



Sequência didática para mudanças conceituais no ensino de física: desenvolvendo o conceito de centro de gravidade

Conceptual changes in physics teaching: developing understanding center of gravity

Tatiane Feu Teixeira Santiago ^{1*}, Paulo Henrique Dias Menezes ²

¹ Escola Estadual Prof. José Pereira Eboli, Avenida Professor João Rodrigues Alckmin, 1249, Jardim Esperança, CEP 12518-245, Guaratinguetá - SP, Brasil.

² Departamento de Educação, Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Universitário, Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro, CEP 36036-900, Juiz de Fora - MG, Brasil.

*E-mail: tatianefts29@gmail.com

Recibido el 5 de abril de 2023 | Aceptado el 15 de agosto de 2023

Resumo

Neste trabalho apresentamos uma sequência didática, constituída por um conjunto de atividade em níveis crescentes de complexidade, elaborada para possibilitar o desenvolvimento progressivo do conceito de centro de gravidade com base no modelo cognitivo de Piaget e Garcia para mudanças conceituais. As bases que fundamentam essa construção são compostas pelas tríades dialéticas das etapas: intra, inter e trans-objetal. Esse modelo de ensino possibilita levar o estudante à elaboração de conceitos mais abrangentes, rompendo paradigmas e alargando a capacidade de observar, comparar e transformar o conhecimento. A sequência didática foi aplicada em aulas de física com estudantes do 2º ano do ensino do médio. Durante a aplicação examinou-se em detalhes a evolução do conceito de ponto de equilíbrio, na sua diferenciação com o centro de gravidade, como um indicador das formas de compreensão dos estudantes. Os resultados referendam a potencialidade dos processos de equilíbrio e desequilíbrio, pautado na incerteza compartilhada entre os estudantes e entre eles e o professor, como elemento essencial na construção do conceito de centro de gravidade de forma significativa.

Palavras-chave: Ensino de física; Modelo cognitivo; Centro de gravidade; Sequência didática.

Abstract

This article presents a didactic strategy, formed by a set of activities at increasing levels of complexity, designed for the development of the concept of center of gravity, based on Piaget and Garcia's cognitive model for conceptual changes. The bases that underlie this construction are composed of the dialectical triads of the stages: intra, inter and trans-object. This teaching model enables students to develop increasingly comprehensive concepts, breaking paradigms and expanding their ability to observe, compare and transform knowledge. The method was applied in physics classes with 2nd year high school students. During the application, the evolution of the concept of balance point was examined, in its differentiation with the center of gravity, as an indicator capable of pointing out the students' ways of understanding. The results indicate the potential of balancing and unbalancing processes, based on uncertainty shared among students and between them and the teacher, as an essential element in building the concept of center of gravity in a meaningful way.

Keywords: Physics teaching; Cognitive model; Gravity center; Didactic strategy.

I. INTRODUÇÃO

A Base Nacional Comum Curricular brasileira (Brasil, 2018) indica que é objetivo da educação promover o desenvolvimento integral dos estudantes em suas dimensões cognitiva, social, emocional, cultural e física. Promover uma educação integral nesses moldes talvez seja o principal desafio enfrentado por professores formados em modelo tradicional de ensino, pautado em aulas expositiva, geralmente focadas na transmissão do conhecimento.

A sequência didática aqui proposta surge como um enfrentamento a este desafio. Além de prover a mudança conceitual no estudante, exige também a mudança de comportamento do professor. A tradicional forma de transmissão do conhecimento é substituída por práticas que valorizam e exploram o papel ativo do estudante na construção do seu próprio conhecimento.

O material aqui apresentado foi desenvolvido no âmbito do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e tem o objetivo de levar o estudante a construir o conceito de centro de gravidade, utilizando um modelo fractal, conhecido como tríade dialética de Piaget.

O centro de gravidade é um conceito importante no ensino da mecânica clássica, mas é pouco compreendido pelos estudantes. A pouca atenção dada a esse tema pode ser observada inclusive na quase total ausência de questões de vestibulares e do Enem que abordem o conceito de centro de gravidade. Por outro lado, trata-se de um conceito largamente presente no dia a dia, com aplicações que vão do equilíbrio do nosso próprio corpo, aos enormes arranha-céus e gigantescas pontes construídas pela engenharia (Lemos, Teixeira e Mota, 2010). Por esse motivo, nos empenhamos no desenvolvimento de um material que pudesse explorar esse conceito de forma significativa e contextualizada.

II. APORTE TEÓRICO

No cotidiano percebemos a importância do equilíbrio na organização da carga em caminhões e aeronaves, na construção de grandes monumentos e até mesmo no simples ato de caminhar. Da Terra aos céus, situações de equilíbrio aparecem de forma diversificada e nos estimula a observar a natureza; a refletir, questionar e compreender a realidade como um paradigma em transição.

Analisando textos tradicionais de física básica, tais como: Symon (1982), Resnick, Halliday e Walker (2002), Hewitt (2002), observa-se uma tímida abordagem do conceito de centro de gravidade e poucas tentativas de mostrar a diferença entre centro de massa e centro de gravidade, normalmente, sem exemplos práticos que demonstrem essa diferenciação. Essas observações corroboram o estudo realizado por Assis (2008b), que também notou que. . .

As definições apresentadas nos livros didáticos divergem entre si. Poucos livros fazem um levantamento histórico sobre o surgimento do conceito do centro de gravidade, não mencionando sequer Arquimedes com relação a este ponto. Em geral eles chegam ao conceito a partir da mecânica newtoniana. Não há problemas em relação a isto, mas seria interessante que fosse feita uma análise crítica do tema. Alguns livros chegam até mesmo a tomar o centro de gravidade como sendo sinônimo do conceito de centro de massa. Mas isto está bem distante da formulação de Arquimedes. Não há problemas com este procedimento, desde que o tema seja tratado com o devido cuidado. (Assis, 2008b, fl. 10)

No quadro 1 apresentamos um breve resumo de definições de centro de gravidade no decorrer da história com base no trabalho de Assis (2008a, p. 126-129).

QUADRO 1. Definições do conceito de Centro de Gravidade, com base em Assis (2008a).

	<i>Obra</i>	<i>Definição</i>
Heron (século I d. C.)	Mecânica	O centro de gravidade ou de inclinação é um ponto tal que, quando o peso é dependurado por este ponto, ele fica dividido em duas porções equivalentes, [Her88, pág. 93], citado por Assis (2008a, p. 126)]
Papús (século IV d. C.)	Coleção Matemática	Dizemos que o centro de gravidade de qualquer corpo é um certo ponto dentro desse corpo tal que, se for concebido que o corpo está suspenso por este ponto, o peso assim sustentado permanece em repouso e preserva sua posição original, [Pap82, Livro VIII, pág. 815] citado por Assis (2008a, p. 127)
Arquimedes	Sobre a Quadratura da Parábola	Todo corpo, suspenso por qualquer ponto, assume um estado de equilíbrio tal que o ponto de suspensão e o centro de gravidade do corpo estejam ao longo de uma mesma linha vertical; pois esta proposição já foi demonstrada. [Arc02, pág. 238] citado por Assis, (2008a, p. 123)

	<i>Obra</i>	<i>Definição</i>
Simplício (século VI d. C.)	Sobre o Céu de Aristóteles (384-322 a. C.)	O centro de gravidade é um certo ponto no corpo tal que, se o corpo for suspenso por uma linha ligada a este ponto, vai permanecer na sua posição sem se inclinar para qualquer direção. (Assis, 2008a, p. 128)
Assis (2008a)	Arquimedes, o Centro de Gravidade e a lei da Alavanca (2008)	O centro de gravidade de um corpo rígido é um ponto tal que, se for concebido que o corpo está suspenso por este ponto, tendo liberdade para girar em todos os sentidos ao redor deste ponto, o corpo assim sustentado permanece em repouso e preserva sua posição original, qualquer que seja sua orientação inicial em relação à terra. (Assis, 2008a)

Assis (2008a) considera a definição de centro de gravidade a partir de um exemplo prático, conforme descrito no quadro 1.

O corpo que está exercendo a força gravitacional é como a terra, mas com o formato de uma maçã, com a maior distância entre quaisquer duas partículas desta terra-maçã sendo dada por d_T ; O corpo que está sofrendo a força gravitacional é como a lua, mas com o formato de uma banana, com a maior distância entre quaisquer duas partículas desta lua-banana sendo dada por d_L ; A distância entre uma partícula i qualquer desta terra e uma e uma partícula j qualquer desta lua sendo dada por $d_{ij} = d_T + d_L + e_{ij}$, com $0 < e_{ij} \ll d_T + d_L$. Neste caso não vai existir um centro de gravidade único. Dependendo da orientação relativa entre a Lua-banana e a terra-maçã, vão existir linhas de equilíbrio distintas. Nestes casos o conceito de centro de gravidade perde seu significado. (Assis, 2008a, p. 93)

Portanto, as regiões em que a definição de CG possui validade são aquelas em que o corpo rígido de prova sofre a ação da força gravitacional constante e, para isso, o corpo precisa ser pequeno em relação às dimensões da Terra e estar nas proximidades da sua superfície (Lemos; Teixeira e Mota, 2010).

Na concepção escolar esse conceito parece suficiente, porém, para ensiná-lo é preciso compreender qual conceito o estudante possui ou é capaz de construir. Foi com essa intenção que elaboramos uma sequência didática, orientada por atividades práticas, que visam focar as etapas da mudança conceitual na construção do conhecimento.

A. A Teoria de Piaget sobre mudança conceitual

A psicologia cognitiva se preocupa em compreender como as crianças pensam e os fatores que justificam as mudanças cognitivas ao longo de seu desenvolvimento. Na concepção de Piaget e Garcia (2011) trata-se de um processo estruturado em que se distinguem três etapas sucessivas: operatória, operações concretas e operações hipotético-dedutivas. Essas etapas correspondem sucessivamente às fases: *intra*, *inter* e *trans*-objetal, formando a tríade dialética da construção de conhecimentos. Essa tríade pode ser representada, sucessivamente, pelas seguintes perguntas em relação ao objeto de aprendizagem: “o que é isso?” (primeiro nível: *intra*); como isso funciona? (segunda nível: *inter*); e como se explica? (terceiro nível: *trans*). Esses três níveis são construídos a partir da mediação do professor, por meio de suas falas provocativas e de suas ações, propositalmente definidas para guiar o estudante no processo de construção do conhecimento, buscando produzir o desequilíbrio e a flutuação de ideias, e a posterior equilibrção.

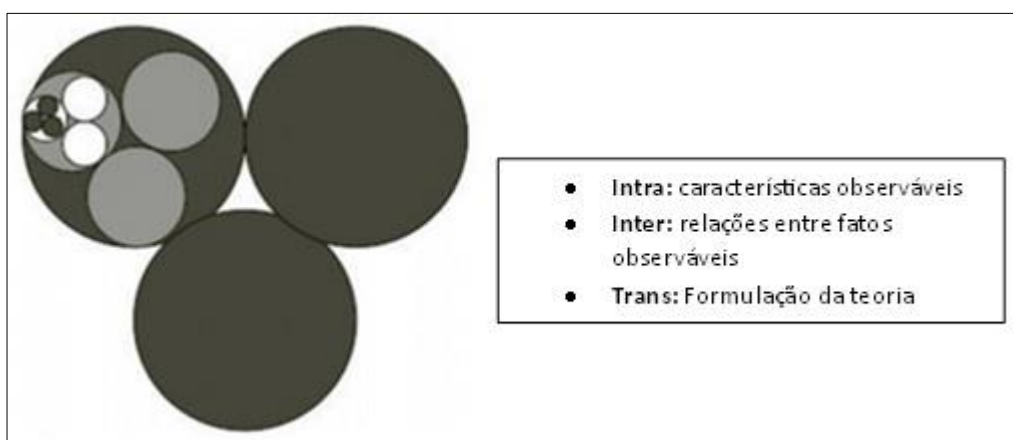


FIGURA 1. Mostra o modelo fractal das etapas *Intra*, *Inter* e *Trans* (Menezes; Batista; Bertoldo, 1997). Observe que cada tríade constitui uma nova etapa *Intra* de uma nova tríade.

A partir da figura 1 observa-se que se trata de um modelo fractal, em que o fechamento de uma tríade representa a abertura de outra tríade que utiliza a anterior como conhecimento prévio para a nova estrutura que se inicia. Esse processo não termina e a mediação do professor torna-se a principal ferramenta capaz de elevar os níveis de entendimento dos estudantes a condições cada vez mais complexas.

Dessa forma, a elaboração de uma sequência didática, pautada nessa psicologia cognitiva, representa uma alternativa ao modelo tradicional expositivo, que não consegue superar as confusões conceituais enfrentadas pelos estudantes, garantindo a mudança progressiva do conceito estudado em formulações cada vez mais elaboradas.

III. ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

Nesta seção apresentamos a sequência didática (SD) elaborada para o desenvolvimento do conceito de centro de gravidade, fundamentada no modelo construtivista de Piaget para a mudança conceitual.

A aplicação da sequência didática ocorreu em uma escola particular, localizada em um município do interior do Rio de Janeiro (Brasil), no final do primeiro semestre de 2017, em duas turmas do 2º ano do ensino médio, totalizando 85 estudantes com idades entre 16 e 17 anos. Cada etapa foi aplicada em módulos de aulas geminadas, com cerca de 100 minutos, o que favoreceu o desenvolvimento de proposta didática.

A. Organização da sequência de didática

O modelo de ensino adotado neste trabalho consiste basicamente em organizar e planejar a intervenção docente para que a apropriação do conhecimento ocorra de forma progressiva e sequencial. Na proposta cognitivista construtivista, esse modelo deve ser geral o bastante para se adequar às várias circunstâncias e currículos, mas potencialmente preciso para garantir os princípios estruturadores para a apreensão do objeto de conhecimento pelo estudante, com base nas tríades dialéticas de Piaget e Garcia (1987, apud Aguiar Jr, 1999) que constituem as etapas *intra*, *inter* e *trans* objetual.

A etapa INTRA configura-se como o primeiro nível de entendimento que confere qualidades observáveis do objeto de estudo e que são capazes de prover sentido à experiência. Na sequência didática proposta, nessa primeira etapa, espera-se que o estudante seja capaz de identificar as características de figuras geométricas planas regulares (círculo, retângulo e triângulo), de figuras planas não regular (boneco equilibrista) e de objetos tridimensionais (joaninha teimosa). Espera-se que os estudantes sejam capazes de destacar elementos observáveis de cada um desses objetos, tais como: simetria, forma, distribuição de massa, distâncias, diagonais e a caracterização do centro geométrico. A partir dessa exploração inicial, dá-se início à transformação progressiva de conceitos.

A etapa INTER de cada nível deve estar apoiada nas construções anteriores, quando o estudante passa a coordenar e a comparar os objetos, estabelecendo as relações e as transformações possíveis. Para isso, são apresentadas propostas de comparação entre as diversas figuras e objetos e entre o centro geométrico e o centro de gravidade dessas figuras e objetos.

A etapa TRANS é o momento que remete à transformação do nível anterior em uma nova estrutura de conhecimento. Representa o estado de compreensão mais articulado, em que o modelo teórico permite prever e demonstrar e não apenas produzir simples constatações. Nessa etapa da sequência didática os estudantes são instigados a construir o conceito de centro de gravidade por meio de um processo progressivo que envolve a equilíbrio e a desequilíbrio do conhecimento em construção.

O fechamento de uma etapa TRANS abre uma nova etapa INTRA de um novo nível de entendimento, fazendo com que o conhecimento adquirido vá evoluindo para níveis de maior complexidade. O quadro 2 apresenta a estrutura resumida da SD em níveis de complexidade.

Os três níveis de complexidade mostrados no quadro 2 foram organizados em torno de quatro atividades principais. A primeira atividade envolve a determinação do centro de gravidade de figuras planas regulares: círculo, retângulo e triângulo (Apêndice 2). Inicialmente, espera-se que os estudantes construam o conceito de centro de gravidade a partir do centro geométrico do círculo e do retângulo. Posteriormente, eles recebem um triângulo para que possam fazer comparações e repensar o conceito construído anteriormente.

Na segunda atividade os estudantes devem determinar o centro de gravidade de uma figura plana não regular: o boneco equilibrista (Apêndice 3). Para isso, eles são desafiados a localizar o centro do boneco usando elementos geométricos e a comparar essa localização com a posição em que o boneco fica em equilíbrio sobre o palito suporte. Na sequência, os estudantes aprendem a localizar o CG do boneco equilibrista através de um fio de prumo. No final, os estudantes recebem um pedaço de massinha de modelar e são estimulados a repensar o conceito de CG a partir da distribuição de massinha no boneco equilibrista. O desafio é tentar equilibrar o boneco de cabeça para baixo sobre o palito suporte.

QUADRO 2. Organização dos níveis e etapas das atividades na sequência didática.

Níveis	Objetos	Etapas		
		Intra	Inter	Trans
		Características	Relações	Transformações
(I)	(Círculo, Retângulo e Triângulo isósceles)	Círculo e Retângulo: Simetria Dobraduras, traçar diagonais.	Círculo / retângulo Possuem centro geométrico Triângulo / Círculo O triângulo não possui centro geométrico.	O centro geométrico das figuras planas regulares é também o centro de gravidade. No triângulo o centro geométrico não coincide com o centro de gravidade.
	O Boneco Equilibrista	Encontrar o ponto central do boneco no molde de sulfite. Possui simetria bilateral. Dobrar mão com mão e pé com pé. Traçar diagonais. Braços mais compridos Pernas mais curtas.	Transpor essa marcação para o papel cartão. Usar o suporte e testar se a marcação coincide com a posição de equilíbrio.	O ponto que permite o boneco permanecer em repouso sobre o palito não é o ponto central da figura.
(II)	Boneco Equilibrista com massinha de modelar	Distribuir a massinha no boneco para colocá-lo sentado no palito Distribuir a massinha para que o boneco permaneça de cabeça para baixo. Testar a posição de equilíbrio anterior com a massinha adicionada ao boneco.	O boneco possui distribuição irregular de massa Posições diferentes de equilíbrio. Equilíbrio estável, instável e indiferente.	O centro de gravidade não é centro geométrico das figuras. E a posição que permite o corpo permanecer em equilíbrio depende da distribuição de massa no corpo, assim como de sua geometria.
	Boneco Equilibrista e triângulo	Semelhanças e diferenças entre o Triângulo e o Boneco equilibrista. Simetria A localização do centro de gravidade em cada figura. A localização do baricentro na região de maior área e, portanto, com menor distância, a 1/3 da altura do triângulo. O Boneco possui mais massa próximo à cabeça do que dos pés.	Comparar o triângulo e o boneco com o corpo humano Determinar o centro de gravidade no aluno alto e forte. Determinar o centro de gravidade na aluna baixa e com os quadris mais largos.	O centro de gravidade nem sempre será o centro geométrico das figuras. A localização desse ponto depende da distribuição de massa do corpo e da distância, sendo, portanto, o ponto que permite a figura permanecer em repouso ao ser suspensa através dele.
(III)	Boneco equilibrista e a joaninha teimosa	Geometria espacial da joaninha. Geometria plana do boneco equilibrista. A localização de centro de gravidade (ponto) no boneco. A determinação de um lugar geométrico (Circunferência) como sendo o centro de gravidade na joaninha teimosa. A distribuição irregular de massa na joaninha causada pelo peso de chumbo.	Relacionar as cambalhotas com os tipos de equilíbrio Estável, instável e indiferente. Discutir sobre o significado da palavra “centro”. Recortar o centro do círculo e discutir a localização do Centro de gravidade.	Perceber que o centro de gravidade não é sempre o centro geométrico de figuras planas e que a distribuição de massa, a distância, a área e a geometria determinam a localização desse conceito, que optamos por não chamar de centro por perceber que tal nomenclatura é restritiva.

Na terceira atividade (Apêndice 4) os estudantes devem construir o conceito de centro de gravidade a partir da comparação entre o boneco equilibrista e o triângulo. No primeiro momento eles são estimulados a repensar o conceito de centro de gravidade a partir da distribuição da massinha no boneco equilibrista e a comparar o resultado com

a localização do CG do triângulo, que se encontra no baricentro da figura. No final desta atividade convidamos dois estudantes um menino e uma menina para participarem de algumas brincadeiras envolvendo o equilíbrio do corpo humano, confrontando as observações do centro de gravidade no triângulo e no boneco equilibrista com o CG do corpo humano.

A quarta atividade (Apêndice 5) envolve a comparação entre os CG do boneco equilibrista e da joaninha teimosa, um brinquedo construído com meia esfera de isopor. Nessa atividade, os estudantes são levados a extrapolar os limites das figuras planas para o espaço tridimensional e as relações entre massa, distância e geometria espacial são incorporadas ao conceito de centro de gravidade que foi evoluindo gradativamente ao longo das três atividades anteriores. Neste momento, a própria ideia de “centro” passa a ser repensada.

O objetivo principal dessa sequência de atividades é possibilitar que aluno seja capaz de construir o conceito de centro de gravidade de forma gradual, numa perspectiva metodológica construtivista. Para isso, faz-se necessário modificar a também a postura do professor, em especial a maneira de se formular perguntas, tomando o cuidado para não induzir as respostas. O Apêndice 1 traz as orientações gerais para a condução das atividades pelo professor.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a realização das atividades procuramos observar atentamente os elementos de comunicação entre os estudantes: gestos, olhares, sorrisos, atitudes e, principalmente, as tentativas de explicação entre eles para o fenômeno observado. Essa troca de conhecimento foi evoluindo gradativamente ao longo das quatro atividades. Aos poucos a certeza da racionalidade foi sendo substituída pela incerteza do “eu acho”. Dessa forma as rupturas e as transformações desejadas foram se consolidando.

As ações de transformação do conceito de CG foram recorrentes, perpassando todas as atividades, e puderam ser observadas com mais intensidade à medida em que os estudantes se apropriavam dos saberes, participando ativamente da sua construção, com mais interesse e motivação, durante a sua evolução conceitual.

O quadro 3 apresenta um resumo dos resultados esperados e dos resultados obtidos durante as atividades.

QUADRO 3. Comparativo dos resultados esperados com os resultados obtidos na execução das atividades.

<i>Atividades</i>	<i>Resultados Esperados</i>	<i>Resultados Obtidos</i>
Atividade 01	Intra: Construir o conceito de centro de gravidade a partir das relações e observações do círculo com o retângulo Inter: Desequilibrar a ideia inicial construída a partir do círculo e do retângulo com inserção do triângulo Trans: Reformular o conceito a partir das novas relações estabelecidas.	A partir da postura instigativa e provocativa do professor os estudantes puderam perceber que a definição de centro geométrico associada ao CG é limitada e que necessita de reformulação para garantir a sua compreensão.
Atividade 02	Intra: Elaborar o conceito de centro de gravidade a partir do centro geométrico do boneco equilibrista. Inter: Verificar se a marcação do centro geométrico do boneco coincide com o ponto em que ele se equilibra, apoiado sobre um palito suporte. Trans: Ampliar o conceito de centro de gravidade para figuras planas não regulares, com distribuição irregular de massa ao longo do corpo do boneco.	Os estudantes reavaliaram propriedades e atributos da primeira atividade expressando ideias para ampliar a elaboração do conceito de centro de gravidade da primeira triáde.
Atividade 03	Intra: Observar as mudanças que ocorrem no centro de gravidade do boneco equilibrista ao se adicionar massinha de modelar em diferentes posições. Inter: Comparar as situações de equilíbrio do boneco sobre o palito de apoio, com e sem a massinha de moldar, visando a desequilíbrio da ideia do em um ponto específico do objeto de estudo. Trans: Reformular o conceito de centro de gravidade em função da distribuição de massa.	Percebeu-se que a capacidade de relacionar o centro de gravidade com a distribuição da massa no objeto foi ampliada, mas que ainda perpetua a ideia de que as figuras de alguma forma, mesmo sendo diferentes podem apresentar o mesmo comportamento, o que faz ser necessário repensar a situação do círculo, do retângulo e do triângulo, para assegurar que a transformação do conhecimento ocorra de forma progressiva.

Atividade 04

Intra: Observar o comportamento do centro de gravidade em Os estudantes conseguiram estabelecer um corpo tridimensional, com distribuição irregular de massa. conexões do boneco equilibrista com o círculo, o **Inter:** Extrapolar a ideia de que centro de gravidade é um retângulo e o triângulo adicionando pequenas ponto ao longo da superfície do objeto, por meio da quantidades de massinha em suas superfícies, comparação da joaninha com o comportamento dos demais objetivando uma nova condição de equilíbrio. A partir da joaninha, conseguiram estabelecer **Trans:** Reformular o conceito de centro de gravidade, correlações entre o equilíbrio do brinquedo com perpassando as ideias de simetria, forma, distância, o equilíbrio do corpo humano. Os estudantes distribuição de massa e geometria espacial. ainda, buscavam outras situações cotidianas para aplicarem o conceito reformulado.

No início das atividades os estudantes acreditavam que o centro de gravidade permanecia sempre em uma mesma posição, depois foram reconstruindo esse conceito no decorrer das atividades propostas (Santiago, 2018). Contemplamos discussões, olhares, gestos e sorrisos que permitiam perceber os diversos momentos de evolução do conceito. A seguir apresentamos algumas falas dos estudantes ao comparar o centro de gravidade do boneco equilibrista com a joaninha teimosa:

“O ponto de equilíbrio não está no meio da figura”; “Além das medidas dos lados e eixo de simetria a concentração de massa é importante”; “A distância da massa em relação ao centro altera a influência do ponto de equilíbrio”; “A base do triângulo possui maior massa como no boneco equilibrista ao adicionar massinha”; “É necessário uma divisão igual da área em relação à massa para achar o ponto de equilíbrio”; “Tem que compensar a pouca massa com mais distância, igual a balança”; “O ponto de equilíbrio depende da massa e da distância”, “o equilíbrio não depende da área, mas da massa e da distância”. (Santiago, 2018, p. 59)

As figuras 2 e 3 mostram estudantes brincando o boneco equilibrista e explorando o centro de gravidade no corpo humano.



FIGURA 2. Estudantes brincando com o boneco equilibrista. Fonte Santiago (2018, p. 54)



FIGURA 3. Estudantes explorando o centro de gravidade em seus corpos. Fonte: Santiago (2018, 55).

As atividades propostas permitiam confrontar situações distintas, num processo de construção e reconstrução do conhecimento. A partir das desequilibrações e reequilibrações produzidas nas diversas atividades foi possível ampliar o conceito de centro de gravidade que os estudantes possuíam.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O espaço dialógico de construção do conhecimento, gerado pela sequência didática proposta neste trabalho, ajudou a transformar os estudantes em sujeitos capazes de construir o seu próprio conhecimento. O agente responsável por essa transformação é o professor. A ele coube a condição provocativa e instigadora de conduzir as aulas. Os encontros entre professores e estudantes, entre conhecimento científico e conhecimento da vida cotidiana, entre o saber escolar e o saber social, indicam que a ação docente deve ser orientada no sentido de uma aprendizagem significativa, norteadas por modelos compatíveis com o desenvolvimento cognitivo do estudante.

Neste trabalho utilizamos um modelo fractal, formado pelas etapas piagetianas de construção do conhecimento: *intra*, *inter* e *trans*-objetal, com a recursividade de uma sequência didática que possibilitou aos estudantes se depararem com situações desequilibradoras em diferentes níveis de complexidade e em diferentes contextos para a construção do conceito de centro de gravidade. Essa ação recursiva ajudou a ajustar os descompassos entre o conhecimento pré-existente e o novo conhecimento e entre o tempo de ensino e o tempo de aprender.

Com o desenvolvimento da sequência didática, percebeu-se um aumento significativo no interesse e na compreensão dos estudantes. Com isso, aos poucos, eles foram se tornando protagonistas das aulas, cabendo ao professor a possibilidade de pensar junto com eles, mas não para eles. Com isso, a própria capacidade de compreensão do processo de ensino e de aprendizagem do docente foi se ampliando no decorrer das aulas, ressignificando o seu próprio papel em sala de aula.

A evolução do conceito de centro de gravidade seguiu de forma natural, amparada na interlocução entre situações de equilíbrio e desequilíbrio do conhecimento adquirido, promovendo a evolução do senso comum para o conhecimento científico. Nessa interface de compreensão conseguiu-se acomodar e desenvolver o conceito de centro de gravidade, ora produzindo certezas propositais, ora gerando desconforto e desequilíbrio.

Por fim, o desenvolvimento desta sequência didática nos fez ressignificar o desafio de uma educação integral, apontado no início deste artigo, como uma busca constante de superação da estagnação dos processos educacionais, visando garantir que os estudantes alcancem a aprendizagem desejada. A dimensão desse desafio é muito ampla e pode estar relacionada a vários fatores, mas é imprevisível acreditar na capacidade de aprendizagem dos estudantes, re- vendo as práticas educativas de forma a mostrar que essa capacidade emana deles, quando estimulados em ambiente propício e de forma adequada.

REFERÊNCIAS

- Aguiar Jr, O. e Filocre, J. (1999) Modelo de Ensino para mudanças cognitivas: Fundamentação e diretrizes da pesquisa. *Ensaio Pesquisa em Educação em ciência*, 1(1), 47-67.
- Assis, A. K. T. (2008a). *Arquimedes, o Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca*. Montreal: Apeiron.
- Assis, A. K. T. (2008b). Reflexões sobre o Conceito de Centro de Gravidade nos livros didáticos. *Ciência & Ensino*, 2(2).
- Halliday, D., Resnick, R. e Walker, J. (2002). *Fundamentos de Física. Vol. 2. Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. 6ª. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Hewitt, P. (2002). *Física Conceitual*. 9ª ed. Porto Alegre: Bookman.
- Lemos, L. F. C., Teixeira, C. S. e Mota, C. B. (2010). Uma revisão sobre o centro de gravidade e equilíbrio corporal. *Revista Brasileira de Ciências e Movimento*, 17(4), 83-90.
- Menezes, P. H. D, Batista, L. M. e Bertoldo, H. L. (1997). Modelo de Ensino para Mudança Cognitiva: desenvolvendo o entendimento de campo magnético. Trabalho de conclusão de curso de especialização. CECIMG/Universidade Federal de Minas Gerais.
- Piaget, J. e Garcia, R. (2011). *Psicogênese e História das Ciências*. 1ª ed. Rio de Janeiro: Vozes.
- Santiago, T. F. T. (2018). Modelo de ensino para mudanças conceituais: desenvolvendo o conceito de centro de gravidade. *Dissertação de mestrado*. Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Universidade Federal de Juiz de Fora. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/handle/ufjf/8130>. Acesso em: 05 jul. 2023.
- Symon, K. R. (1982). *Mecânica*. Tradução: Gilson Brand Batista. Rio de Janeiro: Campus.

APÊNDICE 1

A. Orientações para o desenvolvimento da sequência didática

- A sequência didática foi elaborada para ser desenvolvida em quatro aulas de 50 minutos. Porém, o professor poderá adequá-la da forma que lhe for mais conveniente.
- Sugerimos que as turmas sejam divididas em grupos de 4 a 6 alunos e, para aproveitar melhor o tempo, que os moldes necessários à realização das atividades sejam levados recortados.
- O professor não deve entregar nenhum roteiro para os alunos durante a realização das atividades. Os roteiros de atividades que serão apresentados na próxima seção servem apenas para orientar as ações do professor que poderá adaptá-los de acordo com suas necessidades.
- Nos Anexos A e B estão os moldes das figuras com as dimensões apropriadas para realização das atividades em sala de aula.
- No final de cada aula recolha os materiais, pois serão reutilizados na aula seguinte.
- Faça registros de suas aulas (podem ser fotográficos). Isso poderá ajudar a orientar as próximas ações.

B. Proposta de organização das aulas

- ✓ **Aula 1** – O Centro de Gravidade das figuras planas regulares círculo, retângulo e triângulo: *Atividade 01*
- ✓ **Aula 2** – O Centro de Gravidade de figura plana não regular: O Boneco Equilibrista: *Atividade 02*.
- ✓ **Aula 3** – Transpondo o Centro de Gravidade: O Boneco Equilibrista, o Triângulo e o Corpo Humano: *Atividade 03*.
- ✓ **Aula 4** – O Centro de Gravidade de um objeto Tridimensional – A Joaninha Teimosa: *Atividade 04*.

APÊNDICE 2

Atividade 01. Determinando o centro de gravidade de figuras planas regulares: círculo, retângulo e triângulo.

Material necessário

- Palito de churrasco.
- Molde no papel sulfite do círculo, retângulo e do triângulo (Anexo A).
- Molde no papel Cartão do círculo, retângulo e do triângulo.
- Massinha de modelar para ser usada como base no suporte.

Desenvolvimento da atividade

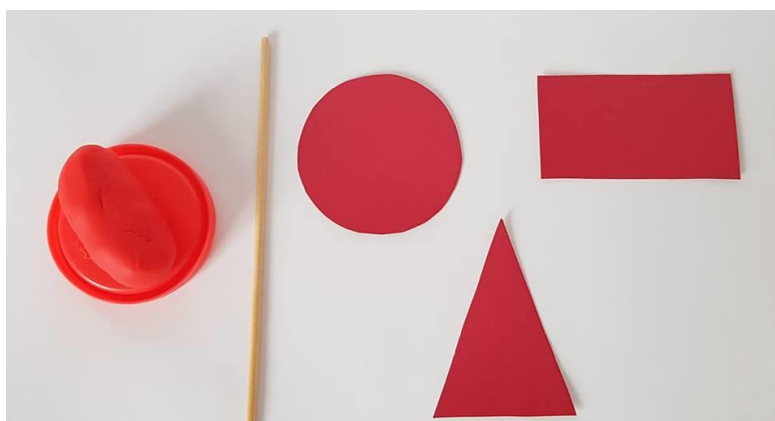


FIGURA 1. Materiais entregues aos estudantes. Fonte: Santiago (2018)

PARTE 01

Entregue o molde em papel sulfite do círculo e do retângulo e peça aos estudantes que identifiquem o centro dessas figuras e marque-os com a letra X. Lembre-se que a tarefa é dos estudantes e que são eles que irão definir a forma como isso será feito.

Questão para discussão:

a) Como vocês fizeram para localizar o centro dessas figuras? Descreva as etapas e os procedimentos realizados.

Entregue o molde de papel cartão do círculo e do retângulo e o suporte vertical de palito de churrasco com a massinha de modelar e peça para os estudantes tentarem equilibrar as peças na horizontal sobre o suporte vertical e marcar o ponto em que as figuras permanecem em repouso em relação à Terra com a letra X.

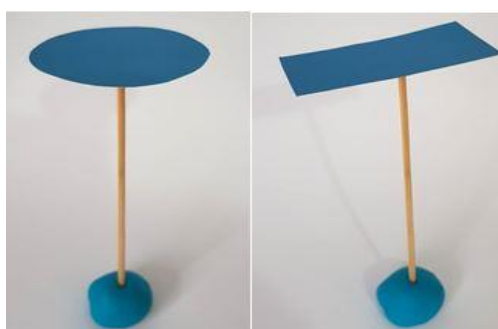


FIGURA 2. Molde no papel cartão em equilíbrio sobre a base de palito. Fonte: Santiago (2018)

Questões para discussão:

b) Compare o ponto X da figura de papel cartão com o da figura no papel sulfite. Há alguma relação entre eles?

c) Que conclusões vocês podem chegar a partir dessas observações?

d) Que nome vocês dariam ao ponto X assinalado nas duas figuras?

e) Como vocês caracterizam o ponto X das duas figuras?

PARTE 2

Entregue o molde no papel sulfite do triângulo e peça aos estudantes para determinar o centro da figura e assinalar com um X. Após algum tempo, peça a cada grupo para explicar como fizeram isso.

Entregue o molde do triângulo no papel cartão já recortado e peça que os estudantes tentem equilibrá-lo na horizontal, apoiando-o sobre o suporte vertical e marcar com X o ponto onde isso é possível. Em seguida peça que comparem o ponto assinalado no papel sulfite com o que foi assinalado do papel cartão.



Figura 3. Triângulo em equilíbrio sobre a base. Fonte: Santiago (2018)

Questões para discussão:

- f) O que acontece no caso do triângulo em relação ao círculo e ao retângulo quando comparamos os pontos de equilíbrio? Por quê?
- g) Como vocês denominam o ponto em que o triângulo fica em equilíbrio ao ser solto do repouso sobre o palito?
- h) Qual a diferença desse ponto com aqueles assinalados no retângulo e no círculo?
- i) Com o entendimento adquirido, até este momento, como vocês caracterizam o ponto em que as figuras ficam em equilíbrio sobre o palito? Por quê?
- j) A partir das observações feitas até aqui, como vocês nomeariam o ponto em que as figuras ficam em equilíbrio sobre o palito?

APÊNDICE 3

Atividade 02. Determinando o centro de gravidade de figura plana não regular – O Boneco Equilibrista.

Material necessário

- Palito de churrasco.
- Molde no papel sulfite do boneco equilibrista.
- Molde no papel cartão do boneco equilibrista.
- Massinha de modelar.
- Barbante de 20cm

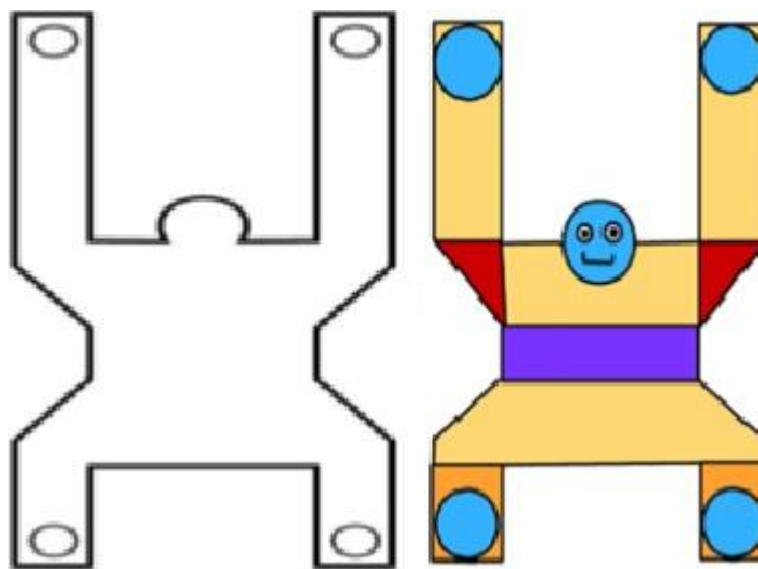


FIGURA 4. Bonecos Equilibristas. Fonte: Santiago (2018)

Desenvolvimento da atividade

PARTE 01

Entregue o boneco equilibrista no molde de papel sulfite (Anexo B) e peça aos estudantes para determinarem o centro do boneco e assinalar esse ponto com um X.

Questões para discussão:

a) Como vocês fizeram para determinar o centro do Boneco Equilibrista? Descreva as etapas e os procedimentos realizados.

b) Que características vocês consideram importantes para determinar o centro do boneco equilibrista. Por que vocês consideram essas características importantes?

PARTE 02

Entregue o boneco equilibrista no molde de papel cartão, o suporte de palito de churrasco e o barbante. Peça para os estudantes tentarem equilibrar o boneco na horizontal sobre o suporte e assinalar com X o ponto em que o boneco permanece em equilíbrio em relação à Terra. Em seguida, peça que eles comparem esse ponto com a marcação inicial realizada no molde de papel sulfite.

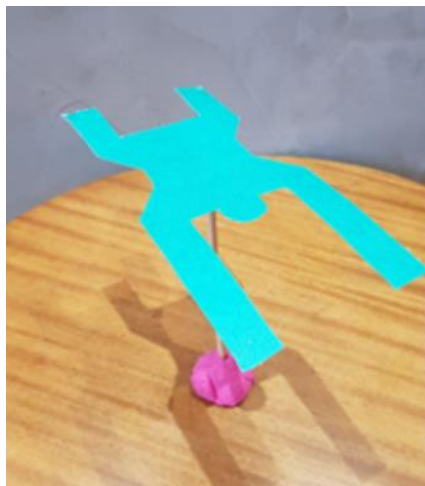


FIGURA 5. Boneco equilibrista em equilíbrio sobre a base. Fonte: Santiago (2018)

Questões para discussão:

- c) Os pontos são coincidentes? Por quê?
- d) A localização do ponto de equilíbrio está de acordo com a suposição inicial do grupo? Por quê?
- e) Vocês conseguem estabelecer alguma relação entre a distribuição da massa do boneco equilibrista e a localização da posição de equilíbrio do boneco. Essa relação foi observada também nas outras figuras planas (retângulo, círculo e triângulo)? Explique.
- f) Como vocês conceituam o ponto de equilíbrio do boneco (e das outras figuras) a partir das observações feitas?

PARTE 03

Prenda uma borracha (ou um pedaço de massinha de modelar) na extremidade do barbante e amarre a outra extremidade no palito de churrasco (Figura 6).



FIGURA 6. Exemplo de fio de prumo. Fonte: Santiago (2018)

Passo o palito por um dos furos da mão do boneco equilibrista e apoie-o sobre uma mesa de modo que o boneco e o barbante possam pender livremente.

- Tracem uma linha vertical no boneco que coincida com o barbante esticado.
- Repita o procedimento pendurando o boneco pelo furo da outra mão.

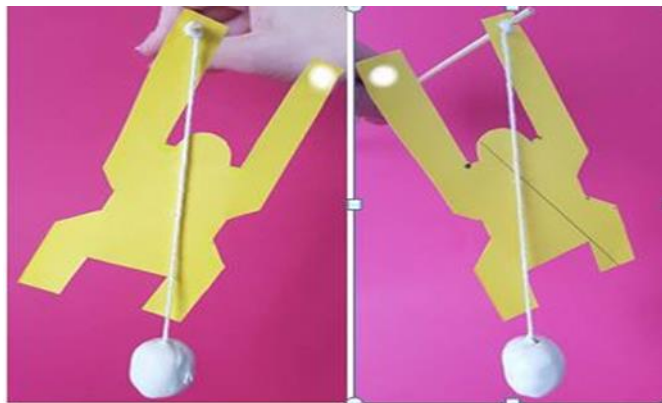


FIGURA 7. Localização do ponto de equilíbrio. Fonte: Santiago (2018)

Questões para discussão:

- g) O que você observa ao efetuar esse procedimento?
- h) A interseção das duas linhas traçadas coincide com o ponto de equilíbrio do boneco? Por que vocês acham que isso acontece?

PARTE 04

Peça aos estudantes que tentem equilibrar o boneco de cabeça para baixo ou sentado sobre o suporte de palito de churrasco (não vale trapacear).

Peça que eles repitam o procedimento utilizando uma pequena quantidade de massinha de modelar nas extremidades do boneco (mãos ou pés).



FIGURA 8. Boneco sentado e de cabeça para baixo em equilíbrio na base de apoio. Fonte: Santiago (2018).

Questões para discussão:

- i) O que vocês podem constatar das duas tentativas?
- j) Existe mais algum ponto do boneco que permite a ocorrência do equilíbrio?
- k) O que aconteceu com o ponto de equilíbrio do boneco quando adicionamos a massinha de modelar?
- l) A partir das atividades realizadas até agora, reconstrua as características e a forma como o seu grupo conceitua a posição de equilíbrio do boneco, sem e com a adição da massinha de modelar.

APÊNDICE 4

Atividade 03. Transpondo a ideia do centro de gravidade de figuras planas para o Corpo Humano.

Material necessário

- Palito de churrasco.
- Molde no papel cartão do boneco equilibrista.
- Molde no papel cartão do triângulo.
- Massinha de modelar.
- Fita métrica
- Desenvolvimento da atividade

PARTE 01

Distribua novamente o suporte (palito + massinha de modelar), o boneco equilibrista no molde de papel cartão e o triângulo no molde de papel cartão.

Questões para discussão:

- a) Quais as semelhanças e diferenças observadas no equilíbrio do triângulo e do boneco equilibrista, com e sem a massinha de moldar?
- b) Que elementos determinam o comportamento do equilíbrio desses objetos?

PARTE 02

Solicite a participação de dois estudantes: uma menina e um menino. Com o auxílio da fita métrica, meça a altura de cada um do topo da cabeça até sola dos pés. Depois peça a eles para esticarem os braços sobre as cabeças e meça a distância entre a ponta do dedo médio e a sola dos pés dos dois estudantes, tomados como modelos.

Questões para discussão:

- c) Onde vocês esperam que esteja localizado o centro de gravidade no menino e na menina? Por quê?
- d) Que medidas vocês esperam encontrar em relação ao ponto descrito no item c)?
- e) Submeta os alunos aos desafios indicados no Anexo C.
- f) Com base nas observações feitas, reelabore a conceituação e caracterização da localização do centro de gravidade no corpo humano.

APÊNDICE 5

Atividade 04 – Determinando o centro de gravidade de um objeto tridimensional (joaninha teimosa).

Material utilizado

- Palito de churrasco
- Molde no papel cartão do boneco equilibrista.
- Joaninha Teimosa
- Semiesfera de isopor, pequena.
- Bexiga vermelha para revestimento
- Canetinha preta para fazer as bolinhas, olhos e boca da joaninha.
- Peso de chumbo (10 a 15 gramas)
- Círculo no molde de cartão (opcional).

Desenvolvimento da atividade

PARTE 01

Construa três joaninhas teimosas com distribuição de massa diferentes, seguindo as instruções do ANEXO C. Coloque-as sobre uma mesa e explore, junto com os estudantes, as possibilidades de equilíbrio de cada uma delas.



FIGURA 9. Joaninhas construídas de acordo com as orientações do ANEXO C. Fonte: Santiago (2018)

Questões para discussão:

- a) De acordo com o que vocês observaram, onde está localizado o centro de gravidade de cada uma das joaninhas?
- b) Qual(is) joaninha(s) vocês conseguiram apoiar sobre a base de palito de churrasco? Por quê?
- c) Que experiências vocês sugerem para determinar a localização do centro de gravidade de cada uma das joaninhas?



FIGURA 10. Posições de equilíbrio da Joaninha Teimosa. Fonte: Santiago (2018)

PARTE 2

Pegue a joaninha que tem o centro de gravidade localizado na periferia do círculo da base, coloque-a de cabeça para baixo, segure-a apoiada com o seu dedo indicador e solte-a em seguida.



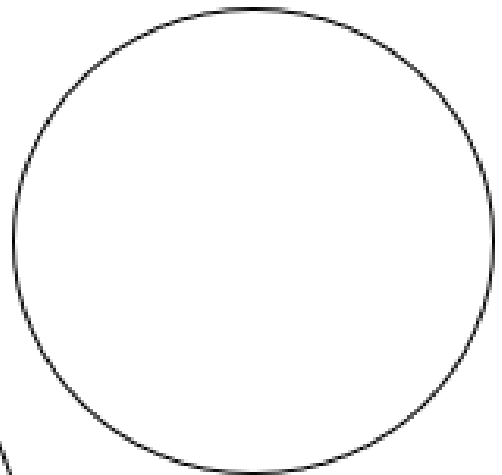
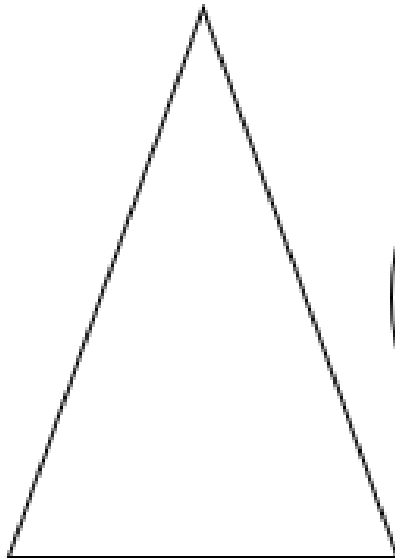
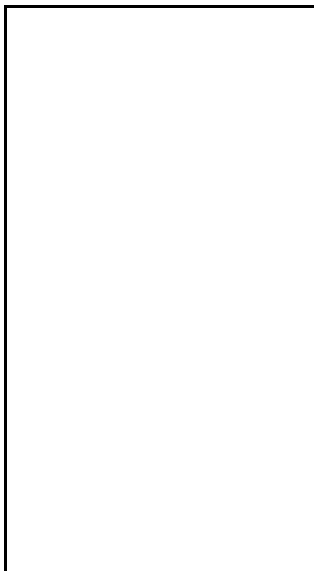
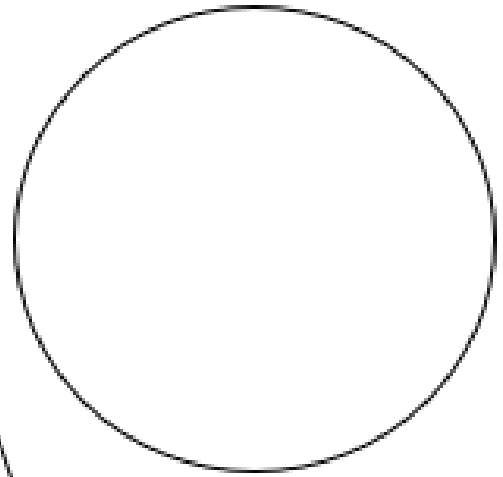
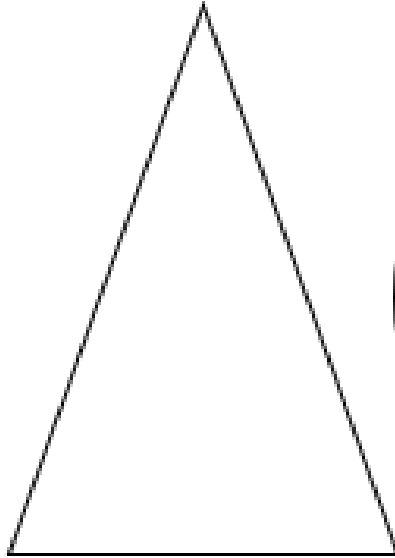
FIGURA 11. Joaninha virando cambalhota. Fonte: Santiago (2018).

Questões para discussão:

- d) Por que a joaninha “teima” em não ficar de cabeça para baixo?
- e) Qual a relação entre esse comportamento e a posição do Centro de Gravidade da joaninha? (Deixe que os alunos explorem as outras joaninhas).

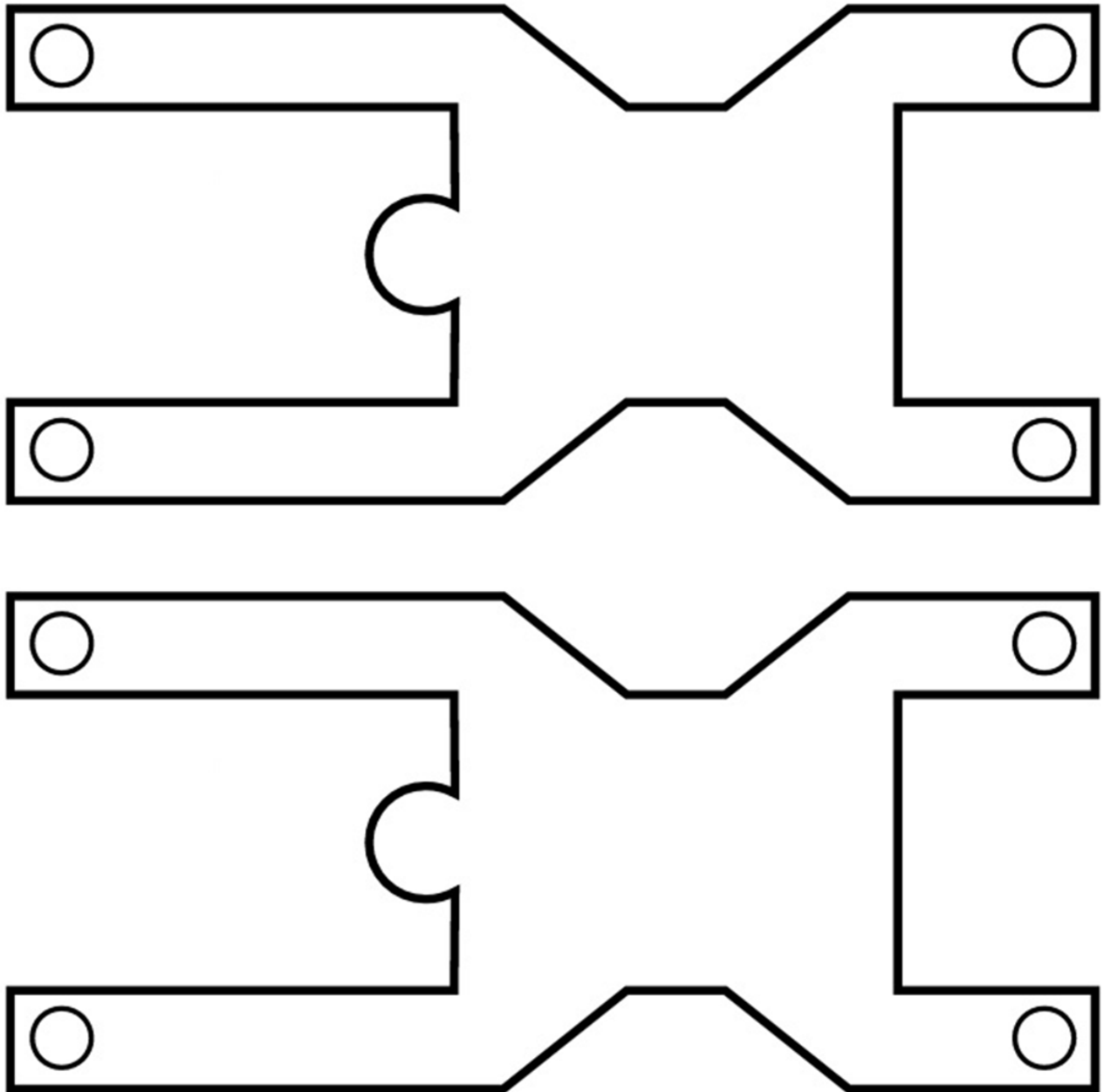
ANEXO A

Moldes das Figuras Geométricas



ANEXO B

Moldes do Boneco Equilibrista



ANEXO C

Construção da Joaninha Teimosa

Material utilizado

- $\frac{1}{2}$ esfera de isopor maciça entre 7 e 8cm de diâmetro
- Peso de chumbo para pesca de 10 a 15g (adquirira em lojas de material de pesca)
- Bexiga colorida para encapar a joaninha (nº 8 ou maior)
- Adesivo para decorar (ou fazer pintas com caneta hidrocor)
- Tesoura
- Papel cartão para fazer a base da joaninha
- Cola de isopor (ou cola branca)



FIGURA 12. Material para construção das joaninhas. Fonte: Santiago (2018)

Montagem da Joaninha

Com um estilete (ou ponta de uma tesoura) faça um furo próximo à borda da base da meia esfera de isopor para encaixar o peso de chumbo (Figura 13).



FIGURA 13. Orifício da lateral da base da joaninha para encaixar o peso de chumbo. Fonte: Santiago (2018)

- Insira o peso de chumbo de forma que ela fique nivelada com a base da joaninha.
- Corte um círculo de papel cartão do tamanho da base da joaninha e cole-o de modo a ocultar o peso de chumbo.
- Faça o revestimento da joaninha com a bexiga (corte o bico para ficar mais fácil).
- Decore a joaninha acrescentando pintas, olhos e boca.



FIGURA 14. Joaninha encapada e joaninha pronta. Fonte: Santiago (2018)

Construa outras duas joaninhas, uma com o peso de chumbo no centro da base e outra sem o peso de chumbo, para serem utilizadas na Atividade 4.



FIGURA 15. joaninha com o peso de chumbo no centro. Fonte: Santiago (2018)