

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

Polo de Porto Velho - RO

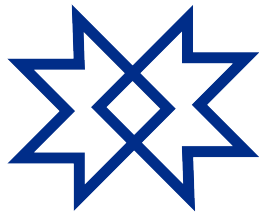


FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE ANIMAÇÕES
NO *SOFTWARE BLENDER 3D*: UMA PROPOSTA
PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE GRAVITAÇÃO

Esleandro Guimarães Leão

Junho de 2020
Porto Velho/RO



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

Polo de Porto Velho - RO



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE ANIMAÇÕES NO *SOFTWARE BLENDER 3D*: UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE GRAVITAÇÃO

Esleandro Guimarães Leão

Dissertação apresentada ao curso Mestrado Nacional em Ensino de Física do Departamento de Física da Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ensino de Física.
Orientador: *Prof. Dr. Ariel Adorno de Sousa*

Junho de 2020
Porto Velho/RO

C.D.D. 520 Leão, Esleandro Guimarães
DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE ANIMAÇÕES NO SOFTWARE BLENDER 3D:
UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE GRAVITAÇÃO.

Esleandro Guimarães Leão,

- Porto Velho: UNIR/MNPEF, 2020.

VII, 115 folhas : il., fig., tab.

Orientador: Ariel Adorno de Sousa

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de

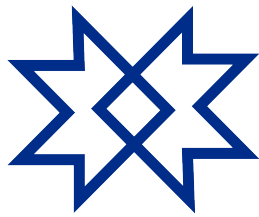
Rondônia / Programa de Pós Graduação em Ensino de Física.

Dep. Física, 2020.

Referências Bibliográficas: f. 105-114

1. Ensino de Física. 2. Blender 3D. 3. Animações tridimensionais.
4. Carga cognitiva

I. Ariel Adorno de Sousa, II. Universidade Federal de Rondônia,
Departamento de Física, Programa de Pós Graduação em Ensino de
Física. III. Animações: Gravitação



MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

Polo de Porto Velho - RO



DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DE ANIMAÇÕES NO SOFTWARE BLENDER 3D: UMA PROPOSTA PEDAGÓGICA PARA O ENSINO DE GRAVITAÇÃO

Esleandro Guimarães Leão

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Rondônia no Curso de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Ariel Adorno de Sousa
(Orientador)

Prof. Dr. Jorge Luis Nepomuceno Lima
(Examinador Interno - UNIR)

Prof. Dr. Esley Scatena Gonçalves
(Examinador Externo - UFSC)

Prof. Dr. Diego Rabelo da Costa
(Examinador Externo - UFC)

Junho de 2020
Porto Velho/RO

*Por isso, Eu vos declaro que o Reino de Deus
será retirado de vós para ser entregue a um
povo que produza frutos dignos do Reino.
Mateus 21:43.*

*A ciência é um empreendimento
conjunto que atravessa gerações.
É o passar de uma tocha do professor
ao aluno, do aluno ao professor.
Cosmos - Carl Sagan.*

Dedicatória

- À Jesus Cristo pela sua benignidade e exemplo de vida ao elevar as possibilidades humanas de amor e compaixão.
- À minha mãe Raquel pelo que fez por mim ao longo de sua vida, permitindo chegar onde cheguei, e ser a pessoa que sou hoje.
- À minha esposa Laís e à minha filha Maria Luiza, pelo indispensável apoio e compreensão nos meus momentos de ausência.

Agradecimentos

- À Deus que está sobre todas as coisas e que é o verdadeiro regente deste universo ainda desconhecido para os humanos.
- Ao meu orientador Prof. Dr. Ariel Adorno de Sousa pela orientação e amizade. Ao senhor, os meus mais sinceros agradecimentos e admiração.
- À direção da Escola E.E.F.M Barão do Solimões por abrir as portas da escola e toda a sua estrutura para que o projeto se concretizasse.
- Ao professor Antônio Ribeiro Ferreira por auxiliar durante as aulas com as turmas.
- Aos estudantes da Escola Barão do Solimões pela participação durante a aplicação do produto educacional.
- Aos pais dos estudantes que permitiram que seus filhos participassem da intervenção educacional.
- À comunidade Blender pela disposição em responder aos questionamentos e solucionar dúvidas, durante o desenvolvimento da ferramenta.
- Ao Omar Ahmad Abd Elfattah Mohamed Emara por suas contribuições extremamente úteis durante o desenvolvimento do produto educacional.
- Ao Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física - PROFIS-MNPEF, pela oportunidade do curso; à Universidade Federal de Rondônia - UNIR e todos os professores que participaram da minha formação de maneira direta e indiretamente; à Sociedade Brasileira de Física - SBF, que busca melhorar o ensino de Física no Brasil.
- O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. - This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

| | |
|---|-------------|
| Agradecimentos | viii |
| Lista de Figuras | xi |
| Resumo | xiii |
| Abstract | xiv |
| INTRODUÇÃO | 14 |
| 1 DOCUMENTOS E NORMATIVAS | 16 |
| 1.1 PNE e BNCC | 16 |
| 1.2 TIC's e o <i>Software</i> Livre | 17 |
| 1.3 <i>Blender 3D</i> | 18 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA (Teoria da Aprendizagem) | 19 |
| 2.1 Pragmatismo de John Dewey | 19 |
| 2.2 Aprendizagem Multimídia de Richard Mayer | 21 |
| 2.2.1 Carga Cognitiva | 22 |
| 2.3 Princípios da Aprendizagem Multimídia | 22 |
| 2.3.1 Princípios de Redução da Carga Estranha | 23 |
| 2.3.2 Princípios de Redução da Carga Intrínseca | 24 |
| 2.3.3 Princípios de Aumento da Carga Pertinente | 25 |
| 2.4 Aprendizagem Significativa de David Ausubel | 26 |
| 2.4.1 Estrutura Cognitiva | 26 |
| 2.4.2 Aprendizagem Significativa | 26 |
| 2.4.3 Condições à Aprendizagem Significativa | 26 |
| 2.4.4 Tipos de Aprendizagem | 27 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.5 | A TCAM e a TAS Suas Correspondências | 27 |
| 3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA (TEORIA FÍSICA) | 29 |
| 3.1 | Teoria da Gravitação de Newton | 29 |
| 3.1.1 | A Lua e a Maçã | 33 |
| 3.1.2 | Gravitação Universal e a Segunda Lei de Kepler | 35 |
| 3.2 | Relatividade Clássica | 37 |
| 3.2.1 | Trasformações de Lorentz | 38 |
| 3.2.2 | Teoria da Relatividade Especial | 41 |
| 3.3 | Teoria da Gravitação de Einstein | 43 |
| 3.3.1 | Tensor de Momento-Energia | 44 |
| 3.3.2 | Massa Gravitacional e Massa Inercial | 46 |
| 3.3.3 | Princípio da Equivalência de Newton | 48 |
| 3.3.4 | Princípio da Equivalência de Einstein | 49 |
| 3.3.5 | Desvio de um Feixe de Luz pelo Sol | 50 |
| 4 | METODOLOGIA | 53 |
| 4.1 | Natureza do Estudo | 53 |
| 4.2 | Delineamento do Estudo | 53 |
| 4.2.1 | Conteúdos da Aula | 54 |
| 4.2.2 | O Público Alvo | 54 |
| 4.2.3 | A Coleta de dados | 54 |
| 4.2.4 | Pré-teste | 54 |
| 4.2.5 | Análise dos Dados | 55 |
| 4.2.6 | Descrição do Produto Educacional | 55 |
| 4.2.7 | Planejamento Pedagógico | 56 |
| 4.2.8 | Método de Ensino | 56 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 57 |
| 5.1 | Análise dos Instrumentos de Avaliação | 57 |
| 5.1.1 | Análise Qualitativa do Pré-teste | 57 |
| 5.2 | Aplicação do Produto Educacional | 63 |
| 5.2.1 | Análise do Pós-teste | 65 |
| 5.2.2 | Pesquisa de Qualidade | 66 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS | 68 |
| | Referências Bibliográficas | 70 |
| | Apêndice A - Produto Educacional | 75 |

Lista de Figuras

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Esquema adaptado da TCAM (MAYER, 2014, p. 61). | 21 |
| 2.2 | Esquema da Estrutura Cognitiva e Aprendizagens. | 27 |
| 2.3 | Relação entre TCAM e TAS. | 28 |
| 3.1 | Potencial Gravitacional gerado por uma casca esférica. | 31 |
| 3.2 | Cascas esféricas ilustrando os equipotenciais gravitacionais. | 32 |
| 3.3 | Órbita da Lua. | 33 |
| 3.4 | Movimento da Lua. | 34 |
| 3.5 | Representação gráfica da mudança de referencial galileano. | 37 |
| 3.6 | Trem de Einstein. | 41 |
| 3.7 | Experimento mental de Einstein da trajetória de um feixe de luz dentro do trem. | 42 |
| 3.8 | Campo escalar e campo vetorial. | 46 |
| 3.9 | Espaço-tempo na perspectiva de Einstein. | 47 |
| 3.10 | Atração gravitacional na perspectiva de Isaac Newton em termos vetoriais com a origem do sistema fora do eixo de coordenadas. | 48 |
| 3.11 | a) corpo sobre o efeito do campo gravitacional com aceleração no sentido negativo do eixo z. b) corpo acelerado no sentido positivo do eixo z. | 49 |
| 3.12 | Propagação da frente de ondas na ausência e na presença de um campo gravitacional. | 51 |
| 4.1 | Geolocalização da Escola Estadual Barão de Solimões, situada na Rua José Bonifácio, 351, Caiari, Porto Velho - RO. [41] | 55 |
| 5.1 | Resposta do Estudante A. | 58 |
| 5.2 | Resposta do Estudante B para a 6ª questão. | 59 |
| 5.3 | Conceitos do Estudante C. | 59 |
| 5.4 | Conceitos do Estudante D. | 60 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5.5 | Resposta do Estudante E para a questão 9. | 60 |
| 5.6 | Percentual das alternativas marcadas pelos alunos pós-teste | 65 |
| 5.7 | Conceitos do Estudante F. | 67 |
| 5.8 | Conceitos do Estudante G. | 67 |
| 5.9 | Conceitos do Estudante H. | 67 |

Resumo

O presente trabalho destinou-se ao desenvolvimento de animações através do *software Blender 3D* e sua utilização durante as aulas da disciplina de Física. O desenvolvimento das animações partiu de uma investigação das concepções alternativas dos estudantes do 1º ano do ensino médio, referente ao conhecimento da Gravitação Universal de Newton, cujo o tópico da Física é um dos princípios da astronomia moderna mais fundamental. Além da elaboração das animações, o trabalho propôs criar um roteiro de aplicação como unidade de ensino, baseado na aprendizagem multimídia de Mayer, fornecendo uma interface de interação visual e dinâmica entre o aluno e os conceitos abstratos como campo gravitacional, potencial gravitacional e força gravitacional, permitindo auxiliar o professor de Física nas aulas. Tendo em vista a necessidade de atualização do currículo da disciplina de Física e a insuficiente disponibilidade de aulas semanais, também abordou-se conceitos da Teoria da Relatividade Geral de Einstein ligados à Gravitação. E, como o título indica, este trabalho também forneceu o roteiro para o desenvolvimento das animações produzidas no *Blender 3D*, permitindo que professores e alunos interessados na produção de animações, mas que não possuem conhecimento em algoritmos, as desenvolvam usando programação visual. Durante a aplicação do produto educacional ocorreu dos estudantes externarem maior interesse nos conceitos abordados em sala de aula, demonstrado através de seus questionamentos e confirmado posteriormente na pesquisa de qualidade. Além de promover maior participação durante as aulas de Física, as animações permitiram que os alunos tivessem acesso à diferentes modelos físico teóricos construídos ao longo da história da ciência. Diante dos resultados, o uso das animações sinalizou como um subsidio as aulas de Física.

Palavras-chave: Ensino de Física, Produção de Animações, aprendizagem significativa, carga cognitiva, Gravitação Newtoniana e Einsteiniana.

Abstract

The present work was aimed at the development of animations using the Blender 3D software and used the animations during physics classes. The development of the animations started from an investigation of the alternative conceptions of the students of the 1st year of high school, referring to the knowledge of Newton's Universal Gravitation, whose topic of Physics is one of the main principles of modern astronomy. In addition to the elaboration of animations, the work proposed to create an application script as a teaching unit, based on Mayer's multimedia learning, providing an interface of visual and dynamic interaction between the student and abstract concepts such as gravitational field, gravitational potential and gravitational force, allowing to assist the physics teacher in classes. In view of the need to update the physics curriculum and the insufficient availability of weekly classes, we also approach concepts from Einstein's Theory of General Relativity connected to Gravitation. And, as the title indicates, this work also provided the roadmap for the development of the animations produced in Blender 3D, allowing teachers and students interested in the production of animations, but who do not have knowledge in algorithms, to develop them using visual programming. During the application of the educational product, students showed a greater interest in the concepts addressed in the classroom, demonstrated through their questions and confirmed later in quality research. In addition to promoting greater participation during physics classes, the animations allowed students to have access to different theoretical physical models built throughout the history of science. In view of the results, the use of animations signaled them as a subsidy to physics classes.

Key Words: Teaching Physics, Animation Production, meaningful learning, cognitive load, Newtonian Gravitation and Einsteinia.

INTRODUÇÃO

A nova era tecnológica tem provocado mudanças na sociedade, os resultados dessas mudanças são bem percebidos através dos meios de comunicação que utilizam diferentes dispositivos tornando a distribuição de informação cada vez mais veloz. Esse avanço tecnológico possibilita também que seus recursos sejam utilizados por outras áreas do conhecimento, nesse caso, o Ensino de Física. Dentro desses recursos encontram-se as animações como modelos poderosos para abstração de conteúdos que geralmente são de difícil compreensão.

Devido as dificuldades encontradas na abordagem de temas da Física durante o Ensino Médio e as suas reduzidas aulas que dificultam o desenvolvimento pelo professor da própria componente curricular, faz-se necessário a utilização de conteúdos interdisciplinares que permitam o avanço das competências apontadas pelas orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+), como foi citado (PCN+, 2006, p. 66):

"Adquirir uma compreensão cósmica do Universo, das teorias relativas ao seu surgimento e sua evolução, assim como do surgimento da vida, de forma a poder situar a Terra, a vida e o ser humano em suas dimensões. Compreender o Conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social."[\[1\]](#)

É possível entender que as competências tratadas são bem amplas, mas como promover uma compreensão profunda acerca do Universo frente a realidade educacional? Buscando alternativas para contornar as dificuldades encontradas pelos professores de Física em apresentar na sala de aula temas que abranjam tamanhas competências, a presente dissertação se propõe ao desenvolvimento e verificação da utilização de animações criadas através do *software* Blender 3D como material pedagógico de apoio ao professor. O desenvolvimento das animações se apoiará na busca e análise das concepções alternativas dos

alunos do 1^o Ano do Ensino Médio da Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Barão do Solimões¹[2] localizada na cidade de Porto Velho, Estado de Rondônia resultando na produção de ferramentas pedagógicas mais o intuito de intervir nas dificuldades encontradas por meio de uma proposta didática.

No capítulo 2 têm-se uma revisão das Teorias de Aprendizagem importantes para o desenvolvimento e aplicação do produto educacional. Inicia-se com o Pragmatismo de John Dewey no subcapítulo 1 que destaca a necessidade do desenvolvimento de instrumentos (instrumentalismo) que venha solucionar problemas reais na sala de aula, enfatizando o papel do professor como agente interventor. No Subcapítulo 2 apresentaremos a teoria de aprendizagem Multimídia de Richard Mayer fundamental para o desenvolvimento das animações. Todas essas teorias estão em consonância com a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, onde será bem discutida no Subcapítulo 3 como fundamentação do presente trabalho.

No Capítulo 3 será discutido a Física que embasa todo o conteúdo proposto nessa dissertação, desde os primórdios mais elementares relativos a Gravitação até uma breve introdução a teoria geral da relatividade de Albert Einstein.

Os resultados e discussões estão dispostos no Capítulo 4 com as respostas dos questionários (pré-teste, pós-teste e avaliação). Na conclusão os objetivos alcançados e as contribuições que o trabalho pode oferecer ao Ensino de Física são discutidos. Além disso, segue em anexo o manual desenvolvido para a produção de um sistema solar no *software Blender* com detalhes da produção do produto educacional desenvolvido e utilizado em sala de aula.

¹A escola Barão do Solimões foi a primeira escola inaugurada no município de Porto Velho em 19 de agosto de 1925, no ainda Território Federal do Guaporé - Projeto Político Pedagógico (PPP) da EEEFM Barão do Solimões. 2015.

DOCUMENTOS E NORMATIVAS

Neste breve capítulo será feita uma discussão de normativas do Governo Federal Brasileiro que normatizam o Ensino Médio bem como um breve histórico sobre o *software* que foi utilizado para se criar o produto educacional dessa dissertação.

1.1 PNE e BNCC

Na busca de uma norma que orientasse os projetos pedagógicos da Educação Básica Nacional foi desenvolvida a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) que torna o currículo das redes de ensino e instituições públicas e privadas alicerçado em um conjunto de aprendizagens essenciais para o desenvolvimento de todos os alunos ao longo da Educação Básica. De modo que os estudantes desenvolvam 10 competências gerais, 3 competências da Ciência da Natureza e 26 Habilidades de Ciência da Natureza, das habilidades destaca-se (EM13CNT204)¹[3] : “Elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como *softwares* de simulação e de realidade virtual, entre outros).”

Ainda na BNCC é contemplada a compreensão do Sistema Solar e dos movimentos que ocorrem tanto na Terra quanto no Espaço. Podendo ser utilizado recursos digitais como aplicativos e simulações que venham facilitar a apropriação do conhecimento. Dentre as habilidades contempladas pela BNCC a serem desenvolvidas pelo aluno temos também

¹As habilidades descritas na BNCC vêm acompanhadas de um código, cujo o primeiro par de letras indica a etapa do Ensino Básico (Ensino Médio-EM), o segundo par de número indica as séries que podem desenvolver a habilidade (1º ano ao 3º ano-13) do Ensino Médio, a segunda sequência de letras mostra a componente curricular (Ciências da Natureza-CNT) e a última sequência de número, a competência na qual aquela habilidade está associada (2º) e a posição entre as habilidades (04).

(EM13CNT201): “Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente”.

Ao analisar a história dos modelos, teorias e leis desenvolvidos ao longo da história permite ao estudante refletir sobre a evolução dos conceitos da Física e das diferentes interpretações dos fenômenos observados.

O Plano Nacional de Educação (PNE) estabelece em suas diretrizes estratégias para melhorar o Ensino (PNE, 2014 p. 63):

"Incentivar o desenvolvimento, selecionar, certificar e divulgar tecnologias educacionais para a educação infantil, o ensino fundamental e o ensino médio e incentivar práticas pedagógicas inovadoras que assegurem a melhoria do fluxo escolar e a aprendizagem, assegurada a diversidade de métodos e propostas pedagógicas, com preferência para *softwares* livres e recursos educacionais abertos, bem como o acompanhamento dos resultados nos sistemas de ensino em que forem aplicadas."^[4]

Dessa forma a necessidade de incorporar novas tecnologias de informação e de comunicação (*TIC*) no Ensino de Física somado ao vasto conhecimento acumulado ao longo da história da humanidade sobre a natureza encontrado na disciplina de Física e o reduzido número de aulas durante a semana se apresentam como grandes desafios que comprometem a realização das competências e habilidades almejadas sobre os alunos. Por esses motivos se faz necessário o desenvolvimento de projetos que busquem transcender o trabalho da disciplina de Física e ao mesmo tempo fornecer instrumentos de ensino para os professores.

Logo a presente dissertação propõe-se a desenvolver animações no *software* Blender 3D e utiliza-las em sala de aula, já que as representações visuais somadas ao pensamento científico podem ajudar o processo de aprendizado, proporcionando aos alunos uma abstração mais ampla dos fenômenos físicos. Desse modo, as animações possibilitaram um avanço na compreensão da Teoria da Gravitação de Newton e no entendimento de aspectos da Gravitação de Einstein.

1.2 TIC's e o *Software* Livre

Diante da implementação das TIC's na sala de aula surgem grandes desafios que vão da disponibilidade de ferramentas até a formação do docente. O direito de propriedade é garantido pela Constituição Federal² em seu artigo 5^o, não podendo ser alterado. O direito

²Artigo 5^o X, incisos: XII - é garantido o direito de propriedade; XXVII - aos autores pertence o direito exclusivo de utilização, publicação ou reprodução de suas obras, transmissível aos herdeiros pelo tempo que a lei fixar;

ao acesso à informação assim como o direito a proteção intelectual tem trazido à tona diversos conflitos legais[5, 6]. Ao passo que os conflitos de interesse surgiram, medidas para contrabalancear chegaram como a Fundação para o *Software* Livre (FSL) e a Iniciativa pelo Código Aberto (ICA) que promovem o desenvolvimento e divulgação de *softwares* gratuitos para os mais diversos objetivos. Com o objetivo de encontrar uma ferramenta que pudesse ser utilizada no desenvolvimento do produto educacional sem custos para desenvolvedor, encontramos *software* Blender 3D que oferece grandes possibilidades para o desenvolvimento de animações e consequente oportunidade aos alunos de desenvolverem modelos mentais que permeiam os conceitos e fenômenos da Física de difícil abstração.

1.3 *Blender 3D*

O *Blender 3D* é um *software* livre e de código aberto inicialmente desenvolvido pelo holandês Ton Roosendaal, quando ainda estava na empresa NeoGeo em 1994 e atualmente mantido pela fundação Blender fundada em 2002, momento em que o Blender se torna um *software* de código aberto [7, 8]. O *software* permite a realização de diversas tarefas voltadas para modelagem 3D, animação, texturização, composição, renderização, edição de vídeo e aplicações interativas para simulações. O Blender apresenta diversas vantagens além de seu uso ser gratuito, oferece suporte e diversas atualizações. Suporta 30 idiomas incluindo o português, além de ser multiplataforma disponível para diversos sistemas operacionais como *Windows*, *Linux* e *Mac*. Diversos manuais e vídeos tutoriais já foram produzidos e disponibilizados na literatura, inclusive manual produzido pela empresa Blender em português.

A cada ano o Blender agrega novidades a sua interface, durante o processo de produção das animações o *software* passou por algumas versões (2.79, 2,80, 2.81 e 2.82), tendo na versão 2.80 uma modificação significativa na sua interface, o que necessitou modificações no desenvolvimento do roteiro para produção das animações disponibilizadas aos professores e estudantes interessados na utilização do *software*. Além de todo o suporte e atualização do *software*, o Blender conta também com uma comunidade estável e ativa que o acompanha desde 2002 quando ajudaram a reunir cem mil euros em sete semanas que tornou o Blender um *OpenSource*. Essa atividade da comunidade é fundamental para o aprendizado dos que se aventuram na utilização do *software* e foi fundamental para construção do projeto.

O Blender foi utilizado para realizar todas as animações presentes no produto educacional anexado a essa dissertação.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA (Teoria da Aprendizagem)

Este capítulo aborda amplamente os temas pedagógicos que fundamentam as aplicações pedagógicas em sala de aula, em seguida, serão tratadas em frente separadamente por organicidade as seguintes temáticas; o pragmatismo de John Dewey, a aprendizagem Multimídia de Richard Mayer e a aprendizagem significativa de David Ausubel.

2.1 Pragmatismo de John Dewey

John Dewey foi um filósofo estadunidense representante da escola progressiva e suas obras tomaram como referencial teórico o pragmatismo. Dewey é considerado um dos fundadores da filosofia pragmática. A filosofia de Dewey foi desenvolvida durante profundas transformações da sociedade norte-americana ocorridas no final do século XIX a meados do século XX, passando pela primeira Guerra Mundial abarcadas pela segunda Revolução Industrial. Frente a essas grandes transformações da sociedade, Dewey identifica na Escola a possibilidade de ressignificação da experiência entre o professor e o aluno [9].

Na sua obra *Experiência e Educação*[10] Dewey traz o esquema da Educação vigente em sua época como um "esquema de imposição de cima para baixo. Impõe padrões, matérias de estudo e métodos de adultos sobre os que estão ainda crescendo lentamente para a maturidade". Dewey descreve com grande preocupação o modo como a Educação é vista em sua época, principalmente a relação entre o conteúdo exposto aos alunos e a capacidade dos estudantes de aprender, revelando que a distância entre o conteúdo que se impõe e os que sofrem a imposição é enorme.

Para Dewey, a educação eficaz necessita que o professor explore as tendências e os interesses dos alunos como fator motivador para o processo de aprendizagem. As mudanças que a sociedade experimenta alavancadas pela tecnologia devem desenvolver no docente reflexões sobre sua prática educacional, como aponta Dewey: "Este tem, sem

dúvida que olhar para a frente. Mas, a não ser que sua personalidade ou seu entusiasmo o leve além dos limites prescritos pela escola tradicional, pode contentar-se em pensar nos próximos exames ou na promoção para o próximo ano. Pode encarar o futuro em termos das exigências contidas dentro do sistema escolar tal como está convencionalmente estabelecido.”[9]

O professor na perspectiva de Dewey não deve contentar-se com o estado das coisas, cabe ao professor o papel de intervir na aprendizagem dos seus alunos. Nessa perspectiva é necessário que o professor, não só utilize métodos e instrumentos disponíveis, mas que venha a criar. A importância dada à articulação de ideias e práticas por Dewey é considerada instrumentalista, já que são instrumentos propriamente criados para a resolução de problemas. É inegável para nós que a tecnologia faz parte do cotidiano do aluno e que se tornou uma forma inovadora para motivá-lo pela matéria apresentada.

Muitas vezes essa tecnologia é vista como justificativa para o ensino da Física, entretanto a associação entre os fundamentos da Física e a Tecnologia fica a cargo do estudante. O que nos mostra que mesmo com toda essa tecnologia disponível hoje é possível que professor ainda esteja lecionando em uma escola tradicional. O fato de termos disponíveis novos instrumentos na sala de aula, não resultam em um ensino progressista.

O professor deve encarar a realidade presente como uma força em movimento na qual acompanhará e sobre a qual as experiências futuras dos alunos estarão ligadas. Por isso o papel do professor é destacado e tamanha é a importância da sua formação e do seu conhecimento científico que somados dão corpo a sua habilidade didática e potencializam seu planejamento.[11]

Dewey em seu livro *Experiência e Natureza*[12], nos revela o motivo pelo qual vivemos em uma sociedade extremamente dependente de tecnologia, mas que em sua dimensão escolar tem dificuldade em conectá-la à Física. Nesta obra ele aponta essa dificuldade como uma preocupação da filosofia moderna, o dualismo experiência humana e a natureza que dá título a sua obra. É na busca de uma ressignificação para essa dualidade que Dewey concentra seus esforços.

Essa ressignificação destacaria a importância do pragmatismo como filosofia prática e o papel do professor em desenvolver experiências na sala de aula, ficando sobre sua responsabilidade a busca pela aproximação das tecnologias com os princípios físicos. De modo que o docente desenvolva as habilidades e competências almejadas sobre os alunos, para que a experiência dos estudantes não se torne desinteressante o suficiente, a ponto de que ele desenvolva uma percepção da ciência como um obstáculo. Portanto o domínio das tecnologias deve fazer parte da formação básica do docente, e caso contrário ele deve buscar esse domínio. Vale destacar que a criação de disciplinas na grade curricular para o uso de tecnologias é de suma importância, assim como programação básica.

O desenvolvimento do produto educacional, neste trabalho, permitiu compreender os aspectos da produção das animações tradicionais até as geradas por computação gráfica, esse entendimento levado a sala de aula leva ao envolvimento e admiração dos alunos.

2.2 Aprendizagem Multimídia de Richard Mayer

A Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM)[13] é uma teoria cognitivista desenvolvida pelo professor de psicologia da Universidade da Califórnia em Santa Barbara, Estados Unidos, Richard Mayer tendo como abordagem teórica a compreensão da aprendizagem a partir do modo como os seres humanos representam e processam as informações transmitidas simultaneamente através dos materiais visuais e verbais (multimídias) por meio de dois canais: o auditivo e o visual.

Para Mayer o recurso multimídia deve ser construído pela associação de imagens estáticas ou dinâmicas com palavras textuais ou faladas, já que a combinação das representações favoreceria uma melhor aprendizagem do conteúdo. Essa aprendizagem através de recurso multimídia é destacada em sua obra (Mayer, 2014 p. 32):

”Uma hipótese fundamental subjacente aos estudos sobre a aprendizagem multimídia é a de que as mensagens educacionais (instrucionais) multimídia, concebidas a partir da forma como a mente humana funciona, têm probabilidades de levar a uma aprendizagem significativa do que as do que não o são.” [14]

A Aprendizagem Multimídia entende o processamento de informações pelo aluno como ponto fundamental para o desenvolvimento de materiais multimídias. Mayer explica que o cérebro capta informações através dos canais auditivos e visuais. As informações auditivas processadas são captadas por meio de imagens, figuras, vídeos, gráficos e palavras impressas. No momento em que o aluno é apresentado a um novo conteúdo ele registra as informações imediatamente na *memória sensorial*. Logo em seguida são selecionadas as palavras e imagens que passam a fazer parte da *memória de curto prazo* onde são processadas. O resultado desse processamento resultará no conhecimento prévio do estudante fixado na *memória de grande prazo*. A concepção de como as pessoas aprendem segundo Mayer pode ser observado através do esquema da Fig. 2.1:

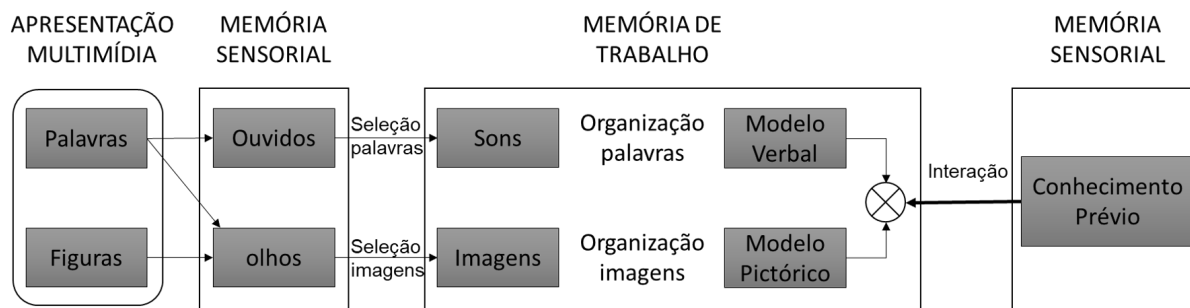


Figura 2.1: Esquema adaptado da TCAM (MAYER, 2014, p. 61).

Embora a representação de aprendizagem de Mayer mostre a possibilidade da aprendizagem por meios da exposição da informação aos dois canais, apresentar ao aluno o

conteúdo através de palavras e imagens não garantirá sua aprendizagem significativa. É por esse motivo que Mayer apresenta três pressupostos na busca de promover uma aprendizagem eficiente, sendo eles: o *canal duplo* que forma o sistema humano de processamento de informações visuais e auditivas; a *carga cognitiva* baseada na capacidade limitada de processar informações; e o *processamento ativo* em que o indivíduo seleciona e organiza as informações relevantes relacionando-as com representações prévias tornando o indivíduo agente ativo da aprendizagem.

2.2.1 Carga Cognitiva

A capacidade humana de processar informações é limitada. Pode-se observar essa limitação através da quantidade de imagens que o canal visual pode focar e processar simultaneamente, o mesmo ocorre no canal auditivo quando recebe uma sequência de palavras para serem memorizadas e depois repetidas. A carga cognitiva está baseada no modelo de processamento de Sweller (*apud* Mayer 2014)[13] que está dividido em três categorias, são elas:

- *Carga cognitiva estranha* – Está ligada ao modo como o material multimídia nos está sendo apresentado e ao esforço cognitivo que realizamos para processar o conteúdo estranho ou as informações desnecessárias contida no material e distante dos objetivos de aprendizagem.
- *Carga cognitiva intrínseca* – Está relacionada a complexidade inerente das informações que pode sobrecarregar a memória de trabalho do estudante, caso não possua conhecimentos prévios para compreensão do conteúdo.
- *Carga cognitiva pertinente* – Está conectada ao processo cognitivo durante o aprendizado do aluno que implica na motivação do aluno em relação ao material multimídia apresentado. Quanto maior o envolvimento do aluno maior é o aprendizado e mais informações são retidas na memória sensorial.

As categorias da carga cognitiva são fundamentais para o desenvolvimento do material multimídia, mostram que existem uma capacidade limitada para o processamento da informação, para cada categoria temos problemas diferentes para serem solucionados, em busca de um esforço cognitivo menor e uma aprendizagem coerente com as capacidades do estudante.

2.3 Princípios da Aprendizagem Multimídia

Na busca de reduzir a carga cognitiva estranha, intrínseca e pertinente a (TCAM) oferece soluções. De acordo com Mayer[14, 16] existem 12 princípios essenciais à criação de materiais multimídias capazes de proporcionar uma aprendizagem significativa ao aluno.

Esses princípios constituem processos importantes para o desenvolvimento de material multimídia útil, na utilização de ferramentas tecnológicas e na busca de maior aproveitamento da capacidade humana de processar informações, a partir da maior integração mental das representações visuais com suas representações correspondentes verbais.

2.3.1 Princípios de Redução da Carga Estranha

Para redução da carga cognitiva estranha temos os cinco primeiros princípios: o princípio da coerência, sinalização, redundância, contiguidade espacial e temporal.[14]

- *Princípio da coerência* atua na carga cognitiva estranha buscando eliminar todas as informações não essenciais do material apresentado, impedindo que ocorra uma sobrecarga da capacidade de processamento do estudante. A falta de coerência do material pode estar associada a palavras expressas de forma verbal ou escrita distantes do material visual apresentados, bem como gráficos e tabelas interessantes, mas irrelevantes. Isso porque os alunos tendem a recordar mais do material chamativo do que do material essencial.
- *Princípio da sinalização* age na carga cognitiva estranha quando destaca dicas essenciais ao material oferecido e dessa forma orienta a atenção do estudante. As dicas podem ser uma sinalização verbal, quando adicionadas palavras em forma de títulos, palavras indicando e/ou enumerando, frases como esboço do conteúdo a ser apresentado e entoando a voz em palavras importantes. Também podem ser uma sinalização visual indicando pistas visuais, como setas, gestos, cores distintas e até esmaecer material não essencial. É preciso ter cuidado ao destacar áreas do conteúdo ministrado, já que a sinalização pode atrapalhar a construção do modelo mental do estudante.
- *Princípio da redundância* busca diminuir a carga cognitiva estranha, já que o estudante realiza esforço cognitivo maior quando processa informações redundantes. As imagens e palavras impressas são processadas pela memória de trabalho e entram por meio do canal visual, quando as mesmas palavras são narradas acabam por competir pelo canal auditivo sobrecarregando o canal, além de gerar um processamento maior para conciliar as palavras com os sons e as imagens, dessa forma prejudicando o aprendizado, já que a capacidade de processamento é limitada.
- *Princípio da proximidade espacial* trabalha na forma como o espaço da apresentação será melhor utilizado. Para que isso ocorra as imagens e palavras correspondentes devem compartilhar o mesmo espaço e serem organizadas em uma sequência lógica e coerente. Quando as palavras estão próximas das figuras correspondentes o aluno acaba por reduzir a carga cognitiva estranha disponibilizando mais memória de trabalho para processar as informações proporcionando um aprendizado melhor do que palavras distantes de suas ilustrações correspondentes.

- *Princípio da proximidade temporal* mostra que quando o conteúdo disponível ao canal visual está dessincronizado no tempo do conteúdo exposto ao canal auditivo prejudica o aprendizado. Os estudantes aprendem melhor quando palavras e imagens são apresentadas simultaneamente e não sucessivamente. Isso permite ao aluno manter por mais tempo as representações visuais e auditivas na memória de trabalho aumentando as chances de integrar essas representações para serem acessadas e utilizadas pela memória sensorial. O controle da linha temporal do conteúdo apresentado é estabelecido no desenvolvimento das animações que selecionará a sequência na qual as informações serão processadas pelo estudante.

2.3.2 Princípios de Redução da Carga Intrínseca

Diferente da carga estranha que pode ser eliminada do material multimídia, a carga intrínseca não pode ser retirada, mas essa complexidade inerente do material pode ser reduzida. O processamento intrínseco ou essencial é responsável por criar representações mentais na memória de trabalho do conteúdo a ser aprendido. A sobrecarga do processamento essencial pode ser causada pela complexidade do material, inexperiência do estudante quanto ao conteúdo apresentado e a velocidade de exposição do material. Para a diminuição da carga cognitiva estranha a TCAM propõe três princípios[14, 16, 17], são eles:

- *Princípio da segmentação*: revela que apresentar a lição em partes em vez de contínua favorece o aprendizado. A segmentação poderá ser aplicada em momentos que o material for complexo, o aluno não tiver conhecimento prévio e a apresentação for rápida. Quando a apresentação do conteúdo é rápida o estudante não consegue utilizar a memória de trabalho para criar representações mentais das palavras e ilustrações expostas, tão pouco integrar os modelos criados para utilização da memória sensorial. Ao segmentar a apresentação rápida o aluno tem a capacidade de aprofundar o processamento da informação do material essencial, dessa forma aumentar a possibilidade de integração dos modelos mentais.
- *Princípio do pré-treinamento*: mostra que quando os estudantes apresentam conhecimento prévio do conteúdo mostrado o aprendizado é maior, assim é dedicada maior capacidade para o processamento essencial do conteúdo. O conhecimento prévio do conteúdo pode ser alcançado com o pré-treinamento que conseqüentemente durante o processamento essencial diminuirá a carga intrínseca do conteúdo. Tão importante é a importância das concepções prévias do estudante que Mayer[16] afirma: “O conhecimento prévio é a dimensão individual da diferença individual mais importante no projeto instrucional. Se você pudesse saber apenas uma coisa sobre um aluno, gostaria de saber o conhecimento prévio do aluno no domínio”. Antes de cada lição deve apresentar os principais termos e características do conteúdo.

- *Princípio da modalidade*: pressupõe que animação mais narração promove um aprendizado maior do que animação e texto, porque as animações mais as legendas podem sobrecarregar o campo visual. De acordo com a limitação de processamento e o canal duplo, em apresentações rápidas o estudante não pode ler os textos e ver as ilustrações ao mesmo tempo. Enquanto que as palavras faladas retiram carga do campo visual realocando-a no campo auditivo de modo a disponibilizar maior processamento essencial para integração das representações mentais. Portanto a modalidade com que as palavras são expostas, seja por meio de texto ou por meio de sons é importante para fornecer uma carga equilibrada reduzindo a carga intrínseca e disponibilizando um processamento essencial ao conteúdo.

2.3.3 Princípios de Aumento da Carga Pertinente

O objetivo principal de cada lição lecionada pelo professor é proporcionar o aprendizado do estudante, para que aconteça esse aprendizado segundo Mayer (*apud* Moreira, 2006) [15] o estudante deve alcançar o processamento generativo da carga pertinente. O processamento generativo é o processo cognitivo mais profundo que envolve a construção de estruturas coerentes e integradas das informações recebidas com as informações já contidas na mente. Para atingir o processamento generativo Mayer explora quatro princípios:

- *Princípio de personalização, voz e imagem* revela que os estudantes aprendem melhor quando as palavras dirigidas a eles não são formais, ou seja, estão no estilo conversacional. Esta forma de emitir a informação aproxima o estudante do conteúdo despertando atenção. Esse princípio explora a forma de projeção da mensagem gerando motivação, agente principal para aumentar o compromisso do estudante com o processamento generativo.
- *Princípio multimídia* mostra que quando o aluno mantém representações verbais e visuais há uma maior integração das informações e que as apresentações multimídias, ou seja, exposição do conteúdo por meio de palavras e imagens promovem maior possibilidade para o processamento generativo. Por esse motivo os educadores devem considerar a possibilidade de incorporar ilustrações com o objetivo de promover uma aprendizagem significativa.

A aplicação dos princípios expostos por Mayer dependerá de duas condições: o conhecimento prévio do aluno e a complexidade do material na lição. Isso leva imediatamente à próxima seção que tem uma conexão direta com que foi exposto.

2.4 Aprendizagem Significativa de David Ausubel

A Teoria Cognitiva da Aprendizagem Significativa (TCAS) é uma teoria desenvolvida pelo norte americano, psicólogo David Paul Ausubel na década de 60 do século XX, cuja a abordagem teórica tem como objeto de estudo os processos de aprendizagem construídos naquilo que os estudantes já conhecem, seus conhecimentos prévios e por isso é também conhecida como uma teoria construtivista [19].

2.4.1 Estrutura Cognitiva

De acordo com (MOREIRA, 2008) [19] a estrutura cognitiva do estudante é todo o conhecimento construído ao longo das suas experiências vividas. A estrutura cognitiva é construída a partir da formação de conceitos adquiridos por meio de descobertas, criações, avaliações de hipóteses, generalizações, induções e abstrações. Esses conceitos que formam a também chamada estrutura conceitual serviram de ancoragem para os novos conceitos apresentados em sala de aula.

2.4.2 Aprendizagem Significativa

Quando as novas informações se relacionam com os saberes dos alunos potencializam a aprendizagem, a essa relação Ausubel chama de aprendizagem significativa (apud MOREIRA, 2008)[19]. A interação entre os conhecimentos anteriores do estudante e os novos conhecimentos apresentados deve ocorrer de forma não-arbitrária, ou seja, deve levar em consideração os conceitos já construídos na estrutura cognitiva do estudante e não-literal, isto é, capaz de dialogar com a estrutura cognitiva pré-existente do estudante que se construiu a partir de experiência cotidianas, longe da linguagem formal do conhecimento científico[20].

2.4.3 Condições à Aprendizagem Significativa

As condições para aprendizagem significativa ocorrer na presença de material potencialmente significativo e a predisposição do estudante para aprender. Ambos, o professor e o aluno têm algo a oferecer no processo de aprendizagem significativa, contudo é a partir do conhecimento prévio do estudante que o processo começa. Ao conceito prévio do estudante com predisposição de interação com novos conceitos Ausubel chama de subsunção, de modo que o conjunto de conceitos prévios adequados ao novo conhecimento apresentado é capaz de integrar novo saber e adquirir novos significados. A partir dessa assimilação de novos conhecimentos à estrutura cognitiva, estes servirão como conhecimentos prévios a outras novas informações que venham a ancorar nestas últimas formações cognitivas.[20]

2.4.4 Tipos de Aprendizagem

Aprendizagem mecânica é uma das formas com a qual o estudante retém novas informações. Esse tipo de aprendizagem tem pouco ou nenhuma interação com os conhecimentos prévios do aluno, essas novas informações são retidas de forma arbitrária e literal (MOREIRA, 1999)[20].

Aprendizagem significativa pode ocorrer de duas formas: por recepção e por descoberta. Enquanto que na aprendizagem por recepção o estudante assume uma atuação passiva, ou seja, o conhecimento é apresentado de forma pronta e acabada. A aprendizagem por descoberta fornecerá um papel ativo ao estudante que terá que descobrir o conteúdo por si. Ambas as aprendizagens por recepção e por descoberta somente serão significativas ao estabelecerem relações com as representações mentais já presentes na estrutura cognitiva do estudante.

Os modelos de aprendizagem estão representados na Fig. 2.2.

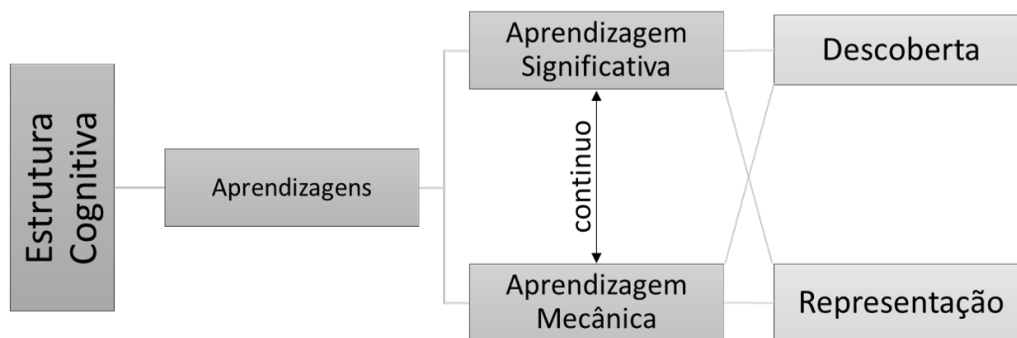


Figura 2.2: Esquema da Estrutura Cognitiva e Aprendizagens.

O esquema mostra que a relação entre a aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica é contínuo, podendo ser de acordo com Moreira uma aprendizagem parcialmente significativa e parcialmente mecânica, de modo que as duas não sejam dicotômicas[21].

O aluno ainda poderá aprender por representações, conceitos e proposições. Na aprendizagem representacional o estudante associa símbolos e palavras a objetos e eventos, estabelecendo uma relação direta entre o símbolo e o significante. Na aprendizagem conceitual as representações mentais do estudante percebem regularidades nos objetos e eventos observados agrupando as representações em grupos. A aprendizagem proposicional fornece ao estudante representações cognitivas a partir de proposições. Esta forma de aprendizagem exige mais do estudante para construir suas representações mentais.

2.5 A TCAM e a TAS Suas Correspondências

Na busca da fundamentação teórica para o desenvolvimento do produto educacional, encontramos os trabalhos propostos por John Dewey (pragmatismo), de Richard Mayer (TCAM) e de David Ausubel (TCAS). Verificamos que estes dois últimos referenciais

teóricos guardavam correspondência entre alguns de seus elementos e princípios [22, 23]. Observa-se a correspondência entre os princípios em comum dos dois referenciais teóricos na Fig. 2.3.

| TCAS | | TCAM |
|---------------------------------------|----|--|
| Conhecimento prévio (Subsunçor) | ←→ | Princípio do Pré-Treinamento |
| Material Potencialmente Significativo | ←→ | Princípios da Redução da Carga Estranha e Intrínseca |
| Pré-disposição do Estudante | ←→ | Processamento Generativo |

Figura 2.3: Relação entre TCAM e TAS.

As correspondências encontradas iniciam com a pré-disposição presente na TCAS e o processamento generativo na TCAM que o estudante deve ter para um determinado evento educativo e que tornam o processo de aprendizado potencialmente significativo, na abordagem TCAS o aspecto afetivo do estudante influencia o processo educativo, caso o estudante não sinta que está aprendendo ele se torna indisposto e inadequado ao aprendizado, o que provoca uma relação cíclica, retroalimentando o processo de desmotivação do aluno.

Para ambas as teorias o conhecimento prévio do estudante é o ponto de partida mais importante no processo de aprendizado. Tendo estas duas condições atendidas é preciso ter também um material potencialmente significativo, embora os dois referenciais teóricos desejem, o desenvolvimento ocorre de maneira diferente e nesse ponto, os dois não correspondem, mas se complementam. Tanto as correspondências TCAM e TCAS, quanto o PRAGMATISMO de Dewey oferecem suporte teórico para a tríade conhecimento, aluno e professor, atendendo as atuais necessidades pedagógicas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA (TEORIA FÍSICA)

As teorias físicas utilizadas para o desenvolvimento do produto educacional estão contidas na Mecânica Clássica e na Física Contemporânea, mas especificadamente aborda-se, as teorias da Gravitação Universal proposta pelo físico Isaac Newton publicada em sua obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*[24] em 1687. Nesta obra Newton descreve a lei da Gravitação e as três leis da Mecânica, e a Teoria da Gravitação de Einstein proposta pelo físico Albert Einstein com o artigo publicado em 1911 "*Sobre a influência da gravitação na propagação da luz*" até chegar na sua forma final em novembro de 1915.

3.1 Teoria da Gravitação de Newton

A Gravitação Universal é um dos campos de estudo da Física que causa grande interesse nos alunos, mas também é uma das teorias menos compreendidas, o que produz concepções alternativas nos estudantes das mais diversas diferenças. Isso se deve ao fato da Teoria da Gravitação Universal desenvolvida por Isaac Newton apresentar uma grande diversidade de conceitos físicos envolvidos como: o referencial, campo gravitacional, movimento, força, aceleração, gravidade, somado a linguagem matemática utilizada para descrevê-los, o que necessita de grande capacidade de abstração dos alunos.

Em 1687 Newton publicava seu livro "os princípios matemáticos da filosofia natural". Nesta obra é apresentado os princípios fundamentais da dinâmica (as três leis de Newton) e a Lei da Gravitação Universal (gravidade como propriedade universal de todos os corpos). Ao longo do "Principia" Newton descreve diversas aplicações das suas três leis e também da Gravitação Universal.

A Lei da Gravitação Universal demonstra que a "Lua gravita em direção à Terra e que é desviada continuamente de um movimento retilíneo e mantida em sua órbita pela força

da gravidade”¹, ou seja, a natureza da força que mantém a Lua em sua órbita é a mesma que mantém os objetos “presos” a superfície terrestre. Essa relação foi extremamente importante, já que Newton a partir dessa primícia estendeu o argumento aos outros corpos celestes através das proposições que se seguiram.

Ao conectar os movimentos celestes aos movimentos terrestres Newton foi capaz de mostrar que a força de atração entre os corpos é proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles[24].

Várias expressões e notações matemáticas da obra de Newton não são mais utilizadas o que torna o entendimento das demonstrações comprometido. Ainda que a obra tenha sido submetida a tradução e atualização das terminologias.

Embora Newton tenha chegado à formulação da gravitação universal, de modo a explicar o movimento dos corpos na superfície terrestre e o movimentos dos planetas, ele teve que lidar com as implicações dessa formulação. Uma dessas implicações consiste na atração gravitacional de uma distribuição esfericamente simétrica de massa[24, 25, 26]. Tome como exemplo a atração exercida entre a Terra e uma maçã, esse sistema Terra-maçã foi tratado como se toda a massa estivesse concentrada em seu centro, mas sabe-se que essa atração é exercida também entre a maçã e outras partes do planeta, a exemplo de rochas, árvores e montanhas, isso é, a força de atração é composta por uma infinidade de vetores. Para justificar a força central (centrípeta), Newton precisaria provar que todas as componentes da força central somariam uma única força centrípeta, como se toda a massa da Terra estivesse concentrada em seu centro. Para demonstrar que a soma das componentes Newton teve que desenvolver o que conhecemos hoje como cálculo[28].

Usando a notação moderna e o fato de que força gravitacional é conservativa, pode-se derivar a força através do cálculo da energia potencial, além de usar o princípio da superposição[26]. A energia potencial gravitacional entre duas partículas pode ser calculada pela equação:

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{|r_1 - r_2|^3} |\hat{r}_1 - \hat{r}_2|. \quad (3.1)$$

Para solucionar o problema da atração entre uma esfera simetricamente distribuída de massa e uma partícula, considere o esquema da Fig. 3.1.

A interação entre a esfera de massa M e a partícula de massa m produzirá um potencial gravitacional resultante sobre a partícula no ponto P . Para calcular esse potencial dividamos o processo em duas etapas: a primeira etapa é calcular o potencial gravitacional para um anel infinitamente fino, encontrada a equação da primeira etapa a utilizaremos para encontrar o potencial gerado pela esfera composta de anéis infinitesimais.

¹Proposição IV. Teorema IV do Livro III, dos “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural” / Isaac Newton. 1 ed. 2012 – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. Traduzido a partir da edição da University California Press (Sir Isaac Newton’s Mathematical Principles of Natural Philosophy, and system of the world) – Adrew Motte

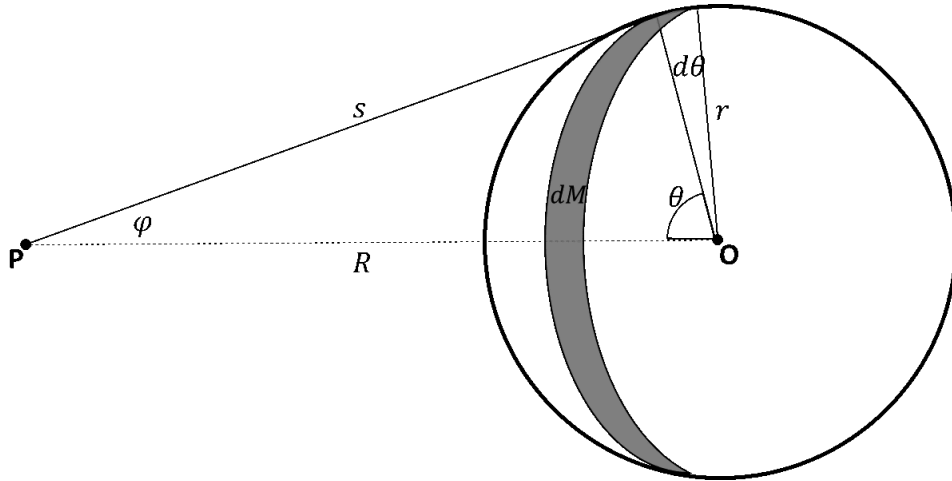


Figura 3.1: Potencial Gravitacional gerado por uma casca esférica.

Na primeira etapa obteremos o potencial infinitesimal a partir das camadas dos anéis infinitesimais [26], como cada ponto do anel da Fig.3.1 são equidistantes do ponto P temos que:

$$dU = -G \frac{m}{s} dM. \quad (3.2)$$

Sabendo que a massa total da superfície é dada:

$$M = dM \frac{4\pi r^2}{\text{area}_{\text{anel}}}, \quad (3.3)$$

Logo:

$$dM = \frac{1}{2} M \text{sen } \theta d\theta. \quad (3.4)$$

Achando a massa infinitesimal dM :

$$dU = -G \frac{Mm}{2} \frac{\text{sen } \theta}{s} d\theta. \quad (3.5)$$

Na segunda etapa obtém-se a energia potencial gravitacional, integrando todos os anéis infinitesimais:

$$U = -G \frac{Mm}{2} \int_0^\pi \frac{\text{sen } \theta}{s} d\theta. \quad (3.6)$$

Mudando a variável de integração de θ para s , temos:

$$U = -G \frac{Mm}{2Rr} \int_{s_{min}}^{s_{max}} ds = -G \frac{Mm}{2Rr} (s_{max} - s_{min}). \quad (3.7)$$

Sabe-se que $s_{max} = R + r$ e que $s_{min} = R - r$, assim $s_{max} - s_{min} = 2R$ de modo que:

$$U = -G \frac{Mm}{r}. \quad (3.8)$$

A Eq. 3.8 mostra que a energia potencial produzida pela interação entre a casca esférica e a partícula é a mesma como se toda a massa da esfera estivesse concentrada no centro[26].

Ao calcular a força para partícula externa a casca esférica, tem-se em particular, para casos unidimensionais que:

$$F(r) = -\nabla U = \frac{dU}{dr} r. \quad (3.9)$$

De modo que:

$$F(r) = -G \frac{Mm}{r^2}. \quad (3.10)$$

A força de atração entre uma esfera maciça e uma partícula pode ser obtida também pelo mesmo caminho, já que a esfera é composta por cascas esféricas infinitesimalmente finas e concêntricas, de modo que cada casca produzirá o mesmo potencial gravitacional, conforme ilustrado na Fig. 3.2.

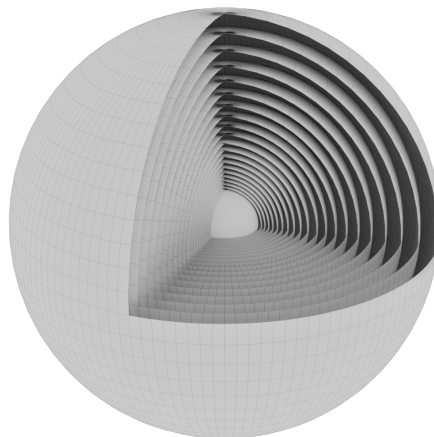


Figura 3.2: Cascas esféricas ilustrando os equipotenciais gravitacionais.

Newton descreveu sua própria versão do cálculo, de modo que não pode-se encontrar algo parecido com essa integração na sua obra *Principia*, o que na verdade demonstra que

os problemas e implicações das suas proposições só puderam ser solucionadas através do método de “fluxões”. Embora o Principia não contenham cálculo explícito, Newton propôs soluções posteriores para os problemas levantados pelas suas proposições. A ausência de notação moderna e os procedimentos sistematizados para lidar com funções contínuas causa muito estranheza ao ler o Principia. Contudo Newton foi muito sagaz ao propor os escólios como descrições didáticas de sua obra para aqueles que sem um conhecimento profundo da matemática e de filosofia pudesse apreciar e compreender o que suas ideias queriam expressar.

3.1.1 A Lua e a Maçã

Ao contrário do que muitos materiais na *internet* e livros didáticos apresentam, Newton não inventou a gravidade ou se quer calculou o valor numérico dessa grandeza que hoje é tratada como força, o que Newton de fato propôs, foi que a gravidade fosse uma força universal [25]. Para provar isso, Newton usou da órbita lunar, conforme representado na Fig. 3.3. Para demonstrar isto, Newton usou da órbita lunar, conforme mostrado na Fig.3.3:

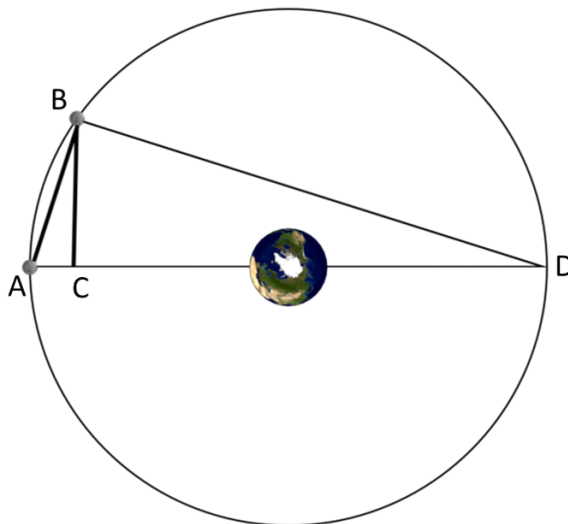


Figura 3.3: Órbita da Lua.

A Fig. 3.3 mostra a órbita da Lua como circular. O arco é formado pela parte do círculo entre o ponto A e B e o diâmetro é representado pelo ponto de A à C. Newton imaginou que caso a Lua cessasse o seu movimento tangencial a órbita, cairia em direção à Terra. Mas qual a distância que a Lua se aproximaria durante o intervalo de um minuto, sob a influência da gravidade? Calculemos primeiro a distância que a Lua percorrerá em um minuto:

$$\frac{O_L}{T_L} = \frac{D_L}{(1min)}. \quad (3.11)$$

onde: O_L = Órbita da Lua

T_L = Período da Lua

D_L = Arco orbital da Lua em um intervalo de 1 min

Newton apresenta os valores acima como calculados pelos astrônomos, sendo a O_L como 123.249.600 pés parisienses, valor esse no SI corresponde a $4 \times 10^7 m$, o T_L igual à 27 dias, 7 horas e 43 minutos (39.343 minutos) e o D_L chega à 15 1/2 pés de paris, ou seja, 5,03m. O valor obtido com a relação entre o arco AB e o cateto AC é melhor entendido quando recorremos ao método da primeira e da última proporção, um método que permitiu Newton obter resultados de curvas a partir da geometria plana conforme os segmentos curvos se tornem cada vez menores na Fig.3.4, vejamos o movimento da Lua:

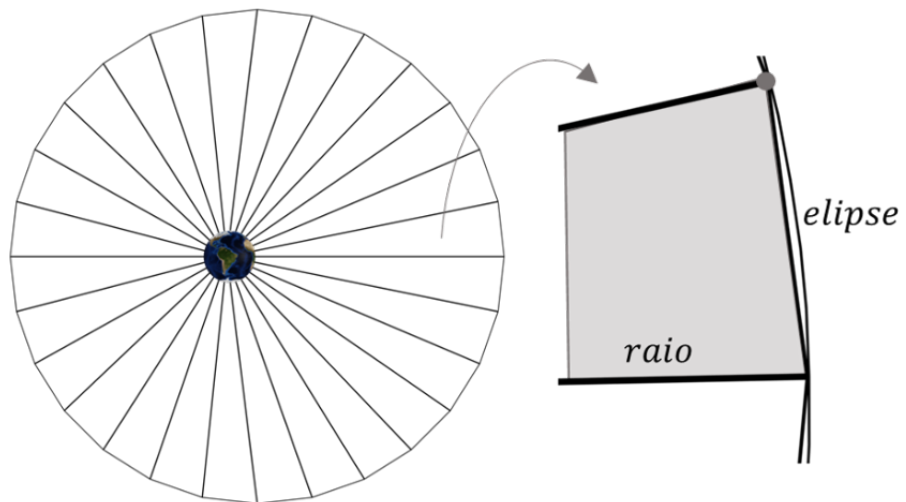


Figura 3.4: Movimento da Lua.

Ao imaginar a queda da Lua na Terra pode-se relacionar a distância percorrida do segmento AC com o arco AB da Fig. 3.3. Comparado a tempo total da órbita lunar o intervalo de 1 minuto é uma aproximação muito similar ao método de primeira e última proporção. O movimento do segmento AB é representado como a composição de dois movimentos, o movimento tangencial à órbita e a queda da Lua. O comprimento do arco AB é proporcional ao intervalo de tempo. Newton já havia demonstrado que as órbitas das leis de Kepler deveriam obedecer a uma força proporcional ao inverso do quadrado da distância e que, portanto, a Lua também estaria submetida a esta força. De modo que um objeto sobre a superfície terrestre estaria submetido a uma atração gravitacional 3600 (60^2) vezes maior do que a Lua, o que implica dizer que a distância percorrida por um objeto submetido a essa atração seria de $60 \times 60 \times 5,03m$. Esse fator de 60^2 foi obtido por Newton quando comparou o raio da órbita lunar com o raio da superfície terrestre.

Em seguida, Newton calculou a queda de um objeto na superfície terrestre no intervalo de um segundo, chegando no valor de $5,03m$. Newton propôs essa diferença de intervalos, pois sabia que a distância percorrida durante a queda da Lua seria diretamente proporcional ao quadrado do tempo $S_L \propto t_L^2$ e inversamente proporcional ao quadrado da distância orbital $S_L \propto 1/r_L^2$. Sabendo que a órbita lunar é 60 vezes maior que o raio terrestre acabando por cancelar com o quadrado do tempo. Veja,

$$\frac{S_L}{S_T} = \frac{(60t_T)^2(60r_T)^2}{(t_T^2/r_T^2)}. \quad (3.12)$$

Logo:

$$\frac{S_L}{S_T} = 1. \quad (3.13)$$

De modo que distância de queda da Lua é igual distância de queda na superfície terrestre $S_L = S_T$. Esse resultado foi o grande triunfo de Newton, mostrar que a força com que a Lua é mantida em sua órbita, torna-se na superfície da Terra, igual à força da gravidade que observa-se nos corpos pesados aqui. No fim Newton comparou os valores obtidos por Huygens no trabalho *Horologium Oscillatorium* [25] sobre o estudo de pêndulos onde ele determina o valor da aceleração gravitacional com o valor obtido pela órbita.

Apesar de Newton ter generalizado a força gravitacional como uma propriedade universal, de modo a unificar as leis que governam as interações na Terra com as leis que regem o movimento dos planetas [25, 28], Newton faleceu sem conhecer o valor de uma propriedade muito importante prevista pela lei da gravitação, a massa da Terra, somente um século após a publicação do “principia” a massa de nosso planeta foi conhecida. Embora seja atribuída ao físico britânico Henry Cavendish em 1798 [30] a descoberta da massa da Terra e a constante gravitacional universal G , foi o físico britânico John Henry Poynting no ano de 1883 quem efetivamente trouxe o valor da massa [31]. Contudo Cavendish desenvolveu e aperfeiçoou a balança de torção projetada pelo físico inglês John Michell em 1790, o experimento de Michell foi baseado na experiência do francês Charles Coulomb (1736-1807)[32] para investigar a força eléctrica entre duas esferas de metal carregadas, mas acabou falecendo em 1793, antes de poder proceder à experiência propriamente dita. Embora o valor de G e da massa da Terra não sejam mencionados no trabalho de Cavendish, o aparato de Michell-Cavendish constitui um dos mais belos experimentos da Física e permitiu o avanço de grandes descobertas científicas.

3.1.2 Gravitação Universal e a Segunda Lei de Kepler

Em 1684 o amigo de Newton, Edmond Halley, durante uma visita propõe um problema sobre dinâmica planetária, tal problema ficou conhecido como o problema de Halley e consistia em descobrir “a lei de força que seguiria um planeta numa órbita elíptica” [27], durante a visita Newton teria respondido que a lei de força seria proporcional ao inverso do quadrado da distância. Dito de outra maneira, o corpo submetido a uma força central

que varia inversamente com o quadrado da distância produzirá uma trajetória elíptica [24, 27]. Essa afirmação teve grandes implicações, já que cerca de 80 anos antes Johannes Kepler havia deduzido suas três leis, a primeira lei diz que a órbita de cada planeta é uma elipse, a segunda lei afirma que a área varrida pela linha imaginária dos planetas ligada ao sol percorre áreas iguais em tempos iguais e a terceira lei estabelece que o quadrado das distâncias dos tempos de revolução de quaisquer dois planetas do ao redor do Sol são proporcionais aos cubos de suas distâncias médias ao Sol 3.22.

Na seção II do livro I, a proposição I afirma que os corpos submetidos a uma força central obedeceriam a lei das áreas (2ª lei de Kepler), a proposição II do mesmo livro estabelece que corpos que obedecem a lei das áreas estará submetido a uma força central, e na proposição IV que Newton demonstra a medição da força centrípeta para o movimento circular uniforme. É na proposição XVII, que Newton responde à pergunta de Halley prova que um corpo que está submetido à uma força centrípeta que varia com o inverso do quadrado da distância tem como trajetória uma seção cônica: uma elipse, uma parábola ou hipérbole. De modo que as três leis de Kepler são consequências das Leis de Newton e o Princípio da Gravitação Universal.

Newton traz em sua proposição XI, teorema XI o centro de gravidade do Sol e dos planetas do sistema solar como imóveis. Na forma moderna podemos considerar dois planetas de massas m_1 e m_2 , afastados do centro de gravidade por uma distância r_1 e r_2 . A força gravitacional entre os planetas depende da distância total entre eles:

$$\vec{F}_g = G \frac{m_1 m_2}{(\vec{r}_1 + \vec{r}_2)^3} |\hat{r}_1 - \hat{r}_2|. \quad (3.14)$$

Por estarem em órbitas circulares com velocidade v_1 e v_2 em torno do centro de massa comum a força centrípeta é dada por

$$\vec{F} = -\frac{mv^2}{r} \hat{r}. \quad (3.15)$$

Por orbitarem um centro comum o período dos planetas deverá ser igual:

$$T_1 = T_2 = T. \quad (3.16)$$

As forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 possuem módulos idênticos:

$$G \frac{m_1 m_2}{(r_1 + r_2)} = \frac{m_1 v_1^2}{r_1} = \frac{4\pi^2 m_1 r_1}{T^2}. \quad (3.17)$$

e

$$G \frac{m_1 m_2}{(r_1 + r_2)^2} = \frac{m_2 v_2^2}{r_1} = \frac{(4\pi^2 m_1 r_1)}{T^2}. \quad (3.18)$$

Eliminando m_1 na eq 3.18. e eliminando m_2

$$G \frac{(m_1 + m_2)}{(r_1 + r_2)^2} = \frac{4\pi^2 (r_1 + r_2)}{T^2}. \quad (3.19)$$

O período será dado por

$$\frac{T^2}{(r_1 + r_2)^3} = \frac{4\pi^2}{G(m_1 + m_2)}. \quad (3.20)$$

Pela proposição proposição XII do teorema do teorema XII o centro de gravidade é comum a todos os planetas, de modo que pode-se tratar a $M \gg m_T$ e entendendo a distância entre corpos e o centro de massa como $\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2$, resultando na equação 3.20:

$$M = \frac{(4\pi^2)}{(GT^2)} a^3. \quad (3.21)$$

A dedução da terceira lei de Kepler a partir da Gravitação Universal se constituiu um método muito importante para a determinação de massas na astronomia.

3.2 Relatividade Clássica

As leis de Newton apresentadas no “principia” são invariantes, ou seja, conservam a mesma forma quando mudadas de referencial, essa propriedade é válida apenas para referenciais inerciais [24]. Galileu Galilei [28] foi o primeiro a propor o princípio da relatividade, também chamado de invariância de Galileu, esse princípio afirma que as leis da mecânica são invariantes, sendo expressas de forma idêntica em qualquer referencial inercial. De modo que a não existir um referencial absoluto ou privilegiado em relação ao qual possam ser feitas medidas absolutas de espaço e tempo, essas medidas se tornam relativas. Para as leis da mecânica se manterem intactas, quando as medidas de espaço e tempo mudam, ao se mudar o referencial, é preciso utilizar as transformadas de Galileu.

Sobre um referencial inercial $S(x, y, z, t)$ em repouso e outro referencial $S'(x', y', z', t')$ também inercial e que se move com velocidade constante em relação a S na direção X :

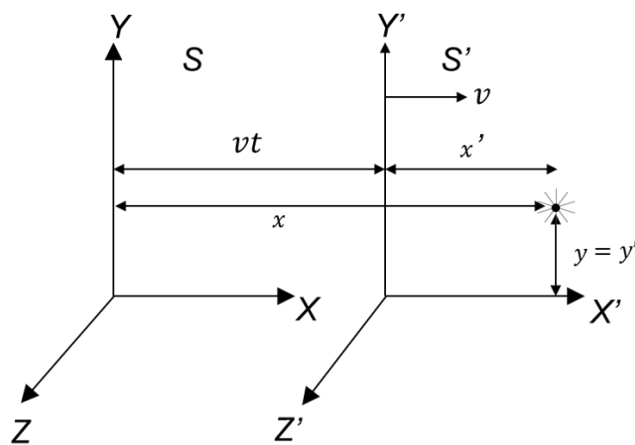


Figura 3.5: Representação gráfica da mudança de referencial galileano.

Embora S e S' tenham estados de movimento diferentes, estando um em movimento e outro em repouso, ambos se constituem referenciais inerciais [26, 29, 30]. Assim, matematicamente, pode-se escrever uma relação de transformação de S para S'

$$\begin{cases} t' = t \\ z' = z \\ y' = y \\ x' = x - vt \end{cases} \quad (3.22)$$

A eq. 3.22 é conhecida como transformada de Galileu. Ao derivarmos duas vezes as coordenadas em relação ao tempo t ou t' , obtemos:

$$\frac{d^2 x'}{dt^2} = 0. \quad (3.23)$$

O que esperava se confirmou, o referencial S' mostrou que a segunda lei de Newton é a mesma do referencial S . Esse princípio da relatividade se manteve intocado até o surgimento das equações de James Clark Maxwell [38], ao deduzir a velocidade da propagação das ondas eletromagnéticas Maxwell trouxe incoerências ao princípio da relatividade, de modo que os físicos buscassem um referencial inercial privilegiado conhecido como éter.

3.2.1 Transformações de Lorentz

O físico neerlandês Hendrik Lorentz propôs em 1904 [27, 38] um modelo matemático com objetivo de preservar as equações de Maxwell. Lorentz trabalhou nas equações desde 1892 com o intuito de explicar os resultados do experimento de Michelson-Morley² até 1904 quando obteve a forma final das suas transformações [27]. Durante o desenvolvimento de suas equações Lorentz utilizou diversos modelos matemáticos para deduzir as transformações, portanto, para a continuidade e coerência desta dissertação utiliza-se a dedução encontrada no volume 4 do livro do Moysés Nussenzveig [27] que utiliza o mesmo sistema de referência 3.5 das transformações de Galileu. Imagine que uma onda eletromagnética esférica parta do referencial S e que coincida o a origem do referencial S' essa onda esférica é descrita pela equação da esfera:

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2 \quad (3.24)$$

e

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2 t'^2. \quad (3.25)$$

²Os físicos Albert Michelson e Edward Morley desenvolveram um experimento afim de detectar a existência do éter, um suposto meio de propagação às ondas eletromagnéticas. O experimento foi realizado em 1887 e trouxe resultado negativo para presença de um movimento relativo através do suposto éter.

A frente de onda em ambos os referenciais deve ser descrita pela transformada de coordenada e satisfazer as condições da transformada de Galileu como uma transformação linear de um referencial para outro. Entretanto tem um problema quanto a simultaneidade, isto é, a frente de onda não é percebida no mesmo instante para o referencial S e S' , esse problema foi explicado por Einstein em seu princípio da relatividade restrita e que será descrito adiante. Para as coordenadas y e z a frente de onda as cruza simultaneamente no instante $t = t'$, portanto:

$$\begin{cases} z' = z \\ y' = y \end{cases} \quad (3.26)$$

Contudo não podemos afirmar que o mesmo ocorre no eixo X de propagação da frente de onda, assim a mudança de referencial deve atender a uma transformação linear

$$x' = A(x - vt). \quad (3.27)$$

E a transformada de t' para t será dada por:

$$t' = Bt + Cx \quad (3.28)$$

Estabelecida as condições pode aplica-las as equações 3.24 e 3.25:

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2t'^2 = 0, \quad (3.29)$$

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = [A(x - vt)]^2 + y'^2 + z'^2 - c^2(Bt + Cx)^2 = 0. \quad (3.30)$$

Precisa-se agora explicitar os coeficientes de transformação,

$$A^2(x^2 - 2xvt + v^2t^2) + y^2 + z^2 - c^2(B^2t^2 + 2BCxt + C^2x^2) = 0 \quad (3.31)$$

Sabe-se que

$$y^2 + z^2 = c^2t^2 - x^2$$

assim:

$$(A^2x^2 - A^22xvt + A^2v^2t^2) + c^2t^2 - x^2 - (c^2B^2t^2 + c^22BCxt + c^2C^2x^2) = 0, \quad (3.32)$$

$$(A^2 - c^2C^2 - 1)x^2 - 2(A^2v + c^2BC)xt + (A^2v^2 - c^2B^2 + c^2)t^2 = 0. \quad (3.33)$$

A igualdade da equação 3.33 pode ser satisfeita caso:

$$\begin{cases} (A^2v + c^2BC) = 0 \\ -\frac{A^2v^2}{c^2} + B^2 = 1 \\ (A^2 - c^2C^2) = 1 \end{cases} \quad (3.34)$$

Na primeira equação tem:

$$A^2 = -\frac{c^2BC}{v} \quad (3.35)$$

Substituindo nas outras equações, tem-se:

$$\begin{cases} -\frac{c^2BC}{v} \frac{v^2}{c^2} + B^2 = 1 \therefore BCv + B^2 = 1 \therefore B(B + Cv) = 1 \\ -\frac{c^2BC}{v} - c^2C^2 = 1 \therefore \frac{c^2C}{v}(B + Cv) = 1 \end{cases} \quad (3.36)$$

A partir da substituição da 3.36 na 3.35 tem:

$$A^2 = B^2. \quad (3.37)$$

Substituindo novamente, a equação 3.36 na 3.34 temos:

$$A^2\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = 1. \quad (3.38)$$

Utilizando a seguinte notação:

$$\beta = \frac{v}{c}. \quad (3.39)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (3.40)$$

Ao utilizar a nova notação para os coeficientes, tem-se

$$A = B = \gamma. \quad (3.41)$$

$$C = \frac{v}{c^2}\gamma. \quad (3.42)$$

Reescrevendo as transformadas de Galileu usando os coeficientes encontrados:

$$\begin{cases} t' = \gamma\left(t - \frac{v}{c^2}x\right) \\ z' = z \\ y' = y \\ x' = \gamma(x - vt) \end{cases} \quad (3.43)$$

As equações 3.43 expressadas acima são as conhecidas transformadas de Lorentz, elas fornecem um método matemático consistente com as equações de Maxwell. Contudo as implicações físicas foram bem formuladas no ano de 1905 quando Einstein publicou o artigo "*Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento*" [27, 36]

3.2.2 Teoria da Relatividade Especial

Diante da inconsistência da eletrodinâmica e a transformada de Galileu, o físico alemão Albert Einstein propôs uma solução em 1905, enunciando dois postulados: I. Princípio da relatividade restrita: As leis da Física são as mesmas em todos os referenciais inerciais. II. Princípio da constância da velocidade da luz: A velocidade da luz no vácuo é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais e independente do movimento da fonte. Através desses princípios da Relatividade, Einstein é capaz de deduzir as transformadas de Lorentz. Contudo esses princípios se mostraram incompatíveis com a mecânica Newtoniana [26, 33]. A dedução de Einstein consiste no abandono das transformadas de Galileu, mantendo o princípio da relatividade clássica e a invariância da Luz figura 3.6:

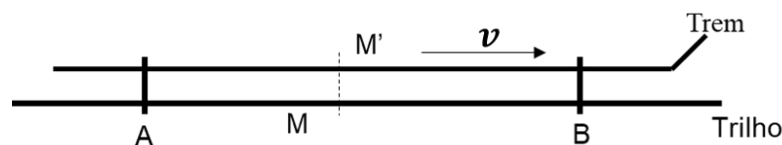


Figura 3.6: Trem de Einstein.

Einstein imagina um trem muito extenso para trabalhar o conceito de simultaneidade, nesse trem ocorrem dois eventos, como raios que caem nos pontos A e B e que são simultâneos, com referência aos trilhos do trem, mas será que também são simultâneos em relação ao trem em movimento? A resposta do Einstein é não. Os raios que atingem as extremidades do trem para um observador sentado na posição M' e repouso em relação a M , as ondas eletromagnéticas dos raios de luz emitidos no ponto A e B , alcançariam simultaneamente M' . Agora, mudando o referencial para o trilho o trem estará acelerando em direção ao feixe de luz vindo de B , enquanto ele está distanciando em do feixe de luz vindo de A . Portanto, o observador verá o feixe de luz emitido por B mais cedo do que ele vai ver que emitida a partir A . Caso houvessem observadores ou detectores sobre os referenciais, chegariam à conclusão de que o relâmpago B ocorreu mais cedo do que o relâmpago A . Esse resultado expressa a relatividade da simultaneidade.

Agora tomemos o mesmo trem e coloquemos dentro dele um relógio com dois espelhos paralelos pelos quais são emitidos sinais luminosos um sinal luminoso de um espelho para o outro. Consideremos dois referenciais inerciais, um com o estado de movimento retilíneo uniforme S' e outro em repouso S . A trajetória descrita pelo feixe de luz no referencial inercial S' é perpendicular aos espelhos (vertical), enquanto que a mesma trajetória no

referencial S descreve uma trajetória oblíqua, veja a Fig.3.7:

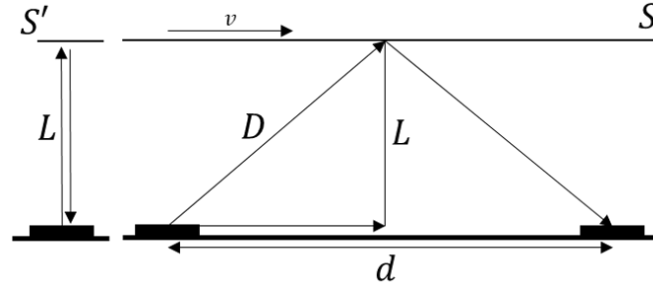


Figura 3.7: Experimento mental de Einstein da trajetória de um feixe de luz dentro do trem.

A trajetória descrita no referencial S' está descrito na Fig. 3.7. O tempo $\Delta t'$ medido durante o percurso no referencial S' é dado por:

$$\Delta t' = 2L/c. \quad (3.44)$$

Enquanto que o tempo $\Delta t'$ medido no referencial S é:

$$\Delta t = 2D/c. \quad (3.45)$$

Sendo a distância D descrita em termos de suas componentes

$$D^2 = L^2 + (d/2)^2. \quad (3.46)$$

Sabendo que:

$$2D = c\Delta t, \quad (3.47)$$

$$d = v\Delta t, \quad (3.48)$$

$$2L = c\Delta t'. \quad (3.49)$$

assim

$$\left(\frac{c\Delta t}{2}\right)^2 = \left(\frac{c\Delta t'}{2}\right)^2 + \left(\frac{v\Delta t}{2}\right)^2. \quad (3.50)$$

Reorganizando as variáveis, obtém-se o tempo $\Delta t'$ Fig.3.51:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}. \quad (3.51)$$

Ao lembrarmos da Eq. 3.40, percebe-se que fator de Lorentz γ está presente na Eq. 3.51, De modo que ao substituir na transformada de Galileu da Eq.3.22 obtém a

transformada de Lorentz 3.51. Ao analisarmos o fator de Lorentz γ , verificamos que para γ ser real a velocidade v deve ser menor que c , o que indica que a velocidade da luz é uma velocidade limite e que nenhum referencial pode se mover com velocidade $v > c$

Durante a descrição da propagação da onda eletromagnética através da equação esférica dada pelas equações 3.24 e 3.43, utilizamos as coordenadas $S(x, y, z, t)$ e $S'(x', y', z', t')$ para descrever um mesmo evento em diferentes referenciais inerciais. As equações 3.33 e 3.34 podem assumir valores positivos, negativos ou nulo, mas possuem um fator de conversão invariante, a velocidade da luz, do mesmo modo que o teorema de Pitágoras apresenta a distância entre dois pontos, existe um análogo para a geometria da relatividade restrita, esse análogo é a distância entre dois eventos, sendo que é descrita no espaço de Minkowski. A descrição das coordenadas de eventos no espaço Minkowski estabelecerá o tempo como uma coordenada, constituindo o espaço-tempo descrito por 4 dimensões [36].

O espaço e o tempo deixam de ser absolutos, a massa passa depender do referencial e a equivalência da massa e energia são algumas das implicações dos princípios da relatividade, que ainda guardava algo mais profundo sobre uma das questões em aberto, deixada por Newton, a gravidade. A relatividade especial elevou um horizonte de descobertas sobre o nosso universo com implicações filosóficas [27, 28, 36].

3.3 Teoria da Gravitação de Einstein

A Teoria da Relatividade Geral proposta pelo Físico Albert Einstein em 1915 foi responsável por responder às questões em aberto, após Newton propor a atuação universal da gravidade, que vão da correlação das massas inercial e gravitacional até a grande pergunta: o que é a gravidade? Veremos as raízes do que Einstein chamou de “pensamento feliz” que revolucionou o entendimento da Realidade[23, 49].

A famosa equação do campo de Einstein, descreve o campo gravitacional:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}. \quad (3.52)$$

onde:

$R_{\mu\nu}$ =Tensor de Curvatura de Ricci.

$g_{\mu\nu}$ =Tensor métrico (métrica).

R =Curvatura escalar.

G = Constante gravitacional.

$T_{\mu\nu}$ =Tensor momento-energia.

O primeiro termo da equação de campo representa as propriedades geométricas de um ponto do espaço-tempo, equivalente ao segundo termo da equação que apresenta o

conteúdo material energético do mesmo ponto no espaço-tempo. As constantes G e c são a constante gravitacional de Newton e a velocidade da luz respectivamente.

Na relatividade geral o espaço-tempo constitui-se de um espaço matemático (topológico) em que cada ponto representa um evento físico concebido por diferentes objetos geométricos. Esses objetos geométricos representados no espaço-tempo plano (espaço de Minkowski da relatividade restrita são representados no espaço-tempo curvo da relatividade geral como generalizações). Isto é, quando representamos a métrica no espaço-tempo plano, pode-se representa-la no espaço-tempo curvo também como um objeto geométrico. Esse espaço-tempo curvo é representado pela variedade Riemann M embora a definição de tensor T_x seja inspirada no vetor velocidade tangente a trajetória da partícula, quando projetado no espaço-tempo curvo preservará todas as suas propriedades geométricas.

3.3.1 Tensor de Momento-Energia

O campo gravitacional gerado pela matéria e energia é representado na relatividade geral por um tensor chamado tensor momento-energia. Ele está intimamente relacionado com o tensor de Ricci [50, 51], descrito no espaço-tempo por uma matriz 4 por 4. A relatividade geral sugere que as transformações de Lorentz para o campo gravitacional $\Phi(x_\mu)$ resultam nas equações do campo de Newton que pelo princípio da covariância devem ser manter invariantes:

$$\Phi(x_\mu) = \Phi'(x'_\mu). \quad (3.53)$$

A teoria newtoniana afirma que uma partícula submetida ao um potencial gravitacional sofre uma aceleração, de modo que a massa gera um campo gravitacional de acordo com equação de Poisson [51]:

$$\vec{\nabla} \Phi = -4\pi G \rho_x. \quad (3.54)$$

Se

$$\vec{\Phi} = -\vec{\nabla}^2 \phi, \quad (3.55)$$

então:

$$\vec{\nabla}(-\vec{\nabla} \Phi) = \nabla^2 \phi = 4\pi G \rho_x. \quad (3.56)$$

Esta equação de Poisson é a forma local da lei da gravitação de Newton. Enquanto que a segunda lei de Newton aplicada a uma partícula submetida a um campo gravitacional fornece a aceleração da gravidade:

$$\phi = -\frac{Gm}{r}. \quad (3.57)$$

A massa gera um campo gravitacional e o campo gravitacional gera aceleração na partícula [51]. Precisamos encontrar a equação da relatividade geral correspondente ao nosso campo escalar $\Phi(x^\mu)$.

A métrica tensorial ou intervalo relativístico na sua forma infinitesimal passa a ser escrita como:

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu. \quad (3.58)$$

Para termos uma descrição da energia e do momento da partícula no espaço-tempo precisamos do tensor métrico:

$$T^{\mu\nu} = \begin{pmatrix} T^{00} & T^{01} & T^{02} & T^{03} \\ T^{10} & T^{11} & T^{12} & T^{13} \\ T^{20} & T^{21} & T^{22} & T^{23} \\ T^{30} & T^{31} & T^{32} & T^{33} \end{pmatrix}. \quad (3.59)$$

Uma característica dos tensores é que ao operar sobre uma métrica nos oferece um resultado invariante. Por isso esse elemento matemático é tão importante para o princípio de covariância. Pelo tensor de Ricci Einstein chegou ao seguinte resultado:

$$R_{\mu\nu} = kT_{\mu\nu}. \quad (3.60)$$

Einstein oferece como resultado, devido inconsistências com o princípio de conservação [51] o tensor de Einstein $G_{\mu\nu}$:

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu}. \quad (3.61)$$

Agora é possível ver como a equação acima se comporta no limite newtoniano, correspondente a presença de um campo gravitacional fraco sobre uma partícula. Pode-se escrever a equação:

$$R_{\mu\nu} = k(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Tg_{\mu\nu}). \quad (3.62)$$

Usando os símbolos de Christoffel:

$$\Gamma_{\mu\nu}^\alpha = \frac{1}{2}g^{\mu\lambda}(g_{\lambda\beta\nu} + g_{\lambda\nu\mu} - g_{\mu\nu\lambda}). \quad (3.63)$$

$$\Gamma_{\mu\nu}^\alpha = -\frac{1}{2}g^{\mu\lambda}g_{\mu\nu\lambda}. \quad (3.64)$$

Podendo decompor a métrica na forma de Minkowski $\eta_{\mu\nu}$:

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} - h_{\mu\nu}, \quad (3.65)$$

Aplicando a equação da geodésica

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} = -\frac{1}{2}\eta_{\mu\nu}\eta_{00}\frac{dt}{d\tau^2}. \quad (3.66)$$

Assim é possível comparar o resultado com a equação:

$$\frac{1}{2}\eta_{00} = \Phi = -G\frac{m}{r}. \quad (3.67)$$

Chegando as componentes da métrica:

$$g_{00} = -1 - 2\Phi. \quad (3.68)$$

Dentre as dificuldades em lidar com a relatividade geral, tem-se a representação gráfica do tecido espaço-tempo utilizando a geometria diferencial. Na mecânica Newtoniana pode ser descrita pela Fig.3.8 o campo gravitacional através campos vetoriais e escalar sobre geometria euclidiana.

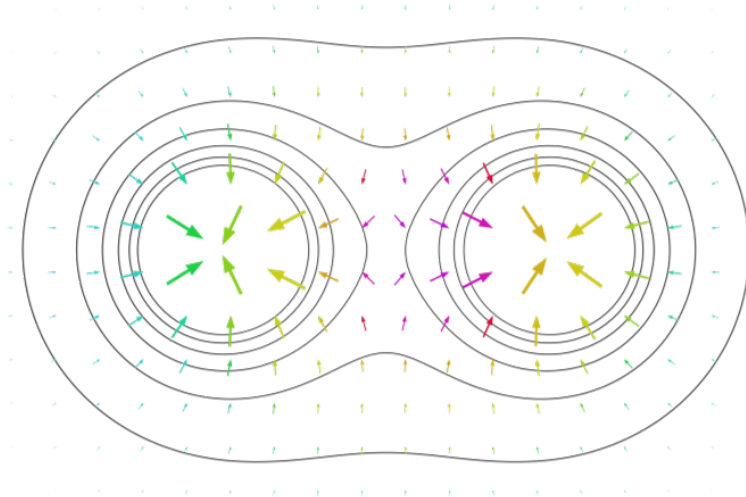


Figura 3.8: Campo escalar e campo vetorial.

Ao representar as coordenadas do espaço-tempo fica limitado com três coordenadas, por isso retira-se uma coordenada espacial e representamos a coordenada temporal. O "espaço-tempo" pode ser representado como uma superfície curva [52], a partir da qual muitas propriedades do espaço-tempo podem ser deduzidas, vejamos a Fig.3.9.

É possível observar que o espaço-tempo tem uma configuração diferente, o tempo está em um ângulo azimutal e o espaço segue em direção ao infinito. A direção espacial quando se aproxima do infinito toma a forma cilíndrica indicando um espaço-tempo sem gravidade.

3.3.2 Massa Gravitacional e Massa Inercial

Newton apresenta duas definições de massa em sua obra. A primeira definição de massa apresentada por ele está na segunda lei do movimento, definida como sendo a

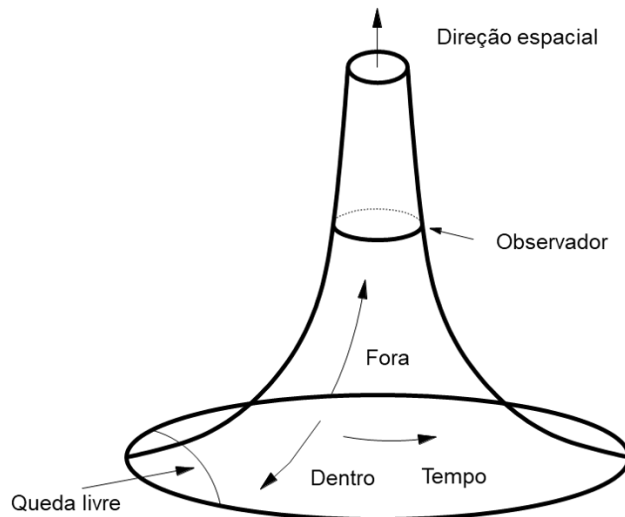


Figura 3.9: Espaço-tempo na perspectiva de Einstein.

razão entre a força resultante aplicada ao objeto e a aceleração produzida nele, essa razão mede a inércia que um objeto tem para conservar o seu estado de movimento e por esse motivo, ela também, é chamada de massa inercial. O método para obter a massa inercial m_i é encontrado, aplicando-se uma força \vec{F} conhecida sobre uma massa desconhecida e medir a aceleração \vec{a}_i produzida, assim:

$$\vec{F} = m_i \frac{d^2 \vec{x}}{dt^2}. \quad (3.69)$$

A segunda definição de massa, está presente na atração gravitacional apresentada e é definida como uma resposta aos campos gravitacionais, isto é, uma propriedade que a matéria possui por experimentar a força gravitacional e por isso é chamada de massa gravitacional. O método para obter a massa gravitacional é uma comparação da força da gravidade (F_g) de uma massa conhecida (m_1) com a força da gravidade de uma massa desconhecida (M_2), cujo o centro está a uma distância $|r_1 - r_2|$ da primeira massa, conforme ilustrado na Fig. 3.10.

$$\vec{F} = G \frac{M_1 m_2}{(r_1 - r_2)^3} |\hat{r}_1 - \hat{r}_2|. \quad (3.70)$$

Percebe-se que as definições de massa inercial e massa gravitacional são distintas. Entretanto experimentalmente não há diferenças nos valores obtidos através dos dois métodos. Vários experimentos foram realizados para comparar os valores e eles sempre concordaram, além disso não existe qualquer previsão teórica para esta coincidência empírica.

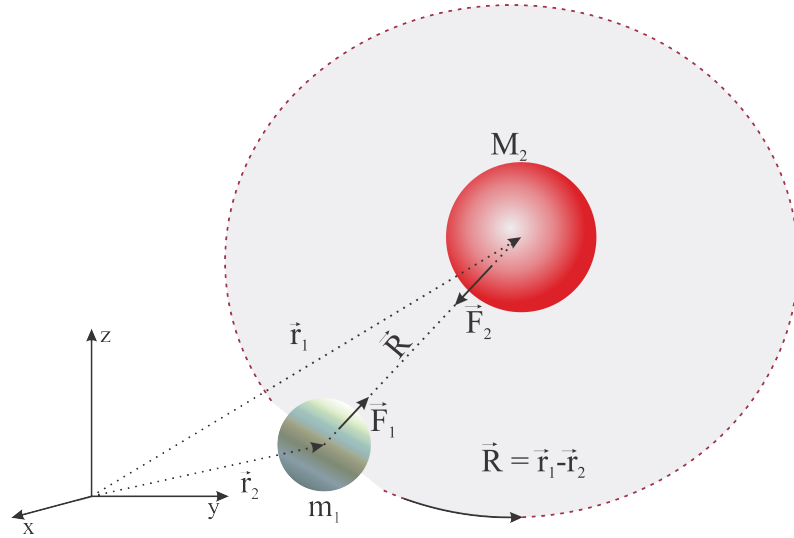


Figura 3.10: Atração gravitacional na perspectiva de Isaac Newton em termos vetoriais com a origem do sistema fora do eixo de coordenadas.

3.3.3 Princípio da Equivalência de Newton

Ao perceber que havia duas definições diferentes para massa, Newton as comparou considerando a atração da Terra sobre um corpo próximo a superfície terrestre, cujo, o corpo de massa (m_1) está a uma distância (r) do centro da Terra de massa gravitacional (M_2). A massa da Terra não muda, assim como sua distância e por isso são constantes, de modo que a eq 3.70 pode ser expressa como:

$$F_g = G \frac{M_1 m_2}{r^2}. \quad (3.71)$$

em linhas gerais, pode-se escrever a eq. 3.71 como:

$$F_g = km_g. \quad (3.72)$$

Contudo o princípio da dinâmica trata a força aplicada sobre corpo como o produto da massa inercial (m_i) pela aceleração produzida (a):

$$F = m_i \frac{d^2 x}{dt^2}. \quad (3.73)$$

Dessa forma uma aceleração correspondente a intensidade do campo gravitacional é chamada de \vec{g} , produzido também uma Força gravitacional (F_g):

$$km_g = m_i \frac{d^2 x}{dt^2}. \quad (3.74)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = k \frac{m_g}{m_i}. \quad (3.75)$$

O experimento de Galileu realizado algumas décadas antes das leis propostas por Newton, revelou que dois corpos com massas diferentes caem com a mesma variação de velocidade. Caso as massas apresentassem diferenças significativas a aceleração devido a atração gravitacional seria diferente em corpos de massas diferentes, caso que não foi observado em ensaio nos experimentos. O que ocorre de forma diferente quando submetemos corpos de massas diferentes a uma força de mesma intensidade, mas de natureza diferente da gravitacional, resultando em acelerações diferentes.

3.3.4 Princípio da Equivalência de Einstein

Após a publicação da Relatividade Restrita em 1905 Einstein estava pensando sobre as implicações da teoria sobre a gravidade, foi ainda trabalhando no escritório de patentes que lhe ocorreu o que ele chamou de “pensamento mais feliz de minha vida”. Einstein ao postular que um observador não distinguiria os efeitos do movimento acelerado e da gravidade, percebeu que a igualdade entre a massa gravitacional e a massa inercial indicava algo mais profundo e que responderia à pergunta em aberto, afinal, o que é a gravidade?

Ao considerar dois sistemas de referência K e K' , o primeiro em movimento acelerado longe de um campo gravitacional e o segundo parado submetido a um campo gravitacional:

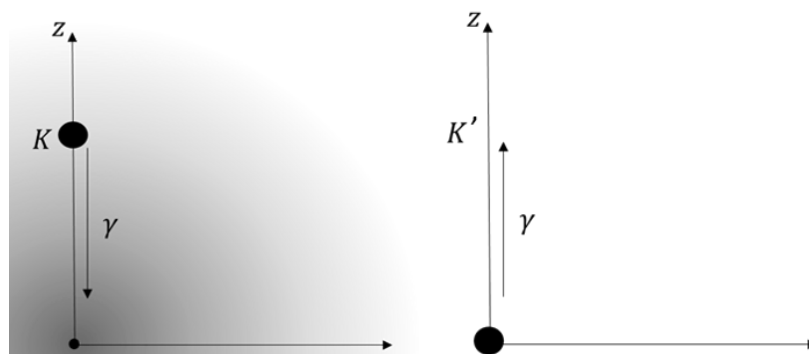


Figura 3.11: a) corpo sobre o efeito do campo gravitacional com aceleração no sentido negativo do eixo z . b) corpo acelerado no sentido positivo do eixo z .

No primeiro referencial, ilustrado pelo item a) da Fig. 3.11 K' temos um objeto submetido a um campo gravitacional homogêneo, seguindo o princípio de Galileu em que todos os corpos caem com a mesma aceleração e no segundo referencial K , item b) na Fig. 3.11 temos a mesma situação da segunda lei de Newton. A equivalência newtoniana dos dois referenciais já foi demonstrada, entretanto Einstein forneceu uma generalização do princípio da equivalência para todos os processos físicos, não havendo modo para

distinguir um campo de aceleração de um campo de gravitação. Esse princípio formulado dessa forma produz diversas implicações, uma das implicações que levam diretamente é:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = 0, \quad (3.76a)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = 0, \quad (3.76b)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = g. \quad (3.76c)$$

de modo que a força:

$$m_i \frac{d^2z}{dt^2} = F'_K - m_i g. \quad (3.77)$$

Ao concluir que as massas são iguais $m_i = m_g = m$ teremos a força aplicada ao referencial K' igual a zero. Isso demonstra que a aceleração experimentada pelo referencial K' pode ser neutralizada quando acompanhada de um segundo referencial K com mesma aceleração. Percebemos que a força gravitacional está presente a partir de um referencial inercial, mas observada do referencial submetido a aceleração gravitacional a gravidade não é percebida:

$$F'_K = 0. \quad (3.78)$$

Sistemas de referência uniformemente acelerados (não-inerciais) são equivalentes a sistemas de referência inerciais submetidos a um campo gravitacional uniforme. Isso é o que explica o fato de os astronautas flutuarem no espaço quando em situação de queda-livre.

3.3.5 Desvio de um Feixe de Luz pelo Sol

Uma das previsões do princípio da equivalência de Einstein foi a deflexão dos raios de luz vindas de estrelas provocada pela presença de um campo gravitacional. Einstein percebe a partir do princípio de Huygens³ [28] que uma frente de onda ao propagar próxima de um objeto massivo sofre uma mudança de velocidade, veja a Fig.3.12.

Na ausência de um campo gravitacional, uma frente de onda propagando no espaço continua sem alterar sua direção. Ao se aproximar de uma região do espaço com um campo gravitacional a frente de onda começa a variar sua velocidade conforme sua posição em relação a fonte gravitacional.

³O primeiro artigo contendo as implicações do princípio da equivalência de Einstein trata o desvio da luz através do método de Huygens obtendo metade do valor de deflexão, mais tarde corrigido no artigo de 1915 § 4. Curvatura dos raios de luz no campo gravitacional - Sobre a influência da gravitação na propagação da luz. Por A. Einstein. *Annalen der Physik*, 35, pp. 898-908, 1911

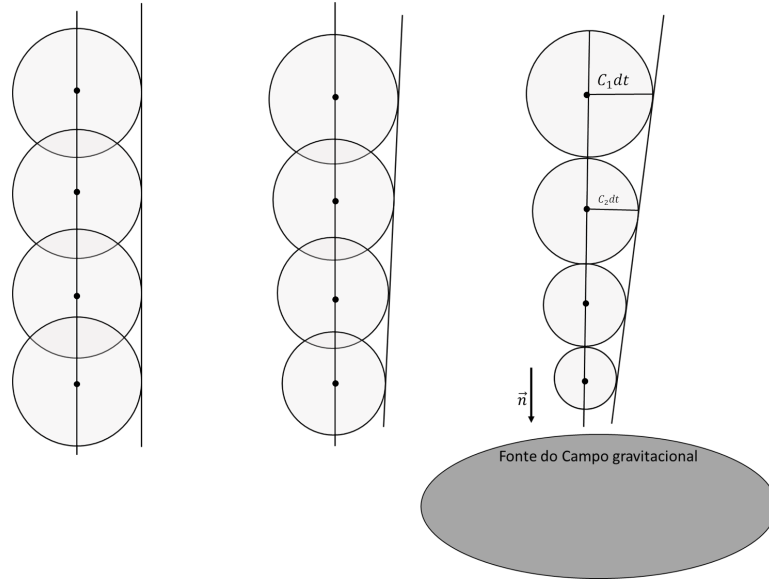


Figura 3.12: Propagação da frente de ondas na ausência e na presença de um campo gravitacional.

Que leva:

$$d\theta = \frac{(c_1 - c_2)dt}{dr}. \quad (3.79)$$

Aplicando o limite a fim de determinar a variação do desvio da onda ao longo da direção de propagação \vec{n} :

$$\lim_{dr \rightarrow 0} \frac{(c_1 - c_2) dt}{dr}. \quad (3.80)$$

Ao tratar a distância $d\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ como uma componente da distância $d\vec{r}$ na direção do campo gravitacional \vec{n} , pode-se aplicar o limite $dr \rightarrow 0$ tendo:

$$d\theta = \lim_{dr \rightarrow 0} \frac{(C_1 - C_2)}{dr} = \lim_{dr \rightarrow 0} \frac{cdt}{dr} = \nabla cdt \cdot (\vec{n}). \quad (3.81)$$

A derivada direcional dirá a que taxa cdt varia conforme desloca na direção \vec{n} , podendo, assim, escrever como:

$$d\theta = \nabla c\vec{n}dt = \frac{\partial}{\partial n} cdt. \quad (3.82)$$

Se descrever o resultado em função do potencial ϕ e do tempo $dt = ds/c$, chegaremos:

$$d\theta = \nabla c\vec{n}dt = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \phi}{\partial n} ds. \quad (3.83)$$

Para descobrir o ângulo de deflexão, deve-se expressar o lado esquerdo da equação em termos diferenciais angulares.

$$\alpha = \frac{1}{c^2} \int_{\pi/2}^{\pi/2} G \frac{M}{r^2} \cos\theta d\theta. \quad (3.84)$$

O ângulo de deflexão da luz obtido:

$$\alpha = \frac{2GM}{c^2 R} = 0,83 \text{arcseg}. \quad (3.85)$$

O valor da deflexão obtido é o mesmo valor presente no artigo de Einstein "Sobre a influência da gravitação na propagação da luz"[54] de 1911. Einstein obtém o dobro desse valor no artigo de 1915[36] através:

$$\delta = \frac{4GM}{(c^2 R)} = 1,75 \text{arcseg}. \quad (3.86)$$

Esse novo valor é obtido por Einstein quando adentrou em uma nova matemática que descrevia o que ele chamou de curvatura espaço-tempo, através das correções relativísticas chegou ao dobro do valor. Este valor foi mais tarde confrontado pela expedição de 29 de maio de 1919 na cidade de Sobral do Ceará que durante um eclipse total solar provou essa parte da Teoria Geral da Relatividade.

Este capítulo descreve a metodologia da pesquisa, bem como, aborda o delineamento da mesma, na qual contém as escolhas dos conteúdos da Física que foram utilizados na sala de aula, o público alvo, a descrição do produto educacional, além das etapas de aplicação do produto educacional.

4.1 Natureza do Estudo

A pesquisa interventiva [18] foi a natureza do estudo realizado, com a finalidade de desenvolver um produto educacional para influenciar o processo de ensino-aprendizagem em Física na rede básica de ensino. A análise dos dados ocorreram de forma qualitativa, pelo fato de envolver informações de discurso em contexto social [19]. A modalidade do trabalho produzido tem enquadramento teórico metodológico na pesquisa de aplicação ou pesquisa aplicada [18, 19, 21]. Nessa pesquisa teve o envolvimento e planejamento (projeto), aplicação do material educacional, coleta de dados e análise dos resultados contribuindo para a geração de conhecimento e práticas educacionais. O trabalho também se enquadra na pesquisa e desenvolvimento que [20] fundamenta os estudos localizados em uma linha teórica pedagógica que a partir de um problema desenvolve um produto pedagógico com o objetivo de solucionar ou mitigar o problema levantado.

4.2 Delineamento do Estudo

Inicia-se com apresentação dos conteúdos da Física escolhidos para o estudo, localiza-se as turmas (público alvo) que poderiam receber os conteúdos para em seguida aplicar-se os pré-teste com objetivo de entender as concepções dos estudantes em relação aos conceitos

e utilizá-las para o desenvolvimento do produto educacional. Após o desenvolvimento do produto foi realizado um segundo planejamento com as etapas de aplicação contendo os planos de aula e as metodologias de ensino.

4.2.1 Conteúdos da Aula

Durante a escolha dos tópicos da Física foram escolhidos conteúdos que estão diretamente relacionados à Astronomia. Com acompanhamento realizou-se uma pesquisa inicial e encontrou várias animações referentes a diversos fenômenos abordados pela Astronomia, a exemplo, dos movimentos da Terra, a exemplo, da rotação, translação, precessão, eclipses entre tantos outros, bem como os efeitos desses movimentos sobre a Terra. Essa pesquisa mostrou que foram elaboradas muitas animações para explicar fenômenos astronômicos. Foi quando percebeu-se também a necessidade de delimitar o tema, além disso, deveria abordar conceitos presentes em tópicos da Física contemporânea conectada aos conceitos clássicos encontrados nas aulas tradicionais, afim de contribuir com a atualização do currículo de Física no ensino médio[21]. Diante das poucas aulas de Física que são oferecidas na rede pública de ensino estadual de Rondônia[22], cerca de 2 aulas semanais de 48 minutos cada, conclui-se que a TGU de Newton e a TRG de Einstein seriam conteúdos que atenderiam a necessidade de atualização da componente curricular.

4.2.2 O Público Alvo

O trabalho foi desenvolvido na Escola Barão dos Solimões em duas turmas do 1º Ano do ensino médio, tendo a primeira 21 alunos e a segunda 20 alunos com total de 41 alunos. O trabalho desenvolvido nessas turmas ocorreu porque a componente curricular do ensino médio contém os conteúdos da Física escolhidos para o estudo. A geolocalização da escola está descrito na Fig. 4.1. [41].

4.2.3 A Coleta de dados

Para a coleta de dados foram utilizados os pré-testes com objetivo de investigar as possíveis concepções alternativas dos alunos quanto ao conhecimento referente a lei da gravitação universal de Newton. Posteriormente foi apresentando-os o produto educacional contendo animações baseadas nos conceitos levantados pela TGU de Newton, relacionando com as concepções observadas.

4.2.4 Pré-teste

A aplicação do pré-teste ocorreu no primeiro encontro com duração de 48 minutos, contendo perguntas abertas e fechadas, afim de mapear conhecimentos prévios dos estudantes sobre os conteúdos a serem trabalhados em sala de aula. A análise do pré-teste, além de

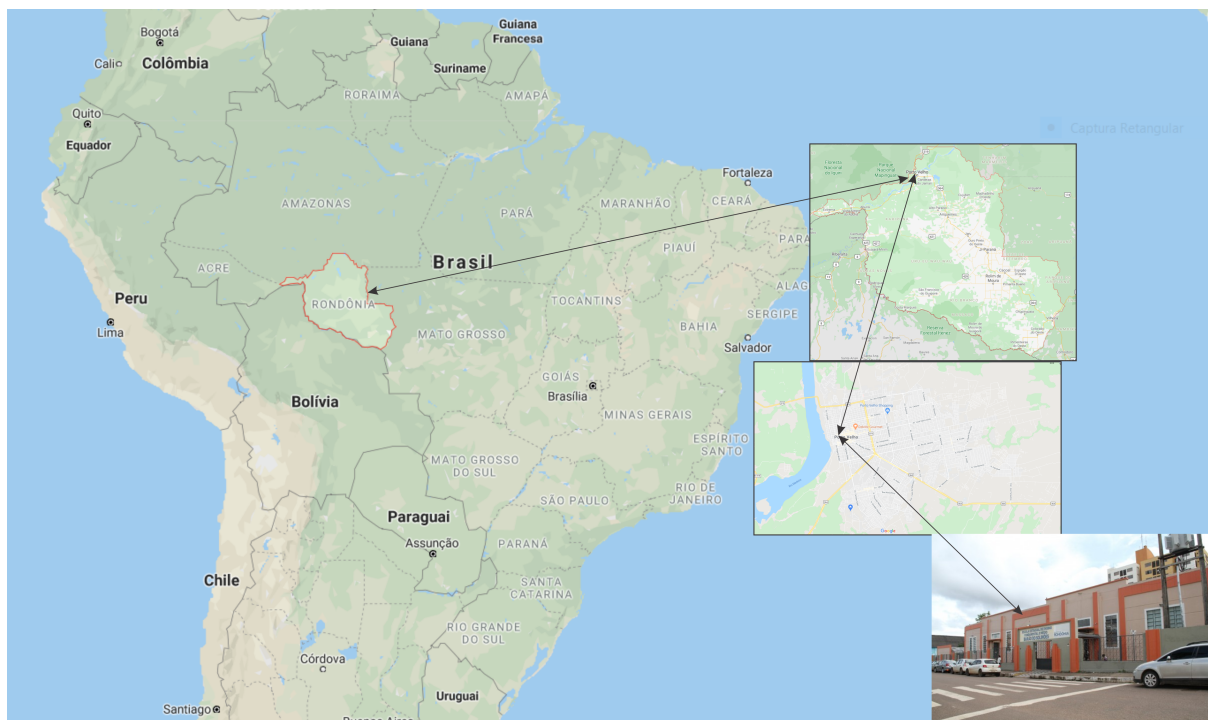


Figura 4.1: Geolocalização da Escola Estadual Barão de Solimões, situada na Rua José Bonifácio, 351, Caiari, Porto Velho - RO. [41]

mapear os conhecimentos prévios dos estudantes serviu como base para a elaboração do produto e gerar informações usadas para construção dos planos de aulas.

4.2.5 Análise dos Dados

A análise educacional dos dados gerados pelos questionários ocorreu de forma qualitativa. Essa forma de análise permite ao estudo observar as concepções construídas pelos estudantes em suas estruturas cognitivas, bem como elaborar estratégias metodológicas para uma interação mais adequada com os modelos mentais dos alunos.

4.2.6 Descrição do Produto Educacional

O produto educacional construído, com roteiro de aplicação e organizado em 10 aulas traz vídeos e animações produzidas em um *software* de modelagem 3D para o ensino da Teoria da Gravitação Universal de Newton. Tais mídias destinam-se aos alunos do ensino médio. As aulas apresentam conceitos e exemplos que podem ser seguidos pelo professor. Ao final do manual que contém o desenvolvimento do material estão destacadas as principais referências bibliográficas utilizadas e as respostas das atividades propostas.

4.2.7 Planejamento Pedagógico

Os conteúdos foram selecionados e organizados inicialmente de acordo com as BNCCs, de modo a usar a competência (EM13CNT204) que contém um conjunto de habilidades necessárias ao desenvolvimento da competência específica da área de gravitação. Os objetos de conhecimento apresentam os conteúdos da disciplina que devem ser utilizados para desenvolver essas habilidades, neste caso as interações gravitacionais. A BNCC oferece as competências à serem desenvolvidas em sala de aula, cabendo ao professor o desenvolvimento do conteúdo, por isso o professor deve desenvolver seu método de aula. Nesse momento começa-se a analisar o pré-teste e percebe que embora a palavra gravidade fosse citada diversas vezes pelos estudantes, havia a necessidade de explicar o seu significado. O primeiro plano de aula (disponível em anexo a este documento na página 106) foi escrito enfatizando os aspectos etimológicos da palavra gravidade. O segundo plano de aula (disponível em anexo a este documento na página 107) apresentamos o modelo do sistema solar heliocêntrico comparado ao modelo geocêntrico com questionamentos aos alunos sobre diferença entre os dois modelos. No terceiro plano (disponível em anexo a este documento na página 108) de aula aborda-se a lei da gravitação universal para massas pontuais e o argumento de Newton. O planejamento para quarta lição (disponível em anexo a este documento na página 109) envolveu cálculo da força gravitacional e solução de problemas. No quinto plano de aula (disponível em anexo a este documento na página 110) trata o conceito de campo para Física, partindo de algumas experiências do cotidiano dos estudantes. Acrescenta no plano de ensino o sexto plano de aula (disponível em anexo a este documento na página 111) envolvendo a astronomia antiga. O nosso sétimo plano de aula (disponível em anexo a este documento na página 112) com a turma foi apresentado a energia potencial gravitacional. No oitavo planejamento (disponível em anexo a este documento na página 113) com a turma apresentou a diferença entre massa inercial e massa gravitacional. Nos planos de aulas nove e dez (disponível em anexo a este documento na página 114) apresentamos a interpretação de Einstein para gravitação.

4.2.8 Método de Ensino

As animações renderizadas no Blender, assim como as animações exibidas na janela de visualização em tempo real foram aplicadas em 10 aulas, através de métodos de ensino expositivo (dialogado) tendo em vista a escassez de tempo e a organização antecipada dos conteúdos. Por ser dialogada a aula tem o objetivo de desenvolver a participação com questionamentos e discussões. O método demonstrativo também foi aplicado em momentos que os estudantes pudessem manipular a interface do Blender, esse método demonstra o potencial da renderização em tempo real para as aulas com simulação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos através da análise das respostas dos alunos aos questionários ao longo da aplicação do produto educacional, bem como a pesquisa de qualidade baseada nas impressões do estudantes sobre o material educacional são expostos e analisados neste capítulo.

5.1 Análise dos Instrumentos de Avaliação

Os participantes foram avaliados por meio de provas específicas, sem consulta a materiais de apoio. No primeiro encontro com os estudantes foi apresentado os objetivos do questionário e como a participação deles seria de suma importância ao estudo. Foi destinado a cada turma o tempo de 60 minutos para responder ao questionário prévio. O pré-teste foi composto de quatorze (14) questões com cinco (5) questões de múltipla escolha de (a) a (d) e nove questões abertas. O formulário do pré teste está anexado a esta dissertação com subtítulo “Questionário Prévio 3^o Bimestre 2019” disponível na página [106](#).

5.1.1 Análise Qualitativa do Pré-teste

A primeira e segunda pergunta questionavam sobre a interação gravitacional Terra-Lua e Sol-planetas respectivamente partindo de uma afirmativa, seguida de um questionamento, representada na Tab. [5.1](#). O objetivo dessas perguntas consiste em entender qual conceito o aluno utiliza para explicar o motivo pelo qual a lua não colide contra a Terra, sabendo que existe uma atração entre os dois astros e se é capaz de utilizar esse conceito em outros sistemas.

Tabela 5.1: Respostas para a pergunta: “A Terra atrai a Lua, por isto ela gira em torno da Terra. Por que a Lua não cai na Terra?” das Turmas A e B distribuídas em campos conceituais.

| Respostas a 1ª e 2ª Questão | Quantidade |
|-----------------------------|------------|
| Gravidade | 16 |
| Não sabe | 12 |
| Repulsão e Atração | 3 |
| Longe do Sol | 2 |
| Translação | 2 |
| Campo Gravitacional | 3 |
| Força Gravitacional | 2 |

Nota-se pela tabela 5.6, um grande número de respostas dos alunos à questão apresentava a palavra gravidade, outros utilizaram palavras semelhantes como força gravitacional e campo gravitacional, mas em sua maioria escreveram somente a palavra, isso demonstra que os alunos não compreendiam o seu significado e somente a associavam com a atração entre a Terra e a Lua. Outro número grande de alunos não soube responder. Enquanto que alguns estudantes relacionaram a órbita lunar com repulsão e atração, o que talvez guarde uma relação com o eletromagnetismo.

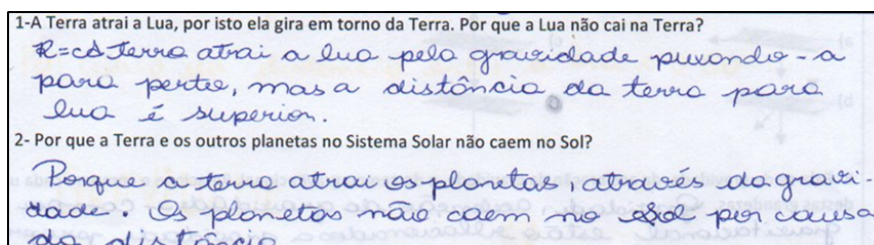


Figura 5.1: Resposta do Estudante A.

Na resposta, exposta na Fig. 5.1, o estudante, entende que gravidade é responsável pela atração (puxando) a Lua, entretanto quando é pedido para explicar por que a Lua não colide contra a Terra, o estudante acredita que a grande distância entre a Terra e o satélite natural não permite que toque a superfície terrestre como os objetos que estão próximo e que também são atraídos.

Nas questões três e seis (Fig. 5.3) procurou-se identificar quais as concepções dos estudantes para a queda dos objetos na superfície terrestre e se essas concepções guardavam relação com os conceitos aceitos cientificamente. Muitos estudantes continuaram usando a palavra gravidade como se ela carregasse uma explicação para todos os fenômenos, contudo algumas concepções chamaram atenção e revelam concepções alternativas

como explicação, como pode ser visto na Tab. 5.2.

Tabela 5.2: Conceitos alternativos expressos pelos estudantes às questões 2 e 3.

| Respostas a 3 ^a e 6 ^a Questão | Quantidade 3 ^a | Quantidade 6 ^a |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Gravidade | 16 | 4 |
| Não sabe | 12 | 20 |
| Campo Gravitacional | 6 | 1 |
| Repulsão e Atração | 2 | 1 |
| Força Gravitacional | | 1 |
| Matéria Viva | 3 | 3 |

Na resposta 6 da Fig. 5.2 o estudante utilizou concepções biológicas para explicar o motivo pela qual ele não sentia a interação gravitacional com a cadeira, evidenciando a diferença entre o ser vivo e o objeto inanimado.

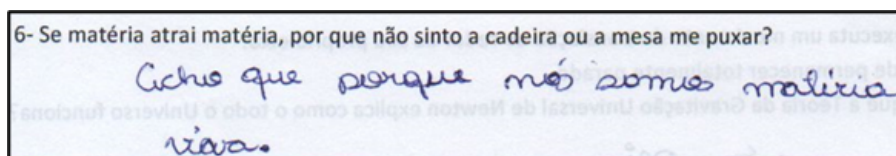


Figura 5.2: Resposta do Estudante B para a 6^a questão.

Também encontrou-se respostas corretas como a presença de um objeto massivo que gera alteração no espaço, entendida pelo estudante como campo gravitacional que é comunicada a outro objeto de massa. O estudante também compreendeu que a quantidade de massa influencia na atração dos objetos, fornecendo uma resposta adequada a pergunta.

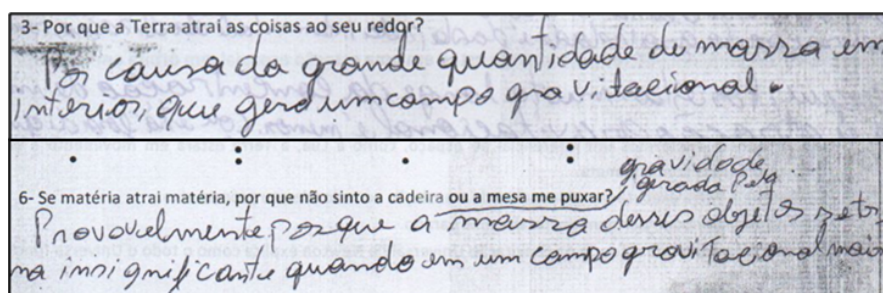


Figura 5.3: Conceitos do Estudante C.

A questão 9 (Tab. 5.3 e Figs. 5.4 e 5.5) busca entender qual conceito os alunos recorrem para explicar a flutuação dos astronautas nas cabines espaciais. E na questão dez se é possível simular ausência de gravidade mesmo em locais com gravidade.

Tabela 5.3: Distribuição das respostas dos estudantes das questões 9 e 10.

| Respostas a 9 ^a e 10 ^a Questão | Quantidade 3 | Quantidade 6 |
|--|--------------|--------------|
| Não sabe | 14 | 32 |
| Translação | 0 | 1 |
| Resistência do Ar | 1 | 5 |
| Vácuo | 2 | 2 |
| Ausência de Peso/Gravidade zero | 24 | 0 |

Novamente os estudantes em sua resposta na Fig. 5.4 recorrem muito a palavra gravidade para explicar os fenômenos descritos. Confirmamos que eles utilizam a palavra como antigamente ela era usada, como um atributo dos objetos com uma tendência de ir ao chão, não guardando relação com o pensamento transmitido por Newton.

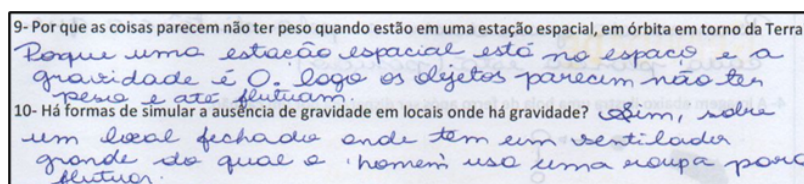


Figura 5.4: Conceitos do Estudante D.

Através das respostas na Fig. 5.4 para as questões 9 e 10, observa-se que para todos os objetos que flutuam os estudantes associam à gravidade nula, como exemplo dos astronautas em órbita muito observado em mídias. Em outras respostas como a do estudante E Fig. 5.5, observamos que chama outros conceitos da Física como a força de arrasto que surge em resistência ao movimento através de um fluido, neste caso, o ar.

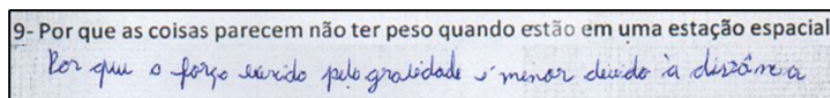






Figura 5.5: Resposta do Estudante E para a questão 9.

Alguns estudantes responderam corretamente que a força gravitacional é menor quando os objetos estão distantes da fonte gravitacional, embora este não seja o motivo pela qual os astronautas flutuem.

As cinco questões de múltipla escolha analisadas, questões 4 (Tab. 5.4), 5 (Tab. 5.5), 7 (Tab. 5.6), 11 (Tab. 5.7) e 13 (Tab. 5.8) revelam concepções alternativas dos estudantes, na quarta questão temos uma figura ilustrando o lançamento oblíquo de um projétil, em seguida são oferecidas quatro alternativas.

Tabela 5.4: Respostas dos estudantes para a questão 4 que diz respeito a expressão da relação entre movimento e força.

| Alternativas da questão 4 | |
|--|----|
| a)  | 14 |
| b)  | 12 |
| c)  | 14 |
| d)  | 1 |

Desprezando a resistência do ar, a força gravitacional é a única força presente, pelos resultados apresentados na Tabela 5.4 observa-se que os alunos trazem em sua estrutura cognitiva a abstração de que o movimento está ligado a força, isto é, se o projétil lançado pelo canhão na direção horizontal segue no sentido da esquerda para direita eles acreditam que existe uma força produzindo o movimento no mesmo sentido, enquanto que a força gravitacional atuaria na direção vertical no sentido de cima para baixo. Essa concepção está ligada também ao conhecimentos prévios dos estudantes, o que Ausubel chamou de Subsunoçores [20].

Tabela 5.5: Respostas dos estudantes para a questão 5 que diz respeito resistência do ar.

| Alternativas da questão 5 | Quantidade |
|---------------------------|------------|
| a) | 19 |
| b) | 3 |
| c) | 14 |
| d) | 5 |

As respostas da questão 5 estão listadas na Tab. 5.5. Dos 41 estudantes 27 escolheram alternativas incorretas, dentre eles 3 alunos marcaram a alternativa (b) e 5 alunos marcaram alternativa (d), cerca de 19 estudantes escolheram a alternativa (a), revelando uma concepção alternativa de que a queda-livre de um objeto ocorre com velocidade constante. Responderam corretamente e marcaram a alternativa (c) 14 estudantes.

Confirma-se essa concepção prévia dos alunos quanto ao movimento estar associado a uma força na questão 7, com respostas listadas na Tab. 5.6. Nota-se que mesmo ao desprezar a resistência do ar os alunos abstraem o fenômeno a partir de suas lembranças não analisando o enunciado.

Ao imaginar que uma nota de papel cai do alto da ponte muitos alunos ofereceram como resposta a alternativa d), alternativa correta, contudo 23 dos estudantes distribuíram

Tabela 5.6: Resposta a questão 7 pelos estudantes. Relação entre força e movimento expresso nas escolhas dos estudantes.

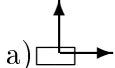
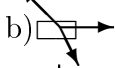
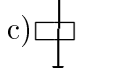
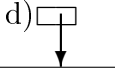
| Alternativas questão 7 | |
|--|----|
| a)  | 11 |
| b)  | 11 |
| c)  | 1 |
| d)  | 18 |

Tabela 5.7: Respostas a questão 11. Alternativas escolhidas relacionadas as leis de Newton pelos estudantes.

| Alternativas da Questão 11 | Quantidade |
|--|------------|
| a) O movimento retilíneo e uniforme é consequência da aplicação de uma força constante sobre o corpo que se move. | 14 |
| b) Para toda ação existe uma reação correspondente, sendo a força normal a força de reação sobre objetos em superfícies planas. | 11 |
| c) Se um corpo está acelerado, está certamente sobre ação de uma força, ou um conjunto de forças e resultante diferente de zero. | 11 |
| d) A força centrífuga é uma força que surge em decorrência da lei da inércia sobre corpos que obedecem a um movimento circular e que têm como reação a força centrípeta. | 5 |

suas respostas nas outras alternativas por recorrerem as suas lembranças ao soltarem ou observarem um papel caindo, confirmada quando alguns alunos durante o pré-teste soltavam a folha de papel sob influência do ar e observavam o movimento até tocar o chão, assim retiravam suas conclusões de que a força estava associada aos diversos sentidos do movimento que folha executava até tocar o chão. Isso demonstra uma dificuldade em abstrair o enunciado e por isso a necessidade de recorrer a experiência.

As respostas à questão 11, disposta na Tab. 5.7, também corroboram para a concepção alternativa dos estudantes quanto a relação entre o movimento e a força, 14 alunos marcaram a alternativa (a) confirmando essa concepção.

Na questão 13, representada na Tab. 5.8, busca compreender as concepções dos estudantes sobre o conceito referencial presente na obra de Newton através do movimento absoluto, visando obter as concepções dos estudantes quanto a capacidade de imaginar a

Tabela 5.8: Respostas a questão 13, alternativas escolhidas relacionadas ao referencial

| Alternativas da Questão 13 | Quantidade |
|---|------------|
| a) Porque o Sol sempre é o referencial adotado, uma vez que é o corpo mais massivo do sistema solar; então, estamos executando o movimento de translação com a Terra. | 13 |
| b) Porque se adotarmos um referencial no espaço, como a Lua, a Terra estará em movimento e nós nos movimentamos com o planeta. | 12 |
| c) Porque a Terra executa um movimento de translação ao redor de seu próprio eixo. | 10 |
| d) Porque nada pode permanecer totalmente parado. | 6 |

orientação do objeto em uma perspectiva diferente.

As respostas quanto ao referencial adotado responsável por diferenciar o estado de movimento do objeto revelam a dificuldade dos estudantes em trabalhar com a orientação espacial, esse impedimento ocorre devido as experiências cotidianas, o fato de sentirmos os efeitos da aceleração quando estamos em movimento ou mesmo em velocidade constante quando a paisagem muda reforçam o conceito de referencial presente em nossas lembranças.

5.2 Aplicação do Produto Educacional

Após análise das respostas dos estudantes ao pré-teste elaborou-se o primeiro plano de aula tendo em vista as concepções sobre gravidade, recorreu-se aos aspectos históricos e a etimologia da palavra gravidade mostrando que a resposta deles necessitava ser complementada, melhorada ou até mesmo corrigida em sua totalidade. Apresentou-se então o modelo do sistema solar heliocêntrico e o modelo geocêntrico, indagados sobre qual a diferença entre os dois modelos, os alunos responderam que o centro da trajetória (órbita) dos planetas mudava. Perguntado se essa era a única diferença, perceberam que as trajetórias em torno do Sol eram regulares, enquanto que as órbitas em torno da Terra se mostravam irregulares. Nessa aula foi mostrado que Newton não descobriu e tão pouco criou a palavra gravidade, a importância do referencial e como sua escolha afeta o estado de movimento dos astros evidenciando a diferença entre o modelo heliocêntrico e geocêntrico. Embora o conceito sobre o referencial seja um dos primeiros conceitos abordados nos livros e nas aulas de física, sua abstração tem um grau elevado e por isso necessita ser recordado em diversos momentos.

No segundo encontro foi apresentado o argumento original de Newton para a gravitação universal através de uma proposta dialogada e expositiva. Relembrando o conceito de queda-livre e a interpretação de Galileu. Em seguida mostrou-se os valores já conhecidos

por Newton como a distância da Terra à Lua e o período da órbita lunar de acordo com a figura 3.4, com esses valores calculamos a aceleração centrípeta da Lua posteriormente comparamos com aceleração de um objeto em queda livre próximo da superfície terrestre. Apesar da força da gravidade ser calculada por uma lei quantitativa Newton não calculou sua intensidade, mas descobriu que sua influência se estendia da superfície do planeta aos pontos mais distantes do universo.

Na terceira aula foi introduzido a lei da gravitação universal para massas esféricas e massas pontuais, além da interpretação geométrica da lei do inverso do quadrado, os estudantes também praticaram cálculos para encontrar a atração gravitacional entre o Sol e os planetas do sistema solar e a cada aula, questões do formulário prévio eram respondidas. Nesse momento foi apresentado o argumento de Newton presente no escólio do volume III da obra *principia* que ficou conhecido como canhão de Newton.

Na quarta lição foram trabalhados mais problemas envolvendo a solução através da lei da gravitação, levou-se para aula o aspecto histórico da constante gravitacional e foi mostrado como esse fator de multiplicação influencia na intensidade da força gravitacional entre objetos com massas consideradas pequenas. Os estudantes calcularam a força gravitacional entre dois alunos, a massa da Terra, a partir dos valores conhecidos como a massa do segundo objeto a distância da superfície terrestre, a força inercial e a constante gravitacional. Comentou-se também sobre o legado de Newton para a ciência.

No quinto encontro foi abordado a gravitação por meio do conceito de campo, para um melhor entendimento por parte dos alunos foi utilizado uma comparação do campo gravitacional com um campo de futebol, assim como o campo de futebol é uma determinada e limitada região do espaço onde funcionam regras, o campo gravitacional também possui “regras” que é chamado de lei da gravitação, foi apresentado as linhas de campo, um conceito que não foi desenvolvido por Newton, mas que contribui para o modelo de gravitação. O conceito de campo gravitacional tem um grande valor na abordagem das interações à distância entre objetos, como a atração de ímãs e o movimento de queda dos objetos que estão presentes diariamente nas experiências dos estudantes. Aqui foi diferenciado o campo gravitacional de força gravitacional e aceleração gravitacional.

A sexta aula não estava prevista no plano de ensino, mas devido as discussões na sala de aula e a curiosidade despertada nos alunos sobre como os astrônomos descobriram a circunferência da Terra e a distância entre nosso planeta e a Lua, ficou determinado que esse conteúdo deveria ser inserido no planejamento. Essa aula foi muito importante, já que os estudantes trouxeram discussões presentes nas redes sociais sobre a forma da Terra que tornaram oportuno o momento para discussões sobre a ciência e a diferença entre “saber” e “acreditar”.

No sétimo encontro com a turma o conceito de energia potencial gravitacional foi retomado e abordado modelos físicos para interpretação das interações gravitacionais como o gradiente. Nessa aula foram combinados os dois modelos vetorial e escalar utilizados na mecânica celeste para representar os sistemas Terra-Sol e Terra-Lua.

No oitavo encontro foi apresentado o conceito massa inercial e massa gravitacional relacionando as duas equações para força, fez-se o uso de animação com elevador, um experimento mental utilizado por Einstein para explicar como as leis da física são validas para quaisquer referenciais, sejam inerciais ou não-inerciais.

Iniciou a lição nove com questionamento sobre a TRG, que se os estudantes já ouviram falar sobre a teoria e o que eles sabiam sobre o assunto. Muitas das respostas dos estudantes estavam presentes na teoria da relatividade especial, a exemplo, do limite de velocidade luz, viagem no tempo. Mas não sabiam diferenciar a relatividade especial da relatividade geral. Em seguida foi apresentado o experimento mental do elevador utilizado por Einstein para explicar como o referencial não inercial interfere no movimento da luz, produzindo uma deflexão (desvio) da trajetória da luz.

Na décima aula foi retomado a gravitação aos olhos da Teoria da Relatividade Geral. Nesse momento foi apresentado as animações sobre o que seria o tecido espaço-tempo e como a interpretação de Einstein não tratava a gravidade como uma força e sim como coincidência geométrica. Mostramos a deflexão da luz e a previsão teórica confirmada pelas expedições astronômicas em Sobral durante o eclipse solar de 1919.

5.2.1 Análise do Pós-teste

Foi aplicado um pós-teste como avaliação parcial com questões abertas e fechadas, além de questões envolvendo cálculo, a Fig. 5.6 representa as questões fechadas com o percentual de alternativas marcadas.

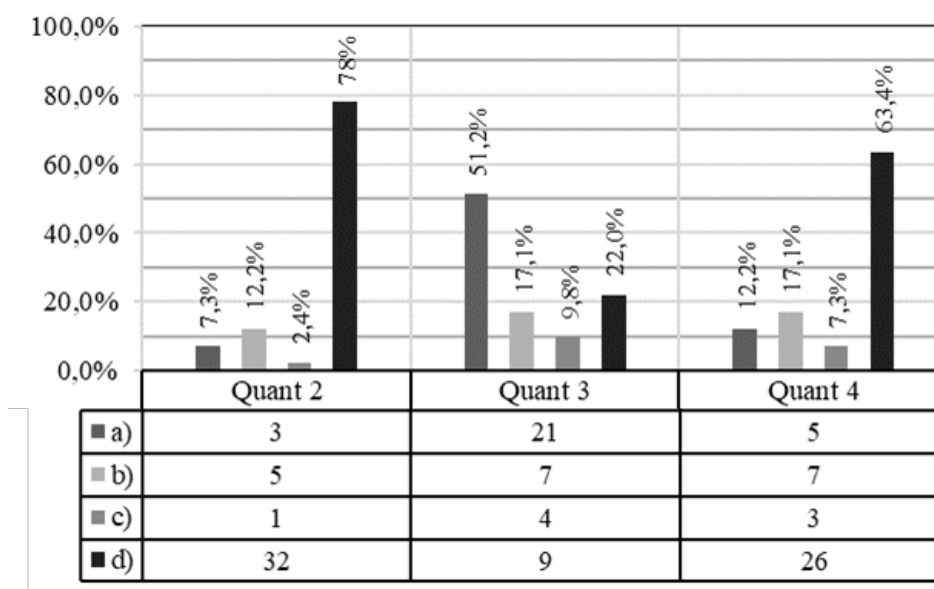


Figura 5.6: Percentual das alternativas marcadas pelos alunos pós-teste

As respostas permitiram avaliar os benefícios das animações feitas com o Blender em sala de aula. A quantidade de alternativas escolhidas da questão 2 indicam que os alunos

entenderam ao enunciado da questão que pedia para explicar quais as implicações das descobertas de Galileu quando dois objetos como uma pena e um martelo são abandonados na presença de um campo gravitacional próximo a superfície terrestre, 78% dos estudantes marcaram a alternativa correta. A questão 3 trouxe o conceito de referencial e dentre as alternativas, cerca de 78% dos estudantes marcaram a alternativa incorreta, com 71% marcando a alternativa A, que trata o referencial como privilegiado para objetos com maior massa, contudo a alternativa correta foi escolhida por 22% dos estudantes, o que sugere que as premissas levantadas no início da pesquisa corretas, o conceito de referencial é um dos primeiros conceitos estudados na física, mas se constitui como um dos conceitos com um alto grau de abstração. Na questão 4 foi reproduzida a mesma situação da questão 7 do pré teste, sobre uma nota de papel cai do alto da ponte, com 63,4% das respostas a alternativa D foi a mais escolhida o equivalente a 26 estudantes, tendo o primeiro teste 18 alunos marcado corretamente a alternativa.

Na Questão 6 e 7 foi proposto aos estudantes que encontrassem o módulo da força de atração gravitacional entre dois objetos de massa m_1 e m_2 , sabendo que a distância havia dobrado. O objetivo da questão consistia em avaliar o contato dos estudantes com o campo conceitual formal, utilizando da linguagem matemática para expressar o resultado. Dos estudantes que responderam a questão, apenas 39% utilizaram a linguagem formal para expressar o resultado e 9% dos alunos tentaram responder utilizando sua linguagem, embora muitos estudantes expressaram que a intensidade diminuía com o aumento da distância, demonstraram que não entendiam a lei da gravitação em linguagem formal.

5.2.2 Pesquisa de Qualidade

Após a aplicação do produto educacional foi coletado os dados referentes as impressões dos estudantes sobre a utilização das animações nas aulas de física. Foi Aplicado o questionário ilustrado na Tab. 5.9 de qualidade formado por nove (9) questões com três (3) questões abertas e seis (6) questões fechadas.

Tabela 5.9: Questionário sobre o produto educacional

| Questões | SIM | NÃO |
|--|-----|-----|
| 1. As animações ajudaram a compreender o conteúdo? | 39 | 2 |
| 3. Você gostaria que houvesse mais aulas lecionadas com animações? | 41 | |
| 4. O uso de animações pode auxiliar o professor em sala de aula? | 37 | 4 |
| 5. Você considera antes das animações esse conteúdo difícil? | 34 | 7 |
| 8. Você estuda em casa o conteúdo das aulas de física? | 9 | 32 |

A questão dois mostrada na Fig. 5.7 a importância das animações para os estudantes como recurso didático para visualizar os conceitos e estimular a curiosidade deles.

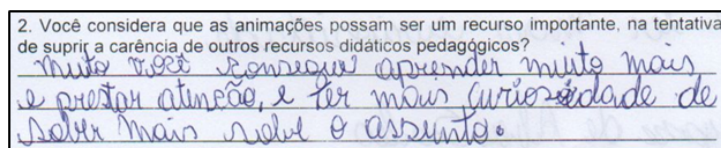


Figura 5.7: Conceitos do Estudante F.

Na questão seis mostrada na Fig. 5.8 e 5.9 foi percebido o entusiasmo e a curiosidade dos estudantes durante as aulas, relatos que inclusive demonstram uma mudança de postura dos alunos diante da disciplina.

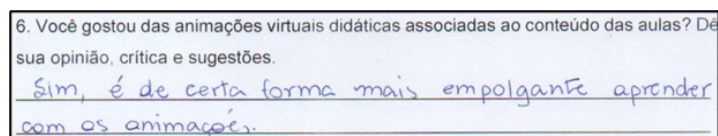


Figura 5.8: Conceitos do Estudante G.

A curiosidade e empolgação dos estudantes deve ser sempre estimulada através de reforços positivos como agradecimentos e elogios, de modo a incentivar os estudantes a participarem e questionarem.

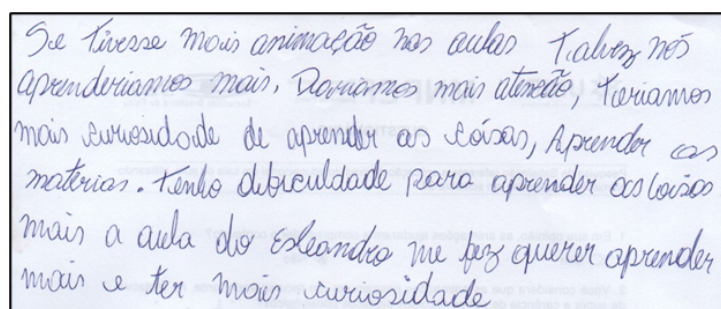


Figura 5.9: Conceitos do Estudante H.

Através da questão nove, ilustrada na Fig. 5.9, os alunos relataram que gostariam de visualizar animações sobre a formação de galáxias, de estrelas, de sistemas solares, de buracos negros, supernovas, eclipses, chuvas de meteoros, eletricidade, som e entre outros. Esses relatos demonstram a curiosidade que jovens possuem e que atendem à condição inicial prevista por Ausubel como a predisposição do estudante para aprender. Essa predisposição ao aprendizado revelou-se através dos diversos questionamentos que os alunos traziam nas aulas e que até fugiam dos objetivos propostos no planejamento e requeriam muito do domínio de conteúdo do professor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Ao longo deste trabalho foi possível investigar que os conhecimentos prévios dos estudantes decorre de diversos fatores associados a lembranças, ao contexto social, as experiências e aos conceitos aprendidos dentro de outras disciplinas, ter acesso ao conhecimento prévio foi de grande relevância para o planejamento das aulas. O planejamento utilizou do conhecimento prévio dos estudantes obtido para correlacionar com os conceitos científicos de forma não-literal contribuindo para o enriquecimento do produto educacional. Durante as aulas verificamos que os estudantes tiveram uma maior participação através de questionamentos ao visualizar os modelos produzidos no Blender, o que demonstrou a boa aceitação do uso de animações na sala de aula.

A partir das concepções dos alunos pudemos construir as animações e apresentá-las como organizadores básicos previstos na Teoria de Ausubel, com o objetivo de alcançar a aprendizagem significativa, constituindo elemento atrativo aos estudantes e consequente aumento do interesse pelo conteúdo. Afim de atingir um produto educacional de valor pedagógico que minimizasse a carga cognitiva sobre a estrutura cognitiva do estudante utilizamos os princípios da multimídia de Mayer que compuseram um aporte teórico importante para a produção das animações. Além das animações constituírem um recurso didático capaz de atuar na motivação dos estudantes, conforme relatos coletados, mostraram serem grandes aliadas contra um dos maiores desafios do ensino de Física, o curto período de duração das aulas somado a escalada de competências e conteúdo a serem alcançados pelos estudantes em sala de aula, o que constitui um conflito.

As animações permitiram também que os estudantes visualizassem conceitos de difícil abstração oferecidos pelo campo conceitual da Física e que necessitariam de um grande intervalo de tempo para construir um modelo mental alinhado as modernas correntes teóricas que tratam da gravitação, a exemplo da relatividade.

A utilização do software Blender para produção de animações mostrou o potencial que

a ferramenta tem, não só para o ensino do conteúdo da gravitação, mas para a o ensino de Física, evidenciado pelas respostas dos estudantes à pesquisa de satisfação. A capacidade do Blender em projetos futuros estruturados em sequências didáticas que combinem etapas experimentais com a abstração do campo teórico por meio de animações, se mostra uma alternativa importante diante do quadro atual do ensino de física no Brasil.

Referências Bibliográficas

- [1] BRASIL. Orientações Educacionais Complementares Aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Ciências Da Natureza E Matemática E Suas Tecnologias. BRASÍLIA, MEC. **2006**;
- [2] Projeto Político Pedagógico (PPP) da EEEFM Barão do Solimões.**2015**;
- [3] BRASIL. Base Nacional Comum Curricular.Brasília: MEC, 2018. Disponível em: Acesso em: 17 de Agosto de 2018.**2018**;
- [4] BRASIL. Lei n.13.005, de 25 de junho de 2014. Aprova o Plano Nacional de Educação – PNE e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília,DF., 26 jun. Disponível em: **2014**;
- [5] VIEIRA, Américo Augusto Nogueira; DIAS, Guilherme Ataíde. Tecnologias digitais da informação e comunicação: a garantia dos direitos civis relativos à propriedade do software. Perspect. ciênc. inf., Belo Horizonte, v. 19, n. 2, p. 53-67, jun. **2014**.
- [6] MONTEIRO, Arakin. Lei de direito autoral e educação: debate urgente <http://www.intervozes.org.br/direitoacomunicacao/?p=23969>. acesso em: <17. abr. 2019>.
- [7] BLENDER, «Blender Documentation Contents — Blender 2.80 - API documentation» (em português). Blender Foundation. 27 de abril de 2019. Consultado em 21 de Outubro de 2019
- [8] Sobre o blender. Introdução as principais funcionalidades. Disponível em: <https://docs.blender.org/manual/ptdev/getting_started/about/introduction.html#key-features>. Acesso em 25 de out. **2018**

- [9] Westbrook, Robert B. John Dewey / Robert B. Westbrook; Anísio Teixeira, José Eustáquio Romão, Verone Lane Rodrigues (org.). – Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Editora Massangana, 2010
- [10] DEWEY, John, 1859-1952. Experiência e educação; tradução de Anísio Teixeira. 2. ed. São Paulo, Ed. Nacional. p. (Atualidades pedagógicas, v. 131) 1. Educação 2. Experiência I. Título. II. Série.1976;
- [11] VILLANI, Alberto, e PACCA, Jesuina Lopes de Almeida. (1997). CONSTRUTIVISMO, CONHECIMENTO CIENTÍFICO E HABILIDADE DIDÁTICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS. Revista da Faculdade de Educação, 23(1-2);
- [12] DEWEY, John. Experiência e Natureza. São Paulo: Abril Cultural, 1974. Textos selecionados. Tradução de Murilo Otávio Rodrigues Paes Leme. Coleção "Os Pensadores"
- [13] MAYER, R. Multimedia learning. New York: Cambridge University Press. **2001**.
- [14] MAYER, Richard The Multimedia Principle. In The Cambridge Handbook of Multimedia Learning, 2nd ed.; Cambridge University Press: Cambridge. 2014.
- [15] MOREIRA, Marco Antonio. A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E SUA IMPLEMENTAÇÃO EM SALA DE AULA. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 2006.
- [16] MORENO, Roxana; MAYER, Richard E. Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. Journal of educational psychology, v. 91, n. 2, p. 358, 1999.
- [17] MAYER, Richard E. Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimédia. MIRANDA, GL, organizadora. Ensino online e a aprendizagem multimédia. Lisboa: Relógio D'água Editores, 2009. p. 207-237.
- [18] SOUSA, RP., MIOTA, FMCSC., and CARVALHO, ABG., orgs. Tecnologias digitais na educação [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2011. 276 p. ISBN 978-85-7879-065-3. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.
- [19] MASSINI, E. A.F. e MOREIRA, M.A. (2008). Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos. São Paulo: Vetor Editora.
- [20] MOREIRA, M.A. (1999). Aprendizagem significativa. Brasília: Editora da UnB.
- [21] AUSUBEL, D. Aquisição e retenção do conhecimento: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Editora Plátano, 2003

- [22] CAMEJO, Ivana; DIEZ, Dalia. Que é aprendizagem? Como ela acontece? Como facilitá-la? Um olhar das teorias de aprendizagem significativa de David Ausubel e aprendizagem Multimídia de Richard Mayer. *Aprendizagem Significativa em Revista/Meaningful Learning Review* – V7(3), pp. 01-19, 2017
- [23] CAMEJO, Ivana; DIEZ, Dalia. Aprendizagem Significativa: conceito subjacente da Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia. *Revista de Investigación*, Caracas, v. 40, n. 89, p. 68-89, dic. 2016. Disponível em <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142016000300004&lng=es&nrm=iso>.) Acessado em 02 abr. 2020.
- [24] “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural” / Isaac Newton. 1 ed. 2012 – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. Traduzido a partir da edição da University California Press (Sir Isaac Newton’s *Mathematical Principles of Natural Philosophy, and system of the world*) – Adrew Motte
- [25] TEIXEIRA, Elder & Peduzzi, Luiz & Junior, Olival. (2010). Os caminhos de Newton para a Gravitação Universal: Uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall. DOI: 10.5007/2175-7941.2010v27n2p215. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. 27. 10.5007/2175-7941.2010v27n2p215.
- [26] NUSSENZVEIG, Herch Moysés *Curso de Física Básica – 4 ed. Volume 1* – São Paulo: Edgar Blücher
- [27] NUSSENZVEIG, Herch Moysés *Curso de Física Básica – 4 ed. Volume 4* – São Paulo: Edgar Blücher.
- [28] George Gamow *Gravidade* Heinemann Educational Books 1962. Livro em Português (Brasil). Editora: EdUNB. Coleção: Cientistas De Amanhã. Traduzido no Ano 1965.
- [29] PORTO, C.M., & Porto, M.B.D.S.M.. (2008). A evolução do pensamento cosmológico e o nascimento da ciência moderna. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(4), 4601.1-4601.9
- [30] CAVENDISH, Henry. "Experiments to Determine the Density of the Earth. By Henry Cavendish, Esq. F. R. S. and A. S." *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 88 (1798): 469-526.
- [31] POYNTING, John Henry (1911). "Gravitation". In Chisholm, Hugh (ed.). *Encyclopedia Britannica*. 12 (11th ed.). Cambridge University Press. p. 385.
- [32] FREIRE, O.; MATOS, M.; VALLE, A. Uma exposição didática de como Newton apresentou a força gravitacional. *Física na Escola*, v. 5, n. 1, 2004.
- [33] MEDEIROS, Alexandre. (2002). As Origens Históricas do Eletroscópio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 24(3), 353-361. Retrieved May 10, 2020.

- [34] DIAS, Penha Maria Cardoso, Santos, Wilma Machado Soares, Souza, Mariana Thomé Marques de. (2004). A Gravitação Universal: um texto para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 26(3), 257-271. 11 de maio de 2020, acesso:
- [35] RENN, Jürgen. (2005). A física clássica de cabeça para baixo: como Einstein descobriu a teoria da relatividade especial. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(1), 27-36.
- [36] EINSTEIN's manuscript on the special theory of relativity. In: Klein, M.; Kox. A. J.; Renn, J. and Schulmann, R. (Ed.). *The collected papers of Albert Einstein*. Princeton: Princeton University Press, 1995 [1912]. v. 4: The Swiss years: writings 1912-1914. p. 9-108.
- [37] EINSTEIN, A. (2005). Sobre o princípio da relatividade e suas implicações. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(1), 37-61.
- [38] GODOI, Valdir. (1997). A Dedução das Transformações de Lorentz em 1905. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. 19. 315-324.
- [39] GAZZINELLI, Ramayna. *Teoria da relatividade especial*. 2 ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009. 147 p.
- [40] VILLANI, A. *O confronto lorentz-einstein e suas interpretações: I. a revolução einsteiniana*. [S.l: s.n.], 1981.
- [41] Dados extraídos do google maps em 08 de maio de 2020.
- [42] MARTINS, Roberto de Andrade. (2005). A dinâmica relativística antes de Einstein. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 27(1), 11-26.
- [43] MARTINS, Roberto de Andrade. A maçã de Newton: história, lendas e tolices. Pp. 167-189, in: SILVA, Cibelle Celestino (ed.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Livraria da Física, 2006. (ISBN 85-88325-57-8)
- [44] MOREIRA, M. A.; ROSA, P. R. S. *Pesquisa em Ensino: Métodos Qualitativos e Quantitativos*. 2 ed. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 2016. 83f. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/moreiraSubsidios10.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2019.
- [45] TEIXEIRA, Paulo Marcelo Marini; MEGID NETO, Jorge. Uma proposta de tipologia para pesquisas de natureza interventiva. *Ciênc. educ. (Bauru)*, Bauru, v. 23, n. 4, p. 1055-1076, Dec. 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132017000401055lng=en&nrm=iso.
- [46] MOREIRA, MARCO ANTONIO. (2018). Uma análise crítica do ensino de física. *Estudos Avançados*, 32 (94), 73-80.

- [47] RONDÔNIA. Portaria Nº 2308/2016-GAB/SEDUC. Porto Velho, 18 de julho de 2016. Institui o Código Civil. Diário Oficial Estadual: altera dispositivos do artigo 66 da LC 680/2012-PCCR. DOE Nº 133 pág. 52.
- [48] LIBÂNEO, José Carlos. Didática. 2 ed. São Paulo: Cortez, 2013.
- [49] COIMBRA-ARAÚJO, C. H. Diagramas de Carter-Penrose em Relatividade Geral: buracos negros e outros exemplos explícitos. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo, v. 38, n. 3, e3305, 2016.
- [50] O. GROEN, S. Hervik, Einstein's General Theory of Relativity: With Modern Applications in Cosmology (Springer, New York, 2007)
- [51] CESAR, H. Lenzi; POMPEIA, Pedro J.; STUDART, Nelson. A deflexão gravitacional da luz: De Newton a Einstein. Rev. Bras. Ensino Fís., São Paulo , v. 41, supl. 1, e20190238, 2019 .
- [52] R. JONSSON, "Embedding Spacetime via a Geodesically Equivalent Metric of Euclidean Signature," Gen. Relativ. Gravit. 33, 1207–1235.
- [53] FALCIANO, F.T. (2009). Geometria, espaço-tempo e gravitação: conexão entre conceitos da relatividade geral. Revista Brasileira de Ensino de Física, 31(4), 4308-4317.
- [54] On the Influence of Gravitation on the Propagation of Light. By A. Einstein. Annalen der Physik, 35, pp. 898-908, 1911.

Apêndice A
Produto Educacional

A 3D rendered scene of the solar system against a starry black background. The Sun is partially visible in the bottom left corner. The planets are arranged in a diagonal line from the bottom left towards the top right. From bottom left to top right, they are: Mercury (greyish-brown), Venus (yellowish-orange), Earth (blue and green), Mars (reddish-orange), Jupiter (large, with brown and white bands), Saturn (yellowish with rings), Uranus (light blue), and Neptune (dark blue).

MANUAL DE MODELAGEM DO SISTEMA SOLAR USANDO O BLENDER 3D

Manual do Blender 3D desenvolvido por:
Esleandro Guimarães Leão e Professor
Dr. Ariel Adorno de Sousa como Produto
Educativo apresentado ao MNPEF
PRO-FIS polo 40.

CRIAÇÃO DO SISTEMA SOLAR NO BLENDER 3D

1º PASSO – INSERIR ESFERA NA JANELA 3D

Na cena inicial do Blender temos um cubo cinza carregado, que podemos excluir. Nesse caso adicionaremos a esfera escolhendo o menu Adicionar > Primitivo > Esfera. Essa esfera que está no centro da nossa janela 3D representará o Sol de nosso Sistema Solar, com o referencial sobre a estrela.

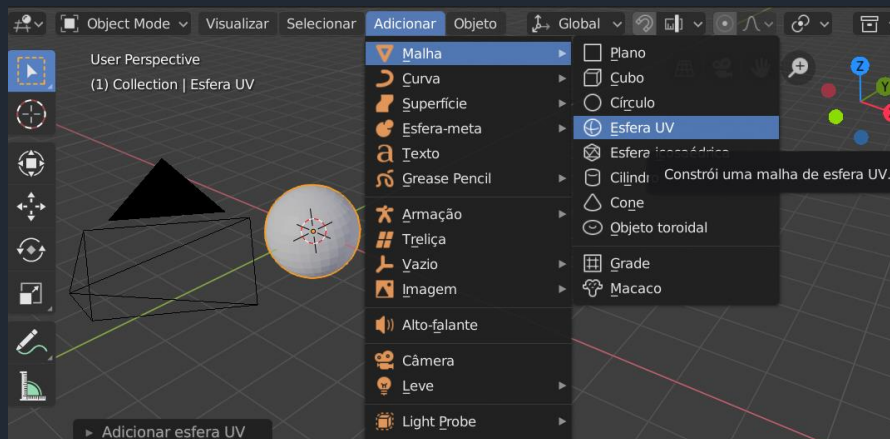


Figura 1 – Esfera Inserida no Blender

PASSO 2 - ADICIONAR UM MODIFICADOR SUBDIV

O *modificador subdivisão de superfície* permite dividir as faces da malha proporcionando uma suavização da superfície do objeto, esse recurso permite em nossa esfera o arredondamento das arestas nos fornecendo um número maior de arcos.

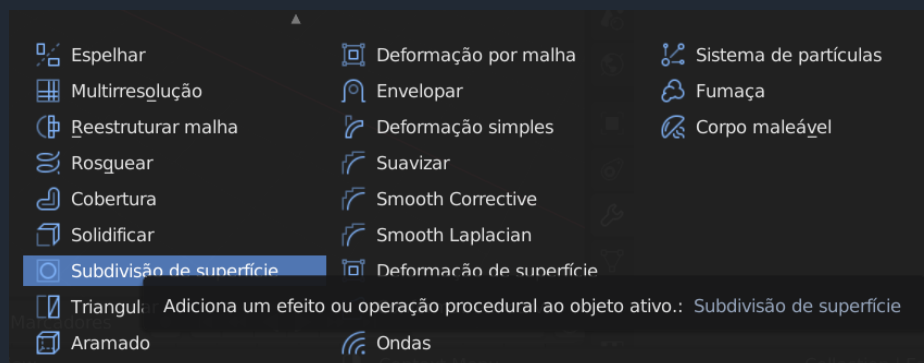


Figura 2 – Modificadores

Ao clicar em aplicar o modificador será usado sobre a nossa esfera modificando sua geometria, acrescentando-a um número maior de faces. É preciso ter cuidado com esse modificador, ao acrescentar um número elevado de divisões o programa pode ser fechado ao tentar calcular o número grande de faces.

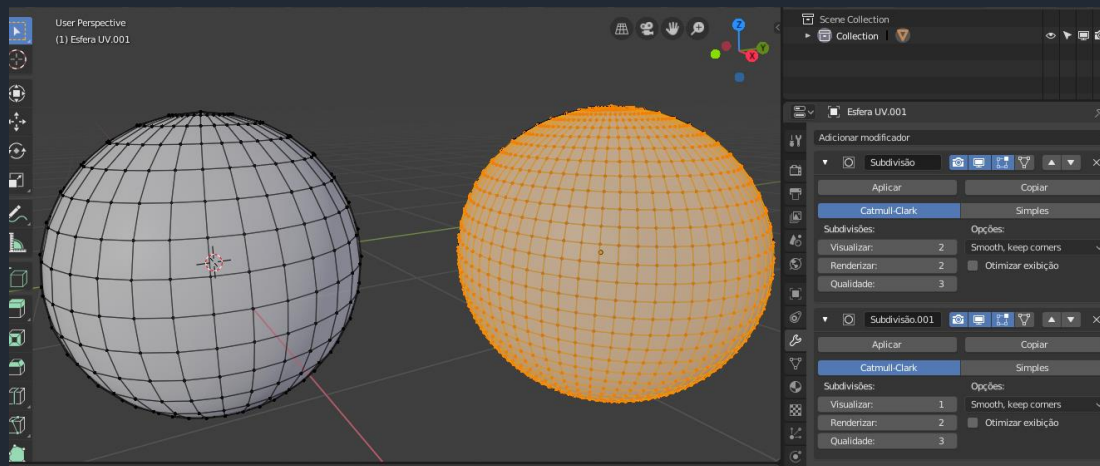


Figura 3 – Modificador subdiv sobre a esfera

PASSO 3 – TEXTURA SOBRE A SUPERFÍCIE

A modelagem consiste geralmente em utilizar uma malha primitiva (plano, cubo, cone, cilindro, esfera) para transforma-la em um objeto mais complexo, próximo de um objeto do mundo real. Após a modelagem da nossa esfera, precisamos modificar a aparência da malha para que saia dessa cor acinzentada e chegue a uma textura que lembre a superfície do Sol. Existem diversos modos de texturizar a malha que vão do mapeamento de uma imagem (material) sobre a malha até ferramentas de criação de materiais. O segundo modo requer uma série de técnicas e conhecimento sobre como a luz interage com a superfícies dos objetos. Por isso usaremos o primeiro modo de mapeamento e utilizaremos materiais dos astros que são imagens de 360 graus obtidas pelas sondas espaciais, encontradas no site na NASA¹. O mapeamento da *textura de imagem* pode ser encontrado no menu área de trabalho > adicionar > texturas > textura imagem:

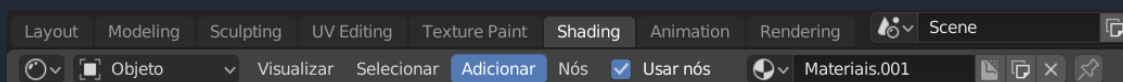


Figura 4 - Sombreamento

O mapeamento de esferas é o melhor nó para criar planetas e objetos orgânicos. Existe um método conveniente de mapear corretamente a textura para a superfície da esfera no Blender.

¹ Mapa completo da superfície do sol (<https://svs.gsfc.nasa.gov/30362>) – Esta imagem mostra toda a superfície terrestre sobre a luz ultravioleta (304 angstroms) obtida no ano de 2012 <https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a030000/a030300/a030362/euvi_aia304_2012_carrington_print.jpg>

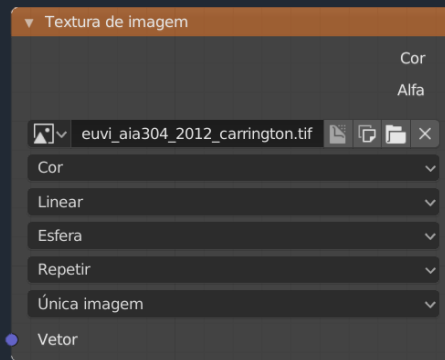


Figura 5 – textura de imagem

A configuração da figura 5 foi utilizada sobre a superfície da esfera temos uma imagem colorida, uma interpolação linear, projeção de mapeamento esférica, com o seguinte resultado final:

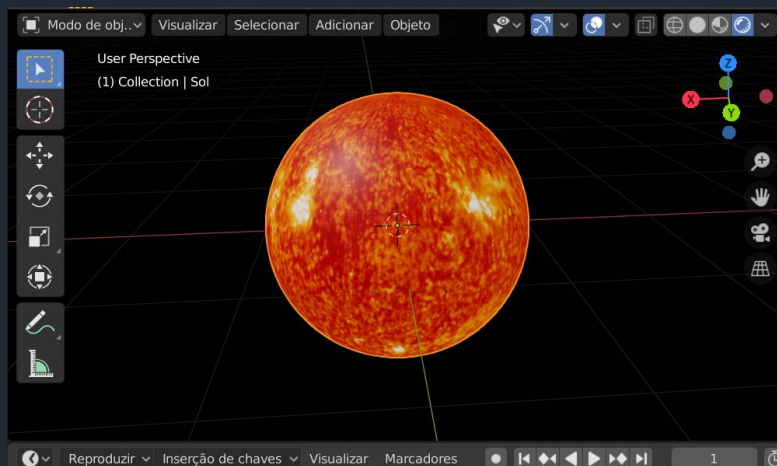


Figura 6 – Sol

PASSO 4 – MODELANDO A TERRA

Repetiremos os passos 1, 2 e 3, sobre a nossa segunda esfera que representará nosso planeta Terra:

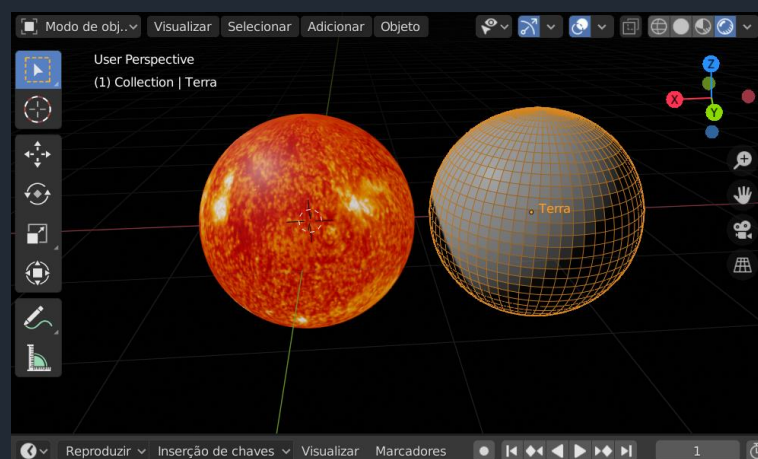


Figura 7 – Segunda esfera suavizada e subdividida

Utilizaremos o mesmo processo de mapeamento de material, com cores reais obtida por sensoriamento remoto MODIS².

5º PASSO – MODELANDO OS OUTROS PLANETAS

Ao final da aplicação das etapas 1, 2 e 3 sobre as oito esferas teremos todos os planetas do nosso sistema solar incluindo o Sol.

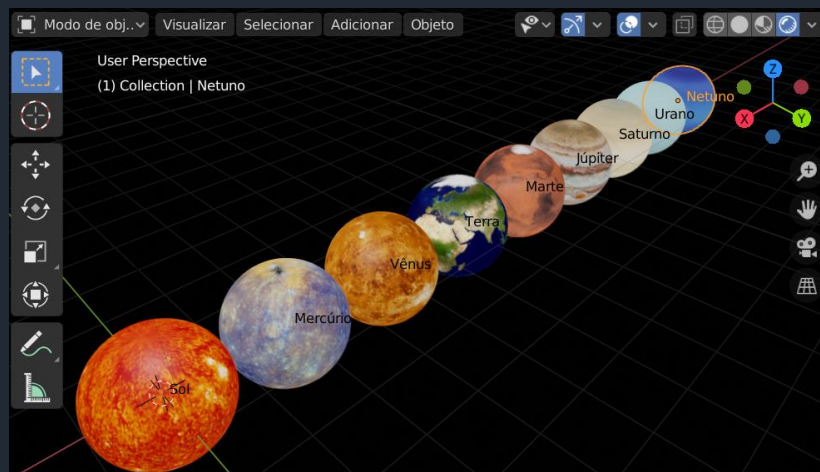


Figura 8 – planetas do sistema solar

Vemos que a escala dos nossos objetos não obedece às dimensões reais dos planetas, mas antes de configurar uma escala planetária, precisamos resolver a ausência de duas coroas de nossos planetas, os anéis de Saturno e de Urano.

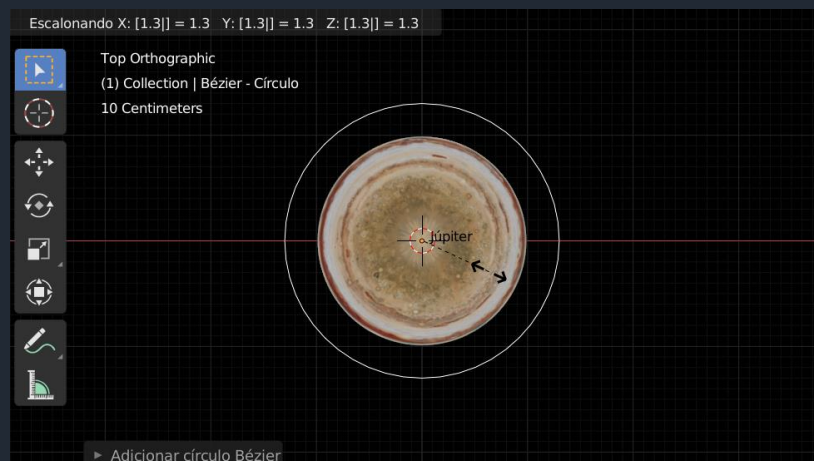


Figura 9 – Adicionado a circunferência bézier

² Usando uma coleção de observações por satélite, cientistas e visualizadores juntaram meses de observações da superfície terrestre, oceanos, gelo do mar e nuvens em um mosaico sem costura e de cores reais de cada quilômetro quadrado (0,386 milhas quadradas) do nosso planeta. Essas imagens estão disponíveis gratuitamente para educadores e o público geral. <https://visibleearth.nasa.gov/images/57730/the-blue-marble-land-surface-ocean-color-and-sea-ice/826791>

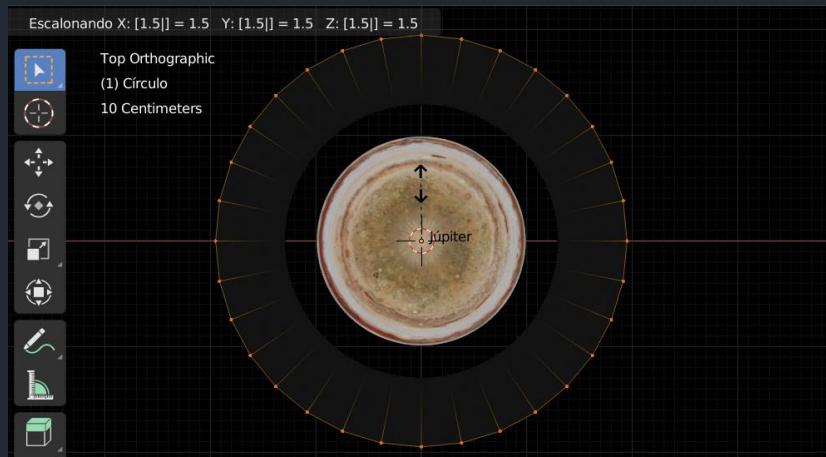


Figura 10 - Sombreamento

Na barra superior da área de trabalho utilizaremos o menu sombreamento (Shading) O Editor de sombreamento é utilizado para editar materiais, tanto materiais usados pelo motor Eevee quanto Cycles, fazendo uso da árvore de nós.

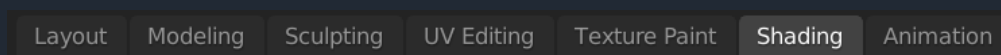


Figura 11 – Editor de Sombreamento

Ao selecionar o sombreamento abriremos a seguinte janela e selecionaremos o modo de edição, com o anel que criamos selecionado realizaremos a texturização, seguindo a mesma ação realizada no passo 3.



Figura 12 - Sombreamento

Entretanto as pré-configurações do nó textura de imagem não são úteis para projeção do material sobre o anel, o que facilitou em muito nosso trabalho

até aqui. Para alcançarmos nosso modelo final dos anéis de Saturno precisaremos entender como funciona o mapeamento UV que consiste na técnica de envolver uma imagem 2d sobre um objeto 3d, o Blender faz isso de uma forma diferente, o processo consiste em pegar a malha de um objeto 3d (X, Y e Z) e desembrulhar (unwrap) sobre uma imagem bidimensional (X, Y) . Nesse processo nós pegaremos a malha do anel (X, Y) e desembrulharemos sobre uma imagem bidimensional.

Usaremos a seleção de face, selecione todas as faces do anel e, em seguida, selecionaremos Desdobrar no menu UV, isso nos fornecerá uma projeção da malha do anel sobre a imagem dos anéis de saturno.



Figura 13 – Desdobrar a malha do anel

Ao projetar a malha sobre os anéis de Saturno ficamos com o material assim:

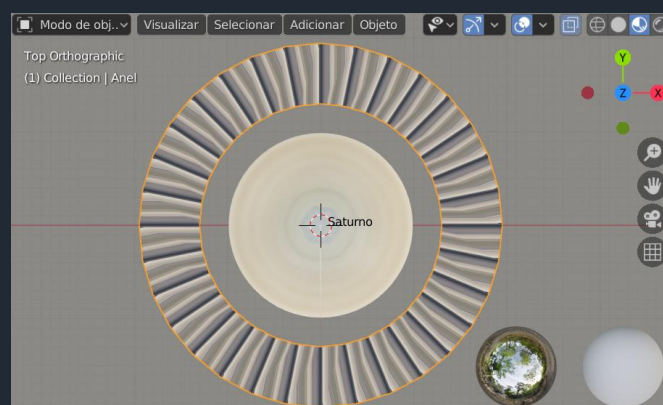


Figura 14 – Projeção inicial

Precisamos corrigir essa projeção, clicamos em *cabeçalho do modo editor* > UV > Seguir os Quadriláteros ativos

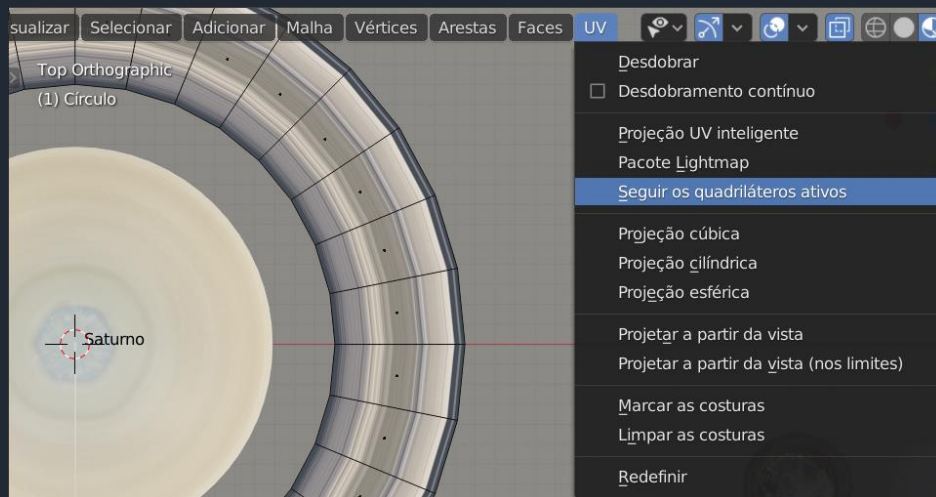


Figura 15 – Mapeando os anéis de Saturno

Para finalizar aplicamos o passo 2 para suavizar a arestas, ao final teremos a coroa de Saturno. Aplicando o mapeamento sobre os anéis de Urano e Netuno teremos a coroação completa de nosso sistema solar:

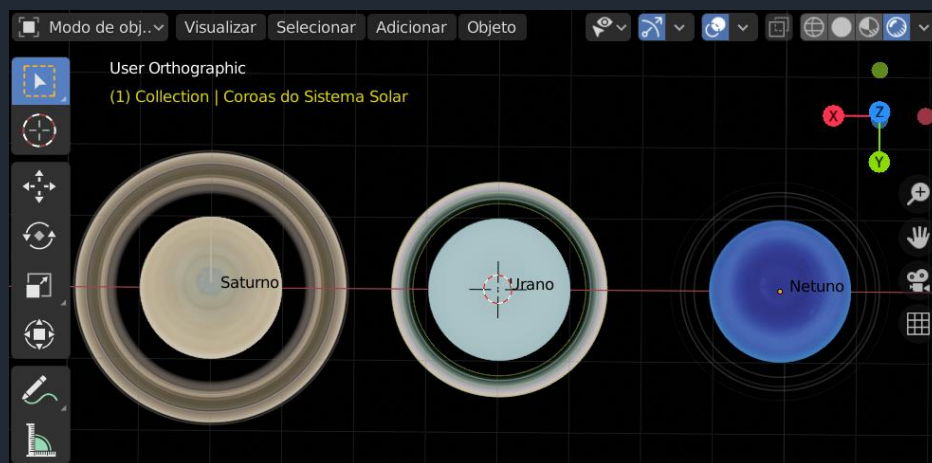


Figura 16 – Anéis de Saturno, Urano e Netuno

Percebemos que são diversos os caminhos para construir uma mesma cena no Blender. Aqui gostaríamos de destacar a utilização do addon Animation Node (AN), um complemento desenvolvido pelo Luke-. Esses complementos são desenvolvidos com alguns requisitos adicionais para que o Blender

TOQUE FINAL – FUNDO DE ESTRELAS

Agora que concluímos os nossos planetas, precisamos trabalhar com o plano de fundo, vimos que fundo da janela de visualização 3d é preto. Para

modificar o fundo negro selecionaremos o nó da textura de A Textura de Ambiente, esse nó permite que uma imagem seja usada como fundo da cena.

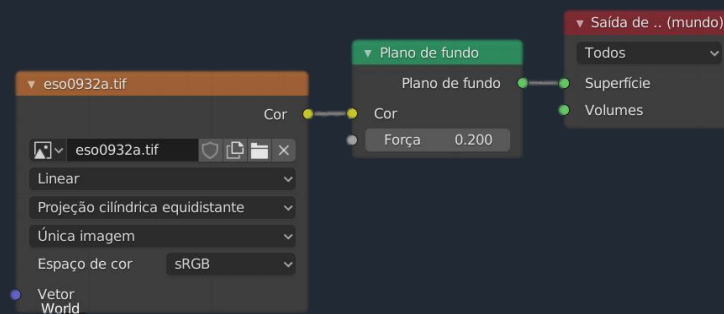


Figura 18 – Árvore de nós

Aqui nessa configuração de nós selecionamos a imagem da via láctea, projetamos esfericamente no plano de fundo, regulamos a intensidade da luminosidade para 0.2.



Figura 19 – Via Láctea

Sistema solar completo, bem quase, o que faremos agora é trabalhar com as escalas de tamanho e de distância, além disso colocaremos os planetas modelados para orbitarem em torno do Sol. Lembrando que as configurações utilizadas até aqui, foram as mais simples com menor utilização de recursos do processamento, o que foi possível através das texturas carregadas. Existem infinitudes de técnicas para modelagem que aproximam os objetos 3d da realidade, ficando difícil distinguir entre um modelo 3d e um objeto Real, claro que isso exige muito do computador.

IMAGENS UTILIZADAS COMO TEXTURAS PARA CRIAÇÃO DOS MATERIAIS

Aqui estão as imagens de alta resolução utilizadas na produção

Sol – <https://svs.gsfc.nasa.gov/30362>
https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a030000/a030300/a030362/euvi_aia304_2012_carrington_print.jpg

Mercúrio – <https://solarsystem.nasa.gov/resources/531>
https://solarsystem.nasa.gov/system/downloadable_items/672_PIA17386.tif

Vênus – <https://maps.jpl.nasa.gov/venus.html>
<https://maps.jpl.nasa.gov/pix/ven0aaa2.tif>

Terra – <https://visibleearth.nasa.gov/images/57730>
https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/57000/57730/land_ocean_ice_8192.png

Marte – <https://hubblesite.org/contents/media/images/2007/45/2228-Image.html?news=true>
https://imgsrc.hubblesite.org/hvi/uploads/image_file/image_attachment/16371/print.jpg

Júpiter – <https://svs.gsfc.nasa.gov/12021>
https://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a010000/a012000/a012021/Hubble_Jupiter_color_global_map_2015a.tif

Saturno – <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/?search=&category=Saturn#submit>
Anéis - https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/images/largesize/PIA08389_hires.jpg

Urano – <https://maps.jpl.nasa.gov/uranus.html>
Anéis - https://solarsystem.nasa.gov/resources/601/uranus-rings-in-false-color/?category=planets_uranus

Netuno – <https://maps.jpl.nasa.gov/neptune.html>
<https://maps.jpl.nasa.gov/pix/nep0fds1.tif>

Galáxia Via Láctea – <https://www.eso.org/public/brazil/news/eso0932/>
<https://www.eso.org/public/archives/images/original/eso0932a.tif>

WEBSITES COM MATERIAIS E TUTORIAIS

Para aqueles que desejam entender mais, seguem links úteis

Blender 3D 2.8 – <https://www.blender.org/>
<https://www.blender.org/download/Blender2.82/blender-2.82a-windows64.msi/>

Blender Manual – <https://docs.blender.org/manual/pt/2.82/index.html>

Comunidade Blender – <https://www.blender.org/community/>

Blenderguru – <https://www.blenderguru.com/tutorials/earth-cycles?rq=earth>

(ESCALA, ROTAÇÃO E TRANSLAÇÃO)

1º PASSO – ESCALA PLANETÁRIA

No capítulo passado terminamos de modelar os planetas de nosso sistema solar e a nossa estrela, o Sol. Agora vemos pela fig. 18 que todos os planetas possuem o mesmo tamanho. Todos os astros estão com a escala 1 como pode ser observado na barra lateral (*sidebar*) no subitem *item*, nesta barra podemos observar as configurações de *transformação* dos objetos ativos (escala, localização e rotação):

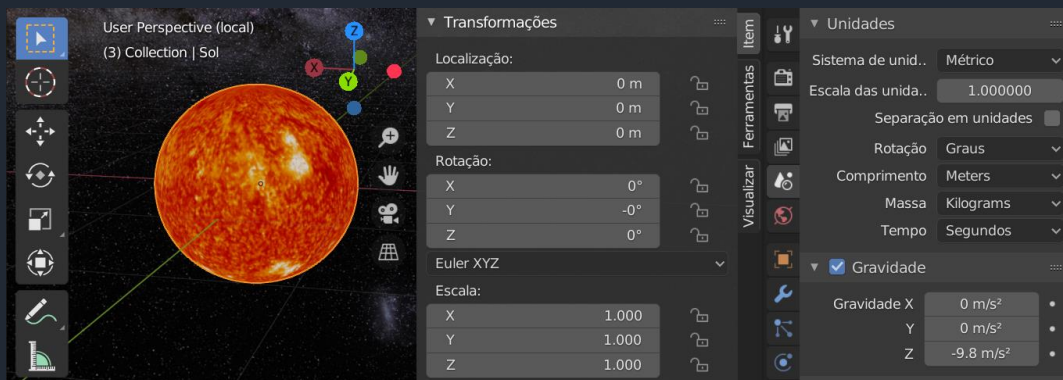


Figura 20 – Sistema de Unidades do Blender

O sistema de medidas para distância, ângulos, massa e tempo carregadas inicialmente pelo Blender estão em (metros, graus, quilogramas e segundos). A escala das unidades está com o valor de base igual a 1.00000. Essas configurações já nos ajudam muito, já que ela estabelece uma correspondência entre o sistema de unidades e a grade 1:1. Vamos alterar a escala do Sol, bem já está alterada, utilizaremos o diâmetro equatorial do Sol como fator de escala. O que significa dizer que o Sol modelado por nós tem o tamanho $1,39 \times 10^6$ vezes menor que o diâmetro de nossa estrela, o Sol. Esse fator de escala será aplicado a todos os planetas.

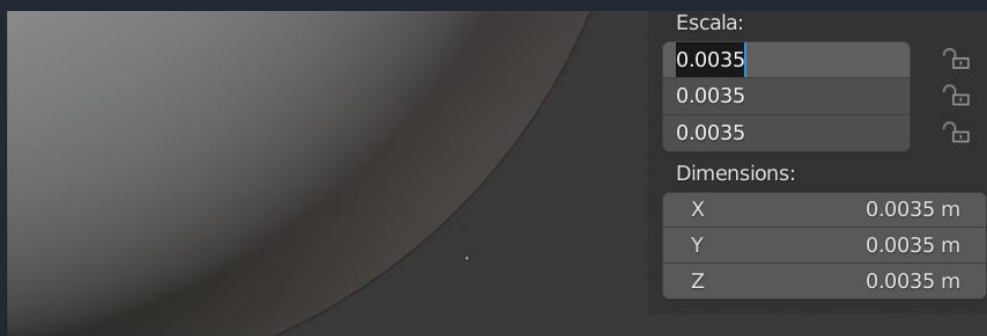


Figura 21 – Mercúrio escalonado (1:1 390 000)

Ao escalonar os planetas devemos lembrar que todos já haviam sido modelados com a escala reduzida numericamente correspondente ao seu próprio diâmetro equatorial. Aplicando o fator de escala sobre mercúrio teremos que lembrar que a escala está em 1, o que significa dizer que um fator de escala já foi aplicado sobre o planeta de 1:4 880 correspondente numericamente ao raio equatorial de mercúrio, assim a escala deve ser aplicada sobre a primeira escala, ficando 1:1 390 000: 4880, ou seja, 1:297, 008. Vejamos a tabela:

| Planetas | Diâmetro Equatorial (km) | Escala Reduzida (3D) | Diâmetro Reduzido (mm) |
|----------|--------------------------|----------------------|------------------------|
| Sol | 1 390 000 | 1:1 | 1000 |
| Mercúrio | 4 878 | 1:297,008 | 3,367 |
| Vênus | 12 100 | 1:114,871 | 8,705 |
| Terra | 12 742 | 1:109,088 | 9,167 |
| Marte | 6 786 | 1:204,833 | 4,882 |
| Júpiter | 142 984 | 1:9,721 | 102,87 |
| Saturno | 116 464 | 1:11,531 | 83,787 |
| Urano | 50 724 | 1:27,403 | 36,492 |
| Netuno | 49 244 | 1:28,226 | 35,428 |

Tabela 1 – diâmetros e escalas reduzidas

Nossos astros estão escalonados sobre um único fator de escala baseado no diâmetro equatorial do Sol 1: 1 390 000.

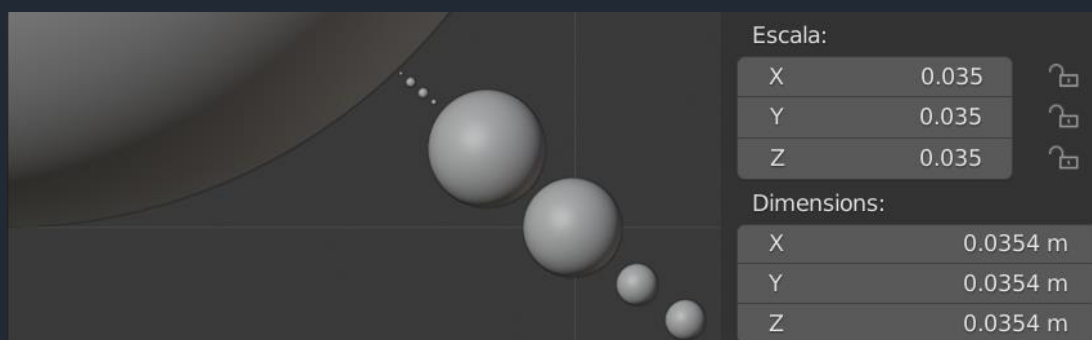


Figura 22 – Planetas escalonados

Diante da fig. 21 devemos pensar, trabalhar com o Blender permite trabalhar com dimensões muito próximas do valor real, esse instrumento na sala de aula aproximaria e muito os estudantes da compreensão da escala planetária, mas uma única escala para o sistema solar torna os efeitos visuais comprometidos, a exemplo da, rotação e translação dos planetas, por isso precisaremos usar uma escala diferente para o tamanho de cada planeta.

2º PASSO – ROTAÇÃO PLANETÁRIA

Uma outra característica dos planetas é a rotação, os movimentos no Blender podem ser criados por quadro-chave e interpolação. O primeiro é responsável por guardar o valor de uma propriedade do objeto, nesse caso queremos guardar o valor de rotação, podemos fazer isso acessando o Menu > Objeto > Animação > Inserir quadro-chave.



Figura 23 – Quadro chave

Ao inserir o quadro-chave a cor da propriedade que teve o valor armazenado passa para amarela, isto é, o valor zero grau do ângulo da esfera em relação ao eixo z foi armazenado na linha do tempo, veremos agora outra ferramenta fantástica da animação computadorizada, a interpolação. Ao invés de modificarmos o ângulo a cada quadro da linha do tempo, o que significaria dizer que teríamos 360 quadros, 1 quadro para cada ângulo nós podemos escolher um quadro de valor maior na linha do tempo e depois mudarmos o ângulo que desejarmos.

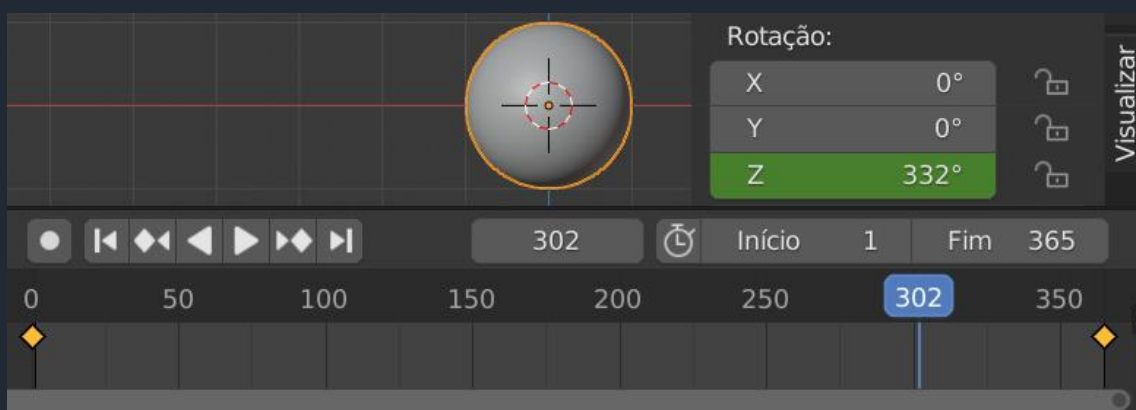


Figura 24 – Rotação de 360° durante 365 frames

Usamos 360 graus para 360 quadros o que nos daria uma velocidade de 1° por quadro. Sabemos que a cada segundo 24 quadros são reproduzidos no Blender, o que nos dá 15 segundos de reprodução resultando em 24°/s de rotação. Essa é uma escala de tempo boa para trabalharmos com a animação. Assim usaremos o período de rotação da Terra como referência para os demais planetas.

| Planetas | Mercúrio | Vênus | Terra | Marte | Júpiter | Saturno | Urano | Netuno |
|----------------------------|----------|--------|-------|-------|---------|---------|--------|--------|
| Período (dias terrestres) | 58,6 | -243* | 0,99 | 1,02 | 0,41 | 0,44 | -0,71* | 0,67 |
| Velocidade (graus/quadros) | 0,017 | 0,0041 | 1 | 0,98 | 2,439 | 2,272 | 1,408 | 1,492 |
| cadência (quadros) | 21 096 | 87 804 | 360 | 352 | 147,6 | 158,4 | 255,6 | 241,2 |

Tabela 2 – Período de rotação

Aqui está a rotação dos planetas do nosso sistema solar em escala. Tendo o período de rotação da Terra, basta que multipliquemos o período de quadros pelo período de dias correspondentes dos planetas em dias terrestres, desse modo teremos a cadência, isto é, o número quadros necessários para o planeta completar uma volta. Essa conversão é necessária, já que o Blender trabalha com os quadros para criar a ilusão de movimento.

3º PASSO – INCLINAÇÃO PLANETÁRIA

Vamos trabalhar com outra característica dos planetas, a inclinação axial ou obliquidade que nos fornece o ângulo de inclinação do eixo de rotação do planeta, é obtido através da inclinação entre o plano equatorial do planeta e o seu plano orbital. Como não fizemos nenhuma transformação de rotação nos planetas todos estão com ângulo de inclinação igual a zero.

| Planetas | Mercúrio | Vênus | Terra | Marte | Júpiter | Saturno | Urano | Netuno |
|-----------------------|----------|--------|-------|-------|---------|---------|-------|--------|
| Inclinação equatorial | 0 | 177.3° | 23.4° | 25.2° | 3.1° | 26.7° | 97.8° | 28.3° |

Tabela 3 – Ângulos de Inclinação dos planetas

4º PASSO – DISTÂNCIA PLANETÁRIA

Chegamos a característica final de nosso sistema solar,

| Planetas | Distâncias (km) | Distâncias (UA) |
|----------|-----------------|-----------------|
| Mercúrio | 57.909.227 | 0,387 |
| Vênus | 108.209.475 | 0,723 |
| Terra | 149.598.262 | 1 |
| Marte | 227.943.824 | 1,523 |
| Júpiter | 778.340.821 | 5,202 |
| Saturno | 1.426.666.422 | 9,536 |
| Urano | 2.870.658.186 | 19,189 |
| Netuno | 4.498.396.441 | 30,069 |

Tabela 4 – distâncias dos planetas

É isso, construímos nossa primeira animação, quase. A unidade astronômica nos ajudou muito na escala de distâncias, já que usa a distância da Terra ao Sol como medida de referência

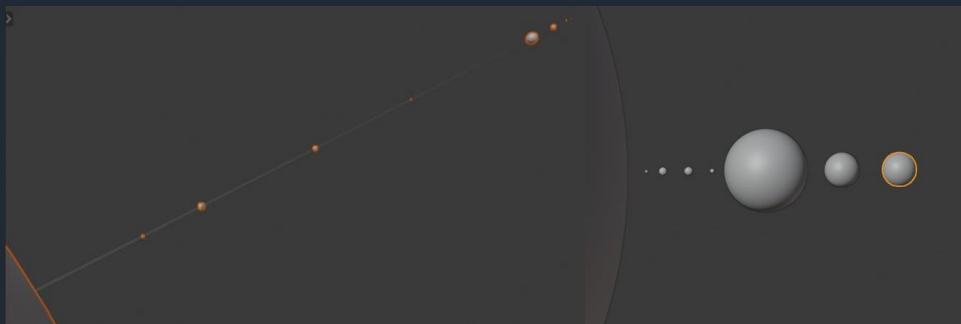


Figura 25 – Sistema solar escalonado

Nosso sistema solar foi encomendado sobre medida, está em escala, mas a visualização das propriedades dos planetas fica comprometida. Se inserirmos a trajetória da órbita a linha ficará maior do que a maioria dos planetas. Sem contar que não podemos observar a rotação, o eixo de inclinação, as aureolas e até mesmo a escala de tamanho. Ainda bem que não perdemos o trabalho, podemos multiplicar o tamanho por um fator de escala que favorece a visualização, bem como dividir as distâncias por outro fator de escala.

CRIAÇÃO DE UMA REDE VETORIAL PARA O SISTEMA TERRA-LUA

1º PASSO – INSERIR OBJETO NA JANELA 3D

Na cena inicial do Blender temos um cubo cinza carregado. Caso o cubo não seja carregado podemos adicioná-lo escolhendo o menu Adicionar > Primitivo > Cubo. Ao selecionarmos qualquer objeto na cena um contorno laranja surge em torno do objeto.

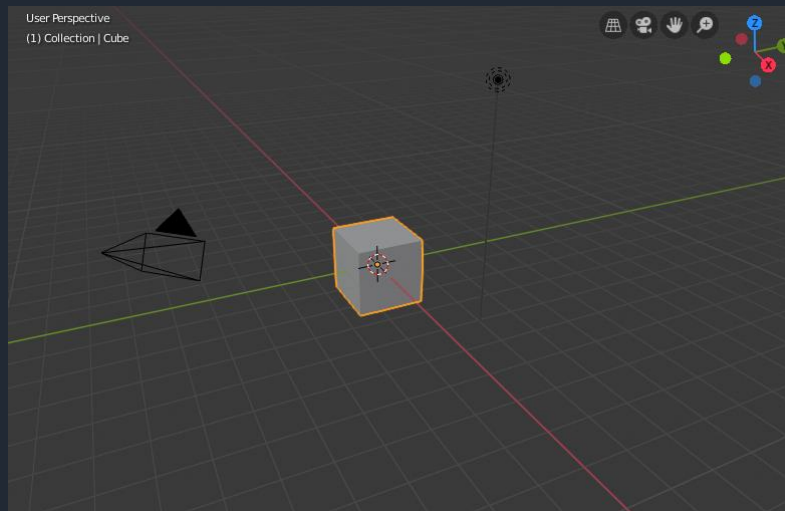


Figura 26 – Cena inicial do Blender

PASSO 2 - ADICIONAR UM MODIFICADOR DE MATRIZ

O *modificador matriz* permite criar sequências de objetos a partir de um único objeto, esse recurso é muito útil para criar repetições de um objeto. Vários modificadores de matriz podem estar ativos para um objeto ao mesmo tempo (por exemplo, para criar construções tridimensionais complexas).

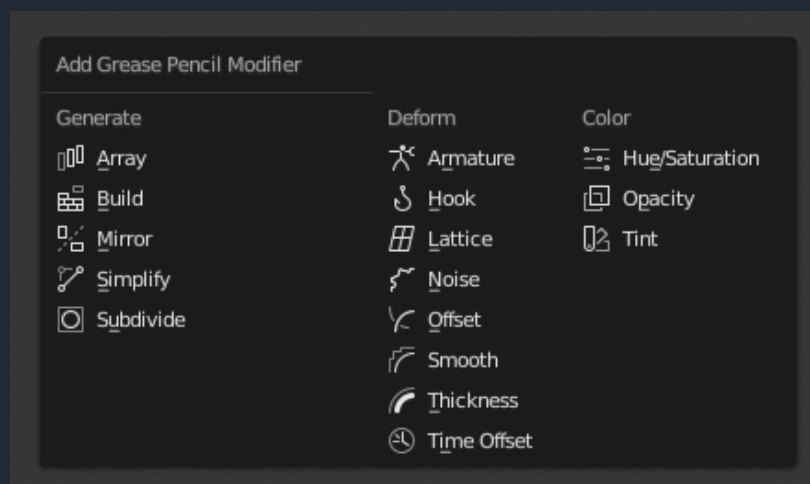


Figura 27 – Modificadores

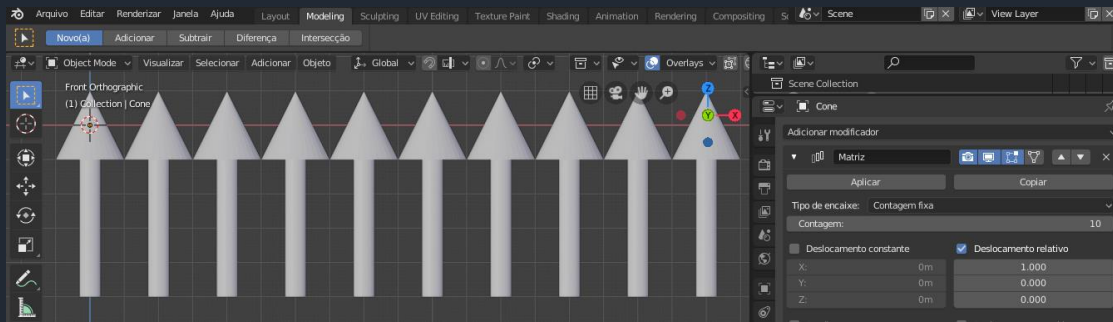


Figura 28 – Modificador matriz sobre única direção

No primeiro exemplo, utilizamos uma matriz sobre um cubo em uma única direção. Nesse momento adicionaremos um segundo *modificador matriz* ao mesmo objeto, assim aplicando um modificador sobre outro, criando nossa rede de cubos. Aplicamos uma separação de 1.100 UB entre cada cubo. Por final devemos aplicar a modificação.

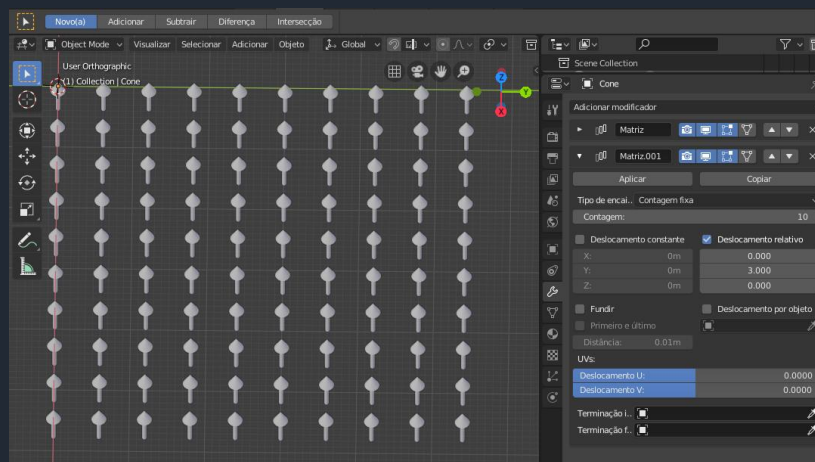


Figura 29 – Matriz sobre matriz para criar uma rede

PASSO 3 – SEPARANDO A REDE EM OBJETOS INDIVIDUAIS

Agora precisamos separar os cubos em objetos individuais, isso é necessário para que possamos aplicar as restrições a cada objeto futuramente. Para isso, entraremos no *modo edição* apertando cabeçalho inferior da visualização 3d > modo menu > modo edição, após entrar no modo edição todas as malhas dos objetos estarão selecionadas, podemos finalmente separar os objetos clicando em malha > vértices > separar. Quando você alternar para o *modo de edição*, você notará que todos os vértices estão selecionados. Finalmente temos uma rede de cubos individuais.

PASSO 4 – MODELANDO A SETA

Repetiremos os passos 1, 2 e 3, em vez de trabalharmos com o cubo utilizaremos o cone modificado, de modo a formar o nosso vetor. Para modelar o vetor adicionaremos o *cone*, do mesmo modo que adicionamos o cubo. Em seguida entraremos no *modo edição*, selecionaremos a base do cone e utilizando a *extrusão* cabeçalho inferior > malha > extrusão > região. Logo diminuiremos a base cabeçalho inferior > transformação > escalonamento > base que foi 'extrudada' e repetimos o processo para criar o módulo do nosso vetor.

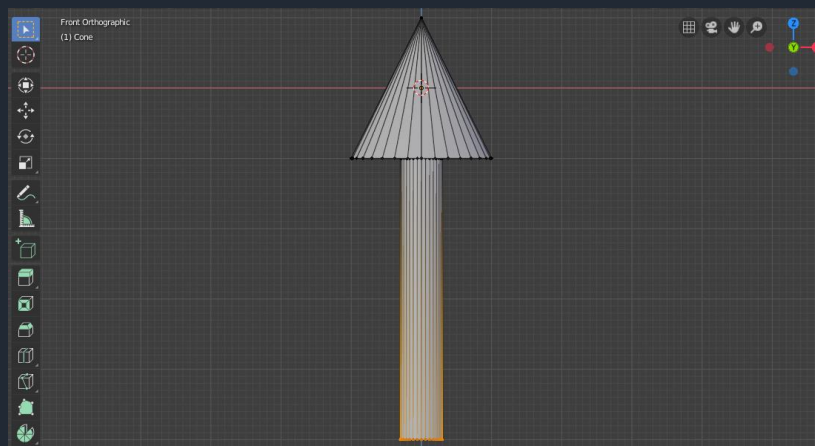


Figura 30 – Seta Modelada

Terminamos de construir nossa seta (futuro vetor), escalonemos ao tamanho 1.

5º PASSO – UTILIZANDO AS RESTRIÇÕES

Podemos inserir um objeto esférico (futuro planeta) na janela 3d, afim de estabelecer uma restrição entre nossa seta e a esfera.

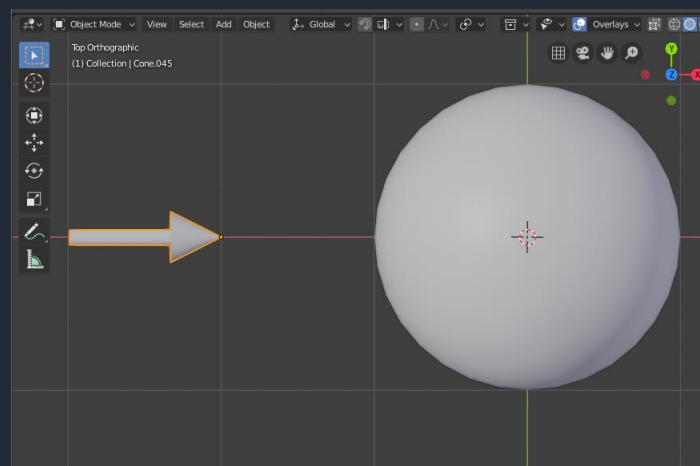


Figura 31 – seta objeto de restrição

As restrições permitem controlar as propriedades de um objeto (por exemplo, sua localização, rotação, escala). Sendo muito utilizadas para o desenvolvimento de animações.

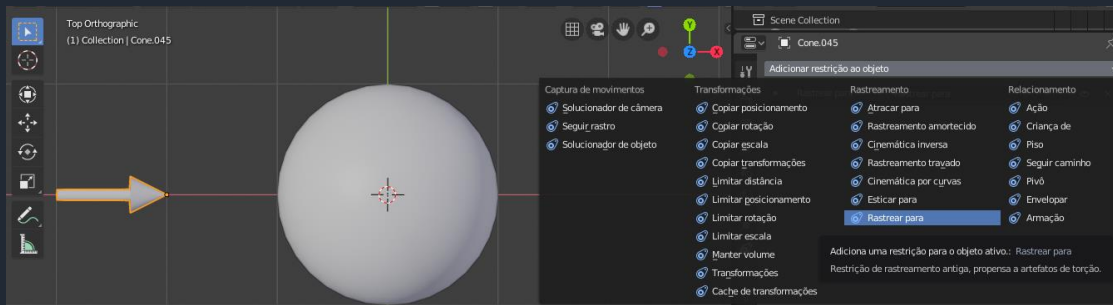


Figura 32 – Quadro de restrições

A restrição *rastrear para* quando aplicada sobre o objeto permite que ele sempre aponte em direção a outro objeto apresentado como destino alinhando sempre o seu eixo. Agora que aplicamos a restrição precisaremos replicar o rastreamento para todas as outras setas, clicamos em selecionar todas as setas e por último a seta com a restrição, agora sim, clicamos em objeto > restrições > copiar restrições sobre objetos selecionados. Ficamos assim:

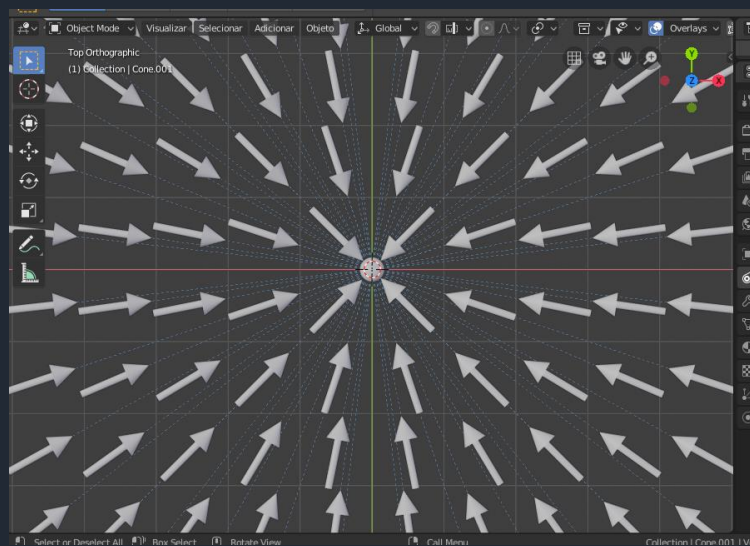


Figura 33 – Setas apontando para esfera (campo vetorial)

Nesse momento já temos o nosso campo de vetores, embora todos tenham o mesmo módulo, desejamos que eles se alterem de acordo com a distância do objeto gerador, em nosso caso a esfera.

6º PASSO – EXPRESSÕES E CONTROLADORES

Os controladores (*drivers*) são recursos capazes de controlar os valores das propriedades inserindo expressões matemáticas ou funções, o driver é capaz de interpretar as expressões simples sem que necessariamente estejam escritas em python, desde que seja simples. Utilizaremos o driver para controlar o módulo do vetor, fazendo com que o tamanho do nosso objeto mude de acordo com a distância da fonte. A variável que queremos controlar é a da escala, por isso selecionaremos na *barra lateral direita* a escala e sobre as coordenadas x, y e z clicaremos com o botão direito do mouse, em seguida surgirá uma coluna e adicionaremos o controlador de drivers, as coordenadas ficarão com uma cor roxa sobre elas, em seguida o painel controlador aparecerá. Selecionamos o controlador *expressão e escritos* e a variável distância. Por último no campo expressão inserimos a expressão matemática, nesse $(1/var^{**2})$, os elementos que tinha todos os tamanhos iguais passam a variar com a distância.

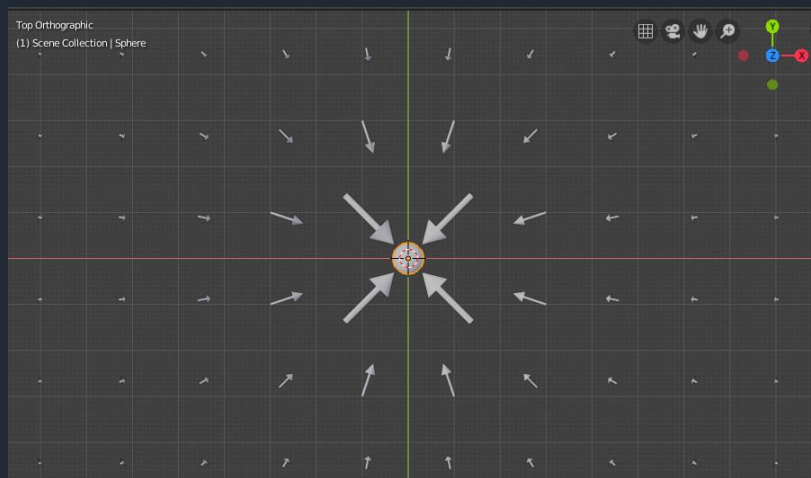


Figura 34 – Representação de campo

Percebemos que são diversos os caminhos para construir uma mesma cena no Blender. Aqui gostaríamos de destacar a utilização do addon Animation Node (AN), um complemento desenvolvido pelo Jacques Lucke. Esses complementos são desenvolvidos com alguns requisitos adicionais para que o Blender

ANIMATION NODE 2.1 PARA BLENDER 2.8

1º PASSO – INTERFACE ÁRVORE DE NÓS

Os nós de animação (NA) foram desenvolvidos inicialmente como um complemento (addon) e passou a integrar a interface como ferramenta padrão, um grande avanço e reconhecimento pela sua importância. O complemento NA é um sistema de programação visual projetado para animações baseado no gráfico de movimento. Podemos encontrar sua janela na barra de tarefas superior da Janela de visualização e selecionar AN:

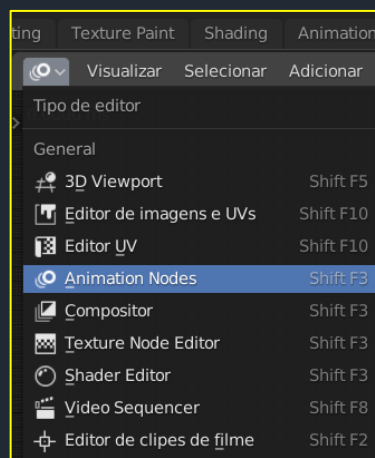


Figura 35 – Nó de Animação

Podemos usar o NA como um recurso eficiente para diversas ferramentas do Blender, a exemplo, do driver, manipulador de texto, restrições, modificadores e animação. Caso use uma versão do Blender que não possui o NA. Abra o Blender (de preferência a versão mais recente), vá para as preferências do usuário na guia complemento, clique em instalar do arquivo e escolha o arquivo zip que você baixou e ative o complemento. Apresentado a ferramenta, vamos produzir nosso campo vetorial. A interface do NA é a mesma do editor de nós do compositor, você perceberá a diferença quando for adicionar os nós, que são específicos para animação. Para criar a nossa rede precisaremos adicionar um árvore de nó, clicando no botão Novo.

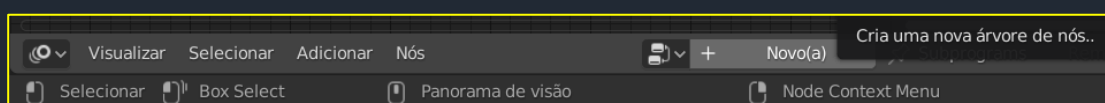


Figura 36 – Nova árvore de animação

Agora adicionaremos o nó de entrada, onde será inserido os dados para controlar os valores do nó de saída, seguindo a mesma lógica de programação input/output. O nosso primeiro nó é do objeto (object input) representado em nossa cena, lembra de nossa seta criada no tópico anterior? Então, usaremos ela como objeto de entrada. O segundo nó que adicionaremos é o gerador de malha (grid mesh), esse nó determinará a posição de cada ponto de nossa matriz. Agora precisamos multiplicar os elementos de nossa cena que se ligarão a cada ponto da matriz, utilizaremos o nó instanciador (object instancer) e por fim adicionaremos o nó para controlar o número de elemento da lista de entrada (Get length), isso permitirá que elementos da matriz seja automaticamente corrigidos. A conexão entre os nós ficará assim:

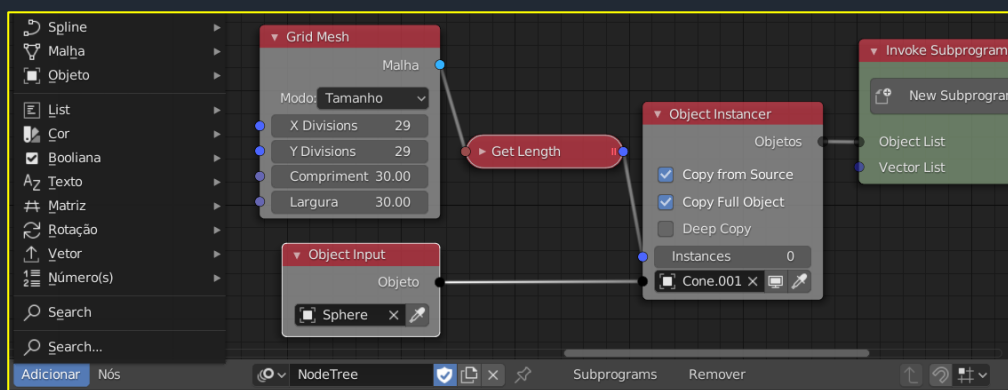


Figura 37 - Conexão dos nós da matriz

Após criar a nossa lista de elementos da matriz precisamos *passar um loop sobre os elementos* para isso usaremos o subprograma de loop que permite a iteração nos Nós de animação já construídos. A iteração é o ato de executar um grupo de nós várias vezes. O número de iterações é o número de vezes que o loop será executado. Adicionamos o nó de subprogramas loop input, em seguida acrescentaremos o nó gerador, por padrão ele vem com uma lista de interação (interations), corrigimos isso com nova lista de interação passando da lista de interação para a lista de objetos. Clicamos em nova interação (new interator) e selecionamos lista de objetos (object list), também acionaremos uma lista de vetores (vector list), por último adicionaremos o nó de saída o objeto de transformação (transforms output). As conexões entre os nós da árvore ficaram assim:

ELEVADOR DO EINSTEIN BLENDER 2.8

1º PASSO – ELEVADOR

Precisamos modelar o nosso elevador, na cena inicial do Blender. O nosso objeto é muito simples e podemos começar usando o cubo da cena inicial. Entramos no *modo editor*, selecionamos uma das faces do cubo e clicamos na barra superior a guia *Malha > Apagar > Face*, em seguida extrudamos as faces restantes selecionando na aba superior *Faces > Extrude Faces Along Normals*

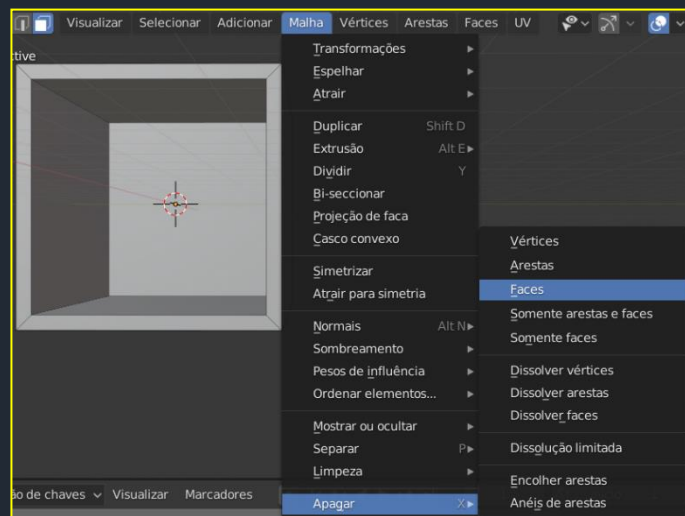


Figura 40 – Elevador

O elevador de Einstein possui algo peculiar, um propulsor, igual a de um foguete, adicionamos um cilindro na cena, entramos novamente no modo editor e selecionamos a face superior do cilindro diminuindo a escala da face, em seguida extrudamos como fizemos com o elevador. Propulsor pronto.

2º PASSO – DOMÍNIO E FLUXO

Com o propulsor modelado precisamos de ignição ou melhor uma simulação de fumaça, para isso precisaremos de um domínio, isto é, uma região limitada do espaço, geralmente uma caixa, onde ocorrerá a simulação de fumaça e também precisaremos de um objeto de escoamento. Adicionamos um plano e o localizamos no interior do propulsor, posteriormente selecionamos na guia superior *objeto > efeitos instantâneos > gerar fumaça rápida*, automaticamente o sistema seleciona o plano como objeto de escoamento e adiciona a caixa como

domínio. Ao pressionar o botão Play veremos uma chama subindo como seria de esperar do fogo e da fumaça. Mas precisamos que a chama se já emitida para baixo, assim, alteraremos as configurações de Fluxo em Velocidade inicial. Giremos o plano de fluxo em 180 graus, passando a emitir o fogo para baixo.

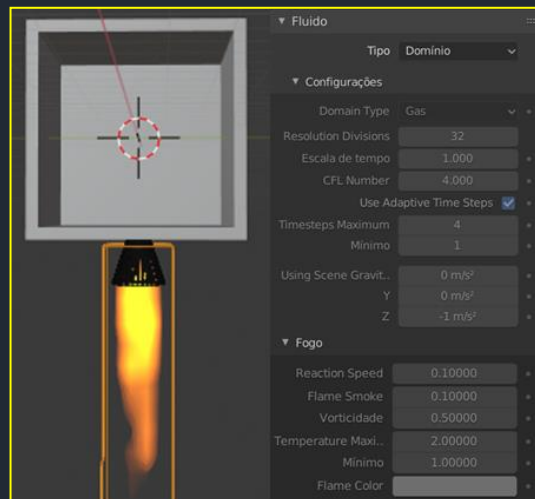


Figura 41 – Propulsor

Criamos nosso propulsor. Agora, colocaremos um sistema massa-mola preso ao teto do elevador. Iniciamos modelando a nossa mola com o modificador *rosquear* (*screw*) e um círculo, ao adicionar o círculo, entramos no modo editor e o posicionamos na coordenada 2 do eixo x, rotacionamos à 90° no mesmo eixo e acionamos o modificador entramos com valor angular 8 vezes maior, com comprimento de 1 m e raio interno e externo 0.05 m e 0.45 respectivamente. Em seguida adicionamos um cubo (massa)

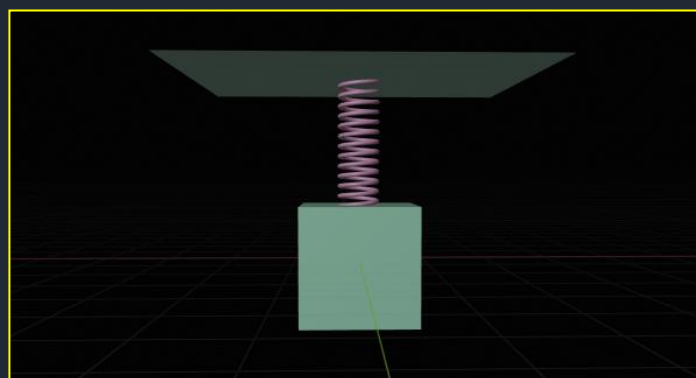


Figura 42 – Sistema massa mola

Por fim, adicionaremos o sistema ao teto do elevador e utilizaremos o sistema de rigging para animar a mola esticando-a assim que o elevador for acelerado.

ENSTINA BLENDER 2.8

1º PASSO – CRIANDO NO MAKEHUMAN

MakeHuman (MH) é outro software de código aberto construído para facilitar a criação de personagens humanos de gráfico 3d. A modelagem 3d de humanos é algo muito especializado e trabalhoso, por isso o MH vem com o objetivo de fornecer qualidade, variedade e rapidez no desenvolvimento de humanos virtuais, com poucos cliques seremos capazes de criar e exportar personagens para nossos projetos. Após baixar e instalar³ o MH, utilizaremos sua interface para modelar nosso personagem podemos encontrar mais informações sobre a configuração na documentação⁴ oficial, o MH também tem o idioma fornecido em português. Os controles do MH podem ser acessados pelas abas na barra superior de ferramentas:



Figura 43 – Interface do MH

Construiremos o nosso personagem, cliquemos na guia materiais e no painel de opção direito selecionamos *special suit* agora que a nossa personagem está vestida. Cliquemos na guia modelagem e na subguia sexo modelagem e na subguia sexo (feminino), depois clicamos na aba *geometria* e na subguia *roupas* e selecionamos *Bsom Astronaut*, caso não encontre poderá carregar do site⁵

³ Está disponível para diversas plataformas com Windows, Mac e Linux
<http://www.makehumancommunity.org/content/downloads.html>

⁴ A documentação oficial do Makehuman
<http://www.makehumancommunity.org/wiki/Documentation:Index>

⁵ BSoM astronaut é
http://www.makehumancommunity.org/content/bsom_astronaut_blender_project_including_cycles_materials.html

Criamos nossa primeira personagem (Einstina), agora vamos exportar o modelo para o Blender, MHX2 é um formato para transferir um caractere manipulado do MH para o Blender 2.8

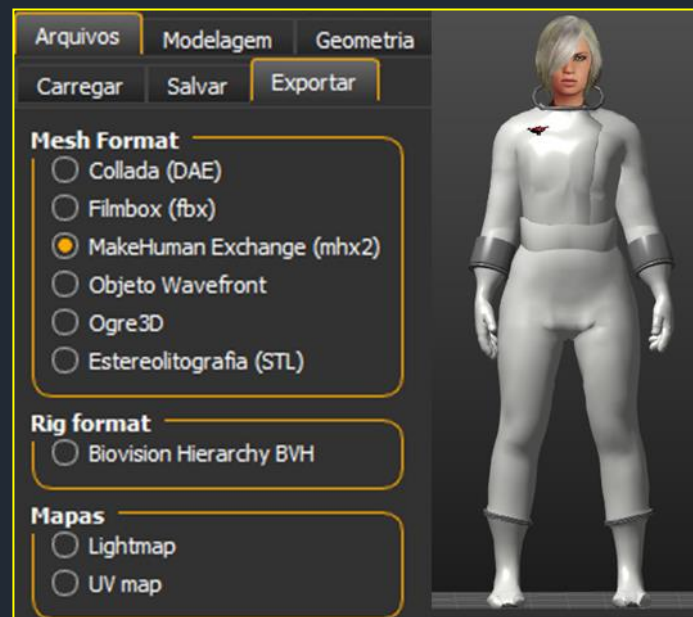


Figura 44 – Personagem do MH

2º PASSO – RIGGING

Rigging é um termo geral usado normalmente para fins de animação com o uso de recursos como restrições, armaduras, modificadores, formas e drivers. O uso dessa técnica requer o domínio de diversos recursos, felizmente, existem diversas comodidades para atingir o fim desejado, o movimento. No passo 1 exportamos a nossa personagem no formato MHX2 para usá-lo no Blender precisaremos de um complemento⁶ para importar o arquivo para o Blender 2.8. Após a instalação, clicamos em importar na guia direita do Blender.

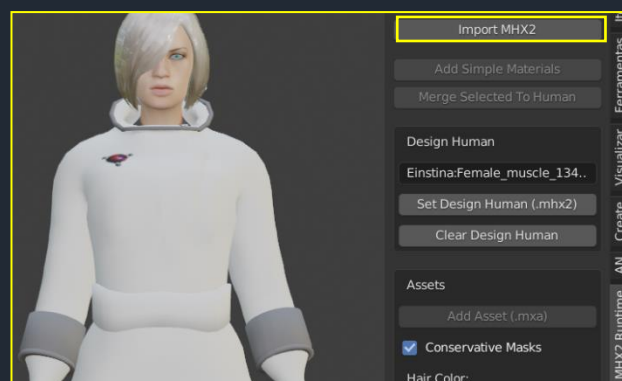


Figura 45 – Importar personagem do MH

⁶ Complemento MHX2 disponível no site. <http://www.makehumancommunity.org/content/plugins.html>

Buscamos animar o personagem de forma a simular o movimento dos corpos quando estão em órbita da Terra. O recurso que utilizaremos para construir essa animação se chama mocap (motion capture)⁷ essa captura de movimento é realizada com sensores que armazenam os dados em um sistema. Existem alguns sites na internet que disponibilizam diversas capturas de movimento no formato (fbx ou bvh). Instalaremos um segundo complemento makewalk esse complemento permitirá que façamos download de arquivos submetidos a captura de movimento.

Para finalizar fazemos o personagem acompanhar o elevador



Figura 46 – Elevador com Personagem em movimento

O objetivo deste roteiro está na possibilidade de professores pesquisadores e estudantes vislumbrarem a possibilidade de aprender a usar o software Blender para produção de animações e simulações como objetivo enriquecer as suas aulas de física e estimularem o interesse dos estudantes não só para física, mas para a tecnologia, afinal o ensino de Física poderá ser combinado a capacidade criativa dos estudantes na manipulação do blender 3d. Bons Estudos.

⁷ Sites com captura de movimento

<https://sites.google.com/a/cgspeed.com/cgspeed/motion-capture/cmu-bvh-conversion>

<http://www.cs.man.ac.uk/~toby/bvh/>

<http://mocap.cs.sfu.ca/>



Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
Barão do Solimões



QUESTIONÁRIO PRÉVIO 3º BIMESTRE 2019

| | | | |
|--|---------------|--------------------------|--------------|
| Professor: Esleandro Guimarães Leão | | | |
| Série: 1º | Turma: | Turno: Vespertino | Data: |
| Aluno: | | Nº | |

1-A Terra atrai a Lua, por isto ela gira em torno da Terra. Por que a Lua não cai na Terra?

2- Por que a Terra e os outros planetas no Sistema Solar não caem no Sol?

3- Por que a Terra atrai as coisas ao seu redor?

4- A imagem abaixo ilustra uma bola de ferro após ser disparada por um canhão.



Desprezando-se a resistência do ar, o esquema que melhor representa as forças que atuam sobre a bola de ferro é:

- a) c)
 b) d)

5-Uma bola de aço é abandonada do prédio mais alto da cidade de Porto Velho o Maison Chamounix de um ponto situado na parte mais alta do prédio. As figuras abaixo reproduzem posições sucessivas da bola em intervalos de tempo sucessivos iguais (fotografia estroboscópica). Qual é a figura correta desprezando a resistência do ar?

- a) • b) •• c) ••• d) •
- • • •
- • • •
- • • •
- •• • ••

6- Se matéria atrai matéria, por que não sinto a cadeira ou a mesa me puxar?

7-A ponte do Rio Madeira localizada na BR-319, tem 982 m de extensão e 35 m de altura, sabendo que é solta uma nota de papel do ponto mais alto, a partir do repouso. Desprezando a resistência do ar qual esquema representa melhor as forças atuando dentre as alternativas:



8- Fala-se de gravidade, da aceleração da gravidade, e do campo gravitacional. Relacione e compare cada uma destas grandezas.

8- Por que as coisas parecem não ter peso quando estão em uma estação espacial, em órbita em torno da Terra?

10- Há formas de simular a ausência de gravidade em locais onde há gravidade?

11- Analisando as Leis de Newton, pode-se concluir corretamente que:

- a) O movimento retilíneo e uniforme é consequência da aplicação de uma força constante sobre o corpo que se move
- b) Para toda ação existe uma reação correspondente, sendo a força normal a força de reação sobre objetos em superfícies planas
- c) Se um corpo está acelerado, está certamente sobre ação de uma força, ou um conjunto de forças e resultante diferente de zero
- d) A força centrífuga é uma força que surge em decorrência da lei da inércia sobre corpos que obedecem a um movimento circular e que têm como reação a força centrípeta.

12- Pelo princípio da Inércia o que aconteceria com os objetos sobre a superfície se a Terra parasse de girar?

13- Um professor de Física, durante uma de suas aulas, perguntou aos alunos: “Por que podemos dizer que estamos todos em movimento mesmo que sentados em nossas carteiras?”

Ao dar a resposta correta, um dos alunos disse:

- a) Porque o Sol sempre é o referencial adotado, uma vez que é o corpo mais massivo do sistema solar; então, estamos executando o movimento de translação com a Terra.
- b) Porque se adotarmos um referencial no espaço, como a Lua, a Terra estará em movimento e nós nos movimentamos com o planeta.
- c) Porque a Terra executa um movimento de translação ao redor de seu próprio eixo.
- d) Porque nada pode permanecer totalmente parado.

14- Você acredita que Teoria da Gravitação Universal de Newton explica como todo o Universo funciona? Por quê?



Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
Barão do Solimões
PLANO DE AULA 01



| | | |
|---|-----------------------------|--------------------------|
| Disciplina: Física | | |
| Professor: Esleandro Guimarães Leão | | |
| Carga Horária Semanal: 48 minutos | Turma: 1º Ano do E.M | Turno: Vespertino |
| TEMA: Gravitação Universal de Sir Isaac Newton | | |
| CONTEUDO PROGRAMÁTICO Contextualização Histórica. Entender e usar o termo <i>gravidade</i> descrito pela Física. | | |
| OBJETIVOS Compreensão dos fatores históricos que levaram a elaboração da Teoria da Gravitação Universal; compreensão do conceito de gravidade utilizado na Física. | | |
| METODOLOGIAS Aula expositiva e dialogada, apresentando algumas ligações entre fatos comuns do cotidiano dos alunos com o assunto em questão, seguida de atividade de fixação do conteúdo. Uso do projetor para reproduzir animações. | | |
| MOTIVAÇÃO O professor deverá estimular a curiosidade dos alunos sobre o tema a ser estudado, fazendo a seguinte introdução: Antigamente, quando se olhava para céu acreditava-se que as Leis da Física que descreviam o movimento dos corpos na Terra fossem diferentes das Leis que governavam o movimento dos objetos celestes. A configuração do sistema solar já era conhecida, o modelo geocêntrico havia sido substituído pelo modelo heliocêntrico, mas ainda, não se entendia o que mantinha os planetas, satélites e cometas orbitarem em torno do Sol. “De todas as tentativas para explicar a periodicidade dos movimentos celestes, ninguém havia conseguido formular ideias tão profundas sobre o funcionamento desses movimentos quanto Newton.” | | |
| RECURSOS DIDATICOS Projetor; quadro branco; pincéis. | | |
| AVALIAÇÃO Para a avaliação será considerado a resolução de questões, participação nas aulas. além do comportamento | | |
| REFERÊNCIAS MEDEIROS, Alexandre; MONTEIRO, Maria Amélia. A invisibilidade dos pressupostos e das limitações da teoria copernicana nos livros didáticos de Física. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 19, n. 1, p. 28-50, 2002. MARTINS, Roberto de Andrade. SILVA, CC A maçã de Newton: história, lendas e tolices. Estudos de história e filosofia das ciências, 2006 | | |



Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
Barão do Solimões
PLANO DE AULA 02



| | | |
|---|-----------------------------|--------------------------|
| Disciplina: Física | | |
| Professor: Esleandro Guimarães Leão | | |
| Carga Horária Semanal: 48 minutos | Turma: 1º Ano do E.M | Turno: Vespertino |
| TEMA: Gravitação Universal de Sir Isaac Newton | | |
| CONTEUDO PROGRAMÁTICO | | |
| A lei de Newton da gravitação universal | | |
| OBJETIVOS | | |
| Compreensão do argumento original de Newton como Universalização da Gravidade como explicação para os fenômenos de interação gravitacional. | | |
| METODOLOGIAS | | |
| Aula expositiva e dialogada, apresentando animações através de projetor como ilustração do argumento de Newton, seguida de atividade de fixação do conteúdo. Exposição da ' <i>ação das forças centrípetas</i> ', no que ficou conhecido como canhão de Newton | | |
| MOTIVAÇÃO | | |
| Oferecemos algumas perguntas que levam para a lei da Gravitação Universal de Newton. O que provoca o peso que cada aluno sente? Por que você sentiria uma força diferente sobre seus pés caso estivesse na Lua? O que influencia a intensidade dessa força? Pela 3ª Lei de Newton, Se a Terra atrai os objetos, logo os objetos atraem a terra, então por que a Terra não se move em direção a eles? O que acontece com a força da influência da terra como você ir mais longe? | | |
| RECURSOS DIDATICOS | | |
| Projetor; quadro branco; pincéis. | | |
| AVALIAÇÃO | | |
| Para a avaliação será considerado a resolução de questões, participação nas aulas. além do comportamento | | |
| REFERÊNCIAS | | |
| FREIRE, Olival Júnior; MATOS, Manoel Filho; VALLE, Adriano Lucciola do. Uma exposição didática de como Newton apresentou a Força Gravitacional. Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia, publicado na revista Física na Escola, v. 5, nº 1, 2004. | | |
| Teixeira, Elder & Peduzzi, Luiz & Junior, Olival. (2010). Os caminhos de Newton para a Gravitação Universal: Uma revisão do debate historiográfico entre Cohen e Westfall Caderno Brasileiro de Ensino de Física DOI: 10.5007/2175-7941.2010v27n2p215. | | |



Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
Barão do Solimões
PLANO DE AULA 03



| | | |
|---|-----------------------------|--------------------------|
| Disciplina: Física | | |
| Professor: Esleandro Guimarães Leão | | |
| Carga Horária Semanal: 48 minutos | Turma: 1º Ano do E.M | Turno: Vespertino |
| TEMA: O significado de “lei do inverso do quadrado” | | |
| CONTEUDO PROGRAMÁTICO | | |
| Lei do inverso do quadrado da distância (interpretação geométrica) Intensidade do campo gravitacional no infinito | | |
| OBJETIVOS | | |
| Entender | | |
| METODOLOGIAS | | |
| Este episódio introduz a lei de gravitação universal de Newton para massas pontuais, e para massas esféricas, e faz com que os alunos pratiquem cálculos da força entre os objetos. O significado de “lei do inverso do quadrado” é discutido. | | |
| MOTIVAÇÃO | | |
| Qualquer fonte pontual que espalhe sua influência igualmente em todas as direções, sem limite para seu alcance, obedecerá à lei do quadrado inverso. Isso vem de considerações estritamente geométricas. A intensidade da influência em qualquer raio r é a força da fonte dividida pela área da esfera. Sendo estritamente geométrica em sua origem, a lei do quadrado inverso se aplica a diversos fenômenos. As fontes pontuais de força gravitacional, campo elétrico, luz, som ou radiação obedecem à lei do quadrado inverso. | | |
| RECURSOS DIDATICOS | | |
| Projetor; quadro branco; pincéis. | | |
| AVALIAÇÃO | | |
| Para a avaliação será considerado a resolução de questões, participação nas aulas. além do comportamento | | |
| REFERÊNCIAS | | |
| Gravitação Universal em atividade prática: uma abordagem histórica e cultural das órbitas dos planetas à ficção científica. Textos De Apoio Ao Professor De Física – IF-UFRGS – Borragini, Pavani e Lima Jr. v.28 n.1, 2017. | | |
| Guia do Educador para a Lei do Inverso do Quadrado. Jet Propulsion Laboratory. Quão Distante/Quão Tênuo < https://www.nasa.gov/audience/foreducators/9-12/features/F_How_Far_How_Faint.html > | | |



Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
Barão do Solimões
PLANO DE AULA 04



| | | |
|--|-----------------------------|--------------------------|
| Disciplina: Física | | |
| Professor: Esleandro Guimarães Leão | | |
| Carga Horária Semanal: 48 minutos | Turma: 1º Ano do E.M | Turno: Vespertino |
| TEMA: Gravitação, constante gravitacional. | | |
| CONTEUDO PROGRAMÁTICO Contextualização Histórica. Constante gravitacional | | |
| OBJETIVOS Compreender o significado do valor da constante gravitacional. | | |
| METODOLOGIAS Aula expositiva e dialogada, apresentando algumas ligações entre fatos comuns do dia-a-dia como atração gravitacional entre objetos pequenos, seguida de atividade de fixação do conteúdo. Uso do projetor para reproduzir animações. | | |
| MOTIVAÇÃO As concepções dos estudantes foram trabalhadas nessa aula, como porquê nos não sentimos atraídos por outros objetos na superfície terrestre. Qual seria a causa dessa ausência? Ao expressar o valor da constante gravitacional, pedimos aos estudantes para calcular o módulo da força gravitacional entre dois objetos da sala. | | |
| RECURSOS DIDATICOS Projetor; quadro branco; pincéis. | | |
| AVALIAÇÃO Para a avaliação será considerado a resolução de questões, participação nas aulas. além do comportamento | | |
| REFERÊNCIAS Trancanelli, Diego. (2016). Grandezas físicas e análise dimensional: da mecânica à gravidade quântica. Revista Brasileira de Ensino de Física, 38(2), e2505. Epub May 31, 2016. https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2015-0003 REIS, A. M. Gravitação no contexto da pesquisa mineral: transposição para o Ensino Médio. 2010. 132f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte MAGNETISMO, Livro em que Gilbert reuniu conhecimentos sobre os ímãs é um marco na história da ciência. Os 400 anos do De magnete < http://www.cbpf.br/~labmag/apg.pdf > | | |



Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
Barão do Solimões
PLANO DE AULA 05



| | | |
|--|-----------------------------|--------------------------|
| Disciplina: Física | | |
| Professor: Esleandro Guimarães Leão | | |
| Carga Horária Semanal: 48 minutos | Turma: 1º Ano do E.M | Turno: Vespertino |
| TEMA: Gravitação, Campo Gravitacional. | | |
| CONTEUDO PROGRAMÁTICO Contextualização Histórica. Campo gravitacional, força gravitacional e aceleração da gravidade | | |
| OBJETIVOS compreensão da gravitação com uso das linhas campo, superfícies equipotenciais da gravidade. Entender e usar os termos energia potencial E_p e saber que o zero de potencial é definido para estar no infinito. | | |
| METODOLOGIAS Aula expositiva e dialogada, apresentando por que tratamos o campo gravitacional próximo da superfície terrestre como constante. Uso do projetor para reproduzir animações. | | |
| MOTIVAÇÃO para um melhor entendimento por parte dos alunos utilizamos uma comparação do campo gravitacional com um campo de futebol, assim como o campo de futebol é uma determinada e limitada região do espaço onde funcionam regras, o campo gravitacional também possui "regras" que chamamos de lei da gravitação, apresentamos as linhas de campo, um conceito que não foi desenvolvido por Newton, mas que contribui para o modelo de gravitação | | |
| RECURSOS DIDATICOS Projetor; quadro branco; pincéis. | | |
| AVALIAÇÃO Para a avaliação será considerado a resolução de questões, participação nas aulas. além do comportamento | | |
| REFERÊNCIAS Rocha, José Fernando Moura. (2009). O conceito de "campo" em sala de aula: uma abordagem histórico-conceitual. Revista Brasileira de Ensino de Física, 31(1), 1604.1-1604.17. https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000100013 Krapas, Sonia, & Silva, Marcos Corrêa da. (2008). O conceito de campo: polissemia nos manuais, significados na física do passado e da atualidade. Ciência & Educação (Bauru), 14(1), 15-33. https://doi.org/10.1590/S1516-73132008000100002 | | |



Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
Barão do Solimões
PLANO DE AULA 06



| | | |
|--|-----------------------------|--------------------------|
| Disciplina: Física | | |
| Professor: Esleandro Guimarães Leão | | |
| Carga Horária Semanal: 48 minutos | Turma: 1º Ano do E.M | Turno: Vespertino |
| TEMA: Gravitação, Distância dos Astros: Terra, Lua e Sol | | |
| CONTEUDO PROGRAMÁTICO | | |
| Gravitação e as distâncias astronômicas Método de Eratóstenes para medir distância da Terra ao Sol | | |
| OBJETIVOS | | |
| Compreender o argumento original de Aristarco para estimar as distâncias Terra-Lua-Sol | | |
| METODOLOGIAS | | |
| Iniciamos a aula de forma questionada e ao longo da aula dialogamos sobre o conteúdo com a máxima participação dos estudantes. Apresentamos animação sobre o esquema formado durante um eclipse Lunar. | | |
| MOTIVAÇÃO | | |
| Como o Homem há mais de 2200 anos postulou que a Terra orbitava em torno do Sol? Será que seríamos capazes de fazer isso, agora? Aristarco talvez seja mais célebre por ter proposto o heliocentrismo na antiguidade. Além disso foi capaz de estimar a distância entre a Terra, a Lua e o Sol. “As únicas ferramentas de Eratóstenes eram paus, olhos, pés e cérebros; além de um gosto pelo experimento. Com essas ferramentas, deduziu corretamente a circunferência da Terra, com alta precisão, com um erro de apenas alguns por cento. Isso é muito bom para figurar há 2200 anos atrás.” | | |
| RECURSOS DIDATICOS | | |
| Projetor; quadro branco; pincéis. | | |
| AVALIAÇÃO | | |
| Para a avaliação será considerado a resolução de questões, participação nas aulas. além do comportamento | | |
| REFERÊNCIAS | | |
| Aristarco de Samos, Sobre os tamanhos e as distâncias do Sol e da Lua. Traduzido e editado por Rubens E. G. Machado, Santiago, 2016. Disponível em: < https://archive.org/details/AristarcoDeSamosTamanhosDistanciasSolLua/mode/2up > | | |
| Silveira, Fernando. (2017). Sobre a forma da Terra. Física na Escola. 15. 4-14. Lang, Fernando da Silveira. Como Eratóstenes mediu 7° entre Assuã e Alexandria para achar a circunferência da Terra? Disponível em :< https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=como-eratostenes-mediou-7-entre-assua-e-alexandria-para-achar-a-circunferencia-da-terra > | | |



Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
Barão do Solimões
PLANO DE AULA 07



| | | |
|--|-----------------------------|--------------------------|
| Disciplina: Física | | |
| Professor: Esleandro Guimarães Leão | | |
| Carga Horária Semanal: 48 minutos | Turma: 1º Ano do E.M | Turno: Vespertino |
| TEMA: Gravitação | | |
| CONTEUDO PROGRAMÁTICO Energia Potencial Gravitacional Campo Vetorial Campo escalar | | |
| OBJETIVOS Compreender os diferentes modelos vetorial e escalar para representar interações gravitacionais | | |
| METODOLOGIAS Método de exposição do conteúdo dialogado, com apresentação de animações para representar os diferentes modelos para representar a gravitação. | | |
| MOTIVAÇÃO O conceito de energia potencial gravitacional foi retomado e abordado modelos físicos para interpretação das interações gravitacionais como o gradiente. Nesta aula foram combinados os dois modelos vetorial e escalar utilizados na mecânica celeste para representar os sistemas Terra-Sol e Terra-Lua. | | |
| RECURSOS DIDATICOS Projetor; quadro branco; pincéis. | | |
| AVALIAÇÃO Para a avaliação será considerado a resolução de questões, participação nas aulas. além do comportamento | | |
| REFERÊNCIAS Bucussi, Alessandro A. Introdução ao conceito de energia / Alessandro A. Bucussi. – Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2007 | | |



Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
Barão do Solimões
PLANO DE AULA 08



| | | |
|---|-----------------------------|--------------------------|
| Disciplina: Física | | |
| Professor: Esleandro Guimarães Leão | | |
| Carga Horária Semanal: 48 minutos | Turma: 1º Ano do E.M | Turno: Vespertino |
| TEMA: Gravitação | | |
| CONTEUDO PROGRAMÁTICO Princípio da Equivalência Massa Inercial e Gravitacional Referenciais não-inerciais. | | |
| OBJETIVOS Compreender a diferença entre massa inercial e massa gravitacional | | |
| METODOLOGIAS Método de exposição do conteúdo dialogado com apresentação de animações representando o movimento de objetos em diferentes referenciais. | | |
| MOTIVAÇÃO O astronauta sente seu peso? É possível simular a gravidade? Qual a diferença entre estar em queda livre (aceleração gravitacional) e ser acelerado em um automóvel (aceleração inercial)? Apresentamos o conceito massa inercial e massa gravitacional relacionando as duas equações para força, fizemos o uso de animação com elevador, um experimento mental utilizado por Einstein para explicar como as leis da física são validas para quaisquer referenciais, sejam inerciais ou não-inerciais. | | |
| RECURSOS DIDATICOS Projetor; quadro branco; pincéis. | | |
| AVALIAÇÃO Para a avaliação será considerado a resolução de questões, participação nas aulas. além do comportamento | | |
| REFERÊNCIAS Castellani, Otávio Cesar. (2001). Discussão dos Conceitos de Massa Inercial e Massa Gravitacional. Revista Brasileira de Ensino de Física, 23(3), 356-359. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1806-11172001000300013 Acevedo, O.A., Morais, E.M. de, & Pimentel, B.M.. (2019). O Princípio de Equivalência. Revista Brasileira de Ensino de Física, 41(3), e20180329. Epub February 11, 2019. https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2018-0329 | | |



Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio
Barão do Solimões
PLANO DE AULA 09



| | | |
|---|-----------------------------|--------------------------|
| Disciplina: Física | | |
| Professor: Esleandro Guimarães Leão | | |
| Carga Horária Semanal: 48 minutos | Turma: 1º Ano do E.M | Turno: Vespertino |
| TEMA: Gravitação de Einstein | | |
| CONTEUDO PROGRAMÁTICO | | |
| Referencial não inercial Deflexão gravitacional | | |
| OBJETIVOS | | |
| Compreender as consequências da mudança de referencial sobre o movimento da luz | | |
| METODOLOGIAS | | |
| Aula expositiva e dialogada, apresentando a nova visão de Einstein e suas consequências para Física. Uso do projetor para reproduzir animações. | | |
| MOTIVAÇÃO | | |
| TRG, se os estudantes já ouvirem sobre a teoria e o que eles sabiam sobre o assunto. Em seguida apresentaremos o experimento mental do elevador utilizado por Einstein para explicar como o referencial não inercial interfere no movimento da luz, produzindo uma deflexão (desvio) da trajetória da luz. | | |
| RECURSOS DIDATICOS | | |
| Projetor; quadro branco; pincéis. | | |
| AVALIAÇÃO | | |
| Para a avaliação será observado a participação nas aulas, além do comportamento | | |
| REFERÊNCIAS | | |
| Castiñeiras Jorge, Crispino Luís Carlos Bassalo. Relatividade geral: fundamentos e primeira comprovação experimental. Cienc. Cult. [Internet]. Julho de 2019. Citado em setembro de 2019. 71 (3): 16-22. Disponível em: http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000300007 . | | |
| César, H. Lenzi, Pompeia, Pedro J., & Studart, Nelson. (2019). A deflexão gravitacional da luz: De Newton a Einstein. Revista Brasileira de Ensino de Física, 41(Suppl. 1), e20190238. Epub December 13, 2019. https://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2019-0238 | | |