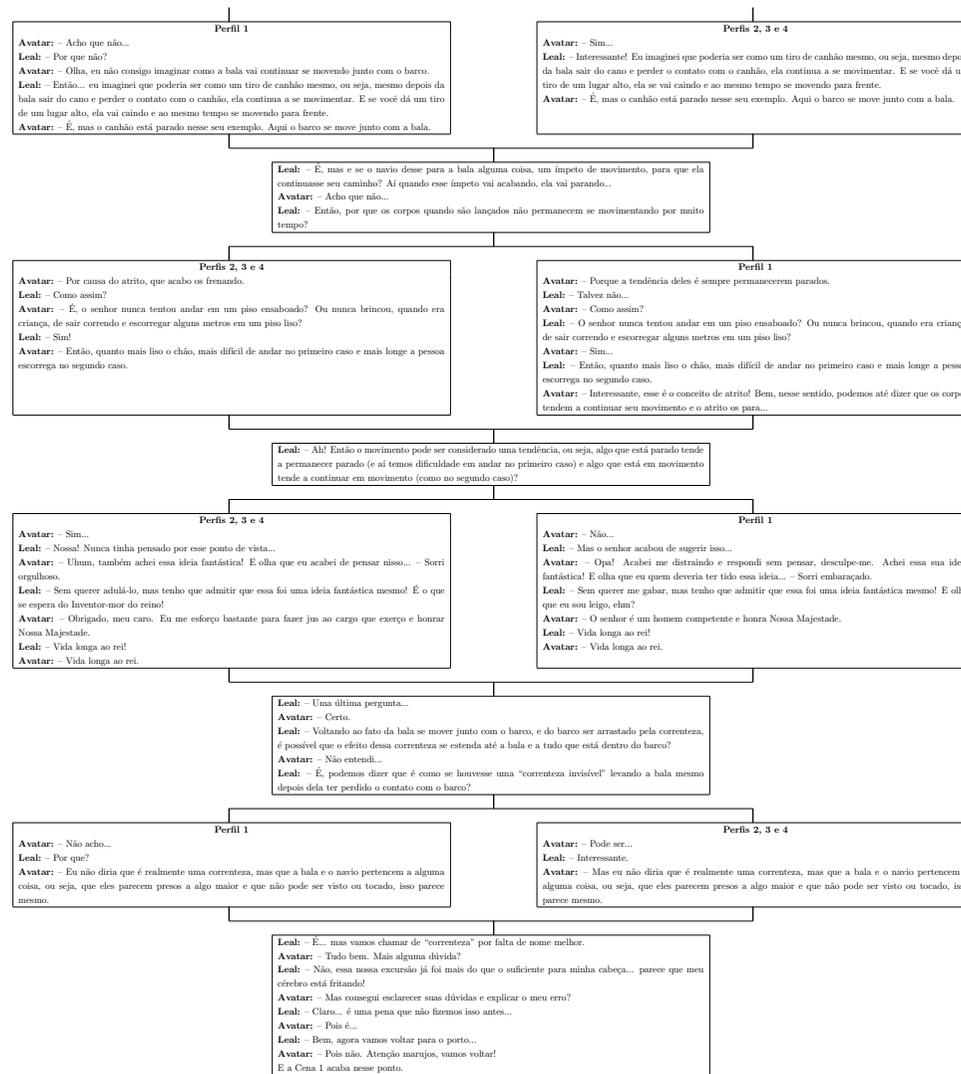




### C.2.3 Fluxograma 4

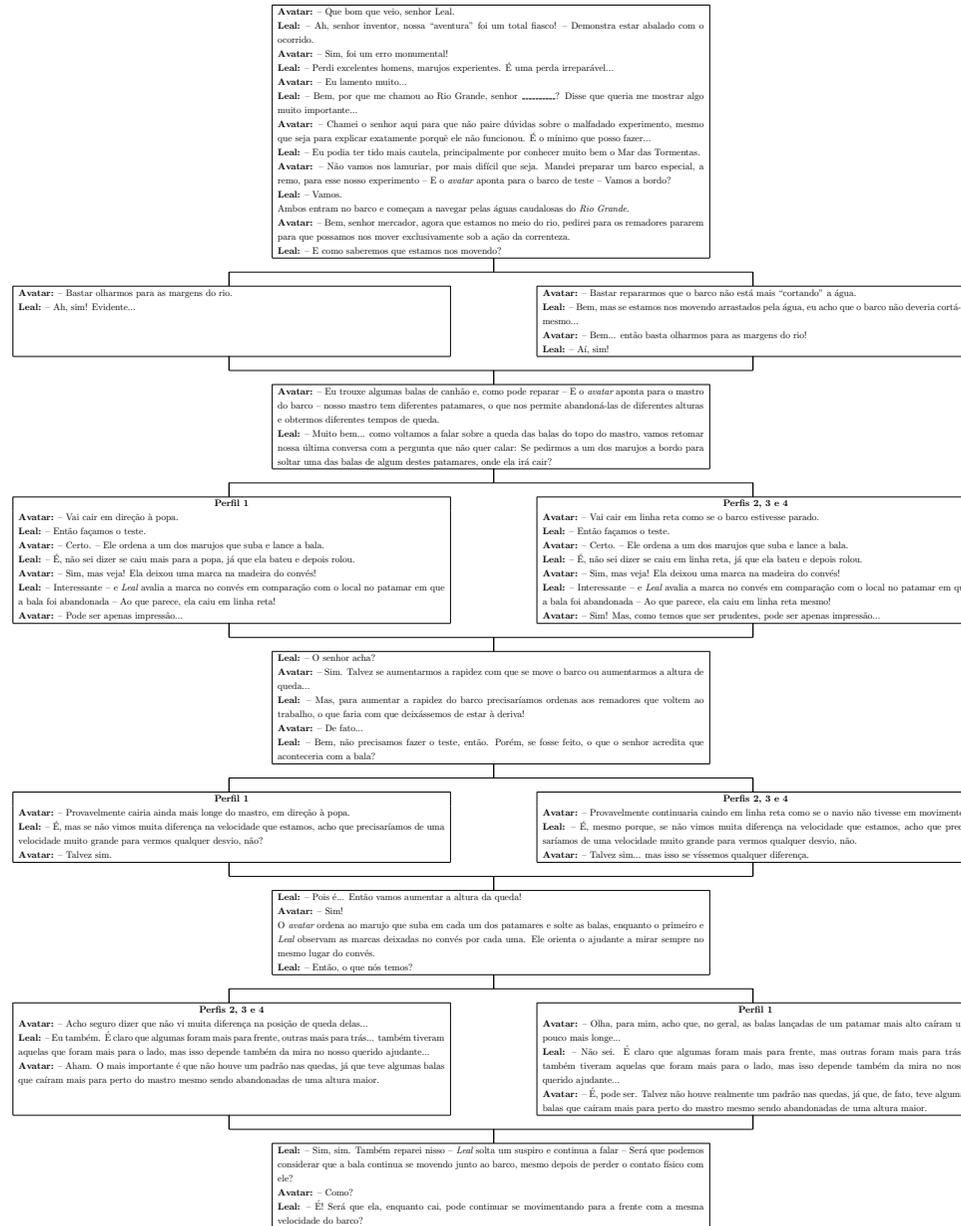
Essa possibilidade de segundo encontro com *Leal* tem por objetivo fazer o jogador-aluno mostrar experimentalmente no *Navegante-mar* o porque da expedição ao *Mar das Tormentas* ter sido um fracasso. Avaliação somativa para o Perfil 1.





## C.2.4 Fluxograma 5

Essa possibilidade de segundo encontro com *Leal* tem por objetivo fazer o jogador-aluno mostrar experimentalmente no *Navegante-mar* o porque da expedição ao *Mar das Tormentas* ter sido um fracasso. Avaliação somativa para os *Perfis 2, 3 e 4*.

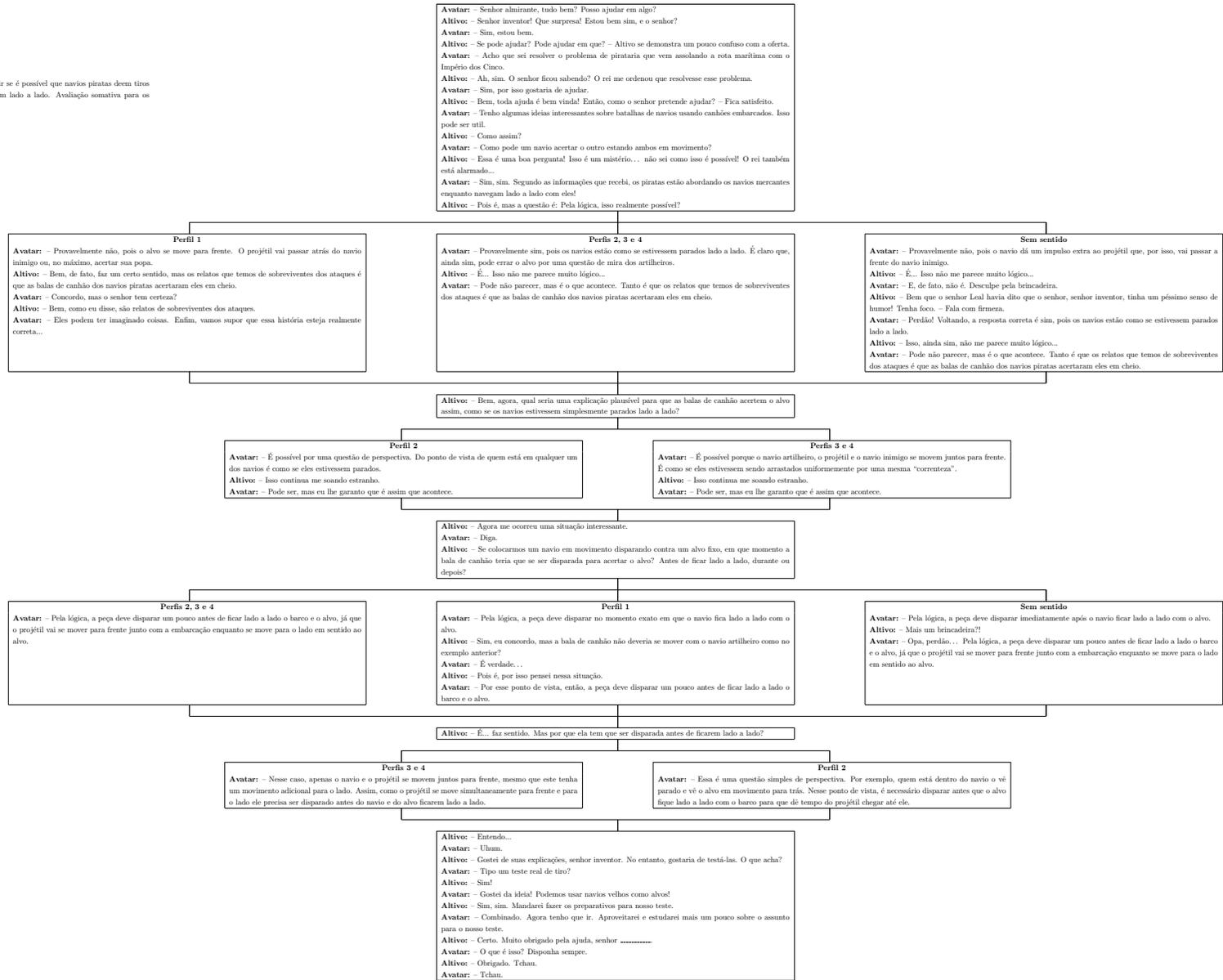




## C.3 Cena 2

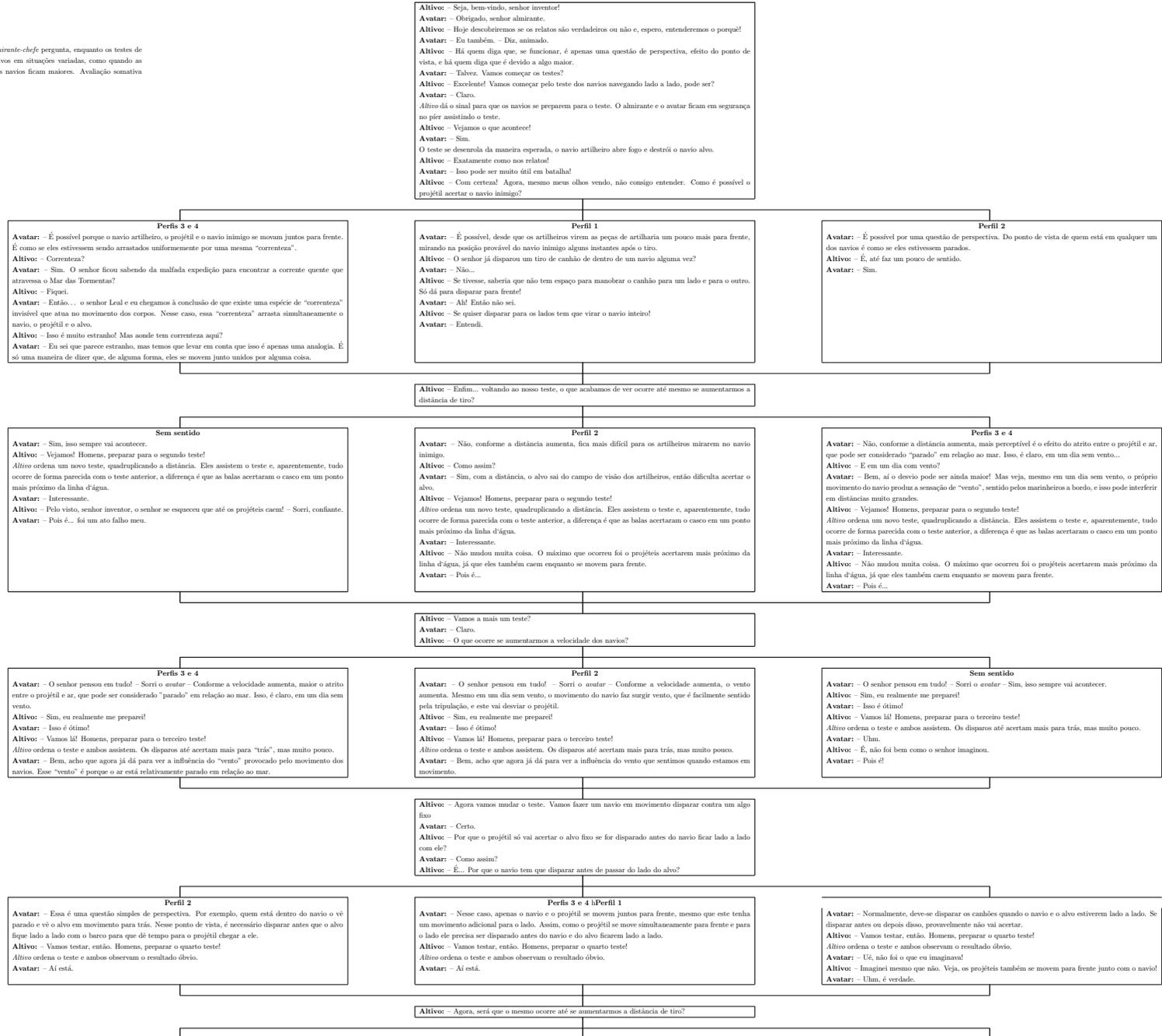
### C.3.1 Fluxograma 6

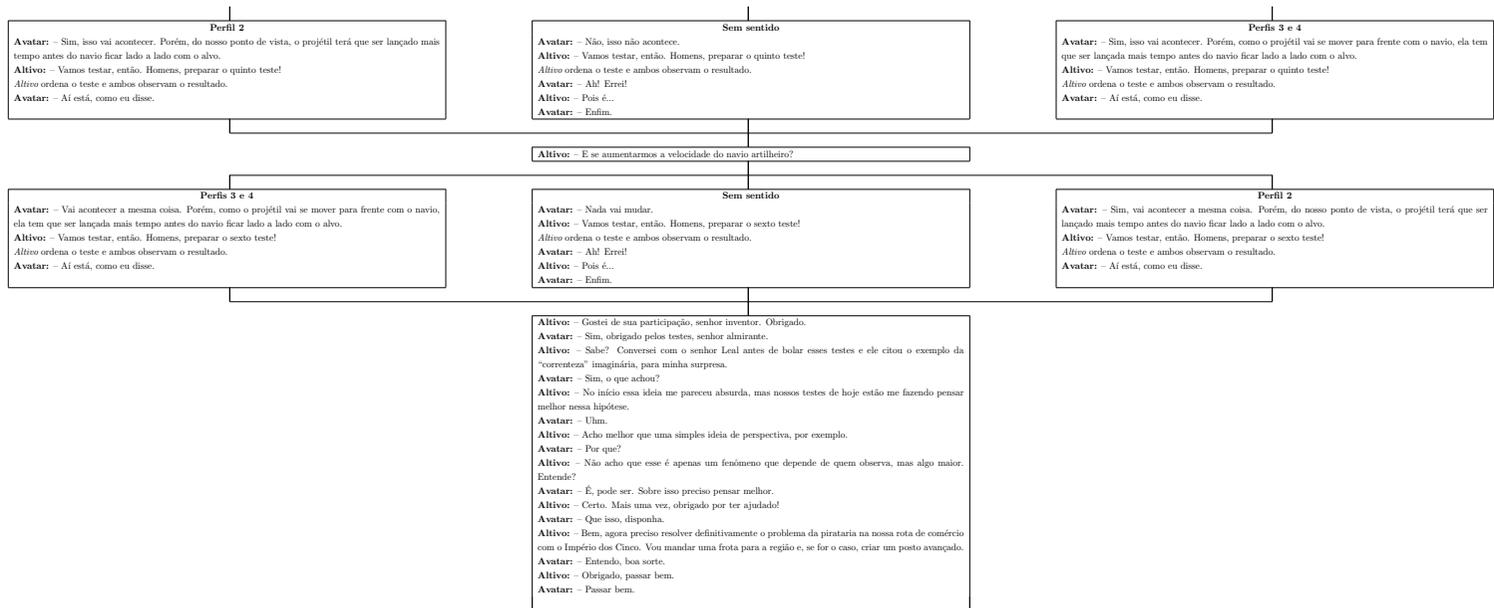
Esse primeiro encontro com *Altivo* tem por objetivo discutir se é possível que navios piratas deem tiros diretos contra navios mercantes do reino enquanto navegam lado a lado. Avaliação somativa para os Perfis 2, 3 e 4.



### C.3.2 Fluxograma 7

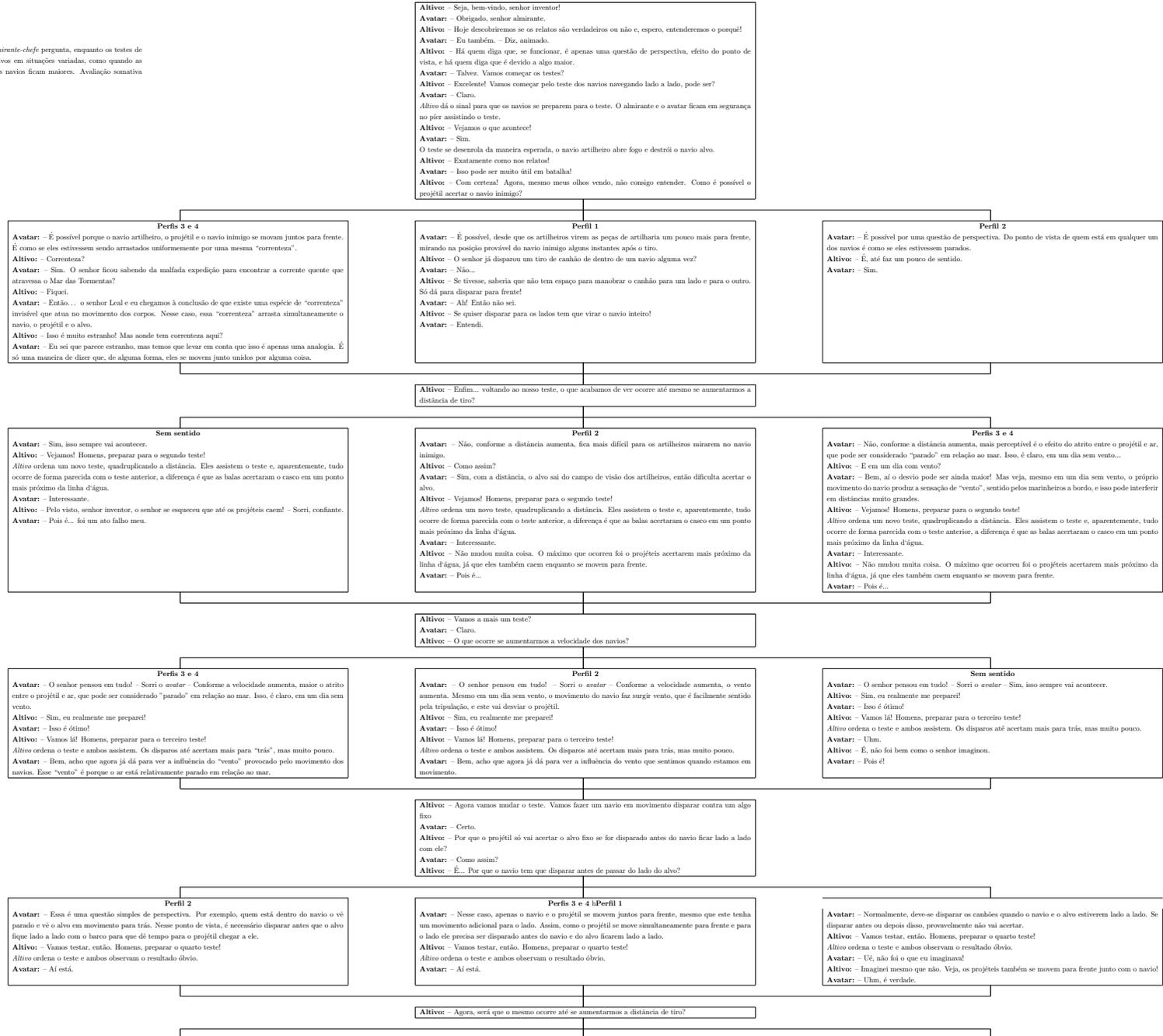
Nessa possibilidade de segundo diálogo com o *Altivo*, o *Almirante-chefe* pergunta, enquanto os testes de tiro são realizados, ao *avatar* se os disparos acertam os alvos em situações variadas, como quando as distâncias de tiro aumentam ou quando as velocidades dos navios ficam maiores. Avaliação somativa para o *Perfil 2*.

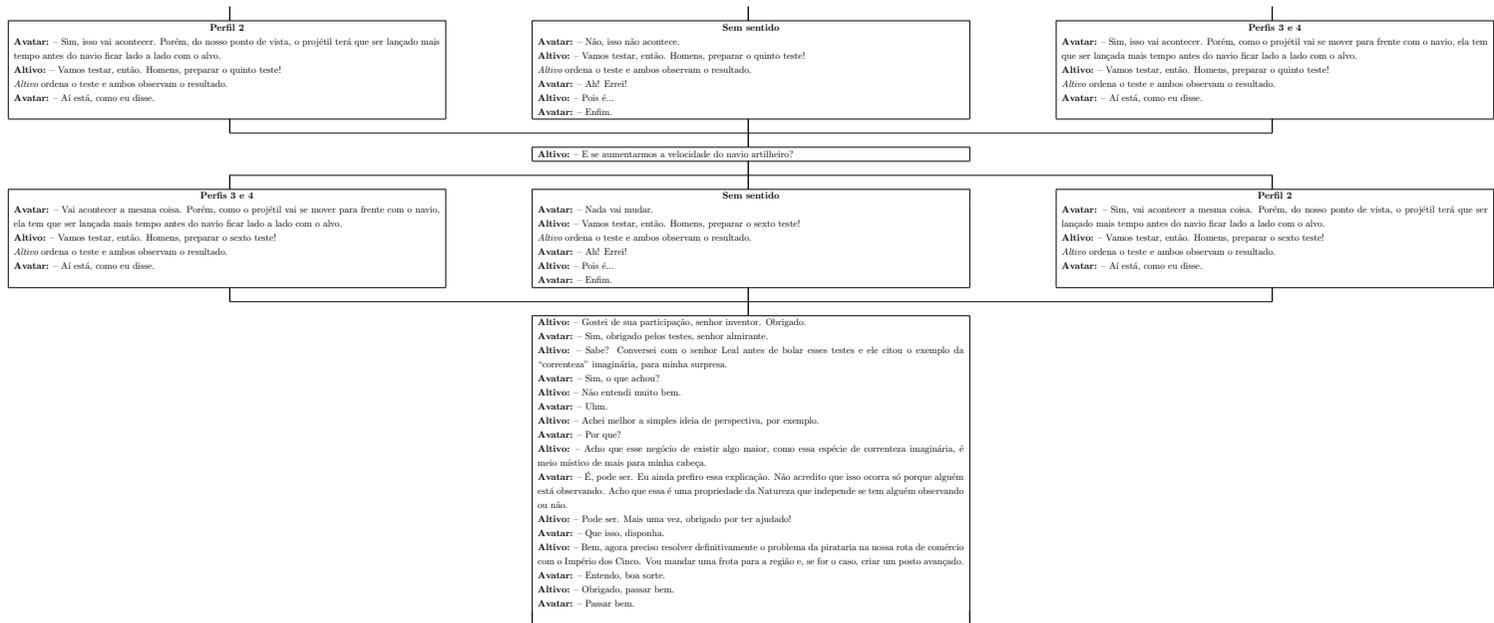




### C.3.3 Fluxograma 8

Nessa possibilidade de segundo diálogo com o *Altivo*, o *Almirante-chefe* pergunta, enquanto os testes de tiro são realizados, se *avatar* se os disparos acertam os alvos em situações variadas, como quando as distâncias de tiro aumentam ou quando as velocidades dos navios ficam maiores. Avaliação somativa para os *Perfis 2, 3 e 4*.

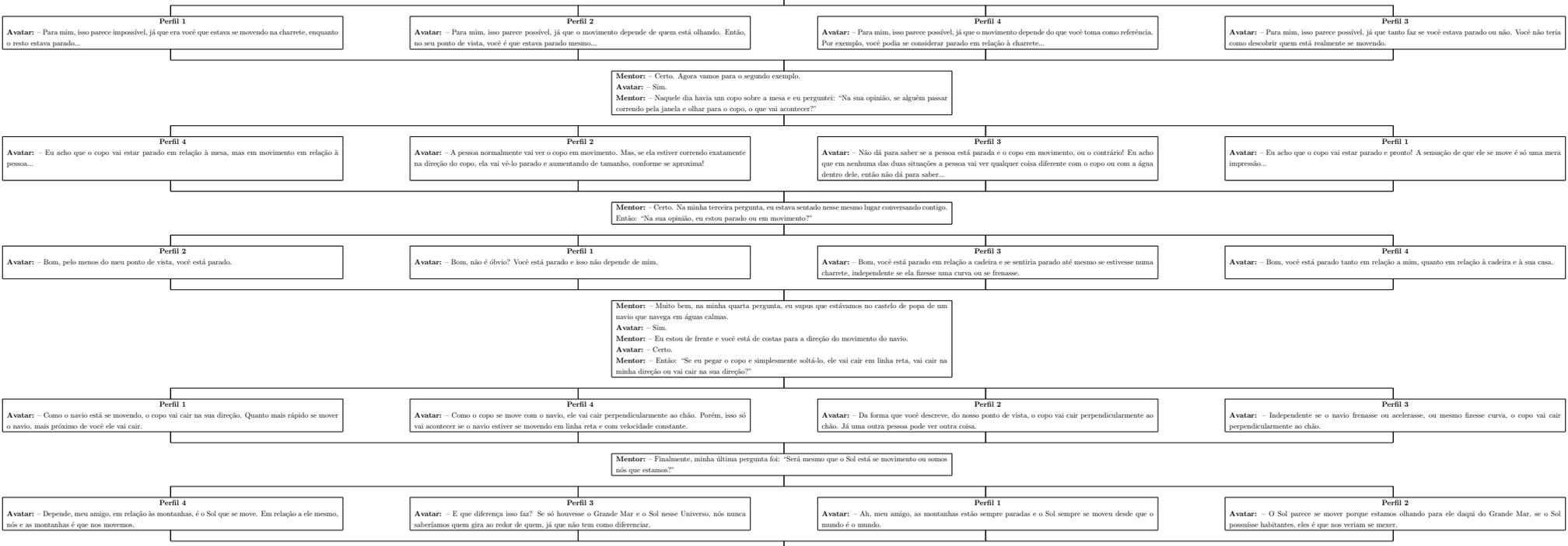


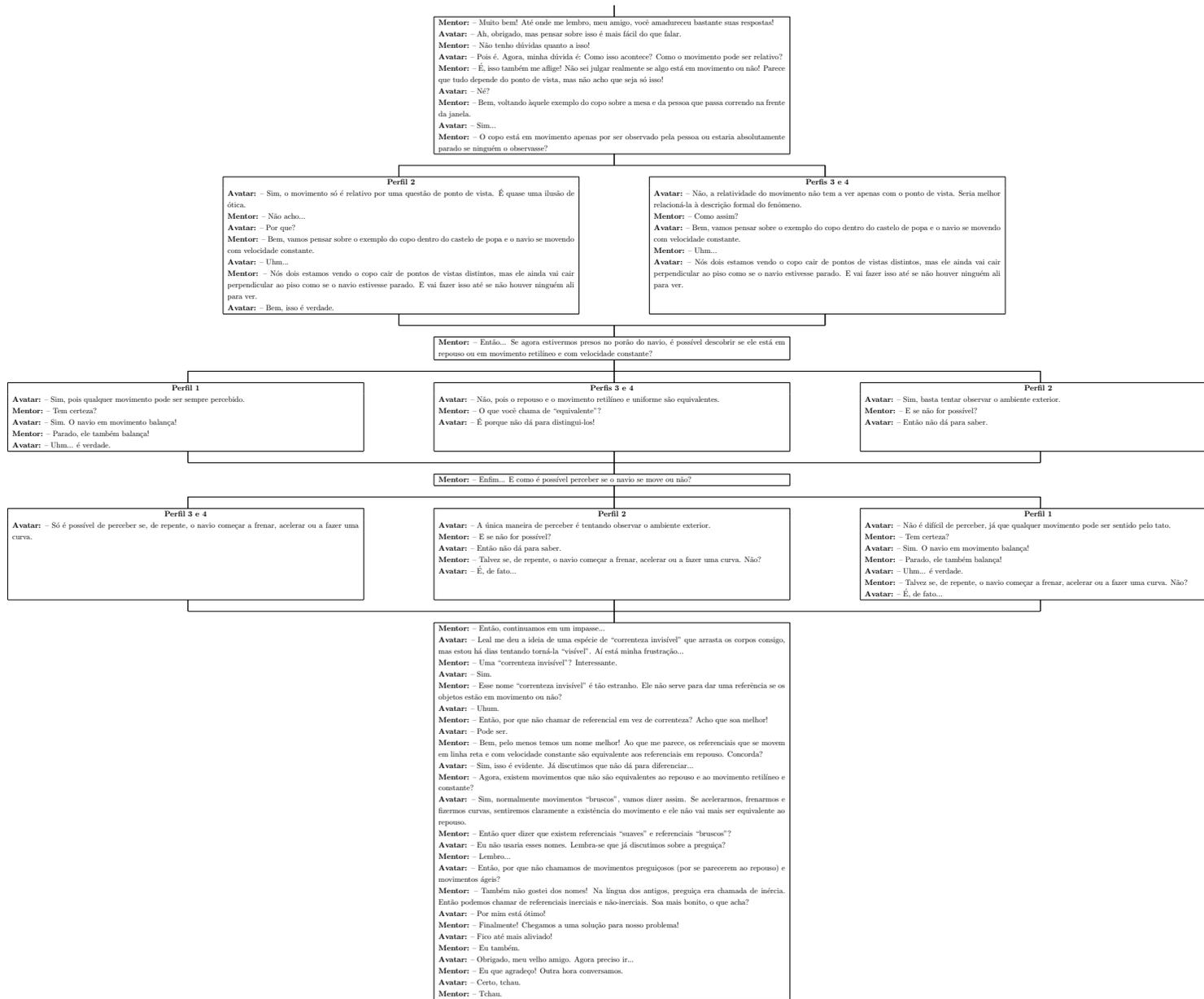


C.3.4 Fluxograma 9

Esse segundo diálogo com *Mentor* tem a função de avaliação formativa para os *Perfis 2, 3 e 4* e tem o objetivo de construir formalmente a ideia de referencial.

O *avatar* bate à porta da casa de *Mentor*.  
**Avatar:** – Mentor? Sou eu, ..... Está aí?  
**Mentor:** – Entre! A porta está aberta.  
**Avatar:** – Olá, meu velho amigo! Gostaria de sua ajuda.  
**Mentor:** – Que bom que veio me visitar! Estou bem, por sinal, e você?  
**Avatar:** – Ah, desculpe-me. Estou bem também.  
**Mentor:** – Tudo bem. Diga, o que precisa de mim?  
**Avatar:** – Essas últimas semanas foram bem corrida! Eu fiz alguns testes sobre o movimento e o repouso junto com o conselheiro Leal e o almirante Altivo, mas preciso conversar com alguém para organizar meus pensamentos.  
**Mentor:** – Sim, fique sabendo... Bem, o que eu puder ajudar, eu ajudo.  
**Avatar:** – Então, parece que existe alguma coisa por trás do movimento que eu gostaria de compreender melhor.  
**Mentor:** – Parece que eu estava adivinhando. Lembra-se de nossa última conversa?  
**Avatar:** – Sim, sim. Enfim, nos meus dois testes os resultados foram além do previsto. – O *avatar* anda de um lado a outro, coçando a cabeça, eufórico.  
**Mentor:** – Como assim?  
**Avatar:** – Notei que, se estivéssemos em movimento, todos os objetos que carregamos conosco também se movem junto, o que é óbvio. Porém, notei que, mesmo depois de abandoná-los, eles continuam (pelo menos por certo tempo) se movendo na mesma direção.  
**Mentor:** – Uhm, interessante!  
**Avatar:** – Então, eu estou querendo entender como isso funciona...  
**Mentor:** – Eu também estou curioso! Lembra-se das perguntas que fiz na nossa última conversa?  
**Avatar:** – Uhm... Mais ou menos.  
**Mentor:** – Imaginei. Eu também não me lembraria, mas... Como estou velho e a memória não é mais tão boa, ando anotando tudo para não esquecer! – Ele se levanta e anda até uma escrivaninha, abre uma gaveta e pega um caderninho de anotações.  
**Avatar:** – Bastante esperto, você! – Ironiza, o *avatar*.  
**Mentor:** – Eu queria repetir as perguntas para ver quais são suas respostas agora, depois de todos esses testes. Fiquei curioso! Pode ser?  
**Avatar:** – Claro! Vá em frente.  
**Mentor:** – Então, para não nos delongarmos muito. Comentei que estava andando de charrete enquanto observava as coisas no caminho.  
**Avatar:** – Uhum...  
**Mentor:** – E a estrada de terra estava tão lisinha que tive a impressão de que as árvores, as cercas e as casas é que estavam se movendo para trás. Era como se eu estivesse parado! Minha pergunta foi: “Será que isso foi só impressão minha?”



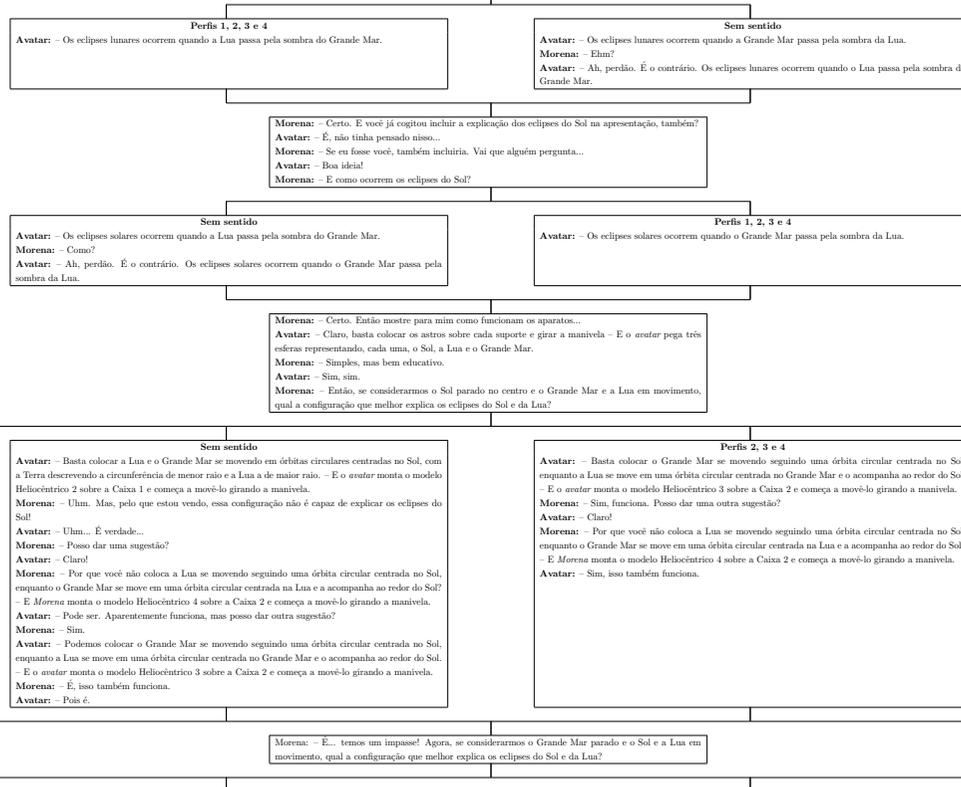


## C.4 Cena 3

### C.4.1 Fluxograma 10

O diálogo com *Morena* tem a função de auxiliar o jogador-aluno a escolher as configurações, montadas sobre os aparatos propostos por *Plácido*, mais consistentes para o sistema formado pelo Sol, pela Lua e pelo *Grande Mar*. Avaliação formativa para os *Perfis 3 e 4*.

*Morena* bate à porta do escritório do *Avatar*.  
**Avatar**: – Pois não?  
**Morena**: – ..... sou eu, *Morena!*  
**Avatar**: – *Morena?* Entra!  
**Morena**: – Oi...  
**Avatar**: – Oi! Nossa, quanto tempo! Como você está?  
**Morena**: – Eu estou bem, e você? – Ela sorri, satisfeita.  
**Avatar**: – Melhor agora! Estava com saudades. Você desapareceu, não me escreveu, nem nada...  
**Morena**: – Também estou com saudades. E você também não me escreveu... – Ela sorri. – Você não é o único ocupado aqui!  
**Avatar**: – Enfim... – O *Avatar* muda rapidamente de assunto – E a que devo o milagre de sua presença?  
**Morena**: – Fazia muito tempo que não vinha ao Rochecho, então aproveitei uma folga para viajar, fazer compras, ver os amigos...  
**Avatar**: – Que bom! E já foi ver o *Mentor*?  
**Morena**: – Já. O velho continua lúcido e afinadíssimo.  
**Avatar**: – Pois é, quero ficar velho que sem ele.  
**Morena**: – Eu também. – Muda de assunto. – E o que você anda aprontando? – Ela aponta para os aparatos de *Plácido* sobre a mesa.  
**Avatar**: – Lembra-se do mestre *Plácido* de Alvorada? Estava lendo seu tratado “Os Movimentos dos Corpos Celestes” e mandei fazer esses aparatos para explicar os eclipses da Lua.  
**Morena**: – Sim, eu o conheço. A questão é: Por que essa preocupação com os eclipses?  
**Avatar**: – Resumindo, uma bruxa praguejou no meio da rua que o reinado de Vossa Majestade acabaria na próxima “Lua de Sangue” e só ela poderia salvar o rei desse destino.  
**Morena**: – Que malandral! E o rei, o que fez?  
**Avatar**: – Chama-se *Grande-Mar-Clara* e a mim para esclarecermos o assunto. Como a bruxa praguejou em público, Vossa Majestade quer uma demonstração pública de que ela está errada.  
**Morena**: – Quando?  
**Avatar**: – Semana que vem! Por isso estou correndo com esses aparatos para preparar a apresentação.  
**Morena**: – Entendi. E, afinal, como ocorrem os eclipses da Lua?



**Perfis 2, 3 e 4**

**Avatar:** – Basta colocar a Lua e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas no Grande Mar, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio. – E o avatar monta o modelo Geocêntrico 1 sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Morena:** – Uhm... Aparentemente funciona.  
**Avatar:** – Sim, sim.

**Sem sentido**

**Avatar:** – Basta colocar a Lua e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas no Grande Mar, com o Sol descrevendo a circunferência de menor raio e a Lua a de maior raio. – E o avatar monta o modelo Geocêntrico 2 sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Morena:** – Uhm. Mas, pelo que estou vendo, essa configuração não é capaz de explicar os eclipses do Sol!  
**Avatar:** – Uhm... É verdade...  
**Morena:** – Posso dar uma sugestão?  
**Avatar:** – Claro!  
**Morena:** – Por que você não coloca a Lua e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas no Grande Mar, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio? – E Morena monta o modelo Geocêntrico 1 sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Avatar:** – Pode ser. Aparentemente agora funciona.

**Sem sentido**

**Avatar:** – Basta colocar o Sol se movendo seguindo uma órbita circular centrada no Grande Mar, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada no Sol e o acompanha ao redor do Grande Mar. – E o avatar monta o modelo Geocêntrico 3 sobre a Caixa 2 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Morena:** – Uhm. Mas, pelo que estou vendo, essa configuração não é capaz de explicar os eclipses da Lua!  
**Avatar:** – Uhm... É verdade...  
**Morena:** – Posso dar uma sugestão?  
**Avatar:** – Claro!  
**Morena:** – Por que você não coloca a Lua e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas no Grande Mar, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio? – E Morena monta o modelo Geocêntrico 1 sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Avatar:** – Pode ser. Aparentemente agora funciona.

**Sem sentido**

**Avatar:** – Basta colocar a Lua se movendo seguindo uma órbita circular centrada no Grande Mar, enquanto o Sol se move em uma órbita circular centrada na Lua e a acompanha ao redor do Grande Mar. – E o avatar monta o modelo Geocêntrico 4 sobre a Caixa 2 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Morena:** – Uhm. Mas, pelo que estou vendo, essa configuração não é capaz de explicar os eclipses da Lua!  
**Avatar:** – Uhm... É verdade...  
**Morena:** – Posso dar uma sugestão?  
**Avatar:** – Claro!  
**Morena:** – Por que você não coloca a Lua e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas no Grande Mar, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio? – E Morena monta o modelo Geocêntrico 1 sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Avatar:** – Pode ser. Aparentemente agora funciona.

**Morena:** – É, mais uma configuração possível... Enfim, e se considerarmos a Lua parada e o Sol e o Grande Mar em movimento, qual a configuração que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua?

**Sem sentido**

**Avatar:** – Basta colocar o Grande Mar e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas na Lua, com o Sol descrevendo a circunferência de menor raio e o Grande Mar a de maior raio. – E o avatar monta o modelo Selenocêntrico 1 sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Morena:** – Uhm. Mas, pelo que estou vendo, essa configuração não é capaz de explicar os eclipses da Lua!  
**Avatar:** – Uhm... É verdade...  
**Morena:** – Posso dar uma sugestão?  
**Avatar:** – Claro!  
**Morena:** – Por que você não coloca o Grande Mar e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas na Lua, com o Grande Mar descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio? – E Morena monta o modelo Selenocêntrico 2 sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Avatar:** – Pode ser. Aparentemente agora funciona.

**Perfis 2 e 3**

**Avatar:** – Basta colocar o Grande Mar e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas na Lua, com o Grande Mar descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio. – E o avatar monta o modelo Selenocêntrico 2 sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Morena:** – Uhm... Aparentemente funciona.  
**Avatar:** – Sim, sim.

**Sem sentido**

**Avatar:** – Basta colocar o Grande Mar se movendo seguindo uma órbita circular centrada na Lua, enquanto o Sol se move em uma órbita circular centrada no Grande Mar e o acompanha ao redor da Lua. – E o avatar monta o modelo Selenocêntrico 3 sobre a Caixa 2 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Morena:** – Uhm. Mas, pelo que estou vendo, essa configuração não é capaz de explicar os eclipses da Lua!  
**Avatar:** – Uhm... É verdade...  
**Morena:** – Posso dar uma sugestão?  
**Avatar:** – Claro!  
**Morena:** – Por que você não coloca o Grande Mar e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas na Lua, com o Grande Mar descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio? – E Morena monta o modelo Selenocêntrico 2 sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Avatar:** – Pode ser. Aparentemente agora funciona.

**Sem sentido**

**Avatar:** – Basta colocar o Sol se movendo seguindo uma órbita circular centrada na Lua, enquanto o Grande Mar se move em uma órbita circular centrada no Sol e o acompanha ao redor do Grande Mar. – E o avatar monta o modelo Selenocêntrico 4 sobre a Caixa 2 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Morena:** – Uhm. Mas, pelo que estou vendo, essa configuração não é capaz de explicar os eclipses da Lua!  
**Avatar:** – Uhm... É verdade...  
**Morena:** – Posso dar uma sugestão?  
**Avatar:** – Claro!  
**Morena:** – Por que você não coloca o Grande Mar e o Sol se movendo em órbitas circulares centradas na Lua, com o Grande Mar descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio? – E Morena monta o modelo Selenocêntrico 2 sobre a Caixa 1 e começa a movê-lo girando a manivela.  
**Avatar:** – Pode ser. Aparentemente agora funciona.

**Morena:** – Enfim, temos quatro configurações que explicam os dois tipos de eclipse! Agora é saber qual delas é realmente a correta...  
**Avatar:** – Isso eu não sei...  
**Morena:** – Vamos ver, qual das quatro configurações que vimos também é coerente com a ocorrência das estações do ano?

**Perfis 2, 3 e 4**

**Avatar:** – Acho que é a configuração em que o Grande Mar se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada no Grande Mar e o acompanha ao redor do Sol. – Esse é o modelo Helioocêntrico 3.  
**Morena:** – Sim. Mas como ocorrem os invernos e os verões?  
**Avatar:** – Bem, para isso o Grande Mar também tem que girar ao redor de si mesmo e com um eixo de giro inclinado em relação ao Sol. Assim, em uma época do ano um hemisfério recebe mais luz do que outro, e vice-versa...  
**Morena:** – Entendi. Mas, pensando por esse ponto de vista, a configuração em que a Lua e o Sol se movem em órbitas circulares centradas no Grande Mar, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio, — modelo Geocêntrico 1 — também funciona. Basta colocar a órbita do Sol inclinada em relação ao Grande Mar.  
**Avatar:** – Sim, sim.

**Perfis 2 e 3**

**Avatar:** – Acho que é a configuração em que a Lua se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto o Grande Mar se move em uma órbita circular centrada na Lua e a acompanha ao redor do Sol. – Esse é o modelo Helioocêntrico 4.  
**Morena:** – Sim. Mas agora me ocorreu um problema em relação a essa configuração...  
**Avatar:** – Qual?  
**Morena:** – Se essa configuração fosse verdadeira, as fases da Lua deveriam durar 3 meses, a mesma duração das estações do ano, e não apenas 7 dias!  
**Avatar:** – É, não tinha pensado nisso...

**Perfis 1, 2 e 3**

**Avatar:** – Acho que é a configuração em que a Lua e o Sol se movem em órbitas circulares centradas no Grande Mar, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio. – Esse é o modelo Geocêntrico 1.  
**Morena:** – Sim. Mas como ocorrem os invernos e os verões?  
**Avatar:** – Bem, para isso o Grande Mar também tem que girar ao redor de si mesmo e com um eixo de giro inclinado em relação ao Sol. Assim, em uma época do ano um hemisfério recebe mais luz do que outro, e vice-versa...  
**Morena:** – Entendi. Mas, pensando por esse ponto de vista, a configuração em que o Grande Mar se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada no Grande Mar e o acompanha ao redor do Sol, — modelo Helioocêntrico 3 — também funciona. Basta colocar a órbita do Sol inclinada em relação ao Grande Mar.  
**Avatar:** – Sim, sim.

**Perfis 2 e 3**

**Avatar:** – Acho que é a configuração em que o Grande Mar e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Lua, com o Grande Mar descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio. – Esse é o modelo Selenocêntrico 2.  
**Morena:** – Sim. Mas agora me ocorreu um problema em relação a essa configuração...  
**Avatar:** – Qual?  
**Morena:** – Se essa configuração fosse verdadeira, as fases da Lua deveriam durar 3 meses, a mesma duração das estações do ano, e não apenas 7 dias!  
**Avatar:** – É, não tinha pensado nisso...

**Morena:** – Bem, já diminuímos as possibilidades para apenas duas!  
**Avatar:** – Sim, mas qual delas corresponde à realidade?  
**Morena:** – Não faço a menor ideia...  
**Avatar:** – Oxi...  
**Morena:** – Bem, já ajudai bastante, não acha? Não sei de tudo...  
**Avatar:** – Tudo bem... Obrigado pela ajuda!  
**Morena:** – Eu sempre ajudo quando posso...  
**Avatar:** – Eu sei...  
**Morena:** – Bem, eu tenho que ir! Eu queria ter botado a focosa em dia, mas acabamos é trabalhando!  
**Avatar:** – É, atualmente já não tenho mais vida pessoal... Isso sim!  
**Morena:** – É... faz parte! Outro dia passo aqui para fotografarmos. Devo ficar no Rochedo até semana que vem.  
**Avatar:** – Ah, que bom! Você vai assistir minha apresentação, então?  
**Morena:** – Espero que sim, mas vou exigir meu nome no trabalho como colaboradora, chm? – Ela beicna.  
**Avatar:** – É claro que eu coloco!  
**Morena:** – Estou brincando, seu bobo!  
**Avatar:** – Eu sei...  
**Morena:** – Enfim, estou indo. Beijos. Até outro dia.  
**Avatar:** – Beijos, até...  
 E ambos se despedem com um abraço caloroso.

### C.4.2 Fluxograma 11

O debate na sala do trono tem a função de levantar o problema de que os referenciais inerciais não são equivalentes aos referenciais não-inerciais, mas essa é uma discussão sem grande profundidade. Esse debate usa como pano de fundo a oposição entre os modelos Geocêntrico e Heliocêntrico. Avaliação somativa para os *Perfis 3 e 4*.

Após o longo discurso religioso da *Grande-Mar Clara* contra as previsões da bruxa *Ignara*, o rei dá o sinal, alguns ajudantes trazem os dois aparatos de *Plicida*, cada um montado segundo os modelos Geocêntrico 1 (ou simplesmente Geocêntrico) e Heliocêntrico 3 (ou simplesmente Heliocêntrico), e os colocam sobre uma mesa no meio da sala do trono em um ponto visível a todos. O *Avatar* se encaminha para o centro do salão e começa sua apresentação.

**Avatar:** – Vossa Majestade, senhoras e senhores. – Cumprimenta, o *Avatar*. – Gostaria de parabenizar a Grande-Mar por suas eloquentes explicações.

**Clara:** – Obrigada. – Responde, a Grande-Mar.

**Avatar:** – Acredito que suas palavras tocaram profundamente a alma de todos os presentes e dispõem completamente qualquer dúvida sobre a verdadeira vontade dos deuses.

**Público:** – Sim. Uhum. Aham. Sim... – Vários murmúrios.

**Avatar:** – Por isso, eu gostaria de reforçar a ideia de que o fenômeno das “Luas de sangue” não representa uma ameaça, ao contrário da crença popular, mas consiste em um fenômeno banal da Natureza.

**Público:** – Uhm. – Murmúrios uníssonos.

**Avatar:** – Trouxe essas duas caixas montadas, cada uma com três esferas representando o Sol, a Lua e o Grande Mar, para mostrar em que consistem as “Luas de sangue” e porque elas são inofensivas.

**Amado III:** – Interessante... – Fala em voz baixa.

**Avatar:** – Basta girar a manivela de qualquer uma das caixas que as esferas começam a se mover... – O *Avatar* começa a girar a manivela da Caixa 2. – E podemos ver o momento exato em que o Grande Mar passa entre o Sol e a Lua, fazendo com que sua sombra seja projetada sobre ela... – O *Avatar* para de girar a manivela com as esferas nessa configuração.

**Amado III:** – A sombra do Grande Mar? – Interrompe, o rei.

**Avatar:** – Sim, Alteza, é a sombra do Grande Mar que provoca as tais “Luas de sangue”. Ou melhor, e vou usar um nome mais correto, causam os eclipses totais da Lua.

**Amado III:** – Então, a sombra do Grande Mar é avermelhada? Como pode isso?

**Avatar:** – Depois de tantos séculos de observações, em várias partes do mundo e, inclusive, com observações previstas com grande antecedência usando esse modelo de sombra, há fortes indícios de que a sombra do Grande Mar seja, de fato, avermelhada.

**Amado III:** – Entendo...

**Avatar:** – Porém, ainda ninguém chegou a uma conclusão definitiva do porquê isso ocorre.

**Amado III:** – Uhm... E por que você trouxe duas caixas com configurações diferentes para o Sol, a Lua e o Grande Mar?

**Avatar:** – Uma excelente pergunta. Trouxe as duas porque não existe um consenso entre os sábios sobre qual das configurações representa a realidade, mesmo que ambas funcionem e expliquem outros fenômenos naturais, como os eclipses do Sol. – O *Avatar* gira a manivela da Caixa 1 de forma a representar um eclipse solar.

**Amado III:** – Então, o eclipse do Sol acontece quando o Grande Mar passa pela sombra da Lua?

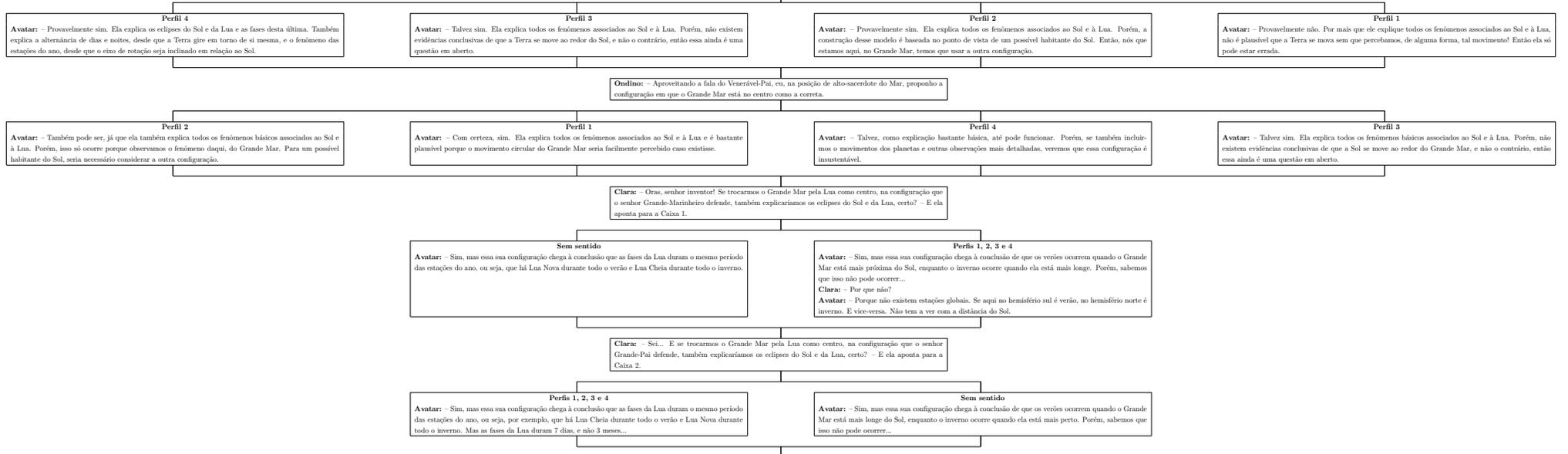
**Avatar:** – Exato! E, o mais interessante, é que a sombra da Lua é totalmente negra, até onde sabemos!

**Amado III:** – Bem, era de se esperar, não? Esse é o comum...

**Domingos:** – Vossa Alteza? Posso me manifestar? – Interrompe humildemente, o Grande-Pai.

**Amado III:** – Claro. Vá em frente.

**Domingos:** – Senhor inventor, proponho que, na minha posição de alto-sacerdote do Sol, a configuração em que o Sol está no centro é a configuração correta. O que me diz?



**Clara:** – Não é possível que a Lua, a mãe dos deuses, seja colocada em uma posição tão periférica! –  
Comenta, revoltada.

**Avatar:** – Senhora Grande-Mãe, perdoe-me, mas não irei entrar nesse mérito religioso. Falo a partir das evidências científicas que possuo e só tenho autoridade para falar sobre elas.

De repente, **Mentor** surge na plateia e, enquanto se escora em **Morana**, pergunta avidamente:

**Mentor:** – Com licença, Vossa Alteza – Acena respeitosamente ao rei e depois se dirige ao **avatar** – E se o Grande Mar estiver em movimento ao redor do Sol, por que não é percebemos os efeitos dessa “curva”?

**Avatar:** – Como assim?

**Mentor:** – Veja, se um carro faz uma curva, é fácil perceber que as coisas dentro dele são lançadas para “fora” da curva. Então, se o Grande Mar também faz uma curva, por que não somos lançados para fora dele?

#### Perfil 1

**Avatar:** – Ah, meu velho mestre, não somos lançados porque o Grande Mar, de fato, está parado. Quem se move é o Sol!

**Mentor:** – Entendo...

#### Perfil 3

**Avatar:** – Ah, meu velho mestre, e quem disse que a curva realizada pelo carro lança os corpos dentro dele para fora da curva? Isso também não ocorre!

**Mentor:** – Meu jovem, disso, devo discordar! Uma curva, principalmente uma curva brusca, arremessa-os, sim!

**Avatar:** – E uma curva suave? – Tenta amenizar, o **avatar**.

**Mentor:** – Afim, uma curva suave pode ser de tal forma que seu efeito se torne quase imperceptível. Mas, mesmo sendo um arremesso muito sutil, pode ser detectado se for feito o experimento adequado.

**Avatar:** – Sim, mas “o como fazer” é uma outra discussão. Podemos pensar nisso em um outro momento.

**Mentor:** – Certo.

#### Perfil 4

**Avatar:** – Ah, meu velho mestre, se não somos lançados é porque deve haver uma força muito maior que nos prende à superfície do Grande Mar!

**Mentor:** – Entendo...

#### Perfil 2

**Avatar:** – Ah, meu velho mestre, esse lançamento devido ao movimento do Grande Mar é tão pequeno que não conseguimos vê-lo ou senti-lo.

**Mentor:** – Por que?

**Avatar:** – Por ser uma curva muito “suave”.

**Mentor:** – Entendo...

Depois de alguns segundos de silêncio, o rei pergunta:

**Amado III:** – Mais alguém tem outra pergunta? Não? Então, gostaria de agradecer ao inventor-mor por suas palavras. – O rei inicia a salva de palmas.

**Avatar:** – Obrigado, obrigado, obrigado... – Agradece repetidamente, o **avatar**, voltando-se primeiro ao rei e depois ao público.

# Apêndice D

## Scripts

### D.1 Sc0Dia1Script

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
using UnityEngine.UI;

public class Sc0Dia1Script : MonoBehaviour {

    public Text dialogueText;
    public Text recordProfileText;
    public Text savedProfile1;
    public Text savedProfile2;
    public Text savedProfile3;
    public Text savedProfile4;

    int profile1 = 0;
    int profile2 = 0;
    int profile3 = 0;
    int profile4 = 0;

    public void Button41 () {
```

```
        profile1 += 1;
        dialogText.text = "Caro amigo, eu diria que isso é impossível,
já que era você que estava se movendo na charrete, enquanto o resto estava
parado...";
        Debug.Log ("Perfil 1 = " + profile1);
    }
```

```
public void Button42 () {
    profile2 += 1;
    dialogText.text = "Caro amigo, eu diria que isso é possível, já
que o movimento depende de quem está olhando. Então, no seu ponto de
vista, você é que estava parado mesmo...";
    Debug.Log ("Perfil 2 = " + profile2);
}
```

```
public void Button43 () {
    profile4 += 1;
    dialogText.text = "Caro amigo, eu diria que isso é possível, já
que o movimento depende do que você toma como referência. Por exemplo,
você podia se considerar parado em relação à charrete...";
    Debug.Log ("Perfil 4 = " + profile4);
}
```

```
public void Button44 () {
    profile3 += 1;
    dialogText.text = "Caro amigo, eu diria que isso é possível, já
que tanto faz se você estava parado ou não. Você não teria como descobrir
quem está realmente se movendo.";
    Debug.Log ("Perfil 3 = " + profile3);
}
```

```
public void Button51 () {
    profile4 += 1;
```

```

        dialogueText.text = "Ué, eu acho que o copo vai estar parado em
relação à mesa, mas em movimento em relação à pessoa...";
        Debug.Log ("Perfil 4 = " + profile4);
    }

    public void Button52 () {
        profile2 += 1;
        dialogueText.text = "Ué, a pessoa normalmente vai ver o copo
em movimento. Mas, se ela estiver correndo exatamente na direção do copo,
ela vai vê-lo parado e aumentando de tamanho, conforme se aproxima!";
        Debug.Log ("Perfil 2 = " + profile2);
    }

    public void Button53 () {
        profile3 += 1;
        dialogueText.text = "Ué, não dá para saber se a pessoa está pa-
rada e o copo em movimento, ou o contrário! Eu acho que em nenhuma das
duas situações a pessoa vai ver qualquer coisa diferente com o copo ou com
a água dentro dele, então não dá para saber...";
        Debug.Log ("Perfil 3 = " + profile3);
    }

    public void Button54 () {
        profile1 += 1;
        dialogueText.text = "Ué, eu acho que o copo vai estar parado e
pronto! A sensação de que ele se move é só uma mera impressão...";
        Debug.Log ("Perfil 1 = " + profile1);
    }

    public void Button61 () {
        profile2 += 1;
        dialogueText.text = "Bom, pelo menos do meu ponto de vista,
você está parado, não?";
    }

```

```

        Debug.Log ("Perfil 2 = " + profile2);
    }

    public void Button62 () {
        profile1 += 1;
        dialogueText.text = "Bom, não é óbvio? Você está parado e isso
não depende de mim!";
        Debug.Log ("Perfil 1 = " + profile1);
    }

    public void Button63 () {
        profile3 += 1;
        dialogueText.text = "Bom, você está parado em relação a cadeira
e se sentiria parado até mesmo se estivesse numa charrete, independente se
ela fizesse uma curva ou se frenasse.";
        Debug.Log ("Perfil 3 = " + profile3);
    }

    public void Button64 () {
        profile4 += 1;
        dialogueText.text = "Bom, você está parado tanto em relação a
mim, quanto em relação à cadeira e à sua casa.";
        Debug.Log ("Perfil 4 = " + profile4);
    }

    public void Button71 () {
        profile1 += 1;
        dialogueText.text = "Como o navio está se movendo, o copo vai
cair na sua direção. Quanto mais rápido se mover o navio, mais próximo de
você ele vai cair.";
        Debug.Log ("Perfil 1 = " + profile1);
    }

```

```
public void Button72 () {  
    profile4 += 1;  
    dialogText.text = "Como o copo se move com o navio, ele vai  
cair perpendicularmente ao chão. Porém, isso só vai acontecer se o navio  
estiver se movendo em linha reta e com velocidade constante.";  
    Debug.Log ("Perfil 4 = " + profile4);  
}
```

```
public void Button73 () {  
    profile2 += 1;  
    dialogText.text = "Da forma que você descreve, do nosso ponto  
de vista, o copo vai cair perpendicularmente ao chão. Já uma outra pessoa  
pode ver outra coisa.";  
    Debug.Log ("Perfil 2 = " + profile2);  
}
```

```
public void Button74 () {  
    profile3 += 1;  
    dialogText.text = "Independente se o navio frenasse ou acele-  
rasse, ou mesmo fizesse curva, o copo vai cair perpendicularmente ao chão.";  
    Debug.Log ("Perfil 3 = " + profile3);  
}
```

```
public void Button81 () {  
    profile4 += 1;  
    dialogText.text = "Depende, meu amigo, em relação às mon-  
tanhas, é o Sol que se move. Em relação a ele mesmo, nós e as montanhas é  
que nos movemos.";  
    Debug.Log ("Perfil 4 = " + profile4);  
}
```

```
public void Button82 () {  
    profile3 += 1;
```

```
        dialogueText.text = "E que diferença isso faz? Se só houvesse o Grande Mar e o Sol nesse Universo, nós nunca saberíamos quem gira ao redor de quem, já que não tem como diferenciar.";
```

```
        Debug.Log ("Perfil 3 = " + profile3);  
    }
```

```
public void Button83 () {  
    profile1 += 1;  
    dialogueText.text = "Ah, meu amigo, as montanhas estão sempre paradas e o Sol sempre se moveu desde que o mundo é o mundo.";
```

```
    Debug.Log ("Perfil 1 = " + profile1);  
}
```

```
public void Button84 () {  
    profile2 += 1;  
    dialogueText.text = "O Sol parece se mover porque estamos olhando para ele daqui do Grande Mar, se o Sol possuísse habitantes, eles é que nos veriam se mexer.";
```

```
    Debug.Log ("Perfil 2 = " + profile2);  
}
```

```
public void ChangeDialogue () {  
    savedProfile1.text = profile1.ToString ();  
    savedProfile2.text = profile2.ToString ();  
    savedProfile3.text = profile3.ToString ();  
    savedProfile4.text = profile4.ToString ();  
}
```

## D.2 AvatarScript

```
using UnityEngine;  
using System.Collections;
```

```

using UnityEngine.UI;

public class AvatarScript : MonoBehaviour {

    public Text recordProfileText;
    public Text savedProfile1;
    public Text savedProfile2;
    public Text savedProfile3;
    public Text savedProfile4;
    public Text fameText;

    int profile1 = 0;
    int profile2 = 0;
    int profile3 = 0;
    int profile4 = 0;
    int fame = 1000;

    public void ProfileResults () {
        profile1 = int.Parse(savedProfile1.text);
        profile2 = int.Parse(savedProfile2.text);
        profile3 = int.Parse(savedProfile3.text);
        profile4 = int.Parse(savedProfile4.text);

        if (profile1 == 0 && profile2 == 0 && profile3 == 0 && profile4
== 0) {recordProfileText.text = "0";}
        else if (profile1 >= profile2 && profile1 >= profile3 && profile1
>= profile4) {recordProfileText.text = "1";}
        else if (profile2 >= profile3 && profile2 >= profile4) {recordProfileText.text
= "2";}
        else if (profile3 >= profile4) {recordProfileText.text = "3";}
        else {recordProfileText.text = "4";}
    }
}

```

```
    public void FameCounter () {fameText.text = fame.ToString ();}
}
```

### D.3 Sc1Dia1Script

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
using UnityEngine.UI;
```

```
public class Sc1Dia1Script : MonoBehaviour {
```

```
    public Text savedProfile1;
    public Text savedProfile2;
    public Text savedProfile3;
    public Text savedProfile4;
    public Text fameText;
```

```
    int b = 0;
    int c = 0;
    int profile1 = 0;
    int profile2 = 0;
    int profile3 = 0;
    int profile4 = 0;
    int fame = 0;
```

```
    void SelectProfile () {
        if (recordProfileText.text == "1") {fame += profile1;}
        else if (recordProfileText.text == "2") {fame += profile2;}
        else if (recordProfileText.text == "3") {fame += profile3;}
        else if (recordProfileText.text == "4") {fame += profile4;}
    }
```

```

public void StartDialogue () {
    fame = int.Parse (fameText.text);
    profile1 = int.Parse (savedProfile1.text);
    profile2 = int.Parse (savedProfile2.text);
    profile3 = int.Parse (savedProfile3.text);
    profile4 = int.Parse (savedProfile4.text);

    if (recordProfileText.text == "1") {
        b = 1;
        c = 1;
    } else {
        b = 101;
        c = 101;
    }
    AvatarSpeech (b);
}

public void ChangeDialogue () {
    if (b == c) {
        LealSpeech (c);
        b += 1;
    }
    else if (b > c) {
        AvatarSpeech (b);
        c += 1;
    }

    if (b == 22 && c == 22) {
        fameText.text = fame.ToString ();
        savedProfile2.text = savedProfile1.text;
    }

    if (b == 128 && c == 128) {

```

```

        fameText.text = fame.ToString ();
        savedProfile1.text = "0";
    }
}

public void Button11 () {
    dialogueText.text = "Esses são indícios de que eles estão invariavelmente parados, já que o movimento pode ser facilmente percebido.";
    SelectProfile ();
    Debug.Log ("Fama = " + fame);
}

public void Button12 () {
    dialogueText.text = "Em princípio, não tem como saber. Seriam necessários vários dias observando as estrelas ou, se tivermos sorte, finalmente chegarmos à terra firme.";
    Debug.Log ("Fama = " + fame);
}

public void Button21 () {
    dialogueText.text = "No "pé" do mastro, como se o navio estivesse parado.";
    Debug.Log ("Fama = " + fame);
}

public void Button22 () {
    dialogueText.text = "Ela cai em direção à parte de trás do barco, uma vez que ele se move para frente.";
    SelectProfile ();
    Debug.Log ("Fama = " + fame);
}

public void Button23 () {

```

```

        dialogueText.text = "Ela cai em direção à parte da frente do navio, pois ela é impulsionada por seu movimento.";
        fame -= 1;
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    public void Button31 () {
        dialogueText.text = "Se o senhor simplesmente soltar o peso, ele vai cair mais atrás de seus pés.";
        SelectProfile ();
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    public void Button32 () {
        dialogueText.text = "Se o senhor simplesmente soltar o peso, ele vai cair mais a frente de seus pés.";
        fame -= 1;
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    public void Button33 () {
        dialogueText.text = "Se simplesmente soltar o peso enquanto anda, ele vai cair junto a seus pés como se o senhor estivesse parado.";
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    public void Button41 () {
        dialogueText.text = "Essa é realmente uma excelente pergunta! É claro que a bala de canhão continuará caindo em direção à parte de trás do navio.";
        fame -= 1;
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }
}

```

```
public void Button42 () {  
    dialogueText.text = “Essa é realmente uma excelente pergunta!  
É claro que a bala de canhão continuará caindo ao “pé” do mastro.”;  
    Debug.Log (“Fama = ” + fame);  
}
```

```
public void Button43 () {  
    dialogueText.text = “Essa é realmente uma excelente pergunta! É  
claro que a bala de canhão cairá na direção oposta ao movimento do barco.”;  
    SelectProfile ();  
    Debug.Log (“Fama = ” + fame);  
}
```

```
public void Button51 () {  
    dialogueText.text = “Esses são indícios de que eles estão invariavelmente parados, já que o movimento pode ser facilmente percebido.”;  
    Debug.Log (“Fama = ” + fame);  
}
```

```
public void Button52 () {  
    dialogueText.text = “Em princípio, não tem como saber. Seriam necessários vários dias observando as estrelas ou, se tivermos sorte, finalmente chegarmos à terra firme.”;  
    SelectProfile ();  
    Debug.Log (“Fama = ” + fame);  
}
```

```
public void Button61 () {  
    dialogueText.text = “No “pé” do mastro, como se o navio estivesse parado.”;  
    SelectProfile ();  
    Debug.Log (“Fama = ” + fame);  
}
```

```

    }

    public void Button62 () {
        dialogueText.text = "Ela cai em direção à parte de trás do barco,
uma vez que ele se move para frente.";
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    public void Button63 () {
        dialogueText.text = "Ela cai em direção à parte da frente do na-
vio, pois ela é impulsionada por seu movimento.";
        fame -= 1;
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    public void Button71 () {dialogueText.text = "Se o senhor simples-
mente soltar o peso, ele vai cair mais atrás de seus pés.";}

    public void Button72 () {
        dialogueText.text = "Se o senhor simplesmente soltar o peso, ele
vai cair mais a frente de seus pés.";
        fame -= 1;
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    public void Button73 () {
        dialogueText.text = "Se simplesmente soltar o peso enquanto
anda, ele vai cair junto a seus pés como se o senhor estivesse parado.";
        SelectProfile ();
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    public void Button81 () {

```

```

        dialogueText.text = "É claro que a bala de canhão continuará
caindo em direção à parte de trás do navio.";
        fame -= 1;
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    public void Button82 () {
        dialogueText.text = "É claro que a bala de canhão continuará
caindo ao "pé" do mastro.";
        SelectProfile ();
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    public void Button83 () {
        dialogueText.text = "A bala de canhão cairá na direção oposta
ao movimento do barco?";
        Debug.Log ("Fama = " + fame);
    }

    void AvatarSpeech (int b) {
        if (b == 1) dialogueText.text = "Senhor conselheiro?";
// etc.
        if (b == 21) dialogueText.text = "O que é isso? Disponha. Pas-
sar bem.";
        if (b == 101) dialogueText.text = "Senhor conselheiro?";
// etc.
        if (b == 127) dialogueText.text = "Passar bem.";
    }

    void LealSpeech (int c) {
        if (c == 1) dialogueText.text = "Pois não?";
// etc.
        if (c == 21) dialogueText.text = "Passar bem.";
    }

```

```
        if (c == 101) dialogueText.text = "Pois não?";  
// etc.  
        if (c == 127) dialogueText.text = "Passar bem."  
    }  
}
```

# Apêndice E

## O Grande Inventor (Manual do Professor)

**O Grande Inventor** é um jogo didático para *Windows* e *OS X* com a finalidade de servir como pré-instrução para os conceitos fundamentais da Relatividade do Movimento Clássica e pode ser obtido gratuitamente em <http://www.if.ufrj.br/~otavio/game/>. Os requisitos mínimo do sistema para executar o *software* são:

**Sistema Operacional:** Windows 7 64x ou superior. OS X 10.11 El Capitan ou superior.

**Processador:** Intel/AMD 1.1 GHz (se tiver *turbo boost*) ou superior.

**Memória Ram:** 4 GB ou superior (recomenda-se acima de 8 GB).

**Placa de Vídeo:** Intel HD Graphics 5300, ou compatível ou superior.

**Espaço em Disco:** 5 GB.

Esse jogo é constituído de quatro cenas, sendo que a primeira é introdutória e as demais abordam respectivamente os seguintes motivadores para o desenvolvimento da ciência:

- A aplicação técnica para fins econômicos, que é um forte fator para que a iniciativa privada e o poder público invistam na pesquisa científica.

- A aplicação técnica para fins bélicos, que é um fator estratégico para esse investimento, principalmente do poder público.
- A pesquisa pura com a finalidade em si mesma, baseada no esforço e na curiosidade inerente a cada cientista para compreender o funcionamento do Universo.

A trama se desenrola em um mundo fictício, onde se localiza o *Reino de Lindomar*. Nesse reino de fantasia, o personagem principal, ou *avatar*, ocupa o cargo de *Inventor-mor*, que é uma espécie de conselheiro científico do rei *Amado III Vela-Negra*, “o carismático”. Apesar do contexto sócio-político-econômico do jogo conspirar para o objetivo proposto de ensino de relatividade do movimento, a narrativa do jogo é inspirada em situações históricas reais e sua natureza é regida pelas mesmas leis que a natureza do mundo real. Assim, *Lindomar* é um reino situado no hemisfério sul de um mundo, chamado de *Grande Mar*, com geografia própria, em um período histórico inspirado principalmente na Renascença. Mais ainda, esse mundo fictício substitui a Terra em sua localização no Sistema Solar, possuindo, portanto, as mesmas características astronômicas do nosso planeta.

Ao final da atividade, o professor poderá solicitar ao estudante que lhe envie o arquivo de registro de “campanha” situado na subpasta *Campaign-Log*. Esse arquivo contém uma descrição detalhada das respostas dadas pelo aluno durante as avaliações feitas pelo jogo, além de outras informações relevantes, e se encontram no arquivo *avatar\_name\_log.txt*. Reunidas tais informações, cabe ao docente escolher a melhor maneira de efetuar a instrução formal em sala de aula.

Abaixo, segue uma descrição mais aprofundada sobre o enredo, sobre as avaliações e sobre suas possibilidades de resposta.

## E.1 Cena 0

A Cena 0 do jogo é uma introdução a esse mundo fictício e serve como um breve tutorial, contando um pouco da história do reino, sua economia e

sua cultura, inclusive a religião. Nessa cena o jogador-aluno escolhe o nome de seu *avatar* e dá características ao personagem, que ficam registrados em sua *Ficha* e são usadas como parâmetros durante o jogo.

O reino de *Lindomar*, como mostra a Figura E.1, surgiu como uma colônia de um povo comerciante e de poder descentralizado, os *caboclos*, que se espalharam ao longo de séculos ao redor do agitado e tempestuoso *Mar das Tormentas*. O nome do reino, por sinal, advém das atípicas águas tranquilas do *Golfo Azul*, uma região cercada por uma cordilheira vulcânica, as *Montanhas Estrondosas*, e ligada ao *Mar das Tormentas* pelo *Estreito Raso*, este com cerca de 10 km de uma margem à outra.



Figura E.1: Mapa do *Reino de Lindomar* e suas principais cidades.

Por uma questão de defesa, os *caboclos* escolheram uma ilha não muito longe da costa para fundar sua colônia, formada por um vulcão extinto. A cidade fundada ali foi chamada de a *Cidade do Rochedo*, ou simplesmente o *Rochedo*. Com o passar dos séculos, a colônia prosperou e se espalhou por todo o *Golfo Azul*, transformando *Rochedo* em sua capital.

A riqueza gerada pelo comércio local fortaleceu o poder dos chefes da colônia, que passaram a se autoproclamar reis de *Lindomar*. O primeiro rei

foi *Coral I*, “o pioneiro”, conhecido pelas singulares velas negras de seu navio. Seus descendentes mantiveram o hábito e o transformaram em tradição, sendo conhecidos, assim, pelo sobrenome de *Vela-Negra*.

Apesar de ter se tornado um reino, a sociedade de *Lindomar* não é muito segmentada, mesmo que o comércio tenha tornado alguns mais ricos que outros. De modo geral, pela grande prosperidade da região, até os mais pobres conseguem um padrão confortável de vida. Além de ser um grande entreposto comercial, o reino também é conhecido pela extração de minerais e pedras preciosas e pela criação de gado.

A religiosidade é forte entre os *caboclos*, mas a religião é “horizontal”, ou seja, sem uma centralização do poder religioso. Dos deuses de seu panteão, os mais venerados são o deus *Sol*, a deusa *Lua* e o deus *Mar*. O primeiro é considerado o pai de todos os deuses e está associado ao tempo, pois é a partir de seu movimento que são calibrados os relógios e é feito o calendário. A segunda é considerada a mãe dos deuses e está associada à dança do mundo, pois os *caboclos* já sabiam que é ela quem principalmente rege as marés. Já o terceiro é o próprio mundo, é o *Grande Mar*, enquanto que a terra e o ar foram criados por ele para testar muitos de seus filhos. Assim, os ritos fúnebres dos *caboclos* incluem o rito de “*Retorno ao Mar*”, sendo o sepultamento em terra visto como a maior punição que uma pessoa pode receber.

Os sacerdotes solares são chamados de *Pais*, e seu líder atual é o *Venerável-Pai Domingos de Alvorada*. As sacerdotisas lunares são chamadas de *Mães* e sua líder atual é a *Venerável-Mãe Clara de Pedra Branca*. Finalmente, os sacerdotes do *Mar* são chamados de *Marinheiros*, e seu líder atual é o *Venerável-Marinheiro Ondino de Canoas*.

O jogo começa no ano de 932, contados a partir da fundação da *Cidade do Rochedo*, com o *avatar* de férias no norte do reino, quando é surpreendido por uma carta. Nela, nosso personagem é chamado pelo rei às pressas à capital, mas sem que o motivo seja previamente revelado.

Nesse ponto, o jogador tem a opção de visitar seu velho mestre, *Mentor das Leis*, o “três vezes sábio”, antes ou depois de se encontrar com o monarca. Esse diálogo serve como primeira avaliação formal, de caráter diagnóstico, e

é baseado no questionário abaixo.

### Questionário 1

**Situação 1.** Uma pessoa se move com sua carroça em um trecho reto, sem declives e sem muitas irregularidades no chão de uma estrada de terra, quando passa por um conhecido que está parado e em pé à margem dessa estrada. É correto afirmar que:

- (a) É óbvio que essa pessoa está sempre em movimento e seu conhecido está sempre parado.
- (b) Depende do ponto de vista, pois a pessoa se sente parada, enquanto vê seu conhecido em movimento.
- (c) A pessoa está parada em relação à carroça, por exemplo, mas em movimento em relação ao chão.
- (d) Tanto faz quem está em movimento, já que nunca é possível distinguir se algo se movimenta ou não.

**Situação 2.** Em uma casa, um copo com água repousa sobre a mesa. É correto afirmar que:

- (a) O copo só está em repouso em relação à mesa, por exemplo, ou em relação à própria casa.
- (b) Dependendo de quem olha (uma pessoa passando correndo ao lado dele, por exemplo), o copo pode parecer em movimento.
- (c) Se o copo está parado ou não, isso nunca vai chacoalhar a água dentro dele.
- (d) O copo está sempre parado, independente de quem olha para ele ou de qualquer outra coisa.

**Situação 3.** Em uma casa, uma pessoa está sentado em uma cadeira conversando com uma outra. É correto afirmar que:

- (a) A primeira pessoa está parada como um todo apenas aos olhos da segunda, mesmo que seus braços se mexam, que esteja respirando, que seu coração esteja batendo, etc.
- (b) A primeira pessoa está parada como um todo, independente se seus braços se mexem, se está respirando, se seu coração está batendo, etc.
- (c) Perguntar se a primeira pessoa está parada como um todo é irrelevante, pois ela não sentiria se estivesse em movimento.
- (d) A primeira pessoa está parada como um todo em relação à cadeira, por exemplo, independente se seus braços se mexem, se está respirando, se seu coração está batendo, etc.

**Situação 4.** Duas pessoas estão no castelo de popa de um navio que navega em linha reta, com velocidade constante e em águas muito calmas. Um copo d'água sobre a mesa é alçado por uma das pessoas e, logo em seguida, abandonado de uma determinada altura, caindo finalmente sobre o piso de madeira. É correto afirmar que:

- (a) Como o navio se move para “frente”, o copo cai mais para “atrás” de sua posição inicial.
- (b) Como o copo se move junto com o navio, ele cai perpendicularmente ao piso.
- (c) As pessoas veem a queda do copo de modo perpendicular ao piso, uma vez que se movem para “frente” junto com ele.
- (d) A queda do copo deve ser descrita matematicamente de maneira similar, independente se o navio muda seu movimento e passa a acelerar, a freiar ou a fazer curva.

**Situação 5.** Uma pessoa observa o pôr do sol por uma janela de uma casa. É correto afirmar:

- (a) As montanhas que ela vê no horizonte podem ser consideradas paradas, enquanto o Sol pode ser considerado em movimento dependendo do que se toma como referência.
- (b) Não importa se é o Sol que se move ou é o nosso mundo, pois seria impossível perceber quem se move ao redor de quem.
- (c) Nosso mundo está invariavelmente parado e é o Sol que se move ao seu redor.
- (d) O Sol parece se mover porque a pessoa o está mirando daqui do nosso mundo. E é só “impressão” dela.

## E.2 Cena 1

A Cena 1 é a cena principal do jogo, já que tem por objetivo mostrar que o movimento e o repouso são estados dos corpos, e não características intrínsecas a eles. Essa cena tem como pano de fundo um tema de Ciência aplicada para fins econômicos, pois a motivação é decidir se um navio comercial está em movimento ou em repouso em alto mar. A cena pretende mostrar ao jogador-aluno:

- Que o movimento e o repouso não são características absolutas dos corpos.
- Que, na ausência de pontos de referência, não é possível saber se o barco está em movimento retilíneo e uniforme ou em repouso.

Após séculos de navegações, os *caboclos* descobriram que as correntes marítimas que fluem na superfície do oceano funcionam como a correnteza de um rio, levando os navios de um ponto a outro sem grande esforço. Também descobriram que o *Mar das Tormentas* é atravessado por uma grande corrente de águas quentes, que normalmente é superficial, que poderia ser usada para a navegação de *Lindomar* até o *Império dos Cinco*, a mais poderosa civilização conhecida na atualidade.

Infelizmente, a descoberta dessa corrente quente ocorreu da forma mais penosa possível, a partir de relatos de marinheiros que, após o naufrágio de suas embarcações e de dias à deriva agarrados aos destroços, chegaram milagrosamente à costa do *Império dos Cinco*.

No entanto, encontrá-la não é tarefa muito fácil. Por passar a uma distância considerável da costa e as condições climáticas do mar não serem muito favoráveis, seu uso é quase inviável economicamente. Perder-se em alto mar é praticamente uma sentença de morte e de perda de mercadorias, então é mais seguro fazer um caminho para o Sul, margeando o litoral, mesmo que o trajeto seja muitíssimo mais longo e demorado, além de ser muito mais oneroso financeiramente. A Figura E.2 mostra a rota de comércio entre *Lindomar* e o *Império dos Cinco*.



Figura E.2: A rota de comércio entre *Lindomar* e a *Cidade do Leste*, capital do *Império dos Cinco*.

Dessa forma, preocupado em melhorar a eficiência do comércio marítimo de *Lindomar*, principal fonte de renda do reino, o rei *Amado III* pediu ao *Navegante-mor Leal de Cantão*, o conselheiro real responsável pelas finanças, que tentasse encontrar com segurança a tal corrente. Como *Leal* argumentou

que essa era uma tarefa além de seus conhecimentos técnicos, o monarca, então, decidiu chamar o *Inventor-mor* de volta de suas férias para ajudar na tarefa.

Ao chegar perante o rei, o monarca ordena ao *avatar* que procure *Leal* para debater o problema da navegação no *Mar das Tormentas*, a descoberta da corrente quente que se move em direção ao *Império dos Cinco*, a importância de seu uso para a navegação e como ela poderia ser usada para aumentar os lucros do comércio marítimo.

Se, em um primeira ramificação da cena, o jogador-aluno acreditar que o movimento e o repouso são características inerentes aos corpos, assim como Aristóteles propunha a existência de movimentos naturais e violentos, os eventos do jogo se desenrolam da seguinte maneira: o *avatar* deixa o *Conselho da Navegação*, onde trabalha *Leal*, e vai para seu gabinete no *Conselho de Invenções*, onde deve fazer uma pesquisa em sua biblioteca pessoal para propor como encontrar a corrente. Essa pesquisa sobre um método para saber se um navio está em movimento em alto mar e para onde é este movimento não é trivial, principalmente se a embarcação está à deriva. Nesse caso, com as velas recolhidas, com a quilha sem “cortar a água” e com água até onde a vista alcança é muito difícil saber se o navio está em movimento ou não.<sup>1,2</sup>

Como a biblioteca pessoal do *avatar* não possui informação suficiente para ajudar na solução do problema, ele decide ir à *Biblioteca Real* para buscar livros especializados, que têm a função, inclusive, de explicar os termos náuticos específicos. Lá, descobre que os principais métodos usados pelos marinheiros para medir o movimento dos navios são a contagem dos nós de uma corda tensionada e a determinação da posição das estrelas, o que permite medir a latitude em que se encontra o navio, noite após noite. Essa pesquisa tem a função de avaliação formativa.

Nesta avaliação, o *avatar* não é punido por uma escolha inicial incorreta, já que que cogitar não é publicar, mas faz com que o personagem ganhe um emblema. Se o jogador-aluno insistir muito no método da contagem de nós

---

<sup>1</sup>A quilha de um navio veleiro é considerada a “espinha dorsal” do casco e é onde se pregam as tábuas da carena (parte submersa do casco) e do costado (parte emersa).

<sup>2</sup>O termo “cortar a água” é usado para descrever o efeito da passagem da quilha pela água, enquanto a embarcação navega.

na corda, o *avatar* ganha o emblema de “o contador de nós”. Já se ele insistir muito no método da latitude e longitude, ganha o emblema de “o cartógrafo”.

Já, em uma segunda ramificação da cena, se o jogador-aluno comece esta cena com algum conhecimento de movimento e repouso relativos, a ordem dos eventos do jogo se altera. Neste caso, o *game* leva o jogador-aluno a pesquisar em sua biblioteca pessoal sobre a construção de termômetros, mas sem muita profundidade, para medir a variação da temperatura do *Mar das Tormentas* e encontrar, assim, a famigerada corrente quente. Sem grandes avanços, o *Inventor-mor* manda uma carta a *Leal* marcando um encontro para debaterem o assunto.

Essa pesquisa tem a função de avaliação formativa seguindo o mesmo esquema da ramificação anterior. No entanto, se o jogador-aluno se der por satisfeito com a ideia dos termômetros, ele ganha o emblema de “o termólogo”, caso contrário, ganha o emblema de “o pesquisador I”.

Em ambas as ramificações, ele encontra nessa pesquisa os trabalhos de uma das mais famosas sábias mestres do reino, *Graça da Hora*, que propõem que uma bola de ferro (uma bala de canhão, por exemplo) solta do cesto de gávea<sup>3</sup> de um navio, que navega no sentido a qual aponta sua proa,<sup>4</sup> tende a cair no sentido da popa.<sup>5</sup> Segundo ela, quanto mais rápido for esse movimento, mais distante da enora<sup>6</sup> do mastro de gávea no sentido da popa vai cair essa bola. No geral, a conclusão de *Graça* é que o corpo sempre é visto cair em sentido oposto ao movimento do barco.

Com isso, o *avatar* manda uma carta a *Leal* marcando um encontro para maiores explicações. Esses diálogos, um para cada ramificação da cena, servem como segunda avaliação formal, dessa vez de caráter somativo, e são inspirados no questionário abaixo.

## Questionário 2

---

<sup>3</sup>Cesto de gávea é cesto de observação situado no mastro mais alto do navio, o mastro de gávea.

<sup>4</sup>Proa é parte frontal de uma embarcação

<sup>5</sup>Popa é a parte traseira de uma embarcação

<sup>6</sup>Enora é a abertura no convés por onde passa o mastro.

**Situação 1.** Em alto mar, um navio está à deriva. As velas estão recolhidas, a quilha não “corta a água” e só existe água até onde a vista alcança.<sup>7,8</sup> Nessas condições, como os marinheiros sabem que estão parados ou sendo levados por uma corrente marítima?

- (a) Eles estão invariavelmente parados, já que o movimento pode ser facilmente percebido.
- (b) Em princípio, não tem como saber. Seriam necessários vários dias observando a posição das estrelas ou, se tiverem sorte, finalmente avistarem terra.

**Situação 2.** Se uma pessoa abandonar um corpo enquanto anda em linha reta e com rapidez constante, é correto afirmar que:

- (a) O corpo vai cair lado a lado como se ela estivesse parada.
- (b) O corpo vai ficar para “trás” enquanto ela prossegue seu movimento.
- (c) O corpo vai ser lançado para “frente”.

**Situação 3.** Um marinheiro abandona uma bola de ferro (um projétil de artilharia, por exemplo) do cesto de gávea de um navio que navega para “frente”, com velocidade constante e em linha reta. Nessas condições, é correto afirmar que:

- (a) Ela vai cair no sentido da popa desse navio.
- (b) Ela vai cair no sentido da proa desse navio.
- (c) Ela sempre vai cair próximo à enora do mastro como se o navio estivesse parado.

**Situação 4.** E se, agora, o navio estiver sendo arrastado por uma corrente marítima em uma direção desconhecida, para onde vai cair a bola de ferro?

---

<sup>7</sup>A quilha de um navio veleiro é considerada a “espinha dorsal” do casco e é onde se pregam as tábuas da carena (parte submersa do casco) e do costado (parte emersa).

<sup>8</sup>O termo “cortar a água” é usado para descrever o efeito da passagem da quilha pela água, enquanto a embarcação navega.

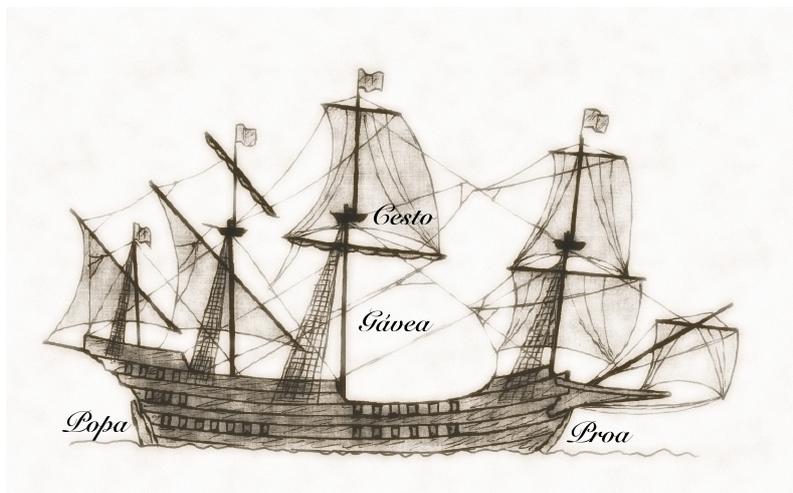


Figura E.3: Um veleiro e alguns de seus elementos mais básicos.

- (a) Ela vai continuar se movendo no sentido da popa.
- (b) Ela vai continuar caindo próximo à enora do mastro.
- (c) Ela vai se mover no sentido oposto ao movimento do navio.

\* \* \*

Voltando à primeira ramificação da cena, após o encontro, o *Navegante-mor*, satisfeito com a explicação intuitiva do *Inventor-mor* e baseando-se na autoridade intelectual da falecida *Graça*, ordena uma expedição em busca da famigerada corrente.

Passadas algumas semanas, a expedição retorna em desalento ao *Rochedo*. Não só o método proposto pelo *avatar* não funcionou, como a corrente não foi encontrada e a expedição foi pega por uma tempestade, perdendo um de seus cinco navios e matando dezenas de marinheiros.

Em vista do ocorrido, o *Inventor-mor* decide verificar experimentalmente se a proposta de *Graça* realmente não funciona ou se os marinheiros da expedição erraram em algo e, por isso, não encontraram a corrente. Desse modo, o *avatar* e *Leal* vão juntos ao maior rio do reino, o *Rio Grande*, para testar o procedimento em segurança em sua correnteza.

Esse experimento consiste em uma embarcação simples a remo, com um único mastro, que é arrastada pela correnteza praticamente constante do caudaloso rio. O movimento do barco pode ser atestado imediatamente pela observação da margem, o que é uma vantagem em relação ao experimento feito em alto mar, pois o uso de estrelas como referência não é uma tarefa fácil ou rápida. Também, há patamares a diferentes alturas no mastro, permitindo abandonar corpos com tempos de queda diferentes.

O resultado desse experimento é que o procedimento proposto por *Graça* não funciona e que a bola de ferro solta do topo do mastro vai cair sempre junto à sua enora, o que é contraintuitivo. Com isso, o *avatar* é levado a contestar a ideia de movimento e repouso absolutos, já que o resultado leva à conclusão de que a queda do objeto se comporta como se o barco estivesse parado.

Já na segunda ramificação, o *avatar* responde que o método provavelmente não vai funcionar e tenta fazer uma argumentação contrária, mas sem sucesso. Após o encontro, *Leal* ordena apressadamente uma expedição em busca da famigerada corrente. Enquanto essa expedição se desenrola, o *avatar* resolve oferecer provas contundentes de seus argumentos. Desse modo, ele convida *Leal* para uma demonstração experimental, usando a correnteza do *Rio Grande*, do porquê a hipótese proposta pela senhora *Graça* não funciona.

O experimento que se segue é similar ao já descrito no caso anterior, mas agora o *avatar* terá que explicar para o *Navegante-mor* que a bola de ferro caindo do topo do mastro irá se comportar como se o barco estivesse parado e que, sem um ponto de referência, não seria possível saber se o barco estaria em repouso ou em movimento.

Pouco depois do experimento do *Rio Grande* demonstrar que a tal proposta não é válida, a expedição enviada por *Leal* retorna em desalento ao *Rochedo*. A corrente não só não foi encontrada, como já era de se esperar, como a expedição foi pega por uma tempestade, perdendo um de seus 5 navios.

Em ambas as ramificações da cena, esse segundo diálogo com *Leal* serve como terceira avaliação formal, de caráter somativo, e é baseada no questionário abaixo.

### Questionário 3

**Situação 1.** Um marinheiro abandona uma bola de ferro (um projétil de artilharia, por exemplo) do topo de um dos mastros de um navio que navega para “frente”, com velocidade constante e em linha reta. Nessas condições, é correto afirmar que:

- (a) Ela vai cair no sentido da popa desse navio.
- (b) Ela vai cair próximo à enora do mastro como se o navio estivesse parado.

**Situação 2.** O que acontece se o navio estiver se movendo com velocidade maior que na situação anterior?

- (a) A bola vai continuar caindo próximo à enora do mastro como se o navio estivesse parado.
- (b) A bola vai cair mais longe da enora do mastro, no sentido da popa do navio.

**Situação 3.** Agora, e se aumentarmos a altura do mastro?

- (a) A bola vai cair mais longe da enora do mastro, no sentido da popa do navio.
- (b) A bola vai continuar caindo próximo à enora do mastro como se o navio estivesse parado.

**Situação 4.** Nas três situações anteriores, é possível afirmar que a bola de ferro cai se mantendo lado a lado com o mastro do navio, mesmo depois de perder o contato (direto ou indireto) com ele?

- (a) Não.
- (b) Sim.

**Situação 5.** Por que os corpos não permanecem normalmente em movimento por muito tempo?

- (a) Por causa do atrito, que os frena.
- (b) Porque a tendência deles é sempre permanecer parados.

**Situação 6.** O movimento pode ser considerado um estado, ou seja, uma característica transitória que depende do que se toma por referência ou é uma característica intrínseca, ou seja, há corpos que devem estar em repouso e corpos que devem estar em movimento por que é da natureza deles?

- (a) É um estado. Assim, o que faz um corpo em movimento parar em relação à mesma coisa que se toma por referência é o atrito.
- (b) É uma característica inerente. É natural que algo que deve estar parado permaneça parado e algo que deve se mover permaneça se movendo.

**Situação 7.** Voltando ao exemplo da bola em queda livre que também se move para “frente” junto com o navio, podemos dizer que é como se estivessem imersos em uma mesma “correnteza invisível” que os carrega lado a lado?

- (a) Não.
- (b) Sim.

\* \* \*

Também em ambas as ramificações da cena, *Leal* sugere no diálogo final com a *avatar* que existe uma espécie de “correnteza invisível”, que está além da própria correnteza do rio e que arrasta não só o navio, como também a bola de ferro que cai do topo do mastro.

Por fim, de volta ao *Rochedo*, *Leal* leva pessoalmente a notícia ao rei de que ainda não foi possível encontrar satisfatoriamente a corrente marítima e justifica o que ocorreu com a expedição.

## E.3 Cena 2

Esta cena também tem como pano de fundo um tema de ciência aplicada, mas dessa vez com um viés militar, pois será estudada a composição de movimento no lançamento de projéteis. Seu objetivo é:

- Diferenciar os conceitos de observador e referencial;
- Mostrar ao jogador-aluno, se necessário, que o movimento e o repouso são relativos especificamente ao referencial.

É um dado do jogo que existem muitos casos de pirataria ao longo da movimentada rota de comércio que liga *Lindomar* ao *Império dos Cinco*, passando pelas ilhas do sul. Porém, a notícia de que tais piratas estão usando colubrinas e meia-colubrinas<sup>9</sup> embarcados para atacar navios mercantes enquanto navegavam emparelhados deixou todos espantados.

A *Marinha Real* já vinha introduzindo peças de artilharia em seus navios de guerra nos últimos 15 anos e sua eficácia foi testada com sucesso na *Batalha do Forte Branco*, em 921, que marcou oficialmente o fim da Guerra dos 10 anos. Nessa guerra, a aliança formada por *Lindomar* e pelo *Império dos Cinco* combateu o *Reino de Ilha Grande*, que tentou taxar pesadamente os navios que cruzassem suas águas.

Apesar de contar com o apoio do poderoso exército do *Império dos Cinco*, a aliança estava tendo dificuldades em vencer as defesas da capital de *Ilha Grande*, *Porto Real*, principalmente por causa do *Forte Branco*, que ficava a algumas centenas de metros do porto. Graças ao fortíssimo bombardeio naval da *Marinha Real de Lindomar*, que estava ancorada em frente à cidade, é que a fortaleza finalmente ruiu, permitindo o avanço do exército imperial.

Assim, o uso de colubrinas e meia-colubrinas embarcadas só tinha sido testado, até então, para barcos parados com alvo fixo, o que era totalmente diferente da abordagem usada pelos piratas. Esse fato deixou o rei *Amado*

---

<sup>9</sup>Colubrinas e meia-colubrinas são peças de artilharia, comumente de uso naval, de calibres menores que os canhões e meio-canhões.

III preocupado, fazendo-o ordenar ao *Almirante-chefe Altivo de Estridente*, comandante da *Marinha Real*, que testasse a nova técnica e a dominasse.

Para o *avatar*, que havia demonstrado que um objeto solto ou lançado dentro de um navio se moveria como se este estivesse parado, a notícia da nova técnica usada pelos piratas não foi surpresa. Por isso, o *Inventor-mor* resolve visitar o *Almirante-chefe* com o intuito de ajudar.

Ao chegar ao gabinete do militar, desenrola-se um diálogo entre ambos. *Altivo* defende a ideia de que emparelhar os navios para disparar as meio-colubrinhas não é eficiente, pois o navio inimigo se deslocaria para frente, fazendo que parte dos “tiros diretos” acertasse sua popa e a outra parte acertasse a água.<sup>10</sup> Mais ainda, para acertar em cheio o veleiro oponente, o navio deveria virar a bombordo ou estibordo na hora do tiro de forma a apontar sua artilharia para uma posição à frente do inimigo. Esse desvio deveria ser maior quanto maior fosse a distância do oponente, o que tornaria a navegação quase impraticável.

O objetivo desse diálogo é tentar convencer o almirante de que os navios podem disparar mutuamente enquanto navegam lado a lado, sem ter que fazer desvios na hora do tiro ou sem a necessidade de qualquer outra artimanha para mirar as peças de artilharia. Como *Altivo* é um homem muito sagaz, ele entende os argumentos do *avatar* baseados no experimento feito no *Rio Grande* e o ocorrido na Cena 1, mas, por boa prudência, gostaria de ver uma demonstração real para ter certeza.

Em uma primeira ramificação da cena, caso o jogador-aluno não tenha formulado o conceito de referencial e interprete a relatividade do movimento como uma mera questão de perspectiva, o *avatar* argumenta que quem está em ambos os navios vê o projétil se mover como se a peça de artilharia estivesse parada e o alvo estivesse fixo, mas esse fenômeno depende exclusivamente do observador.

Em uma segunda ramificação, caso o jogador-aluno seja realmente consciente do conceito de referencial, o *avatar* dá a explicação mais correta a *Altivo*

---

<sup>10</sup> “Tiro direto” ou “tiro tenso” é o nome dado a um disparo cuja trajetória é aproximadamente reta. As peças de artilharia, ou simplesmente peças, são caracterizadas por efetuarem esse tipo de disparo.

no diálogo.

Em ambos os casos, esse primeiro diálogo com *Altivo* serve como quarta avaliação formal, de caráter somativo e baseado no questionário abaixo.

#### Questionário 4

**Situação 1.** Se uma peça de artilharia der um “tiro direto” de um navio contra uma embarcação inimiga que está se movendo lado a lado com ele, o projétil vai acertar o alvo?

- (a) Provavelmente não, pois o alvo se move para frente. O projétil vai passar atrás do navio inimigo ou, no máximo, acertar sua popa.
- (b) Provavelmente sim, pois os navios estão como se estivessem parados lado a lado.
- (c) Provavelmente não, pois o navio dá um impulso extra ao projétil que, por isso, vai passar a frente do navio inimigo.

**Situação 2.** Como seria possível, no exemplo anterior, o projétil acertar o navio inimigo, caso acerte?

- (a) É possível por uma questão de perspectiva. Do ponto de vista de quem está em qualquer um dos navios, é como se eles estivessem parados lado a lado.
- (b) É possível porque o navio artilheiro, o projétil e o navio inimigo se movem juntos para “frente”. É como se eles estivessem sendo arrastados uniformemente por uma mesma “correnteza”.

**Situação 3.** No caso de uma peça de artilharia que dispara de um navio em movimento contra um alvo fixo. Quando é preciso disparar para acertar o alvo?

- (a) Pela lógica, a peça deve disparar um pouco antes de ficar lado a lado o barco com o alvo.

- (b) Pela lógica, a peça deve disparar no momento exato em que o navio fica lado a lado com o alvo.
- (c) Pela lógica, a peça deve disparar imediatamente após o navio ficar lado a lado com o alvo.

**Situação 4.** No exemplo anterior, por que o projétil só vai acertar o alvo fixo se for disparado antes do navio ficar lado a lado com ele?

- (a) Nesse caso, apenas o navio e o projétil se movem juntos para “frente”, mesmo que este último tenha um movimento adicional para o lado. Assim, como o projétil se move simultaneamente para “frente” e para o “lado” ele precisa ser disparado antes do navio e do alvo ficarem lado a lado.
- (b) Essa é uma questão simples de perspectiva. Por exemplo, quem está dentro do navio o vê parado e vê o alvo em movimento para trás. Nesse ponto de vista, é necessário disparar antes que o alvo fique lado a lado com o barco para que dê tempo do projétil chegar até ele.

\* \* \*

Como *Altivo* é um homem pragmático, o *avatar* sugere então que façam testes de tiro reais para provar sua hipótese e ambos combinam como seria essa simulação militar. Passados alguns dias, o *Inventor-mor* acompanha o almirante em um dos navios artilheiros, que tem, em um primeiro momento, por objetivo acertar um alvo que se move lado a lado consigo. Já em um segundo momento, tem por objetivo acertar um alvo fixo enquanto navega.

O resultado é que, no primeiro momento, os tiros atingem integralmente o alvo móvel. Já no segundo momento, os “tiros diretos” efetuados pelo navio no instante que ficam lado a lado com o alvo sempre atingem um ponto pouco a frente desse alvo, como era esperado pelo *avatar*.

Durante a demonstração, desenrola-se outro diálogo entre o *avatar* e *Altivo*, em que o *Almirante-chefe* pergunta ao inventor, enquanto os testes de tiro são realizados, se os disparos acertam os alvos em situações variadas,

como quando as distâncias de tiro aumentam ou quando as velocidades dos navios ficam maiores.

Na primeira ramificação da cena, o personagem principal reitera sua explicação sobre o movimento e o repouso depender do observador. Nesse diálogo, o almirante comenta sobre a proposição de que o movimento dos barcos e dos projéteis é como se estivessem imersos em uma mesma “correnteza imaginária”, como havia sugerido *Leal* na cena anterior, e que a prefere em detrimento da simples ideia de perspectiva.

Na segunda ramificação da cena, o *avatar* é quem propõe ao *Almirante-chefe* que o movimento dos barcos e dos projéteis é como se estivessem imersos em uma mesma “correnteza imaginária”, surpreendendo *Altivo*. Note que, nesta ramificação, espera-se uma desenvoltura maior nas respostas do *avatar*, principalmente referente aos elementos fundamentais no estudo do lançamento de projéteis, como, por exemplo, o alcance do tiro e a “velocidade de boca” do projétil.<sup>11</sup>

Em ambas as ramificações, esse segundo diálogo com o almirante serve como quinta avaliação formal, de caráter somativo, e é inspirado no questionário abaixo.

### Questionário 5

**Situação 1.** Se uma peça de artilharia disparar de um navio contra uma embarcação inimiga que está se movendo lado a lado com ele, como seria possível o projétil acertar o navio inimigo?

- (a) É possível porque o navio artilheiro, o projétil e o navio inimigo se movem juntos para frente. É como se eles estivessem sendo arrastados uniformemente por uma mesma “correnteza”.
- (b) É possível, desde que os artilheiros virem as peças de artilharia um pouco mais para frente, mirando na posição provável do navio inimigo alguns instantes após o tiro.

---

<sup>11</sup>Velocidade de boca é a velocidade de um projétil imediatamente após abandonar o cano da peça de artilharia.

- (c) É possível por uma questão de perspectiva. Do ponto de vista de quem está em qualquer um dos navios, é como se eles estivessem parados lado a lado.

**Situação 2.** Em relação ao exemplo anterior, isso ocorre até mesmo se aumentarmos a distância de tiro?

- (a) Sim, o projétil sempre atinge o alvo, independente da distância.
- (b) Não, conforme a distância aumenta, fica mais difícil para os artilheiros mirarem no navio inimigo.
- (c) Não, conforme a distância aumenta, maior tem que ser a “velocidade de boca” do projétil.<sup>12</sup>

**Situação 3.** Também em relação ao exemplo anterior, isso ocorre até mesmo se aumentarmos a velocidade dos navios?

- (a) Não, conforme a velocidade aumenta, maior o atrito entre o projétil e ar, que pode ser considerado “parado” em relação ao *Mar*. Isso, é claro, em um dia sem vento.
- (b) Não, conforme a velocidade aumenta, o vento aumenta. Mesmo em um dia sem vento, o movimento do navio faz surgir vento, que é facilmente sentido pela tripulação, e este vai desviar o projétil.
- (c) Sim, isso sempre vai acontecer.

**Situação 4.** No caso de uma peça de artilharia que dispara de um navio em movimento contra um alvo fixo, por que o projétil só vai acertar o alvo fixo se for disparado antes do navio ficar lado a lado com ele?

- (a) Essa é uma questão simples de perspectiva. Por exemplo, quem está dentro do navio o vê parado e vê o alvo em movimento para “trás”. Nesse ponto de vista, é necessário disparar antes que o alvo fique lado a lado com o barco para que dê tempo para o projétil chegar a ele.

---

<sup>12</sup>Velocidade de boca é a velocidade de um projétil imediatamente após abandonar o cano da peça de artilharia.

- (b) Nesse caso, apenas o navio e o projétil se movem juntos para “frente”, mesmo que este tenha um movimento adicional para o lado. Assim, como o projétil se move simultaneamente para frente e para o lado ele precisa ser disparado antes do navio e do alvo ficarem lado a lado.
- (c) Normalmente, deve-se disparar os projéteis quando o navio artilheiro e o alvo estiverem lado a lado. Se disparar antes ou depois disso, provavelmente não vai acertar.

**Situação 5.** Em relação ao exemplo anterior, isso ocorre até mesmo se aumentarmos a distância de tiro?

- (a) Sim, isso vai acontecer. Porém, do ponto de vista de um marinheiro dentro do navio, o projétil terá que ser lançado mais tempo antes do navio ficar lado a lado com o alvo.
- (b) Não, o projétil tem que ser disparado no momento exato em que o navio e o alvo estiverem lado a lado.
- (c) Sim, isso vai acontecer. Porém, como o projétil vai se mover para “frente” com o navio, ela tem que ser lançada mais tempo antes do navio ficar lado a lado com o alvo.

**Situação 6.** Também em relação ao exemplo anterior, isso ocorre até mesmo se aumentarmos a velocidade do navio artilheiro?

- (a) Sim, isso vai acontecer. Porém, como o projétil vai se mover para frente com o navio, ela tem que ser lançada mais tempo antes do navio ficar lado a lado com o alvo.
- (b) Não, o projétil tem que ser disparado no momento exato em que o navio e o alvo estiverem lado a lado.
- (c) Sim, isso vai acontecer. Porém, do nosso ponto de vista, o projétil terá que ser lançado mais tempo antes do navio ficar lado a lado com o alvo.

\* \* \*

Concluídos os trabalhos e de volta à casa, o *avatar* ainda pensa sobre a ideia de uma “correnteza imaginária” e se lembra da conversa que teve com *Mentor* logo após o retorno de suas férias. Nosso personagem, então, resolve visitar seu velho mestre e, curioso, inicia um novo diálogo que, entre outras coisas, retoma as perguntas feitas na Cena 0. É nesse novo diálogo:

- que a ideia de “correnteza imaginária” é formalizada e ganha o nome de referencial,
- que a preguiça dos corpos, ou inércia, também passa a incluir o movimento retilíneo e uniforme e
- que o movimento e o repouso são estados dos corpos e não intrínsecos a eles.

Nesse diálogo, *Mentor* comenta pela primeira vez sobre movimentos diferentes do retilíneo e uniforme, define o que são referenciais inerciais e chega à conclusão da equivalência entre eles. Esse diálogo serve como sexta avaliação formal, de caráter formativo, e é baseado no questionário abaixo.

### Questionário 6

**Situação 1.** Em uma casa, um copo com água repousa sobre a mesa. Se uma pessoa passar correndo pela janela da casa enquanto observa o copo, é correto afirmar que o copo está em movimento apenas por ser observado pela pessoa, pois, caso contrário, estaria absolutamente parado?

- (a) Sim, o movimento só é relativo por uma questão de ponto de vista. É quase uma ilusão de ótica.
- (b) Não, a relatividade do movimento não tem a ver apenas com o ponto de vista. Seria melhor relacioná-la à descrição formal, ou matemática, do fenômeno.

**Situação 2.** Se estivermos presos em um ambiente hermeticamente fechado (uma caixa bem grande, por exemplo), é possível descobrir se esse ambiente está em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme?

- (a) Sim, pois qualquer movimento pode ser sempre percebido.
- (b) Não, pois o repouso e o movimento retilíneo e uniforme são equivalentes.
- (c) Sim, basta tentar observar o ambiente exterior.

**Situação 3.** No exemplo anterior, como é possível perceber se o ambiente se move ou não?

- (a) Só é possível de perceber se, de repente, o ambiente começar a frear, acelerar ou a fazer uma curva.
- (b) A única maneira de perceber é tentando observar o ambiente exterior.
- (c) Não é difícil de perceber, já que qualquer movimento pode ser sentido pelo tato.

\* \* \*

Esse diálogo tem o objetivo de construir formalmente a ideia de referencial e oferece ao *avatar* alguns emblemas. Assim, caso o jogador-aluno escolha respostas que demonstrem um aparente avanço rumo à concepção de Relatividade Padrão, isso em comparação com o primeiro encontro com *Mentor* na Cena 0, o personagem ganha o emblema de “**o quebrador de paradigmas**”. Caso não haja uma grande mudança no padrão das respostas, o *avatar* ganha o emblema de “**o resoluto**”. Finalmente, se o jogador-aluno apresentar respostas que demonstrem um avanço rumo à concepção de Referencial Privilegiado, o personagem ganha o emblema de “**o tradicionalista**”.

## E.4 Cena 3

Dando prosseguimento ao jogo, a Cena 3 aborda um tema de ciência pura, baseada simplesmente na curiosidade e no temor do ser humano frente à Natureza. Ela tem por objetivo verificar a habilidade do jogador-aluno em selecionar e propor soluções baseadas em argumentos que lhe são disponíveis, ou seja, sua capacidade investigativa e de ser coerente. Também, esta cena

tenta mostrar para o jogador-aluno, caso seja necessário, que a relativização do movimento não deve ser feita de qualquer maneira, ou seja, que alguns referenciais (os referenciais inerciais) são mais privilegiados que outros (os referenciais não-inerciais), pelo menos na Relatividade de Galilei-Newton.

Essa cena começa com a convocação do *avatar* ao palácio real, onde o rei o espera alarmado. Ao encontrar-se com o monarca, este comenta que recebeu uma ameaça da famosa bruxa *Ignara*, enquanto fazia sua revista rotineira pelas ruas da cidade. Ela contou, em tom nefasto, que sonhara com o fim de seu reinado nas próximas semanas, pois a ira dos deuses se abaterá sobre ele. Como sinal de sua ira, a deusa *Lua* se cobrirá do sangue dos ímpios e somente ela, a bruxa, poderá livrá-lo de seu terrível destino.

Perturbado, o rei ordena ao *Inventor-mor* que descubra se a visão da bruxa tem algum fundamento. Assim, cabe ao *avatar* mostrar que o fenômeno da Lua de sangue, ou o eclipse total da Lua, é algo natural, que ocorre periodicamente e não é um evento sobrenatural, como propôs a bruxa. O monarca também pede explicações sobre o fenômeno para a *Venerável-Mãe Clara*.

Baseando seu argumento nos trabalhos de um dos mais sábios mestres do reino, *Plácido de Alvorada*, o *avatar* propõe que a formação da Lua de sangue é um tipo de eclipse da Lua, que ocorre quando este astro passa totalmente pela sombra do *Grande Mar*. Para testar essa hipótese, o *avatar* deve construir um aparato que simule o movimento relativo do Sol, da Lua e do *Grande Mar* e deve mostrá-lo, publicamente, ao rei e a toda corte.

A escolha pelos trabalhos de *Plácido* é uma situação chave do jogo, pois outras alternativas de explicação são oferecidas ao jogador-aluno: a teoria do *Grande Mar* oco e a teoria do *Grande Mar* plano. A primeira consiste em considerar que nosso mundo é uma esfera oca e que habitamos o seu interior. Já a segunda consiste em considerar nosso mundo como um plano. Vale ressaltar que esse processo de escolha também é avaliado, enquadrando-se como avaliação formativa. Desse modo, se o *avatar* rechaçar as teorias alternativas de imediato, sem qualquer interesse em saber mais sobre elas, é-lhe atribuído o emblema de “**o impaciente**”. Se ele decidir saber mais sobre os argumentos destas teorias, é-lhe atribuído o emblema de “**o pesquisador**”.

II”. Finalmente, se resolver aprofundar-se nelas, é-lhe atribuído o emblema de “o pseudo-cientista”.

Os aparatos propostos por *Plácido*, como mostra a Figura E.4 e que devem ser encomendados prontos em uma manufatura localizada na região portuária da *Cidade do Rochedo*, consistem em duas caixas de madeira com um sistema mecânico interno, cujo mecanismo é irrelevante e não precisa ser revelado, movido a manivela. O sistema mecânico move três suportes que emergem da parte superior de cada caixa, onde serão encaixados o Sol, a Lua e o *Grande Mar*.

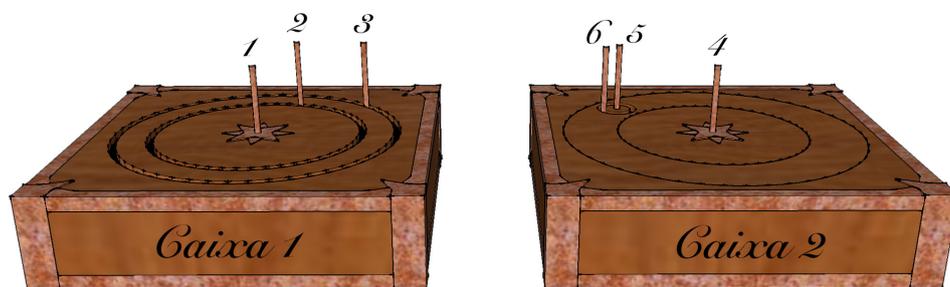


Figura E.4: Esboço dos aparatos de Plácido. A primeira caixa tem o suporte 1 fixo, o qual ocupa o centro das circunferências descritas pelo movimento dos outros dois suportes. A segunda caixa tem o suporte 4 fixo, o qual ocupa o centro do anel que carrega o suporte 5, que por sua vez é o centro da circunferência descrita pelo movimento do suporte 6.

Faltando poucos dias para a apresentação, em uma visita, a melhor amiga do *avatar* e também ex-discípula de *Mentor*, *Morena Auxiliadora*, sugere a ele que se preocupe em também demonstrar o eclipse do Sol no mesmo aparato experimental, o que o *avatar* atende prontamente. Eles também discutem quais das configurações para o Sol, a Lua e o *Grande Mar* seriam mais corretas. Esse diálogo tem a função de sétima avaliação formal, de caráter formativo, e é inspirado no questionário abaixo.

### Questionário 7

**Situação 1.** Como ocorrem os eclipses da Lua?

- (a) Os eclipses lunares ocorrem quando a Lua passa pela sombra da Terra.

(b) Os eclipses lunares ocorrem quando a Terra passa pela sombra da Lua.

**Situação 2.** Como ocorrem os eclipses do Sol?

(a) Os eclipses solares ocorrem quando a Lua passa pela sombra da Terra.

(b) Os eclipses solares ocorrem quando a Terra passa pela sombra da Lua.

**Situação 3.** Se considerarmos o Sol parado e a Terra e a Lua em movimento, a configuração a seguir que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua é:

(a) A Lua e a Terra se movem em órbitas circulares centradas no Sol, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e a Terra a de maior raio.

(b) A Lua e a Terra se movem em órbitas circulares centradas no Sol, com a Terra descrevendo a circunferência de menor raio e a Lua a de maior raio.

(c) A Terra se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada na Terra e a acompanha ao redor do Sol.

(d) A Lua se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Terra se move em uma órbita circular centrada na Lua e a acompanha ao redor do Sol.

**Situação 4.** Se considerarmos a Terra parada e o Sol e a Lua em movimento, a configuração a seguir que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua é:

(a) A Lua e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Terra, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio.

(b) A Lua e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Terra, com o Sol descrevendo a circunferência de menor raio e a Lua a de maior raio.

(c) O Sol se move seguindo uma órbita circular centrada na Terra, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada no Sol e o acompanha ao redor da Terra.

- (d) A Lua se move seguindo uma órbita circular centrada na Terra, enquanto o Sol se move em uma órbita circular centrada na Lua e a acompanha ao redor da Terra.

**Situação 5.** Se considerarmos a Lua parada e o Sol e a Terra em movimento, a configuração a seguir que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua é:

- (a) A Terra e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Lua, com o Sol descrevendo a circunferência de menor raio e a Terra a de maior raio.
- (b) A Terra e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Lua, com a Terra descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio.
- (c) A Terra se move seguindo uma órbita circular centrada na Lua, enquanto o Sol se move em uma órbita circular centrada na Terra e a acompanha ao redor da Lua.
- (d) O Sol se move seguindo uma órbita circular centrada na Lua, enquanto a Terra se move em uma órbita circular centrada no Sol e o acompanha ao redor da Terra.

**Situação 6.** Qual configuração a seguir que melhor explica os eclipses do Sol e da Lua e que é coerente com a ocorrência das estações do ano?

- (a) A Terra se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Lua se move em uma órbita circular centrada na Terra e a acompanha ao redor do Sol.
- (b) A Lua se move seguindo uma órbita circular centrada no Sol, enquanto a Terra se move em uma órbita circular centrada na Lua e a acompanha ao redor do Sol.
- (c) A Lua e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Terra, com a Lua descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio.

- (d) A Terra e o Sol se movem em órbitas circulares centradas na Lua, com a Terra descrevendo a circunferência de menor raio e o Sol a de maior raio.

\* \* \*

Note que somente quatro modelos efetivamente explicam os eclipses do Sol e da Lua, ou seja, as quatro configurações mostradas na situação 6 da sétima avaliação, mesmo que os itens (b) e (d) tenham problemas em explicar outros fenômenos naturais.

É um erro comum para os alunos, principalmente no Ensino Fundamental, considerar que o verão significa que o nosso planeta está mais próximo do Sol do que no inverno, e isso fica evidente nos modelos dos itens (b) e (d) da situação 6. Também, além de ignorarem o fato de que não existem verões e invernos globais, esses modelos implicam que o eclipse lunar deve necessariamente ocorrer no auge do verão, enquanto o eclipse solar deve ocorrer no auge do inverno, o que não corresponde à realidade. Se isso não bastasse, esses modelos também erram por resultar em fases da lua com duração igual às estações do ano.

Assim, a participação de *Morena* leva o *avatar* a selecionar para o debate apenas os modelos Heliocêntrico (item (a) da situação 6) e Geocêntrico (item (c) da situação 6), bem como a questionar sobre os efeitos do movimento do *Grande Mar* no nosso ambiente, caso ele ocorra.

Chegado o momento da demonstração pública, o *avatar* leva os dois aparatos montados segundo os modelos Heliocêntrico e Geocêntrico e os apresenta a todos da corte e ao rei, gerando uma forte reação do público. Entre os presentes, o *Grande-Pai* argumenta que o Sol deveria estar no centro do Firmamento. Já a *Grande-Mãe* afirma que a Lua é quem deveria estar em seu centro. Por fim, o *Primeiro-Marinheiro* afirma que é o *Grande Mar* que ocupa tal lugar.

Em meio a fervoroso debate, o rei exige do *avatar* explicações sobre os motivos que o levaram a montar aquele aparato e qual dos astros está realmente no centro do sistema de três corpos. Assim, em um debate com o rei e

outros personagens, todos eles conhecidos, o *avatar* deve defender o modelo que acredita baseado nos conteúdos abordados pelo jogo.

Vale lembrar, nesse ponto, que a proposta de Copérnico, no século XVI, do modelo Heliocêntrico se baseou num conhecimento profundo do movimento dos corpos celestes, não só do Sol e da Lua, e que a demonstração dos efeitos das forças inerciais de rotação da Terra só foi realizada por Foucault na segunda metade do século XIX. Tais conhecimentos técnicos são muito complexos para serem desenvolvidos de forma satisfatória nesse jogo, logo, por uma questão de coerência, é exigido como argumento do *avatar* apenas o que esse jogo pode oferecer.

O debate na sala do trono funciona como uma oitava avaliação, de caráter somativo, e é inspirada no questionário abaixo.

### Questionário 8

**Situação 1.** O modelo abaixo, chamado de Modelo Heliocêntrico, pode ser considerado relativamente bom para explicar os eclipses da Lua e do Sol, além de outros fenômenos associados a esses astros?

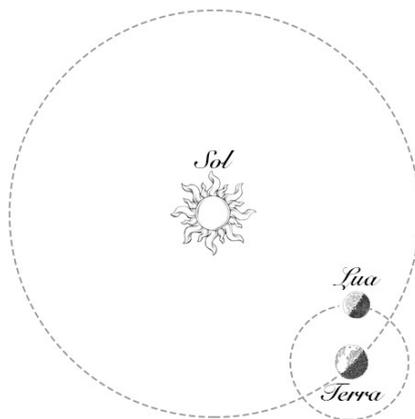


Figura E.5: Modelo Heliocêntrico.

- (a) Sim. Ele explica os eclipses do Sol e da Lua e as fases desta última. Também explica a alternância de dias e noites, desde que a Terra gire

em torno de si mesma, e o fenômeno das estações do ano, desde que o eixo de rotação seja inclinado em relação ao Sol.

- (b) Sim. Ele explica todos os fenômenos associados ao Sol e à Lua. Porém, não devem existir evidências conclusivas de que a Terra se move ao redor do Sol, e não o contrário, então essa ainda é uma questão em aberto.
- (c) Sim. Ele explica todos os fenômenos associados ao Sol e à Lua. Porém, a construção desse modelo é baseada no ponto de vista de um observador situado no Sol. Então, para um observador situado na Terra, seria necessário idealizar um outro modelo.
- (d) Não. Por mais que ele explique todos os fenômenos associados ao Sol e à Lua, não é plausível que a Terra se mova sem que percebamos, de alguma forma, tal movimento! Então ele só pode estar errado.

**Situação 2.** O modelo abaixo, chamado de Modelo Geocêntrico, pode ser considerado relativamente bom para explicar os eclipses da Lua e do Sol, além de outros fenômenos associados a esses astros?

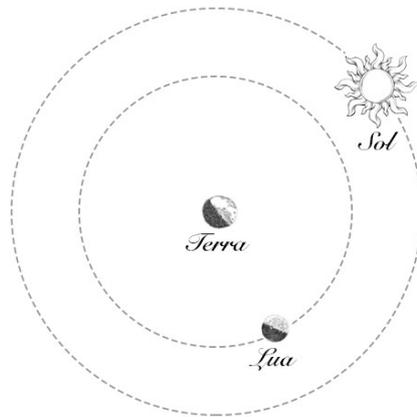


Figura E.6: Modelo Geocêntrico.

- (a) Sim. Ele explica todos os fenômenos básicos associados ao Sol e à Lua. Porém, a construção desse modelo é baseada no ponto de vista de um

observador situado na Terra. Então, para um observador situado no Sol, seria necessário idealizar um outro modelo.

- (b) Sim. Ele explica todos os fenômenos associados ao Sol e à Lua e é bastante plausível porque o movimento circular da Terra seria facilmente percebido caso existisse.
- (c) Sim, como explicação bastante básica até pode funcionar. Porém, se também incluirmos o movimentos dos planetas e outras observações mais detalhadas, veremos que esse modelo é insustentável.
- (d) Sim. Ele explica todos os fenômenos básicos associados ao Sol e à Lua. Porém, não devem existir evidências conclusivas de que a Sol se move ao redor da Terra, e não o contrário, então essa ainda é uma questão em aberto.

**Situação 3.** Apesar de explicar o fenômeno dos eclipses solares e lunares, por que o modelo abaixo não pode ser considerado um modelo consistente para o movimento relativo entre o Sol, a Lua e a Terra?

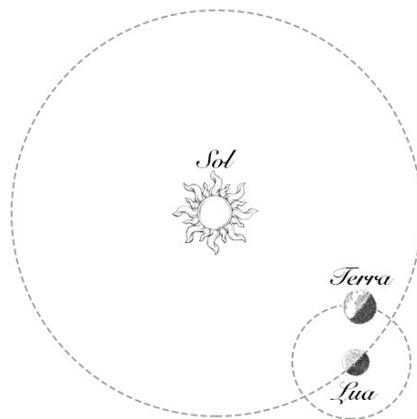


Figura E.7: Modelo Heliocêntrico modificado.

- (a) Porque esse modelo chega à conclusão que as fases da Lua duram o mesmo período das estações do ano, ou seja, que há Lua Nova durante todo o verão e Lua Cheia durante todo o inverno.

- (b) Porque esse modelo chega à conclusão de que os verões ocorrem quando a Terra está mais próxima do Sol, enquanto o inverno ocorre quando ela está mais longe.

**Situação 4.** Apesar de explicar o fenômeno dos eclipses solares e lunares, por que o modelo abaixo não pode ser considerado um modelo consistente para o movimento relativo entre o Sol, a Lua e a Terra?

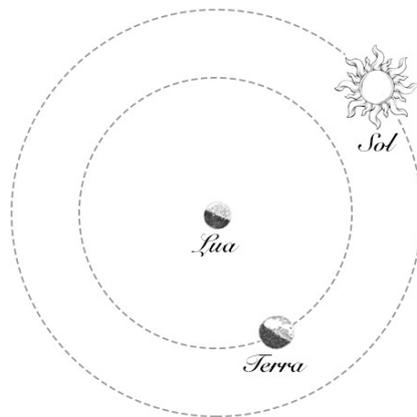


Figura E.8: Modelo Selenocêntrico.

- (a) Porque esse modelo chega à conclusão que as fases da Lua duram o mesmo período das estações do ano, ou seja, que há Lua Cheia durante todo o verão e Lua Nova durante todo o inverno.
- (b) Porque esse modelo chega à conclusão de que os verões ocorrem quando a Terra está mais longe do Sol, enquanto o inverno ocorre quando ela está mais perto.

**Situação 5.** Se a Terra estiver em movimento ao redor do Sol, por que não somos lançados para “fora” da curva da mesma maneira que somos lançados quando estamos em um carro fazendo uma curva em uma estrada?

- (a) Não somos lançados porque a Terra, de fato, está parada. Quem se move é o Sol!

- (b) E quem disse que somos lançados para “fora” da curva quando o carro faz a curva? Isso também não ocorre!
- (c) Se não somos lançados é porque deve haver uma força muito maior que nos prende à superfície da Terra!
- (d) O efeito do movimento da Terra é tão pequeno que não conseguimos vê-lo ou senti-lo.

\* \* \*

O debate na sala do trono real encerra a Cena 3 e o próprio jogo, sendo finalizada com uma grande salva de palmas do público e do próprio rei à apresentação do *avatar*.

# Referências Bibliográficas

- [1] CUNHA, L. A., “O desenvolvimento meandroso da educação brasileira entre o Estado e o mercado”, *Educação & Sociedade*, **28** (2007), 809-829 (Referência citada na página 1.)
- [2] RIANI, J. L. R.; RIOS, E. L. G., “Background familiar versus perfil escolar do município: qual possui maior impacto no resultado educacional dos alunos brasileiros?”, *Revista Brasileira de Estudos de População*, **25** (2008), 251-269 (Referência citada na página 2.)
- [3] PRENSKY, M., *Digital Game-based Learning*, (New York: McGraw-Hill, 2001) (Referência citada na página 2.)
- [4] BISHOP, J. L.; VERLEGER, M. A., “The Flipped Classroom: A Survey of the Research”, in: *120th ASEE Annual Conference & Exposition*, American Society for Engineering Education, 2013 (Referência citada nas páginas 3, 4.)
- [5] MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F., “Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, **24** (2002), 77-86 (Referência citada na página 4.)
- [6] RIBEIRO, R. J., *et al.*, “Teorias de aprendizagem em jogos digitais educacionais: um panorama brasileiro”, *Revista Novas Tecnologias na Educação*, **13** (2015), 1-10 (Referência citada nas páginas 5, 58, 59.)
- [7] ARANTES, R. A.; MIRANDA, S. M.; STUDART, N., “Objetos de aprendizagem no ensino de física: usando simulações do PhET”, *Física na Escola*, **11** (2010), 27-31 (Referência citada na página 8.)
- [8] SAVI, R.; ULBRICHT, V. R., “Jogos digitais educacionais: benefícios e desafios”, *Revista Novas Tecnologias na Educação*, **6** (2008), 1-10 (Referência citada na página 8.)
- [9] TAROUÇO, L. M. R. *et al.*, “Jogos educacionais”, *Revista Novas Tecnologias na Educação*, **2** (2004), 1-6 (Referência citada na página 9.)

- [10] STUDART, N., “Simulações, Games e Gamificação no Ensino de Física”, in: *Atas do XXI SNEF - Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Uberlândia: 2015. (Referência citada na página 9.)
- [11] ZOMPERO, A. F.; LABURU, C. E., “Atividades investigativas no ensino de Ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens”, *Ensaio* **13** (2011), 67-80 (Referência citada na página 10.)
- [12] ARAUJO, I. S.; MAZUR, E., “Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física”, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, **30** (2013), 362-384 (Referência citada na página 10.)
- [13] PANSE, S.; RAMADAS, J.; KUMAR, A., “Alternative conceptions in Galilean relativity: frames of reference”, *International Journal of Science Education*, **16** (1994), 63-82 (Referência citada nas páginas 10, 14, 15, 49, 54, 55, 56.)
- [14] RAMADAS, J.; BARVE S.; KUMAR, A., “Alternative conceptions in Galilean relativity: distance, time, energy and laws”, *International Journal of Science Education*, **18** (1996), 463-477 (Referência citada nas páginas 10, 12, 14, 54, 55, 56.)
- [15] RAMADAS, J.; BARVE, S; KUMAR, A., “Alternative conceptions in Galilean relativity: Inertial and non-inertial observers”, *International Journal of Science Education*, **18** (1996), 615-630 (Referência citada nas páginas 10, 13, 14, 15, 54, 55, 56, 93.)
- [16] REZENDE, F.; BARROS, S. S., “Teoria aristotélica, teoria do impetus ou teoria nenhuma: um panorama das dificuldades conceituais de estudantes de Física em mecânica básica”, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, **1** (2001), 43-56 (Referência citada nas páginas 14, 15, 16.)
- [17] MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H.; EL-HANI, C. N., “Bases teóricas e epistemológicas da abordagem dos perfis conceituais”, in: *Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Florianópolis: 2009. (Referência citada nas páginas 16, 56, 59.)
- [18] SÁ, E. F. *et al.*, “As características das atividades investigativas segundo tutores e coordenadores de um curso de especialização em ensino de ciências”, in: *Atas do VI ENPEC - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Florianópolis: 2007. (Referência citada nas páginas xiii, 16, 17.)

- [19] PRENSKY, M., “Digital Natives Digital Immigrants”, in: *PRENSKY, Marc. On the Horizon*. Lincoln: NCB University Press, **9**(5) (2001) (Referência citada na página 18.)
- [20] RIO DE JANEIRO (Estado), “Currículo Mínimo 2012: Física”, *Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro*, 2012. Disponível em: <<http://www.rj.gov.br/web/seeduc/exibeconteudo?article-id=759820>> Acesso em: 29 de set. de 2016. (Referência citada na página 55.)