

Proposta para o ensino-aprendizagem do centro de gravidade a partir do equilíbrio do corpo humano^{+,*}

Rosana Bulos Santiago¹

Instituto de Física – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

Tatiana Arenas¹

Colégio Estadual Aurelino Leal
Colégio Estadual Dr. Luciano Pestre
Niterói – RJ

Resumo

O presente trabalho envolve o uso do corpo humano como objeto e instrumento inicial de investigação para promover o estudo sobre o centro de gravidade. A partir de movimentos e posturas os estudantes são estimulados a refletir sobre a condição de equilíbrio estático do próprio corpo, para assim, construir o conceito de centro de gravidade e contextualizá-lo na vida cotidiana. Atividades experimentais quantitativas e aplicação do modelo teórico-matemático também integram a proposta para a significação deste conceito. Análises dos resultados do ensino-aprendizagem oriundos da aplicação desta proposta em escola pública de Niterói, no Rio de Janeiro, são apresentadas.

Palavras-chave: *Centro de Gravidade; Equilíbrio Corporal; Ensino de Física.*

Abstract

The present work is involves the use of the human body as object and initial instrument of investigation to promote the study about the center of gravity. From movements and postures students are stimulated to reflect on the condition of static equilibrium of the body itself, to build the concept of center of gravity and contextualize it in everyday life.

* The propose for teaching-learning of the center of gravity from human body equilibrium

¹ E-mails: rosanabulos@gmail.com; tatianaarenaz@gmail.com

Quantitative experimental activities and application of the theoretical-mathematical model, also integrate the propose for the meaning of this concept. Analyzes of teaching-learning results from the application in Niteroi, Rio de Janeiro, public schools are presented.

Keywords: *Center of Gravity; Body Balance; Physics Teaching.*

I. Introdução

Outrora o mundo foi entendido em unicidade e o diálogo entre as áreas de conhecimento era tão emaranhado que mal podia ser interpretado de forma separada. O corpo era o único instrumento de interação do homem com o mundo, sua percepção era legítima porque o pensamento era transposto vindo de ações e sensações, na realidade, de vivências.

Uma possibilidade para retomar, em parte, esta dinâmica de ensino é promover o estudo interdisciplinar (KAWAMURA, 2003) e transdisciplinar, pois o conteúdo passa a ser permeado por diversos diálogos entre as áreas de saber. Por exemplo, Weber *et al.* (2012) sugere que “a Educação Física e as Ciências deveriam lançar mão dessas ferramentas na tentativa de tornarem-se mais integradas. [...] a Educação Física poderia valer-se dos eixos temáticos, que abarcam aspectos da vida como saúde, ética, pluralidade racial, sexualidade e outros” (WEBER, 2012, p. 2). O olhar para a percepção corporal dos fenômenos físicos no cotidiano, como por exemplo, a atenção para os desdobramentos da interferência do campo gravitacional no corpo humano, assim como, na sua dinâmica de movimento e esportes (SANTIAGO, 2009) podem contribuir para facilitar a construção do conhecimento da ciência Física.

A motivação para o desenvolvimento desta proposta foi proporcionar uma forma diferente e lúdica para o ensino-aprendizagem dos conceitos de equilíbrio estático e centro de gravidade (CG), sem precisar recorrer à formalização do raciocínio lógico-matemático como suporte inicial. A sequência didática desenvolvida se aplica a estudantes do nono ano do ensino fundamental, e primeira série do ensino médio. Estrutura-se em três blocos de atividades distintas: corporal-cinestésicas, experimentais e teóricas. O primeiro bloco é dividido em três etapas: sensibilização, registro e formulação de hipóteses, o segundo e terceiro bloco seguem, em parte, práticas já conhecidas para o ensino de ciências físicas: experimentação e exercício analítico-matemático.

As atividades consistem em proporcionar, inicialmente, ao estudante uma vivência onde seu corpo seja, ao mesmo tempo, objeto e instrumento de experimentação para estudar, na prática, o conceito de CG, uma vez que o corpo é a fronteira da nossa interação com o mundo. Com isso, há ressignificação e desenvolvimento de signos² corpóreos, proporcionan-

² Signo, transpondo PIAGET (Moreira, 2011), é o que torna a construção do conhecimento possível, é, de acordo com a teoria Piagetiana de construção de conhecimento, a menor partícula de comunicação, é o que torna o significado possível. Afinal, aqui o signo corporal está para formalização do conceito, da mesma forma que a matemática está para a física.

do, de forma direta, a construção do conceito pela propriocepção. Em seguida, a experiência vivida passa a ser observada apenas, contribuindo dessa forma, para que reconheçam as forças determinantes para estabelecer o equilíbrio e determinar a localização do CG de um corpo qualquer. A última etapa do processo envolve o desenvolvimento da linguagem lógico-matemática aplicada à dinâmica corporal vivida pelos estudantes na etapa inicial do processo. Dessa forma a concepção espontânea sobre o conceito de CG é ressignificada em concepção científica de forma mais orgânica.

Essa dinâmica foi pensada, pois, segundo autores que estudaram o trabalho de Arquimedes, entre eles, Assis e Ravaneli (2008), “a origem do conceito do CG é experimental, os registros que se preservaram deixam claro que a pesquisa sobre CG, até mesmo a sua definição, foi empírica”. Nos livros didáticos para o Ensino Médio o estudo do CG é atropelado pelo encurtamento das etapas que constroem as bases para o seu entendimento, tanto matematicamente quanto na sua abordagem conceitual. Fazer com que a definição do conceito de CG chegue de forma puramente textual ou em matemática simbólica não significa condição de validade de entendimento ou aprendizagem, tampouco percorrer o pontilhado histórico de Arquimedes, para que o signifique. Mas, deste processo histórico, fica claro que os procedimentos experimentais e investigativos proporcionam mais trocas significativas para elaborar o conceito do que a sua interpretação hermenêutica.

A proposta deste trabalho para o ensino-aprendizagem do CG está ancorada nas teorias cognitivas empírica-indutivista proposta por John Locke (1632-1704), e construtivista elaborada por Piaget (1896-1980).

A sequência didática foi aplicada em seis turmas de primeira série de ensino médio regular em dois colégios estaduais localizados na cidade de Niterói, RJ. Como instrumento de coleta de dados foram utilizadas as respostas das questões formuladas nas diversas etapas do processo, assim como, os registros das anotações da professora sobre a aplicação do material instrucional. As análises dos dados foram realizadas sob o enfoque qualitativo e quantitativo dependendo do instrumento de coleta utilizado. Quando os dados se apresentaram de modo qualitativo, categorias, como as apresentadas por Moraes (2003), foram estabelecidas para melhor compreensão e análise do processo de aprendizagem. Por uma questão de número de páginas, neste artigo iremos apresentar a análise de ensino-aprendizagem de apenas duas turmas que julgamos terem trabalhado com mais empenho.

II. Referenciais teórico-metodológicos

Para uma prática educativa eficiente e significativa, é preciso manter certa relação gradual de complexidade de temas ou assuntos a abordar, isso, para que os esquemas de acomodação possam se reorganizar mais organicamente, como preconiza o construtivismo.

O empirismo indutivista, segundo Borges (1996), é a concepção mais tradicional so-

bre a natureza do conhecimento científico e é a base metodológica da presente proposta. Nessa ótica, “o conhecimento inicia-se pela observação, e por indução, dirige-se dos fatos às teorias, do particular para o geral” (BORGES, p. 23). Neste viés, o processo de ensino-aprendizagem apresentado aqui entende o que o corpo faz parte do processo da interação inicial entre sujeito e fenômeno como instrumento, e, prossegue por uma ampla e explícita interação do professor com os estudantes, e dos estudantes entre si sobre a questão a ser investigada. Com isso, a vivência agrega argumentos durante a etapa de observação empírica, bem como nas orientações de pesquisa corporal investigativa, dirigida pelo professor, contempla a etapa da indução que dirige as ideias sobre os fenômenos percebidos pelo próprio corpo a generalização do conceito.

Uma reflexão proposta por Planck (1998, p. 2-6) apresenta a comparação entre o processo de desenvolvimento da Física teórica de “ontem” quando os sentidos eram importante fator para análise de fenômenos e elaboração de conceitos e o de “hoje” onde a física utiliza os sentidos apenas para sua separação em domínios, nos mostra que é fundamental entender o corpo como elemento importante para a percepção e interação com o mundo, não como instrumento de aferição e sim como elemento de percepção de fenômenos.

Dessa maneira, podemos admitir a validade do uso de fatores antropomórficos (pensando em vivenciar determinados conceitos, como força e equilíbrio, por exemplo) como uma possibilidade para o entendimento do conceito de CG, sem vincular um raciocínio lógico-matemático como artifício inicial, a compreensão do conceito através da relação corporal direta com o fenômeno observado por uma linguagem “sensorial” é uma alternativa a construção do conhecimento traduzido de uma linguagem simbólica, a qual os estudantes têm dificuldade em operar.

A sequência didática a ser apresentada foi organizada tendo com base o construtivismo; estruturando-se em três blocos com atividades gradativamente mais complexas para a construção do conhecimento a respeito do CG. O primeiro bloco se vale de uma proposta empírica indutivista, aplicada à dinâmica corporal, tornando o estudante mais ativo no processo de observação e interação do fenômeno; quando o seu corpo é instrumento e objeto de investigação. Em seguida, a sequência oferece atividades experimentais usuais, tornando o estudante observador do fenômeno de equilíbrio estático via o método da pendura de objetos. A partir daí, a análise física das vivências são aprofundadas discutindo-se a convergência do fenômeno vivido nas atividades corporais com o fenômeno observado experimentalmente. Na última fase buscamos a conexão das etapas anteriores com a linguagem lógico matemática. Toda sequência será apresentada em detalhes no item IV.

III. O Centro de Gravidade

Trabalhar com o conceito de Centro de Gravidade (CG) em sala de aula não é das tarefas mais fáceis, e recorrer a livros didáticos também não é muito esclarecedor, pois, segundo Assis e Ravanelli (2008) “nem sempre há uma definição clara deste conceito”. Uma possível

justificativa para se entender o porquê dos livros didáticos tratarem este assunto de forma rápida e superficial, seria que muitas obras originais estão perdidas, e o que nos chega como uma definição do conceito de CG, além de ser uma interpretação do autor que traduz a obra, é uma compilação de informações obtidas de postulados, proposições e corolários.

Para tratarmos de forma mais própria o conceito de CG e suas propriedades seria importante abordarmos brevemente sua origem, muitas vezes suprimida dos livros didáticos, fazendo assim com que a autoria principal da pesquisa não seja esquecida e atribuída a quem é de direito: Arquimedes.

De acordo com Assis e Ravanelli (2008) “a origem do conceito é experimental”, os registros que se preservaram deixam claro que a pesquisa sobre CG, e até mesmo a sua definição, foi empírica. Estes autores afirmam que das proposições feitas sobre o equilíbrio de figuras planas, em diálogo com elaborações sobre alavancas, que são descritas e demonstradas nos trabalhos de Arquimedes nos apresentam o comportamento de pares de pesos apoiados sobre uma haste. Desse modo, a construção do conceito sobre CG percorre o caminho do estudo das alavancas.

As proposições encontradas em seus trabalhos apresentam relato de experiências particularizando os corpos em estudo, dessa forma há de se conseguir uma explicação mais ampla e abrangente do conceito. Os corolários, por sua vez apresentam claramente um pensamento sobre a conservação do momento linear, ou sobre a lei das alavancas, como intitulado na própria obra de Arquimedes, relatando o comportamento do CG com número par, e ímpar, de massas dispostas sobre uma barra. A experiência proposta por Arquimedes nos coloca em dependência de uma boa capacidade abstrativa para poder realizá-la com sucesso. Retomando o pensando sobre as linhas epistemológicas apresentadas e a construção do conhecimento dentro da escola salienta-se que insistir no aprendizado do fenômeno pela linguagem textual ou pela inteligência linguística não é garantia de sucesso, pois, se a capacidade abstrativa do aluno é falha, o texto de Arquimedes não faz sentido. Se o texto não faz sentido, o estímulo recebido para reorganizar o conhecimento não provoca acomodação majorante e, consequentemente, a aprendizagem do conhecimento.

III.1 O Centro de Gravidade do Corpo Humano

Defendendo a atividade corporal-cinestésica para a construção inicial do conceito de CG, e não para a definição do conceito de CG, se supõe que não há a necessidade de uma tradução linguística; pois o conceito em si é inominável ou desnecessariamente nominado. Neste caso, não é preciso a definição do conceito para que se entenda seu significado, a construção do conhecimento pode ser trabalhada através da dinâmica corporal da vida cotidiana. Experimentalmente, torna-se mais fácil ter consciência sobre a importância e as particularidades do CG, pois o fenômeno observado é incontestável.

Abordar este conteúdo a partir do trabalho corporal e cinestésico significa utilizar o corpo humano como instrumento de pesquisa e experimentação, e perceber sua dinâmica em

torno do equilíbrio corporal, pois ele é a fronteira da nossa interação com o mundo. Torna-se imprescindível o estudo deste tema, de forma a apropriarmos-nos deste conceito, devido sua relação direta com a biomecânica e a manutenção da saúde. Como exemplos temos o estudo do CG na caminhada, e nas correções posturais para evitar quedas e dores musculares, entre outros. Com a finalidade de manter o corpo humano equilibrado de forma estável, o CG do corpo pode estar localizado num ponto dentro ou até mesmo fora dele. Entretanto, observa-se que seja qual for sua localização, ao tomar sua projeção vertical sobre o plano horizontal, esta cairá sobre área da base do corpo, por exemplo, entre os pés quando o corpo humano fica ereto.

De acordo com Lemos *et al.* (2009, p. 84), o equilíbrio corporal é uma capacidade física bastante estudada, visto que busca identificar as causas dos desequilíbrios, desenvolve estratégias para a manutenção da postura e busca entender a interação dos sistemas sensoriais envolvidos na estabilidade. Os autores ainda afirmam que um dos fatores intervenientes na manutenção do equilíbrio corporal é a posição apropriada do CG. Deste ponto de vista, temos aqui a possibilidade de tratar o tema de forma interdisciplinar, não só com a Educação Física, como já foi apresentado, mas também com a Biologia.

Reconhecer e entender o conceito de CG no corpo humano é uma tarefa complexa, porém, fundamental. Complexa porque requer considerar todas as particularidades de proporção e de distribuição de massa de cada parte do corpo e fundamental porque, tratando-se do corpo humano, essa definição está diretamente atrelada ao estado de equilíbrio nas diversas posturas e movimentação do próprio corpo humano.

Com o olhar de Físico diante de um problema com tamanha complexidade, a primeira postura a ser tomada para a resolução de forma “tradicional” teórica do proposto, seria fazer considerações e simplificações sobre a questão. Nesse ponto, encontramos uma dicotomia: admitir considerações e correr o risco de descaracterizar o problema proposto originalmente ou admitir a complexidade e assumir o trajeto trabalhoso e longo para o ensino-aprendizagem. Para o estudo corpóreo sobre o CG dentro da proposta desenvolvida, a complexidade é bem-vinda, porque não exige “considerações ou aproximações” para a análise da dinâmica corporal, ela permite que o estudo aconteça no mundo real, com o corpo em diversas posturas, sejam elas dinâmicas ou estáticas. Diferentemente dos estudos teóricos ou conceituais que admitem tantas considerações que acabam por descaracterizar o contexto real.

À medida que se pratica atividades físicas ou esporte, o corpo humano adquire “signos” e assim são construídos um repertório de movimentos, posturas e posições. Esse repertório, construído sem a exclusão das leis da Física, subsidia a construção do conhecimento para os estudos teóricos e matemáticos. Temos então, o corpo como um rico e fidedigno instrumento de estudo em contato com a realidade; embora, pouco explorado e estimulado na escola, mas, ainda assim, pode ser um excelente mecanismo de entendimento de conceitos da mecânica clássica, em particular o conceito do CG, pois além de instrumento, o movimento corporal também é linguagem.

III.2 Determinação algébrica do Centro de Gravidade

A determinação matemática do CG pode ser obtida a partir do Princípio das Alavancas (ASSIS; RAVANELLI, 2008), a partir da condição de equilíbrio translacional e rotacional do sistema investigado. Isto significa que a resultante do sistema de forças deve ser nula, assim como, a soma algébrica dos torques em qualquer ponto do corpo. Desse modo, o ponto (x_{cg}), onde está localizado o CG, escreve-se como:

$$x_{cg} = \frac{\sum_i^n P_i x_i}{\sum_i^n P_i} \quad (1)$$

Onde p_i é o peso do objeto que está posicionado no ponto x_i . Para o estudo do desenvolvimento matemático deste conceito em sala de aula, muitas considerações precisam ser feitas, todas perpassam pela dificuldade dos alunos em dominar a linguagem algébrica. O estudo torna-se então, a análise de um subconjunto particular, de corpos homogêneos e regulares, pois para estes objetos, o centróide³ coincide com seu centro de massa (ASSIS; RAVANELLI, 2008) e pode ser determinado por forma geométrica ou experimental de maneira simples. No corpo humano, por exemplo, a posição do CG é determinada a partir dos diversos segmentos corpóreos, das respectivas localizações de seus CG (LEMOS, 2009), a depender da postura do corpo. Sendo assim, o tratamento experimental torna a localização do CG mais apropriada, pois consideramos as particularidades intrínsecas e existentes de cada objeto: sua não uniformidade, sua não homogeneidade, sua não regularidade entre outras características.

A determinação experimental pode ser direcionada pela forma que se acredita ter sido utilizada por Arquimedes, para verificação e demonstração de algumas de suas proposições (ASSIS, 2008). Tal método, conhecido por método da pendura, é utilizado por professores de Física na abordagem experimental do conceito. Assim como esse, existem outros métodos para a determinação de tal ponto, mas, pela comodidade didática e pela rapidez do processo, escolhemos este como parte da sequência didática. As figuras volumétricas também se aplica o método da pendura, considerando a particularidade de se realizar mais uma medição no terceiro eixo do corpo, dada a condição espacial do objeto. Okuno (2003) afirma que o CG de cada segmento do corpo humano foi feita experimentalmente com o método da pendura em peças de cadáveres.

IV. A sequência didática

O produto educacional inovador estrutura-se em três blocos de atividades distintas: corporal-cinestésicas, experimentais e teóricas; a ser aplicado em seis aulas de 50 minutos cada. De modo geral, são necessárias duas aulas consecutivas para trabalhar cada bloco de atividades.

No primeiro bloco o corpo humano é objeto e instrumento de medida do fenômeno, mas, como a interpretação sensorial apresenta limitações para estabelecer um modelo explica-

³ Centro geométrico do corpo.

tivo, o segundo bloco usa dois métodos experimentais para localização do CG de um objeto em analogia ao corpo humano, onde o estudante neste momento é apenas observador do fenômeno externo. O último bloco contextualiza o CG do corpo humano através do modelo teórico-matemático de maneira semelhante à boa parte dos livros didáticos. Cada etapa da metodologia é composta por fichas de atividades ou fichas avaliativas, onde os estudantes respondem e registram suas observações, de modo a construir seus aprendizados mediados pelo professor.

IV.1 Atividades corporais-cinestésicas

Como atividade inicial, é proposto o reconhecimento dos signos corporais; chamamos esta etapa de sensibilização. Nesta atividade, acontece o primeiro contato do pensamento corporal com a física do mundo real. Esta aula pode ser desenvolvida no pátio do colégio ou mesmo na sala de aula, caso o espaço permita. Esta etapa é baseada no empirismo-indutivista, aos poucos os estudantes vão realizando o “experimento”, observando e criando suas hipóteses para o estabelecimento ou não do equilíbrio estático.

- Deseja-se que o estudante seja ‘desafiado’ pelas leis da Física a realizar alguns movimentos, e à medida que o faz, entra em contato com a percepção corporal, para que então, crie o signo corporal. Para tal, o professor narra as consignas das posturas, desenhadas nas Fichas 1 e 2 (Fig. 1 e 2), informando-lhe a forma de pesquisar a sua posição corporal de equilíbrio, sendo ela, ora estável ora instável.

- O estudante por sua vez, após o término de cada consigna, registra nas Fichas 1 e 2 suas observações. Vale ressaltar, que o grupo das três primeiras posturas da Ficha 1 não são possíveis de serem realizadas, enquanto, as duas últimas são.

- Todas as posturas da Ficha 2 são possíveis de serem atingidas, e as mesmas fazem com que os estudantes desenvolvam a percepção do trabalho em duplas, entendendo os dois corpos em pesquisa como um único sistema, como um único corpo. Por isso, é importante que o estudante se perceba individualmente antes de interagir com o outro, assim, investem mais conscientemente nos movimentos. As três primeiras posturas solicitadas na Ficha 2 podem ser realizadas facilmente. As duas últimas posturas necessitam de mais vigor muscular.

- Durante esta etapa, pede-se que os alunos procurem em seus corpos qual(is) é (são) o(s) ponto(s) mais importante(s) que eles devem manter atenção para alcançar o equilíbrio estático nas posturas, ou para que executem o movimento, tentando explicar a possibilidade ou a impossibilidade de se realizar uma determinada consigna. O registro das hipóteses é importante porque revela, em alguns casos, as concepções espontâneas em desacordo com as científicas.

FICHA DE ANOTAÇÕES INDIVIDUAL
NOME: _____

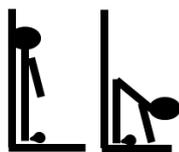
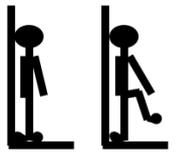
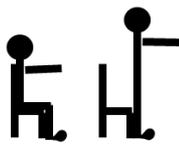
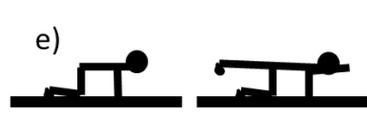
a) 	É possível fazer o movimento? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim, mas eu quem não consigo	Espaços para justificativas <div style="border: 1px solid black; height: 70px; width: 100%;"></div>	
b) 	É possível fazer o movimento? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim, mas eu quem não consigo		<div style="border: 1px solid black; height: 70px; width: 100%;"></div>
c) 	É possível fazer o movimento? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim, mas eu quem não consigo		<div style="border: 1px solid black; height: 70px; width: 100%;"></div>
d) 	É possível permanecer na postura? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim, mas eu quem não consigo		<div style="border: 1px solid black; height: 70px; width: 100%;"></div>
e) 	É possível permanecer na postura? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim, mas eu quem não consigo		<div style="border: 1px solid black; height: 70px; width: 100%;"></div>

Fig. 1 – Ficha 1. a) Em pé de costas e com os calcanhares encostados na parede, tente alcançar o chão com os braços esticados; b) em pé e com apenas um ombro encostado lateralmente na parede, tente levantar lateralmente a perna que está livre; c) sentado com as costas apoiada no encosto da cadeira e pés chapados no chão, tente levantar sem inclinar o tronco para a frente, nem mover os pés; d) com pernas e braços esticados sustentando o corpo no chão, levante a perna direita e o braço esquerdo esticados, permaneça nesta posição; e) ajoelhado e com braços dobrados formando ângulo de 90o com o chão, estique e levante a perna direita e o braço esquerdo, tente permanecer nesta posição.

FICHA DE ANOTAÇÕES DA DUPLA
NOME: _____

a)		É possível fazer o movimento? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	Espaços para justificativas <div style="border: 1px solid black; height: 60px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 60px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 60px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 60px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 60px;"></div>
b)		É possível fazer o movimento? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
c)		É possível fazer o movimento? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
d)		É possível fazer o movimento? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	
e)		É possível fazer o movimento? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não	

Fig. 2 – Ficha 2. a) Em pé, mantendo costas com costas, a dupla deve abaixar até sentar no chão; b) de mãos dadas, de frente um para o outro, esticar os braços de tal modo que os corpos fiquem inclinados e sustentos pelos braços do colega (os pés devem estar próximos); c) iniciar o movimento de mãos dadas e pés próximos, descer até sentar no chão sem soltar as mãos; d) de frente um para o outro, inicia-se o movimento de mãos dadas, um dos componentes da dupla dobra os joelhos e o outro sobe neles, de tal modo a permanecer em equilíbrio com os braços esticados; e) a última consigna tem a mesma proposta da anterior, mas o indivíduo que sobe nos joelhos está de costas, e é sustentado pelos braços do colega segurando-o nas suas pernas esticadas.

Com os signos corporais supostamente internalizados, inicia-se a etapa de formulação de hipóteses nas Fichas 3 e 4 (Fig. 3 e 4). Neste processo, desejamos que o aluno perceba a diferença entre equilíbrio estático corporal proveniente da resultante nula das forças newtonianas que atuam no CG, e habilidade corporal, aqui, subentendidas como vigor muscular para promover uma postura. Os estudantes são convidados a construir e registrar, individualmente, suas hipóteses para as posturas e movimentações.

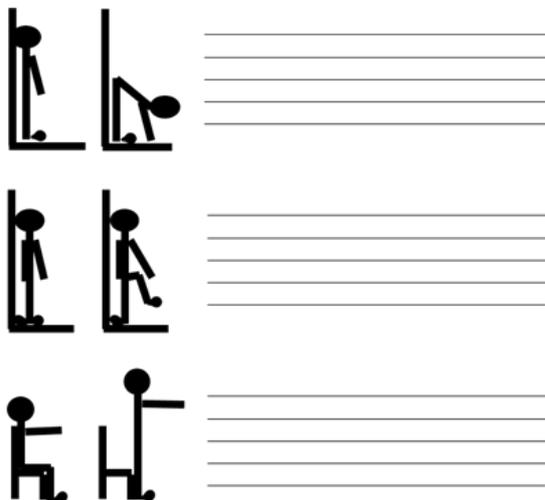
- Na primeira questão da Ficha 3 é solicitado aos estudantes que sugiram mudanças para atingir o equilíbrio estático para aquelas três posturas. Este exercício serve para organi-

zação lógica e linguística das percepções corporais individuais trabalhadas até o momento. Possibilita o estudante refletir mais profundamente sobre a condição de equilíbrio dos corpos.

- A segunda questão da Ficha 3, buscou-se observar se os estudantes identificaram algum dos elementos para a condição de equilíbrio, uma vez que este depende da posição que o corpo se encontra e sua relação com a base de apoio.

FICHA DE AVALIAÇÃO INDIVIDUAL
NOME: _____

Os desenhos ao lado representam movimentos que foram tentados executar pelos alunos em uma investigação corporal. Se as consignas foram bem atendidas e executadas é seguro que ninguém conseguiu fazer qualquer destes movimentos.
Para cada um dos casos sugira uma mudança nas condições do movimento para que eles possam ser realizados com sucesso por qualquer pessoa.



Marque na figura ao lado qual a parte do corpo que voce pensa ser determinante para manter o equilibrio do corpo e explique o seu raciocinio no espaço ao lado justificando sua escolha.

Fig. 3 – Ficha 3

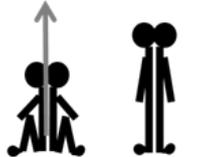
A Ficha 4 possibilita estimular o raciocínio científico e corporal de conceitos a serem trabalhados concomitantemente ao conceito de CG, são eles: vetor, momento linear e torque. Tem como objetivo observar a transposição dos conceitos adquiridos na movimentação cines-tésica para a representação abstrata.

Solicitamos que os estudantes registrem nas figuras os vetores que as pessoas fazem uma na outra a fim de realizarem a postura final da dupla. A segunda pergunta estimula o raciocínio para análise do CG em sistemas não homogêneos.

- Os argumentos corretos atribuídos às duas últimas posturas desta ficha transitam entre apontar que o vigor muscular do volante, quando seguro pelos joelhos, deve ser maior do que quando seguro pelas mãos, e isso se deve ao fato que a distância entre o ponto de aplicação da força e o eixo de rotação é maior na primeira situação.

FICHA DE AVALIAÇÃO EM DUPLAS

NOME: _____



Os vetores, que representa o movimento da dupla ao levantar, é uma composição das forças feitas pelos dois participantes. Represente, também através de vetores, a ação que as pessoas fizeram umas nas outras a fim de realizar o movimento





Durante um exercício, a dupla manteve-se equilibrada como na posição mostrada na figura ao lado. Baseado na diferença entre a sua massa e a do seu colega, explique quem ficará mais inclinado?



As imagens ao lado representam duas posições de equilíbrio usadas por artistas circense. A pessoa que segura é chamada de "portô" e o que sobe é chamado de "volante". Tendo como base seus conhecimentos adquiridos até agora com os exercícios feitos, explique qual exige mais força dos atletas, sabendo que a única diferença aparente entre as posições é o fato do volante estar de frente com as mãos dadas com o portô ou de costas, seguro pelas canelas.

Fig. 4 - Ficha 4.

IV.2 Atividades experimentais

No segundo encontro, visamos iniciar o processo de quantificação do CG de alguns corpos geométricos através de dois experimentos: método da pendura e o método que identificamos como geométrico, descritos na Ficha 5 (Fig. 5 e 6). Através destas atividades os estudantes, além de localizarem efetivamente o CG de objetos, terão a oportunidade de desenvolver algumas habilidades ao interagirem com os experimentos na busca do melhor resultado. Uma terceira atividade que também integra esta etapa é um experimento qualitativo (Fig. 7), que objetiva correlacionar o trabalho cinestésico desenvolvido no primeiro bloco com o método da pendura e, assim, localizar o CG do corpo humano nas diversas posturas. Espera-se que ao final deste bloco as concepções espontâneas tenham dado lugar às científicas, como sugerido pelo construtivismo (BORGES, 1996, p.17).

A Ficha 5 apresenta orientações sucintas sobre o procedimento experimental, onde os estudantes irão se orientar para realizarem as seguintes atividades:

- Determinar o CG de figuras bidimensionais – triângulo e retângulo – pelo método da pendura (Fig. 5).
- Determinar o CG das mesmas figuras bidimensionais pelo método que identificamos como geométrico (Fig. 5), que nada mais é do que localizar o baricentro de figuras pelo

encontro das medianas, no caso de triângulos, ou pelo cruzamento das linhas que ligam os pontos médios opostos, no caso dos quadriláteros. De forma geral, não há uma regra ou um mecanismo que se aplique a todas as formas geométricas, cada qual possui sua particularidade, por exemplo: para polígonos regulares o CG coincide com o centro de um círculo inscrito ou circunscrito no polígono.

- Esta atividade tem como objetivo subjacente fazer com que o estudante reflita e analise os resultados obtidos via experimentos, ganhe visão crítica dos desenvolvimentos dos processos elencando as dificuldades no manuseio dos equipamentos, e possíveis erros grosseiros cometidos. Adicionalmente, apresentamos uma maneira simples de quantificá-los através da expressão denominada “erro” (Fig. 6), de modo que, quão mais próximo de zero for este resultado, mais cuidadoso foi o desenvolvimento do experimento.

ROTEIRO PARA ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Material necessário:

Figuras geométricas em papel cartão: quadrilátero e triângulo.
 Suporte para a pendura
 Fio de prumo
 Régua
 Lápis e borracha (calculadora).
 Ficha de atividade experimental

Procedimentos:

PARTE I – método da pendura

Objetivo: marcar o centro de gravidade das figuras

Pendure uma figura no suporte em seguida coloque o fio de prumo e trace a vertical com a ajuda de uma régua. Repita o procedimento pendurando essa mesma figura por outro ponto e observe o cruzamento das linhas.

Repita o procedimento para a outra figura geométrica.

PARTE I – procedimento geométrico

Objetivo: Marcar o baricentro das figuras

Para triângulos: encontro das medianas.

Para quadriláteros: encontro dos pontos médios das laterais opostas.

Achado o ponto que representa o centro de gravidade por cada um dos métodos, localize-o através de um par ordenado (x,y) , denominando $(x_{geométrico}, y_{geométrico})$ e $(x_{pendura}, y_{pendura})$ para calcular a acurácia da medida.

Apos esses procedimentos o grupo deverá debater e preencher a ficha experimental.

Fig. 5 – Parte frontal da Ficha 5.

- A discussão qualitativa com o boneco articulável buscou estabelecer conexão entre as posturas corporais iniciais vivenciadas pelos estudantes no primeiro bloco, com o experimento da pendura. Para tal, confeccionou-se um boneco de papel cartão com rebites que permite movimentar as diversas partes deste protótipo (Fig. 7). O boneco foi pendurado no suporte do experimento da pendura, a fim de demonstrar como localizar o CG para as diferentes posturas realizadas, abordando inclusive, quando o CG não está no corpo. É através desta dinâmica que vai surgir concretamente o conceito do CG do corpo humano, e, o momento se

torna enriquecedor à medida que o professor debate com os estudantes os motivos pelos quais algumas consignas possibilitam o equilíbrio estático. O protótipo pode também representar um corpo não homogêneo, basta adicionar *clips* de papel a estrutura nas diversas partes, simulando a diferentes densidades de cada um dos segmentos. É neste processo que professor ajuda a modelar a concepção espontânea, formulada pelo estudante nas fichas anteriores, em concepção científica.

FICHA EXPERIMENTAL

Durante o estudo do conteúdo notamos que existe um ponto, ao qual temos que prestar atenção, para que mantenhamos o equilíbrio do nosso corpo. Exercitaremos duas maneiras de localizar tal ponto em figuras geométricas: o método da pendura e a determinação geométrica. Compare as duas metodologias e anote as características principais de cada uma delas na tabela abaixo.

Método da pendura		Método geométrico	
Prós (vantagens)	Contras (desvantagens)	Prós (vantagens)	Contras (desvantagens)

Para a situação estudada, qual apresenta o resultado mais confiável e por quê?
(Mais confiável significa mais próximo da realidade)

Acurácia da medida (cálculo da margem de erro)

$$\text{Erro} = \left| \frac{\text{medida } g - \text{medida } p}{\text{medida } g} \right| \times 100$$

Sendo 'medida g' o valor da ordenada 'x' pelo método geométrico e 'medida p' o valor pelo método da pendura. O mesmo deve ser feito para o valor da abscissa 'y'.



NOME: _____

Qual você acha que foi o objetivo desta aula? Acredita que ele foi alcançado? Justifique sua resposta.

Fig. 6 – Verso da Ficha 5.



Fig. 7 – Método da pendura com protótipo articulável.

IV.3 Atividades teóricas analítico-matemáticas

Pressupondo que os estudantes estão com a concepção científica apropriada, elaboramos duas fichas onde o modelo teórico para o cálculo do CG de um corpo qualquer pode ser formalizado. É importante que os estudantes percebam a ligação entre o conceito que emergiu da experiência e a quantificação do mesmo através da linguagem matemática.

Na Ficha 6, (Fig. 8), constam dois exercícios para o cálculo de CG de um sistema discreto de massas. Optamos por trazer um exemplo do cálculo do CG, para que a partir deste, o estudante, por analogia de procedimento, desenvolva os outros dois exercícios desta ficha. O professor, ao apresentar esta ficha, deve salientar que o CG é a posição correspondente a uma média ponderada das massas das partículas multiplicadas pela aceleração da gravidade.

AVALIAÇÃO INDIVIDUAL COM PESQUISA LIVRE

NOME: _____

Cada um dos esquemas apresentados abaixo representa conjuntos de partículas. Assim como os corpos rígidos, esses sistemas também possuem um centro de massa (CM). Para cada um desses conjuntos calcule matematicamente a posição do CM e marque-o no eixo do conjunto, tendo como referência a reta orientada verticalmente (linha pontilhada que passa pelas figuras). Observe o exemplo ao lado e aplique o raciocínio aos demais sistemas.

Dica: considere a posição do CM das figuras no centro geométrico das mesmas

$M_3 = 4\text{kg}$
 $Y_3 = 16\text{cm}$
 $M_2 = 2\text{kg}$
 $Y_2 = 12\text{cm}$
 $M_1 = 6\text{kg}$
 $Y_1 = 8\text{cm}$

Cálculo da posição do centro de gravidade.

$$Y_{cm} = \frac{Y_1 M_1 + Y_2 M_2 + Y_3 M_3}{M_1 + M_2 + M_3}$$

$$Y_{cm} = \frac{8 \times 6 + 12 \times 2 + 16 \times 4}{6 + 2 + 4}$$

$$Y_{cm} = \frac{48 + 24 + 64}{12}$$

$$Y_{cm} = \frac{136}{12}$$

$$Y_{cm} \cong 11,3\text{ cm}$$

$M_2 = 10\text{kg}$
 $Y_2 = 6\text{cm}$
 $M_1 = 4\text{kg}$
 $Y_1 = 1\text{cm}$

$M_3 = 5\text{kg}$
 $Y_3 = 8\text{cm}$
 $M_2 = 6\text{kg}$
 $Y_2 = 7\text{cm}$
 $M_1 = 3\text{kg}$
 $Y_1 = 4\text{cm}$

Fig. 8 – Ficha 6.

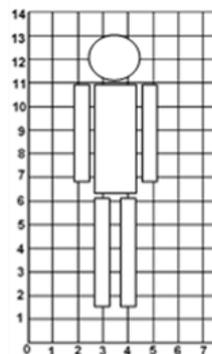
A atividade final foi organizada de forma mais complexa; elaboramos uma questão cuja resolução preconiza o entendimento e a apropriação de todas as etapas do processo. O objetivo é determinar a localidade do CG de um ‘corpo humano’ com massa total 70 kg, na posição ereta, Ficha 7 (Fig. 9). Em termos matemáticos não há mais modelo a se reproduzir, e admitindo a dificuldade dos estudantes expressarem-se por esta linguagem, ampliou-se o universo de respostas ao campo linguístico.

Mesmo para aqueles estudantes que encontram dificuldade em resolver o desafio proposto, ao interagirem com esta ficha, terão ganhos de aprendizagem, como, por exemplo, no que diz respeito à abstração da representação gráfica do corpo humano em figuras geométricas e no conhecimento da ordem de grandeza das massas das diversas partes do corpo humano de um adulto, os quais, possivelmente, serão úteis para a vida escolar e cotidiana.

DESAFIO

O corpo humano não é um corpo homogêneo, ou seja, existem partes que pesam mais do que outras e isso influencia na localização do CG. Observe a tabela a baixo. Ela refere-se à distribuição média de massa pelo corpo humano de uma pessoa com 70kg. O desenho ao lado é uma representação simplista do corpo humano descrito por esta tabela

Seguimento corpóreo	Massa média do seguimento para uma pessoa com 70kg
Cabeça e pescoço	5,6Kg
Tronco	35Kg
Braços, antebraços e mãos	3,5Kg (cada)
Coxas, canelas e pés	11,2Kg (cada)



Marque o CG em cada uma das partes da figura que representa o corpo humano.

Dica: lembre-se de como você determinou o CG das figuras geométricas

É possível a determinar de maneira matemática a posição do centro de gravidade do corpo humano? Como? Descreva seu raciocínio.

Desenvolva matematicamente seu raciocínio, utilizando para isso, os valores da tabela e a representação do corpo humano comentados acima.

Dica 1: use o mesmo procedimento do exercício anterior, mas preste atenção aos valores da massa e suas respectivas posições.

Dica 2: Faça o procedimento para os dois eixos do plano cartesiano.

Fig. 9 – Ficha 7. Representação gráfica simplificada do corpo humano no plano cartesiano e as massas das respectivas partes dispostas na tabela inserida.

V. Análise de dados

O produto desenvolvido foi aplicado em seis turmas de primeira série de ensino médio nos colégios estaduais Aurelino Leal (CEAL) e Dr. Luciano Pestre (CELP), ambos localizados na cidade de Niterói, RJ. As escolas, apesar de terem muito em comum, como atenderem à comunidade popular com presença de violência e tráfico, são diferentes em consequência de suas localizações. Enquanto que o CEAL fica em um bairro nobre de classe média, próximos a três museus e campus universitários, o CELP localiza-se numa área extremamente violenta e periférica da cidade. Por uma questão de limite de espaço, optamos por apresentar as análises dos resultados das turmas T 1010 e T 1011 do CEAL, com 15 e 18 estudantes, respectivamente. Esta escolha se deu pelo fato dos estudantes terem apresentado boa assiduidade e pontualidade, permitindo a visão da proposta de forma mais sistemática no que se refere à aprendizagem.

Análise dos dados da Ficha 1

Os gráficos 1 e 2 apresentam os resultados da aplicação da Ficha 1 às turmas T1010 e T1011, respectivamente.

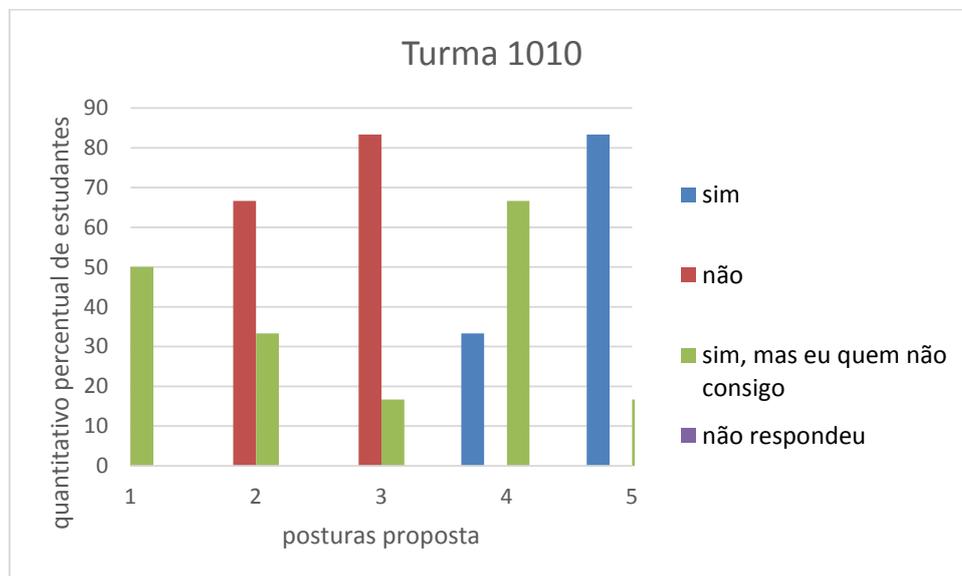


Gráfico 1 – Respostas dos estudantes da turma 1010 para a atividade vivencial individual. As posturas estão identificadas pela ordem que são propostas na ficha 1.

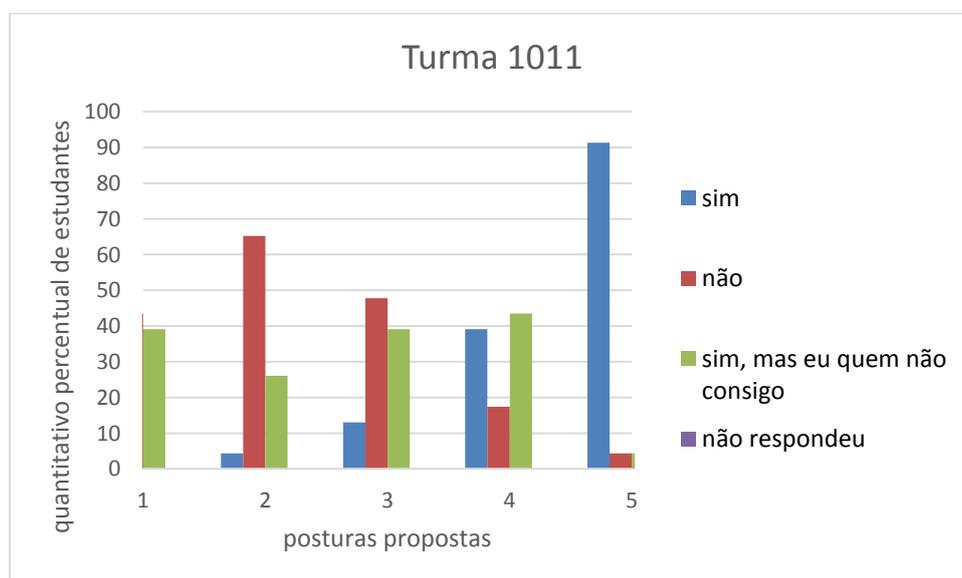


Gráfico 2 – Respostas dos estudantes da turma 1011 para a atividade vivencial individual. As posturas estão identificadas pela ordem que são propostas na ficha 1.

Inferimos dos gráficos 1 e 2 um aumento gradativo dos alunos em notar a impossibilidade de realizar as três primeiras posturas. Embora não tivessem a consciência formal do conceito envolvido nessa dinâmica, nota-se uma incidência maior da resposta correta (barra vermelha), especialmente a T1010, a partir da segunda postura. A T1011 não teve a mesma evolução e observa-se, através do gráfico 2, o aumento de resposta errada na terceira postura. Uma das prováveis justificativas para tal é que, com a numerosidade da turma, os estudantes não puderam ser orientados de forma mais específica nas condições de realização do movimento⁴.

As justificativas anotadas pelos estudantes durante as atividades da ficha 1 foram agrupadas em três categorias para melhor análise. Baseadas na falta de habilidade corporal do estudante (“*Eu acho que tem que ter habilidade.*”, “*As pernas não aguentam o peso do corpo.*”), baseada no equilíbrio estático corporal (“*O corpo não permanece na posição, ele vai pra frente.*”), e a categoria das respostas que fogem a temática. Nas respostas, ficam claras as concepções espontâneas dos estudantes, especialmente, na primeira categoria.

Análise dos dados da Ficha 2

Os gráficos 3 e 4 apresentam a compilação das respostas dos alunos, quando o trabalho corporal foi realizado em duplas, Ficha 2, das T1010 e T1011, respectivamente.

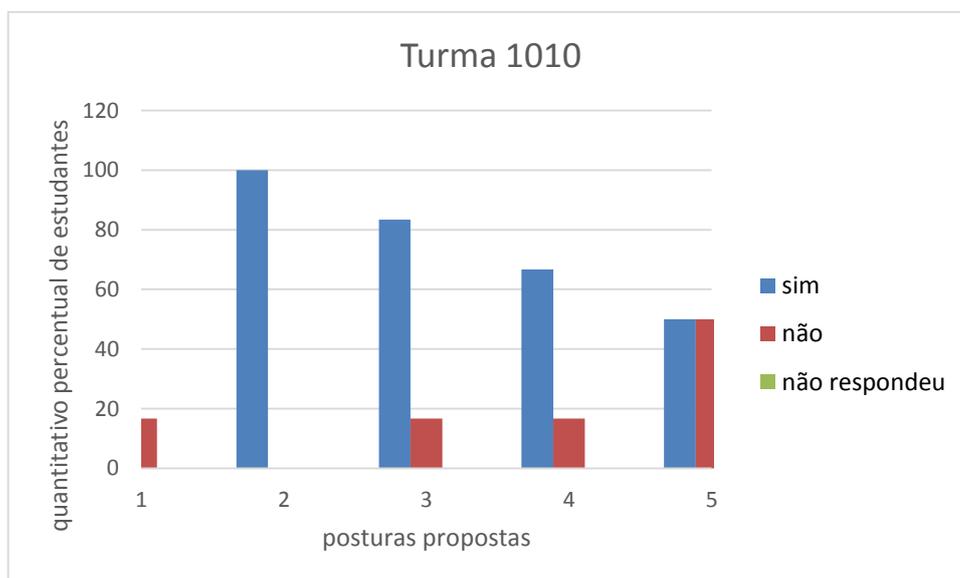


Gráfico 3 – Respostas dos estudantes da turma 1010 para a atividade vivencial em duplas. As posturas estão identificadas pela ordem que são propostas na ficha 2.

⁴ Nesta tentativa era fundamental que os alunos não movessem o tronco para levantar-se da cadeira e mantivessem o ângulo reto entre as coxas e as canelas. Certamente os alunos que disseram que conseguiram levantar não estavam atentos a estas observações e, portanto, fizeram o movimento de forma errada.

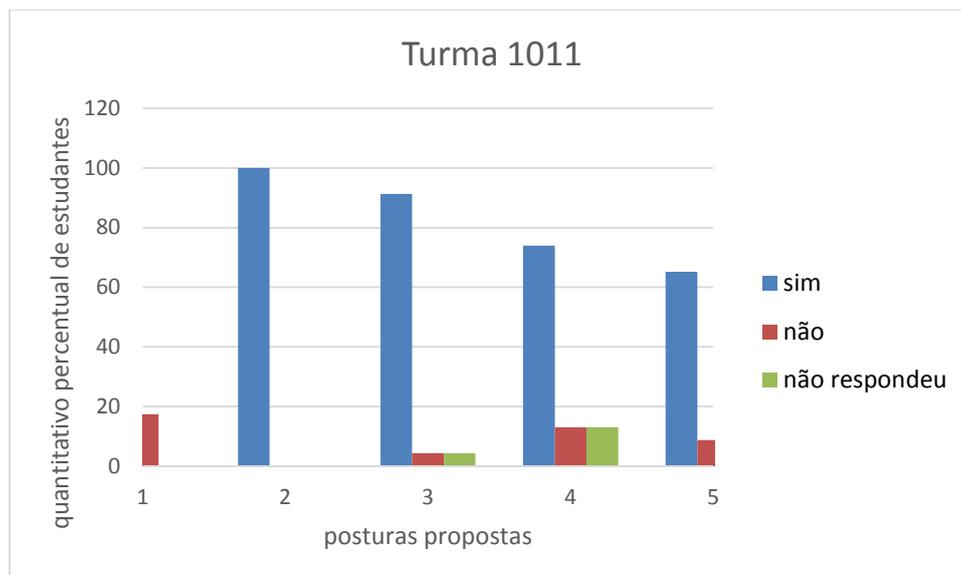


Gráfico 4 – Respostas dos estudantes da turma 1011 para a atividade vivencial em duplas. As posturas estão identificadas pela ordem que são propostas na ficha 2.

Observa-se nos gráficos 3 e 4 um alto índice de respostas corretas para ambas turmas no trabalho corporal em duplas, exceto, para a última postura que demandava um preparo físico maior. Vale destacar algumas justificativas dos estudantes para tais escolhas: “*Eu consegui porque joguei minhas forças nas costas do coleguinha.*”, “*Se você e seu parceiro fizerem força, vocês conseguem.*”, “*Os dois tem o mesmo peso, é possível se equilibrar.*”, “*Foi necessário a mesma força.*”, por exemplo.

Análise dos dados da Ficha 3

Os resultados, para a primeira pergunta da Ficha 3, puderam ser classificados em três categorias: forma negativa da consigna (“*Tirar os pés do lado da parede.*”, “*Desencostar da parede.*”), sugestão com elementos externos (“*Seria necessário um apoio para manter o equilíbrio.*”), e fogem da proposta (“*Porque não tenho coordenação motora.*”).

Algumas respostas merecem destaque para a primeira postura: “[...] *se eu tivesse um pé maior*”, mesmo de forma não consciente, houve a relação do equilíbrio com a dimensão da base do corpo, pois, de fato, se tivesse o pé bem maior, poderia ter conseguido realizar a postura. E para a segunda postura, “*Se a bunda não ficasse na parede qualquer pessoa conseguiria.*”, fica nítido o entendimento do estudante que a impossibilidade para a realização do movimento não aborda condições física particulares, quando registra que ‘qualquer’ pessoa realizaria o movimento.

A segunda questão da Ficha 3 aborda qual(is) parte(s) do corpo humano é(são) importante(s) para a manutenção do equilíbrio. Ambas as turmas apresentaram alto índice de respostas como “*espinha vertebral e tronco*” e “*quadril e cintura*”.

Análise dos dados da Ficha 4

Boa parte da T 1010 (83%) e quase a metade da T 1011 (47%) representaram, de maneira correta, os vetores associados às forças feitas pelos integrantes das duplas uns nos outros para as duas primeiras posturas em duplas. Boa parte dos estudantes (67% da T1010 e 47% da T 1011) pode perceber, de forma reflexiva, que o corpo com maior massa inclina menos em relação à vertical do que o corpo com menor massa, em resposta à terceira postura desta ficha. De modo geral, as respostas consideradas corretas foram poucas em ambas as turmas para as duas últimas posturas, tendo a T 1010 um resultado um pouco superior.

Análise dos dados da Ficha 5

Nas atividades experimentais, devido às circunstâncias vivenciadas na escola durante o período de aplicação do produto, as turmas 1010 e 1011 tiveram aula juntas, formando 8 grupos com quatro integrantes cada. Com a devida assistência, os grupos conseguiram determinar o CG das figuras, entretanto, revelou-se alto o índice de grupos que não responderam qual dos métodos julgavam mais confiável. Este aspecto pode estar relacionado à falta de elementos e argumentos para uma comparação entre os métodos, uma vez que muitos estudantes não têm, ou tiveram, contato com um processo educativo que envolvesse práticas experimentais.

À respeito das particularidades de cada procedimento experimental (Fig. 5), alguns grupos destacaram as dificuldades e vantagens pertinentes aos métodos. Para o método da pendura: “qualquer movimento no pêndulo pode mudar o lugar exato” ou “temos que esperar certo momento o prumo ficar parado para podemos medir”. E para o método geométrico: “a régua ajuda”, “os milímetros da régua complicam”. Embora os estudantes entendam que a régua é um instrumento importante e preciso para a determinação do CG pelo método geométrico, percebem suas limitações pessoais para aferição da medida exata.

A tabela 1 apresenta a acurácia da medida (Fig. 6) do resultado do método da pendura, supondo o método geométrico como o mais preciso.

Tabela 1 – Valores encontrados para a acurácia do método da pendura na determinação do CG.

Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8
Triângulo	3%	2%	3%	3%	0%	1%	0%	2%
Quadrilátero	1%	16%	4%	11%	0%	6%	1,8%	7%

Observe que, de modo geral, o quadrilátero apresentou acurácia maior ou igual ao triângulo, em quase todos os grupos de alunos, exceto o primeiro.

Relatos da atividade com o boneco articulável

Com auxílio de um boneco articulável preso ao suporte da pendura, o CG dele pode ser identificado em diversas configurações, ficando visível a projeção com relação a sua base. Nesta etapa, todo o processo de pesquisa corporal é retomado, mas, agora, com explicações científicas adequadas e demonstrações por analogia. É a partir deste momento que a concepção espontânea do estudante vai se estruturando em concepção científica. Retomando a discussão sobre as atividades corporais, além da análise vetorial das posturas sugeridas, outros questionamentos aplicados ao esporte foram analisados, em respostas às perguntas dos estudantes, como por exemplo: a postura corporal do atleta no salto em altura, no salto em distância; e a pirueta da bailarina; etc.

Análise dos dados da Ficha 6

A Ficha 6 inicia o bloco da sequência didática associada a formalização matemática. Nessa etapa 85% dos estudantes da T1010 e 83% da T1011 conseguiram determinar o CG para os dois conjuntos de massas sugeridos.

Análise dos dados da Ficha 7

O processo finaliza com o desafio da Ficha 7. A atividade foi proposta por adesão; metade dos estudantes dispôs-se a resolvê-la. Muitos explicitaram de forma correta o encaminhamento lógico da resolução do exercício, entretanto, tiveram dificuldade em operar a linguagem matemática, como pode ser observado segundo as respostas selecionadas:

“Primeiro se deve achar o centro gravitacional de cada parte do corpo, depois somá-los e dividi-los”, “Calcular a medida e a massa dividir entre a massa e a medida e se obtém o valor certo”, “Sim. A posição que estiver a parte do corpo vezes o peso de cada parte do corpo dividindo pelo peso inteiro do corpo. Mas, talvez, não exato!”, “Sim. Bem, eu separei cada uma dessas partes do corpo humano e encontrei o seu centro de gravidade de cada parte, depois juntei todas essas partes em um esquema mostrado na questão anterior e o resultado eu dividi pela massa total do corpo humano, no resultado o valor não deu totalmente exato pois no final não ficou no centro, esse resultado foi um valor aproximado.” e “Não. Porque eu fiz vários cálculos, porém nenhum deles fica de acordo com o centro, eu sei que é no meio, mas o cálculo exato não tem como.”

Outras respostas fizeram alusão à descrição de algum dos métodos experimentais trabalhados, portanto, não foram consideradas como corretas.

VI. Considerações finais

Este produto educacional surgiu com a finalidade de proporcionar ao professor e ao estudante do nono ano do ensino fundamental e primeira série do ensino médio uma forma diferente e lúdica de ensino-aprendizagem dos conceitos de equilíbrio estático e centro de gravidade (CG), sem precisar recorrer à formalização do raciocínio lógico-matemático como suporte inicial. Avaliamos o ensino-aprendizagem ofertado por esta proposta a partir dos resultados de duas turmas de um colégio estadual de Niterói, RJ.

As atividades corporais iniciais mostraram-se proveitosas para o desenvolvimento da percepção da possibilidade do equilíbrio estático e reflexão do fenômeno. Os gráficos 1, 2, 3 e 4 mostram o crescente acerto de respostas das consignas propostas. Aos poucos, o empirismo-indutivista vai aparecendo nas respostas, que foram classificadas em categorias e nos ajudaram a entender que boa parte dos estudantes percebeu a impossibilidade de alguns consignas e solicitaram ajuda de elementos externos para se apoiarem. Força de origem gravitacional e vigor físico vão tomando sentidos distintos, como deve ser, mas ainda com alguns conflitos que apareceram em relatos sobre as duas últimas posições em duplas da ficha 4. Seria pertinente solicitar que as duplas fossem formadas por alunos com massas corporais bem distintas para melhor percepção da inclinação dos corpos quando de mãos dadas, em vista do índice de acerto da ficha 4. Após a análise de dados da ficha 5, sobre o método da pendura e ‘geométrico’, ficou claro que os alunos tiveram dificuldade com o manuseio das ferramentas e instrumentos de medidas experimentais, embora tenham apresentado interesse e motivação para conclusão da prática. A análise da localização do CG e o consequente equilíbrio corporal, demonstrado com o boneco articulável, permitiu a consolidação da resignificação das concepções espontâneas em científicas por parte dos estudantes. Embora os alunos tenham apresentado dificuldade em operar a linguagem matemática, tiveram bom resultado em calcular o CG dos sistemas de partículas propostos, visto que esta atividade é caracterizada por exigir apenas capacidade de repetição e não propriamente o pensamento crítico, o que nos leva a entender o baixo desempenho na última ficha (Fig. 9). O desafio sugerido para a determinação do CG do corpo humano requer a compreensão do processo, transposição do conhecimento corpóreo e experimental para a linguagem matemática. A maioria dos estudantes que enfrentou o desafio optou em relatar em palavras o processo lógico para resolução do problema, numa tentativa de escapar da matemática. Com isso, observou-se que a pesquisa corporal com os movimentos propostos e as atividades experimentais modificaram as concepções espontâneas dos estudantes e conseguiram direcionar seu raciocínio para a construção do conceito cientificamente correto.

O contato com o estudo do conceito de CG relacionando o equilíbrio corporal proporciona uma abordagem de forma contextualizada e potencialmente transdisciplinar, além de uma aprendizagem mais autônoma. O trabalho apresentado tem potencialidades, objetivas e subjetivas, no que diz respeito ao trabalho corporal, podendo ser desenvolvido conjuntamente com o professor de Educação Física, contextualizando a consciência corporal para movimen-

tos característicos das práticas esportivas; com o professor de Biologia, apresentando a fisiologia nas particularidades corporais (atletas e pessoas sedentárias); com o professor de Sociologia e Filosofia, desdobrando o assunto para a inclusão de portadores de necessidades especiais, entre outros. Outro aspecto positivo deste trabalho refere-se ao desenvolvimento experimental com material de baixo custo, o qual não exige a disponibilização de um laboratório para ser desenvolvido, sendo bem adaptada à sala de aula.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Capes a concessão de uma bolsa de mestrado durante a realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

ASSIS, A. K. T; RAVANELLI, F. M. D. M. Reflexões sobre o conceito de centro de gravidade nos livros didáticos. **Ciência & Ensino**, Campinas, v. 2, n. 2, 2008. Disponível em: <[http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Ciencia-e-Ensino-V2 \(2008\).pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Ciencia-e-Ensino-V2%20(2008).pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2017.

ASSIS, A. K. T. **Arquimedes, o Centro de Gravidade e a Lei da Alavanca**. Montreal: Apeiron, 2008.

BORGES, R. M. R. **Em debate: cientificidade e educação em ciências**. Porto Alegre: CECIRS 1996.

KAWAMURA, M. R. D.; HOSOUME, Y. A contribuição da física para o novo ensino médio. **Física na Escola**, v. 4, n. 2, 2003.

LEMONS, L. F. C.; TEIXEIRA, C. S.; MOTA, C. B. Uma revisão sobre o centro de gravidade e o equilíbrio corporal. **Revista Brasileira Ciência e Movimento**, v. 17, n. 4, p. 83-90, 2009.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 2011.

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003.

OKUNO, E.; FRATIN, L. **Desvendando a física do corpo humano: Biomecânica**. São Paulo: Manole, 2003.

PLANCK, M. Introdução: **A reversibilidade e irreversibilidade, Oito Palestras sobre Física Teórica**. New York: Dover Publications Inc., 1998.

SANTIAGO, R. B.; MARTINS, J. C. A interpretação física de um golpe do karatê: o Gyaku-

zuki. **Física na Escola**, v. 10, n. 2, 2009.

WEBER, J. V.; SOARES, F. A. A.; ROCHA, J. B. Interdisciplinaridade entre as ciências e a educação física na visão de alunos do Ensino Fundamental e Médio na rede privada. **Revista Ciência e ideias**, v. 4, n. 1, 2012.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).