

DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM DE CONCEITOS CIENTÍFICOS NA PERSPECTIVA DA TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD:

Um estudo de caso em uma oficina sobre o funcionamento de um músculo artificial

Simone da Graça de Castro Fraiha^{1,2} (fraiha@ufpa.br)

Fátima Nazaré Baraúna Magno^{1,2} (fnbm@ufpa.br)

Silvana Perez^{1,2} (silperez_1972@hotmail.com)

Pablo Henrique Lisboa Caldas¹ (pablohlcaldas@gmail.com)

Amanda C. S. da Silva^{1,2} (amanda.fisica@gmail.com)

¹*Faculdade de Física, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém - PA*

²*Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Instituto de Ciências Exatas e Naturais Universidade Federal do Pará, Belém - PA*

Recebido em: 18/06/2022

Aceito em: 08/08/2022

Resumo

Com o objetivo de averiguar as potencialidades de novas abordagens para o ensino de Física, a oficina intitulada “Construindo um Músculo Artificial” foi criada pelo projeto de extensão Ciência em Foco, vinculado à Faculdade de Física da Universidade Federal do Pará e ao Núcleo de Estudos REPENSE. Durante as primeiras implementações da oficina, ainda no ano de 2017, ao serem abordados conceitos matemáticos atrelados aos conceitos físicos que estavam sendo trabalhados (em particular a Lei de Hooke), ficou evidente a grande dificuldade dos participantes em entender a proporcionalidade entre grandezas físicas. A partir desta observação, buscou-se entender a raiz do problema e chegou-se à Teoria dos Campos Conceituais, proposta por Gérard Vergnaud. Neste trabalho, tendo como base esta teoria, foram identificados os invariantes operacionais relacionados com o funcionamento de uma mola ideal, tanto no campo conceitual da Mecânica Clássica quanto no das Estruturas Multiplicativas, bem como as representações simbólicas dos estudantes dos conceitos relevantes. Os dados foram coletados por meio das discussões dialéticas orais entre os participantes e os aplicadores de duas oficinas, uma implementada com calouros de um curso de graduação na área de Ciências Exatas e outra com estudantes de terceiro ano de ensino médio, bem como dos textos produzidos por eles ao longo das atividades. A análise dos resultados mostrou que, embora existam invariantes operacionais nos dois campos conceituais analisados, os estudantes não são capazes de avançar no desenvolvimento dos conceitos a nível de representação simbólica, pois não conseguem representar matematicamente o conceito de proporcionalidade.

Palavras-chave: Interdisciplinaridade. Ensino por Investigação. Músculo Artificial. Estruturas Multiplicativas. Mecânica Clássica. Teoria dos Campos Conceituais.

Abstract

In order to investigate the potential of new approaches for teaching Physics, the workshop entitled "Building an Artificial Muscle" was created by the extension project "Ciência em Foco", linked to the Faculty of Physics of the Federal University of Pará. and the REPENSE Study Group. During the

first implementations of the workshop, still in 2017, when mathematical concepts linked to the physical concepts that were being worked on (in particular Hooke's Law) were addressed, the great difficulty of the participants in understanding the proportionality between physical quantities was evident. From this observation, we sought to understand the root of the problem and arrived at the Theory of Conceptual Fields, proposed by Gérard Vergnaud. In this work, based on this theory, operational invariants related to the functioning of an ideal spring were identified, both in the conceptual field of Classical Mechanics and in Multiplicative Structures, as well as the symbolic representations of the students of the relevant concepts. Data were collected through oral dialectical discussions between the participants and the applicators of two workshops, one implemented with students from an undergraduate course in the area of Exact Sciences and another with third-year high school students, as well as the texts produced by them throughout the activities. The analysis of the results showed that, although there are operational invariants in the two conceptual fields analyzed, students are not able to advance in the development of concepts at the level of symbolic representation, as they are not able to mathematically represent the concept of proportionality.

Keywords: Interdisciplinarity. Inquiry. Artificial Muscle. Multiplicative Structures. Classical Mechanics. Theory of Conceptual Fields.

1. Introdução

O ensino de Ciências na educação básica vem passando por um processo gradual de transformação para acompanhar as mudanças vigentes, visando se adaptar às necessidades da sociedade. Fazendo uma análise desde a segunda metade do século XIX até hoje, percebe-se diferentes finalidades deste ensino para adequar ao que se chamam tendências, considerando aspectos sociais, políticos, históricos e filosóficos (ZOMPERO; LABURÚ, 2010). No contexto brasileiro, por muito tempo o ensino de Ciências (em especial o ensino de Física) teve como finalidade ser a porta de entrada para o ensino superior, apoiando-se num ensino de transmissão de via única – do professor para o aluno – com conteúdos generalistas e totalmente expositivos (ROSA; ROSA, 2012). Entretanto, Zompero e Laburú (2010) afirmam que a partir da década de 1970, lentamente novas problemáticas passaram a ser levantadas, em particular com a ascensão da Psicologia Cognitiva, que objetivava compreender os processos que envolvem a aprendizagem com base na estrutura cognitiva do sujeito – surgindo, então, diversos teóricos que buscam compreender a construção cognitiva do conhecimento e como ela dialoga com o processo de ensino-aprendizagem.

No contexto de aulas padronizadas por transmissão e exposição de conteúdos prontos e imutáveis, muito utilizadas na educação básica a nível mundial – conhecido também como “ensino tradicional” – o desenvolvimento cognitivo dos alunos perante um problema, seja ele científico ou social, se mostra pouco eficiente para lidar com questões complexas da sociedade contemporânea. Ao apenas conceitualizar um tema da Física de maneira descontextualizada e sem o engajamento do estudante em todo o processo, não se trabalha o senso crítico do aluno, para que ele possa compreender o que está sendo estudado e possa relacioná-lo ao seu cotidiano (PEREZ; TABOSA; PAULO, 2021).

Pensando nesta problemática, o Núcleo de Estudos REPENSE, da Universidade Federal do Pará, criou o projeto de extensão “Ciência em Foco”, que permite a graduandos de licenciatura vivenciarem a prática do uso de novas metodologias para o ensino, centradas no estudante. Por meio de oficinas interdisciplinares desenhadas pelos próprios licenciandos e ofertadas a estudantes de educação básica, incentiva-se a prática reflexiva na formação docente, na análise dos resultados alcançados durante a implementação das oficinas. Nesse contexto, o projeto desenvolveu uma oficina intitulada “Construindo um Músculo Artificial”, onde o público-alvo são os estudantes do Ensino

Médio. Utilizando um enfoque interdisciplinar, o objetivo desta oficina é trabalhar conceitos científicos associados ao funcionamento de um músculo artificial construído com material de baixo custo. Sendo este um tema transversal, três áreas da Ciência são abordadas, de maneira interdisciplinar, no decorrer da oficina: Biologia (FILHO; PEREIRA, 2015), Física (YOUNG; FREEDMAN 2008) e Biofísica (DELATORRE, 2015).

Durante as várias implementações da oficina, que ocorre desde o ano de 2017, observou-se que todas as vezes que se utilizava conceitos matemáticos para modelar o comportamento do músculo, em particular associados à noção de *proporcionalidade*, os estudantes tinham muitas dificuldades para avançar nas tarefas propostas, o que, quase que inevitavelmente, acabava prejudicando o entendimento dos conceitos físicos. Buscando compreender melhor a origem dessas dificuldades, a equipe do projeto realizou uma pesquisa na literatura, encontrando assim, a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (VERGNAUD, 2007). Este trabalho, portanto, tem como marco teórico a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, e busca entender as dificuldades encontradas pelos estudantes de maneira qualitativa, almejando assim, desenvolver técnicas para dirimir essas dificuldades, potencializando a aprendizagem durante a oficina.

Conforme afirma Moreira (2002), Vergnaud toma como premissa que o conhecimento está organizado na estrutura cognitiva do indivíduo em *campos conceituais*, cujo domínio reivindica um longo período do tempo, e é potencializado pela experiência, maturidade e aprendizagem. Pode-se dizer que a Teoria dos Campos Conceituais admite que muitas representações e conceitualizações surgem da experiência cotidiana. No contexto da oficina desenvolvida, pode-se supor que as dificuldades apresentadas sobre proporcionalidade entre grandezas físicas, por exemplo, estejam relacionadas com lacunas de aprendizagem no campo conceitual das “estruturas multiplicativas”.

Sendo assim, a pesquisa aqui apresentada, traz a seguinte questão norteadora: “De que maneira as dificuldades de aprendizagem de conceitos físicos manifestadas por estudantes se relacionam com a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud?”

Para responder esta questão, desenhou-se o seguinte objetivo geral: compreender de que forma se organiza a construção do conhecimento em conceitos de Ciências através da fundamentação teórica baseada nos Campos Conceituais de Vergnaud. Especificamente, buscou-se trabalhar alguns conceitos de biologia, física e biofísica relacionados com a construção e funcionamento de um Músculo Artificial e suas aplicabilidades na tecnologia e no cotidiano do aluno, por meio de uma oficina desenhada por licenciandos e implementada com estudantes da educação básica. Utilizando esse espaço como ambiente para coleta de dados e a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, buscou-se identificar e analisar as dificuldades dos estudantes no entendimento de conceitos físicos, em particular associados com a Lei de Hooke.

O trabalho está organizado em 5 seções: a introdução é apresentada na primeira delas. Na seção 2 a fundamentação teórica é discutida, sendo dividida em duas dimensões: a Interdisciplinaridade no Ensino de Ciências e a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. A seguir, na seção 3, a metodologia de pesquisa é apresentada, para em continuidade, na seção 4, serem abordados os principais resultados e discussões, em particular relacionando as dificuldades apresentadas pelos estudantes com a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. As considerações finais são apresentadas na seção 5. No Apêndice é apresentada a estrutura geral da Oficina “Construindo um Músculo Artificial”, bem como os conceitos científicos que definem o Músculo Artificial, nos seus aspectos físicos e biológicos, além de sua aplicabilidade.

2. Fundamentação Teórica

2.1 A interdisciplinaridade no ensino de Ciências

Com o avanço tecnológico e científico, por muito tempo (e, em certa medida, ainda hoje) a educação básica brasileira se voltou quase que completamente para o objetivo de preparar os estudantes para a entrada no ensino superior, utilizando-se de recursos tradicionais e centrados na figura do professor (FRAIHA et. al, 2018). Neste modelo de escola, o conhecimento científico se apresenta de maneira fragmentada, com seus respectivos conhecimentos delimitados a cada área específica. Como Thiesen (2008), apud Pombo (2004) afirma:

[...] a ciência moderna se constitui pela adoção da metodologia analítica proposta por Galileu e Descartes. Isto é, se constituiu justamente no momento em que adoptou uma metodologia que lhe permitia “esquartejar” cada totalidade, cindir o todo em pequenas partes por intermédio de uma análise cada vez mais fina. Ao dividir o todo nas suas partes constitutivas, ao subdividir cada uma dessas partes até aos seus mais ínfimos elementos, a ciência parte do princípio de que, mais tarde, poderá recompor o todo, reconstituir a totalidade. A ideia subjacente é a de que o todo é igual à soma das partes (POMBO, 2004, p. 5-6).

Se há, então, uma fragmentação de elementos constituintes do conhecimento, então existe uma totalidade que abarca toda a Ciência, seja ela humanística ou científica. Sendo assim, surge um movimento contemporâneo que procura romper com o caráter de hiperespecialização e fragmentações dos saberes (THIESEN, 2008). Segundo Fazenda (2011), a interdisciplinaridade diz respeito à colaboração entre diferentes disciplinas ou entre campos de uma mesma ciência, com o objetivo de desenvolver o conhecimento humanista.

No âmbito escolar, a interdisciplinaridade ainda está na sua fase primária, apesar de existirem esforços para que se instaure nos currículos escolares. Isso se dá, segundo Thiesen (2008), devido à grande resistência perante acomodações que se instalam nas fronteiras disciplinares e para rompê-las é necessário sair da zona de conforto e ir atrás de novos desafios que batem de frente com o mecanicismo disciplinar. O autor também afirma que o processo de ensino-aprendizagem só tem a ganhar com a perspectiva interdisciplinar, pois ela:

[...]possibilita o aprofundamento da compreensão da relação entre teoria e prática, contribui para uma formação mais crítica, criativa e responsável e coloca escola e educadores diante de novos desafios tanto no plano ontológico quanto no plano epistemológico. (THIESEN, 2008)

Romper as fronteiras que delimitam as disciplinas tem como consequência desenvolver um conhecimento amplo e conectado, abrangendo diversas formas de entendimento de mundo – pois é neste parâmetro que há a troca do saber científico com o humanístico, trazendo uma relação entre o sujeito que estuda e o objeto a ser estudado.

Transportando estes conhecimentos para o ensino de Física, se torna nítido o afastamento entre as suas fronteiras com a cultura humanística. Em um ensino mecanicista, onde existe apenas a exposição de informações, fórmulas e roteiro de exercícios, não há uma conexão do que se estuda com a realidade que Thiesen (2008) afirma ser complexa: para chegar a tal realidade, é preciso ter um pensamento complexo também, e esta forma de pensar se dá com o estreitamento das fronteiras dos conhecimentos – a interdisciplinaridade. Existe essa necessidade de resgatar o reencontro entre as ciências, a fim de se habituar com a complexidade de problemas reais do cotidiano, que são constituídos por outros tipos de conhecimento que norteiam um determinado problema. Dessa forma, a prática interdisciplinar contribui com o processo de aprendizado do sujeito, trabalhando consideravelmente o senso crítico e compreensão do mundo.

Entretanto, estudos recentes mostram que são escassas as discussões sobre a interdisciplinaridade (AMORIM; FEISTEL, 2017). Neste trabalho, apresentamos uma proposta interdisciplinar para o ensino de conceitos científicos, que envolve conceitos de Física e Biologia, o músculo artificial, que serviu como locus para realização da pesquisa.

2.2 A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud

A fim de compreender as dificuldades apresentadas pelos estudantes da educação básica nas várias implementações da oficina, em particular ao se tentar explicar a Lei de Hooke, fez-se uma pesquisa sobre como o conhecimento se dispõe no processo de aquisição da aprendizagem – encontrando, então, a Teoria dos Campos Conceituais, desenvolvida por Gérard Vergnaud. No decorrer desta seção, são apresentados os principais conceitos por trás dos elementos que compõem estes campos conceituais.

Matemático, filósofo e psicólogo francês, Gérard Vergnaud, tem como orientador de seu mestrado Jean Piaget. Por esta influência, o trabalho de Vergnaud teve muita inspiração nas teorias cognitivistas de seu orientador. Os seus estudos objetivaram ampliar e redirecionar, em sua teoria dos Campos Conceituais, o foco piagetiano das operações lógicas gerais, das estruturas gerais do pensamento, para o estudo do funcionamento cognitivo do "sujeito-em-situação" (MOREIRA, 2002).

Vergnaud formaliza que “[...] o conhecimento é organizado por uma série de campos conceituais cujo domínio, por parte do sujeito, ocorre ao longo de um largo período de tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem” (VERGNAUD, 1982, p.40). Esses campos são formados por um conjunto heterogêneo de uma infinidade de problemas, situações, conceitos, etc., que se conectam entre si durante o processo de aprendizagem (MOREIRA, 2002).

Um exemplo de campo conceitual, que é utilizado nesta pesquisa, é o das estruturas multiplicativas, cujo domínio é formado por todas as situações que estão atreladas à operação de multiplicação (função linear, função não-linear, fração, razão, taxa, proporcionalidade, multiplicação e divisão, entre outros) (VERGNAUD, 2007). Para que haja um domínio completo sobre problemas matemáticos que envolvem estruturas multiplicativas, é necessário dominar as várias situações em que se manifestam os conceitos – entretanto, este processo requer tempo e dedicação para que seja conquistado. Por exemplo, o conceito de proporcionalidade aparece em vários momentos no estudo da Mecânica Clássica, que podem servir como situações nas quais o conceito se amplia e se forma em toda a sua complexidade.

Então, segundo Moreira (2002), Vergnaud se baseou em três argumentos para validar o conceito de campo conceitual, sendo eles:

- 1) Um conceito não se forma em um só tipo de situação;
- 2) Uma situação não se analisa com apenas um conceito;
- 3) A construção de um conceito e todas as suas propriedades é feita de maneira lenta e gradual, estendendo-se por meses ou até anos, tendo desentendimentos e analogias entre situações durante o processo.

Vergnaud considera que o Campo Conceitual se torna uma unidade de estudo capaz de dar sentido às dificuldades dos alunos perante os problemas reais do mundo e que a conceitualização é o cerne do desenvolvimento cognitivo (MOREIRA, 2002).

Assim como o campo conceitual das estruturas multiplicativas, existe o das estruturas aditivas que incorpora o conhecimento na área da Matemática, bem como os que se organizam na Física, como por exemplo os campos conceituais de Eletricidade, Mecânica, etc. Tendo uma série de campos

conceituais de diversos conhecimentos, Moreira (2002) afirma que mesmo sendo distintos, eles não são independentes e o estudo de um pode influenciar em outro, porém Vergnaud acredita que é interessante fazer devidos recortes para dar sentido aos problemas de aquisição e às observações feitas em relação à conceitualização.

Para compreender a Teoria dos Campos Conceituais também é necessário entender o significado que Vergnaud apresenta para o conceito. Pela definição que pode ser encontrada em qualquer dicionário da língua portuguesa, conceito é a percepção que alguém possui sobre algo ou alguém, sendo uma capacidade intelectual e cognitiva do ser humano. A definição, para Vergnaud, traz uma analogia da matemática, considerando que o conceito, C , é composto de um triplete representado por três conjuntos, S , I e R , e portanto, $C = C(S, I, R)$. Neste caso (SOUSA, MOREIRA & MATHEUS, 2005):

- S é um conjunto de situações que dão sentido ao conceito;
- I é um conjunto de invariantes operacionais, que podem ser objetos, propriedades e relações;
- R é um conjunto de representações simbólicas.

O primeiro conjunto (S) tem como alvo o conceito; o segundo (I), o significado do conceito; o terceiro (R) é o significante do conceito, através de representações. Este triplete (S, R, I) mostra que S é representação do real – conjunto de situações reais que vão formar o conceito sobre determinado assunto – e (I, R) a representação do pensamento – o significado (I) e o significante (R) (MOREIRA, 2002). Portanto, é necessário levar em consideração esses três conjuntos simultaneamente para entender como o conceito pode ser desenvolvido para um estudante ao longo de um período de aprendizado.

A partir do conceito de campo conceitual e do conceito propriamente dito, cada campo conceitual é composto por uma série de situações, onde o conjunto dessas situações é que dará sentido ao conceito dos conhecimentos estudados. Essas situações são vistas como uma combinação de tarefas para as quais é imprescindível saber suas naturezas e dificuldades próprias.

Faz-se necessário, então, facilitar o contato do aluno com diversas situações referentes ao conceito, de modo a abranger maiores condições de ampliação e desenvolvimento cognitivo – fazendo com que todos esses processos cognitivos e as respostas dadas pelo próprio aluno são funções das situações com as quais estão sendo apresentadas para ele (SANTANA; ALVES; NUNES, 2015).

Existem duas ideias principais que entornam e dão sentido ao significado de situação: variedade e história. Isso significa que, em cada campo conceitual, existe uma vasta variedade de situações que vão sendo dominadas com o passar do tempo. E, como são as situações que dão sentido ao conceito, o conhecimento dos alunos é formado a partir do primeiro contato em que o aluno teve com determinada situação, e isso ocorre de maneira progressiva (MOREIRA, 2002). Para que um estudante, então, domine uma situação mais simples e passe a dominar outra mais complexa, pode-se ter um tempo significativo e longo e este processo passa por:

[...] situações, palavras, algoritmos e esquemas, símbolos, diagramas e gráficos... e aprenderá, às vezes por descoberta, às vezes por repetição, às vezes representando e simbolizando, às vezes diferenciando, às vezes por redução de diferentes coisas para outras. Isso porque o panorama da aquisição do conhecimento é muito complexo [...] (VERGNAUD, 1994, p. 46).

É possível observar, então, que dentro dessa perspectiva de aquisição do conhecimento, estão envolvidas as “relações, propriedades, registros e representações” inerentes ao conceito a ser formado, utilizando-se uma gama de diferentes situações (das simples às mais complexas) para que ocorra a sua aprendizagem (SANTANA; ALVES; NUNES, 2015).

Diante de uma situação que compõe um conceito (que está inserido em um campo conceitual), o aluno age de acordo com as representações feitas por ele mesmo, sendo o esquema o elo entre essas representações e a sua própria conduta perante a uma situação (CARVALHO JR.; AGUIAR JR., 2008). Então, Moreira (2002) diz que o esquema “é a organização invariante do comportamento para uma determinada situação” – maior contribuição de Piaget para esta teoria – e que o entendimento sobre esquemas “está relacionado ao entendimento dos elementos cognitivos que fazem com que a ação do sujeito seja operatória”.

Vergnaud (1990) afirma que os esquemas serão importantes para “descrever e compreender os processos de resolução de problemas”, e não somente descrever problemas já conhecidos. Para que haja uma organização do comportamento desses esquemas que geram determinadas ações, é necessário conter regras pois “a sequência de ações depende dos parâmetros da situação” – na verdade, não é o comportamento que é invariante, e sim a própria organização do comportamento (MOREIRA, 2002). Essas regras são importantes pois facilitam uma melhor organização dos esquemas do sujeito perante um conceito, mesmo que seu esquema esteja distante do real.

Vergnaud define quatro ingredientes dos esquemas: metas e antecipações; regras de ação, busca por informações e controle; invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação); possibilidades de inferência (ou raciocínios).

Se por um lado é possível ver que o conceito de esquema traz o vínculo entre a conduta e a representação (e, conseqüentemente da conceitualização), por outro lado demonstra que os invariantes operatórios são os que “fazem a articulação essencial entre teoria e prática” (MOREIRA, 2002). Então, os invariantes operatórios “representam aquilo que se preserva nos conceitos e que permite que sejam reconhecidos como tais nas situações”; representando, então, o significado do conceito (CARVALHO JR.; AGUIAR JR., 2008). É possível especificar esses invariantes (expressão mais abrangente) em duas categorias: conceito-em-ação e teorema-em-ação. Essas duas expressões designam os conhecimentos contidos nos esquemas, onde o teorema-em-ação é uma proposição considerada como verdadeira sobre o real e, o conceito-em-ação, é uma categoria de pensamento considerada como pertinente (MOREIRA, 2002).

3. Metodologia

Neste trabalho é apresentada uma pesquisa com enfoque qualitativo sobre o processo de ensino-aprendizagem que busca identificar e analisar as dificuldades de aprendizagem de conceitos de Física considerando o marco teórico educacional da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud (MOREIRA, 2003).

A questão norteadora da pesquisa foi: “De que maneira as dificuldades de aprendizagem de conceitos físicos manifestadas por estudantes se relacionam com a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud?”

Para responder a essa pergunta de investigação, foi elaborada a seguinte hipótese: falhas no desenvolvimento do campo conceitual das estruturas multiplicativas, em particular relacionados com o conceito de proporcionalidade, dificultam o processo de aprendizagem de conceitos físicos, como a Lei de Hooke.

Assim, foram definidos os seguintes objetivos:

Objetivo Geral: compreender de que forma se organiza a construção do conhecimento em conceitos de Ciências através da fundamentação teórica baseada nos Campos Conceituais de Vergnaud.

Objetivos Específicos: trabalhar alguns conceitos de biologia, física e biofísica relacionados com a construção e funcionamento de um Músculo Artificial e suas aplicabilidades na tecnologia e no cotidiano do aluno, por meio de uma oficina desenhada por licenciandos e implementada com estudantes da educação básica; utilizar esse espaço como ambiente para coleta de dados e a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, buscando identificar e analisar as dificuldades dos estudantes no entendimento de conceitos físicos.

Os sujeitos da pesquisa foram estudantes de ensino médio e superior que participaram da oficina “Construindo um músculo artificial”, nos anos de 2021 e 2022, de maneira remota e híbrida, devido à pandemia de COVID19. Foram analisadas duas oficinas:

2021 - calouros de um curso de ciências exatas a nível de graduação (formato totalmente remoto)

2022 - estudantes de terceiro ano de ensino médio (formato híbrido, com o professor da disciplina em sala com os estudantes e a equipe da oficina no remoto).

Os dados foram coletados por meio das atividades gravadas e materiais escritos pelos participantes. A análise dos resultados focou nas discussões dialéticas orais entre os participantes e os aplicadores da oficina, onde buscou-se identificar e analisar os conceitos em ação e teoremas em ação presentes nos materiais coletados.

Por se tratar de três disciplinas diferentes, – duas delas com suas singularidades (Física e Biologia) e o entrelaçamento destas em uma única disciplina (Biofísica) – o arranjo da oficina se deu também em três dias para que cada dia houvesse a oportunidade de trabalhar separadamente os conceitos, além de separar um momento para que os estudantes pudessem pôr em prática o que aprenderam. No primeiro dia, organizou-se toda a teoria da Biologia; no segundo dia, a da Física; e, no terceiro e último dia, a da Biofísica. Em cada dia, as atividades duravam em torno de 4 horas, perfazendo um total de 12 horas para a oficina completa.

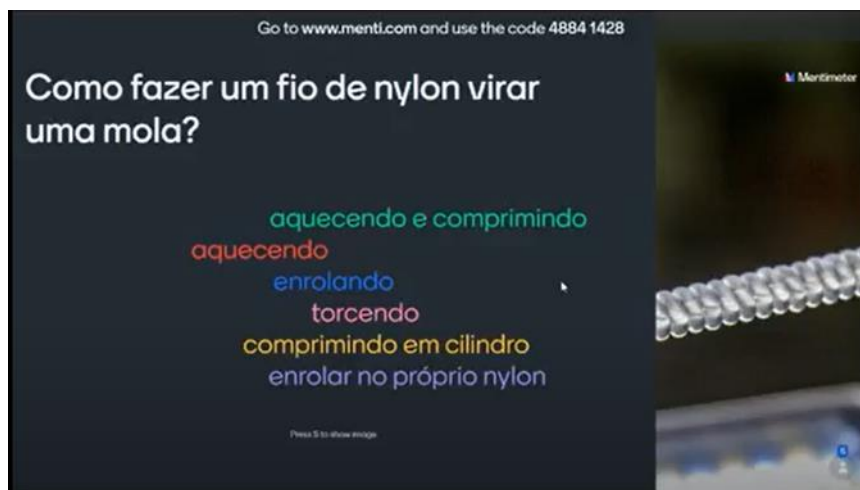
Além da divisão por disciplina, foi relevante dividir também em dois momentos: o primeiro momento para a abordagem teórica, e o segundo momento para os experimentos estipulados. Vale ressaltar que no primeiro momento, apesar de ser de cunho teórico, o foco se deu na utilização de abordagens investigativas. Concomitantemente, a parte prática também precisou de recursos metodológicos que trabalhassem com a investigação. No Apêndice A é apresentada a estrutura geral da oficina.

4. Resultados e Discussões

4.1 Calouros do curso de ciencias exatas a nível de graduação

Os dados foram coletados no segundo dia da oficina, no qual os conceitos físicos relacionados ao funcionamento de uma mola ideal são apresentados. Após mostrar a foto de uma mola, foi questionado aos alunos “Como fazer o fio de nylon virar uma mola?”. As respostas foram dadas pelo aplicativo *Mentimeter* e são apresentadas na Figura 1.

Figura 1. Respostas à pergunta “Como fazer o fio de nylon virar uma mola?”.



Fonte: os autores.

Ao explorar a pergunta em uma construção dialógica com os estudantes, um estudante afirmou que seria possível construir “aquecendo”, e continuou explicando que “colocaria o fio de nylon na água quente, enrolaria no seu próprio eixo e esperaria esfriar”. Aqui pode-se associar um teorema-em-ação implícito, de que a água quente possibilita a manutenção de uma deformação permanente no fio de nylon.

Na continuidade dos trabalhos, foi apresentado aos estudantes um vídeo de uma rede de músculos artificiais (Figura 2).

Figura 2. Rede construída com músculos artificiais entrelaçados.



Fonte: os autores

Na discussão do vídeo, os estudantes apresentaram vários conceitos-em-ação: força elástica, elasticidade, força restituidora do sistema, resiliência, coeficiente de restituição, pressão e

deformação. Excluindo o conceito de resiliência, todos estes conceitos-em-ação se relacionam com Física, embora um deles, o de pressão, não esteja diretamente ligado ao conceito apresentado.

Também foi possível identificar vários teoremas-em-ação:

- “Quanto maior a força maior a deformação.”
- “Quanto mais se aplicava força, pressão à rede, ela se esticava implicando numa relação de proporcionalidade.”
- “Conforme a força é aplicada no sistema isolado, cria-se uma deformação”.
- “...impõem uma força sobre a rede, essa força modifica sua estrutura.”
- “A força aplicada com as mãos provocou a deformação ou mudança de formato”
- “Quando fazemos força sobre a rede ele depois volta ao normal”.
- “Conforme é aplicada força na rede, as molas se esticam.”

Além disso, um estudante explicou o contexto de uso do conceito-em-ação de “resiliência” como sendo a “capacidade de retornar ao seu estado original após receber alguma força”.

A seguir, os alunos foram questionados se todos os corpos são elásticos, o que faz um corpo esticar e se todos os corpos se deformam. Nas respostas apareceram os seguintes conceitos-em-ação: força, estrutura do corpo, estrutura molecular, deformação, energia, aquecimento e calor.

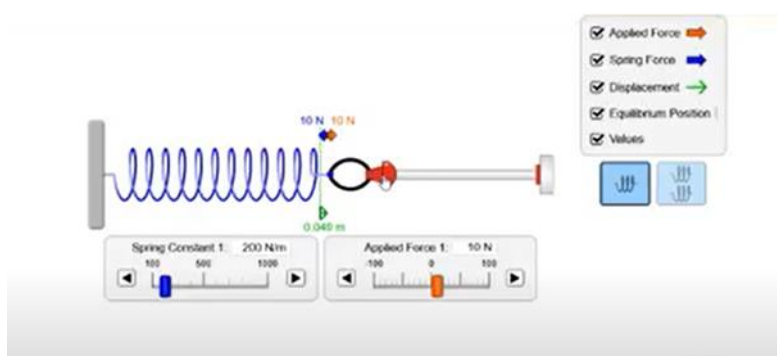
Também foram identificados os seguintes teoremas-em-ação:

- “Alguns corpos podem deformar e retornar ao estado inicial, aplicando uma força, uma energia.”
- “Aquecendo dá para deformar, aplicando calor os corpos dilatam e, portanto, disso tem as fendas de dilatação em pontes.”

Na sequência, foi trabalhado o conceito de proporcionalidade entre grandezas físicas, explorando a relação entre força em uma mola ideal e deformação. Ao serem perguntados sobre quais as grandezas físicas são relevantes no fenômeno, os estudantes apresentaram os seguintes conceitos-em-ação: força, comprimento, “o tanto que a mola consegue esticar” e deformação. Foi também elaborado o seguinte teorema-em-ação:

- “A força e a deformação são grandezas proporcionais: quanto maior a força maior a deformação.”

A seguir, o professor apresentou exemplos de grandezas diretamente e inversamente proporcionais e em seguida pediu aos alunos para que trabalhassem no simulador *PhET-colorado* a Lei de Hooke (Figura 3). Eles deveriam montar uma tabela variando a força aplicada (de 4 a 5 valores) e anotando o quanto a mola deformou (foi dito aos alunos, sem explicar o significado, que o valor da constante elástica deveria ser mantido fixo no aplicativo).

Figura 3. Simulador de mola ideal.

Fonte: PhET-colorado.

Durante a realização da simulação, surgiram os seguintes conceitos-em-ação: força, comprimento, constante da mola e massa e os seguintes teoremas-em-ação:

- “Quanto menor o comprimento de mola (o quanto ela deformou) mais força ela tem”.
- “A força e a deformação são grandezas diretamente proporcionais, quanto maior a força maior a deformação.”
- “A deformação sofrida é proporcional à força.”
- “Quanto maior a massa colocada na extremidade da mola maior a deformação por ela sofrida.”
- “Dependendo da força aplicada, podemos afirmar se esse peso não for capaz de quebrar a constante de elasticidade ela retorna ao seu estado original”.

Após a realização das medidas, foi solicitado que os alunos calculassem a razão entre força e deslocamento. Nesse momento, surgiram os seguintes conceitos-em-ação: constante de proporcionalidade, resistência da mola, deformação e força de restituição; e os seguintes teoremas-em-ação:

- “A força aplicada sempre vai ter uma força contrária, e essa relação resulta o mesmo valor.”
- “A retração da mola é proporcional à força que exercemos nela”.
- “Existe uma constante de proporcionalidade na relação força/ deformação, uma proporção entre a força aplicada e a força de restituição, sendo assim o sistema fica sempre em equilíbrio.”
- “a força e a deformação são diretamente proporcionais”.
- “Os materiais que tem capacidade de esticar possuem uma constante de mola que ao ser quebrada perde a característica de retorno ao seu estado inicial.”

Entretanto, ao se solicitar que os estudantes escrevessem a função matemática que representa essa relação de proporcionalidade entre as duas grandezas, nenhum foi capaz de realizar a tarefa. Vale salientar que houve um estudante que afirmou que “o resultado deu constante, igual ao valor da

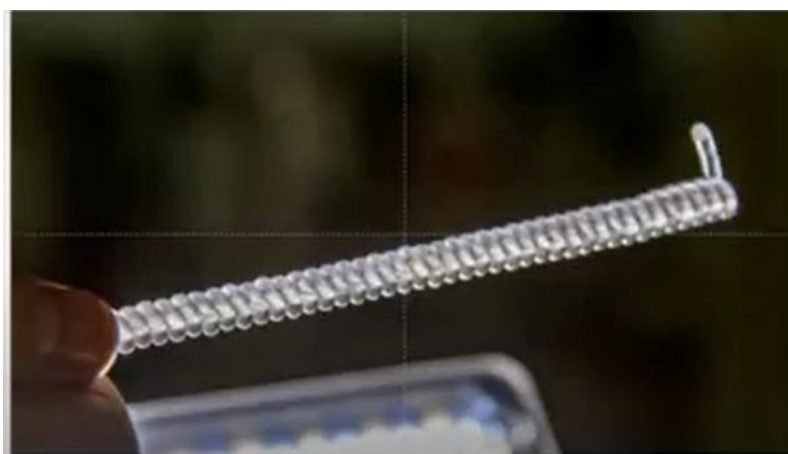
constante elástica da força mostrada no aplicativo (200 N/m).” Sendo assim, os alunos não conseguiram perceber que ao obter $F/\Delta x = \text{cte}$ implicaria que a relação de proporcionalidade entre F e Δx tinha se transformado numa relação funcional linear entre F e Δx , que é a lei de Hooke: $F = k \Delta x$. Isso indica que ainda não está claro para os alunos o conceito de proporcionalidade no campo conceitual da estrutura multiplicativa, em particular em sua relação com o campo conceitual da mecânica, na situação da força de molas e na proporcionalidade entre força e deformação. Uma vez que um dos componentes do triplete $C = C(S, I, R)$ não se manifestou na estrutura cognitiva dos estudantes, o das representações simbólicas associadas com o conceito de proporcionalidade, isso é um indício para entender as dificuldades apresentadas pelos estudantes com conceitos físicos associados com relações de proporcionalidade.

É importante explorar com os estudantes a construção desse conceito de maneira que eles incorporarem em sua estrutura cognitiva que se duas grandezas são diretamente proporcionais e a razão entre elas é sempre constante, então existe uma relação funcional linear entre elas. Matematicamente proporcionalidade implica em relação funcional linear.

4.2 Estudantes de terceiro ano do Ensino Médio

Os dados foram novamente coletados no segundo dia da oficina. Após mostrar a foto de uma mola, foi questionado aos alunos “que tipo de material era feita essa mola?” e “todos materiais são elásticos?”. As respostas à primeira pergunta foram desde silicone até mola de caderno. Além disso, apareceram os seguintes conceitos em ação: elástico, força.

Figura 4. Exemplo de músculo artificial.



Fonte: Os autores.

Apareceram também os seguintes teoremas-em-ação:

- “Precisa de força para esticar uma liga.”
- ”Todos os corpos se deformam.”

Ao ser trabalhado o conceito de grandezas físicas proporcionais, relacionando força aplicada e deformação sofrida, surgiram os seguintes conceitos-em-ação: força e deformação (conceitos

reforçados pelos aplicadores). Alguns alunos afirmaram que as duas grandezas são “diretamente proporcionais” (teorema-em-ação).

No momento de uso do simulador do PhET-Colorado, os estudantes não mantiveram a constante de mola fixa, o que somente se percebeu depois, pela análise do material coletado. Os alunos não responderam a questão de proporcionalidade entre força e a deformação, e também não concluíram sozinhos que se duas grandezas são proporcionais é porque existe uma relação funcional linear entre elas, resultado similar ao encontrado com os calouros de graduação de exatas.

Pôde-se, assim, perceber semelhanças entres os alunos de terceiro ano de ensino médio e os calouros de graduação do curso de ciencias exatas, embora esses últimos tenham conseguido avançar um pouco mais na discussão.

5. Considerações Finais

Neste trabalho buscou-se entender as dificuldades apresentadas por estudantes no estudo da lei de Hooke, em particular na representação matemática do comportamento de uma mola, pelo olhar da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. Usando como locus de pesquisa a aplicação de uma oficina interdisciplinar intitulada “Construindo um músculo artificial”, ofertada em dois momentos diferentes a estudantes de ensino médio e superior, foram analisados os materiais produzidos pelos participantes da oficina.

A análise destes materiais mostrou que os estudantes têm conceitos-em-ação e teoremas-em-ação do campo conceitual da Mecânica Clássica relevantes para o entendimento do comportamento de uma mola ideal, entretanto não possuem um entendimento completo do conceito, pois não são capazes de desenvolver uma representação simbólica do comportamento da mola, em particular em sua representação na linguagem matemática. Concluímos, assim, que o campo conceitual das estruturas multiplicativas, especificamente no que tange as relações de proporcionalidade, precisa ser melhor explorado, não somente nas aulas de matemática, como também nas de física, geográfica (conceito de densidade demográfica) etc. pois estas trazem excelentes situações para ampliar o entendimento deste conceito, proporcionando variedade de contextos de seu uso.

Reforçamos, assim, com este trabalho, que o ensino de conceitos físicos associados com os diversos campos conceituais (Mecânica, Eletromagnetismo etc.) ocorre simultaneamente com o desenvolvimento de campos conceituais como o das estruturas aditivas e multiplicativas. Dificuldades de aprendizagem de conceitos como densidade, velocidade, bem como o da Lei de Hooke aqui amplamente discutido, podem ser melhor entendidos com o uso da Teoria dos Campos Conceituais.

Em particular, os resultados aqui apresentados são indícios de que o campo conceitual das estruturas multiplicativas precisa ser melhor explorado ao longo da educação básica. As situações problematizadoras relacionadas com os conceitos físicos acima apresentados devem servir para facilitar o contato do aluno com o conceito propriamente dito, estando ele nos diversos campos da física explicitamente, ou no das estruturas multiplicativas, como o de proporcionalidade.

Ao propor novas situações, no contexto da Física, onde a discussão da proporcionalidade entre grandezas se manifesta, devemos buscar condições de ampliação e desenvolvimento cognitivo. Estas devem ser as situações por meio das quais o conceito se estrutura, sendo uma dimensão importante no triplete (S, R, I), ao ser a representação do real, a partir do qual a representação do pensamento – o significado (I) e o significante (R) se desenvolve (MOREIRA, 2002).

O professor, enquanto mediador do processo de construção do conhecimento por parte do estudante, muito mais do que ficar utilizando as dificuldades dos estudantes como justificativa para

o baixo aprendizado, deve buscar nas diversas situações físicas referentes ao conceito (de proporcionalidade por exemplo), maneiras de abranger maiores condições de ampliação e desenvolvimento cognitivo.

Parafraseando Santana, Alves e Nunes (2015), as respostas dadas pelos estudantes em termos de novos aprendizados são funções das situações com as quais são construídos os diversos campos conceituais. Entender as dificuldades de aprendizagem de conceitos físicos como os relacionados com a lei de Hooke em termos das dificuldades de aprendizagem do conceito de proporcionalidade pode ser o primeiro passo na busca por maneiras de dirimir tais dificuldades.

Agradecimentos

Este trabalho foi fruto de uma pesquisa realizada pela autora Silva quando atuava como voluntária do Programa Institucional de Bolsas de Extensão (PIBEX) e bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), orientada pela professora envolvida em ambos os projetos e que resultou em seu Trabalho de Conclusão de Curso.

Referências

- AMORIM, R.; FEISTEL, R. A. B. (2017). Interdisciplinaridade no ensino de física: algumas discussões, *REP's - Revista Even. Pedagóg.* Número Regular: Formação de Professores no ensino de Ciências e Matemática, Sinop, v. 8, n. 1 (21. ed.), p. 507-533.
- CARVALHO Jr, G.; AGUIAR Jr., O. (2008). Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 25, n. 2: p. 207-227.
- DELATORRE, P. (2015). *Biofísica para Ciências Biológicas*. Editora da UFPB.
- FAZENDA, I. C. A. (Org.) (2011). *Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia*. 6. ed. São Paulo: Loyola.
- PEREZ, S.; FRAIHA, S.; CARVALHO, J. F. M.; COSTA, A. P.; FREITAS, J. M. L.; SOUZA, H. G. M. (2018). O pêndulo defasado: um exemplo de sistema caótico para estudantes do ciclo inicial do curso de graduação em Física. *Revista do Professor de Física*, v. 2, p. 1-13.
- FILHO, E. P. A.; PEREIRA, F. C. F. (2015). *Anatomia Geral*. Inta & Prodipe. 1ª edição. Sobral.
- LØKLINGHOLM, K. (2018). Walking robot with artificial muscles made of fishing line: Exploration of a nylon 6 polymer actuator. *Dissertação de Mestrado*. University of Oslo.
- MOREIRA, M. A (2002). A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Pesquisa nesta Área. *Investigação em Ensino de Ciências*, V7(1), pp. 7-29.
- MOREIRA, M. A (2003). Pesquisa em Ensino, Texto de Apoio 19, *Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias*.
- PEREZ, S.; TABOSA, C. E. S.; PAULO, I. J. C. (2021). *Evolução do ensino competencial: uma comparação entre os documentos europeu e brasileiro*. Plurais: Revista Multidisciplinar da UNEB, v. 6, p. 81-103.

- POMBO, O. (2004). *Interdisciplinaridade. Ambições e limites*. Lisboa: Relógio d'Água.
- ROSA, C. W.; ROSA, A. B. (2012). O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. *Revista Ibero-americana de Educação*, v. 58, n. 2, p. 1-24.
- SOUSA, C. M. S. G. de; MOREIRA, M. A.; MATHEUS & T. A. M. (2011). A resolução de situações-problema experimentais no campo conceitual do eletromagnetismo: uma tentativa de identificação de conhecimentos-em-ação. *Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 5(3). Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4058>
- SANTANA, E.; ALVES, A. A.; NUNES, C. B. (2015). A teoria dos campos conceituais num processo de formação continuada de professores. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, v. 29, n. 53, p. 1162-1180.
- THIESEN, J. S. (2008). A interdisciplinaridade como um movimento articulador no processo ensino-aprendizagem. *Revista Brasileira de Educação* v. 13 n. 39.
- VERGNAUD, G. et al. (1990). Epistemology and psychology of mathematics education. In Nesher, P.& Kilpatrick, J. (Eds.) *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Cambridge: Cambridge University Press.
- VERGNAUD, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (1982). *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 39-59.
- VERGNAUD, G. (2007). En qué sentido la teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar el aprendizaje significativo? *Investigações em Ensino de Ciências* 12 (2) 285.
- VERGNAUD, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. pp. 41-59.
- YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A. (2008). *Física I: Mecânica*. Addison Wesley, São Paulo, 12ª ed., p. 193-194.
- ZOMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. (2010). As atividades de investigação no Ensino de Ciências na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa. *Revista Electrónica de Investigación em Educación en Ciencias*. V.5, n. 2.

Apêndice A - Oficina “Construindo um músculo artificial”

A.1 O músculo artificial

O uso da tecnologia em diversas áreas de estudo, seja na medicina, engenharia ou educação, se tornou de extrema relevância para a sociedade contemporânea. Na área da saúde, por exemplo, são vistos diversos equipamentos e máquinas que facilitam o diagnóstico de um paciente com algum grau de enfermidade, além de dispor de próteses em situações delicadas. Já na engenharia, a robótica vem ganhando notoriedade nas pesquisas científicas, especialmente por relacionar-se com inteligências artificiais.

Com isso, existem variadas formas da escola usufruir da tecnologia, unindo de maneira interdisciplinar diversas áreas científicas, tal como a Física, a Biologia, a Química, entre outras. O estudo do funcionamento e construção de um músculo artificial é um exemplo das potencialidades de um ensino interdisciplinar. Para tal estudo, deve-se considerar a área da Biofísica que, segundo Delatorre (2015), é uma área de estudo interdisciplinar que se utiliza de métodos físicos para explicar alguns fenômenos biológicos que visam traçar correlações com o meio ambiente. Nela, é possível explicar como funcionam os sistemas circulatório e respiratório, o transporte molecular pelas membranas celulares, bem como carregar objetos com a ajuda dos músculos etc., baseando-se em processos físicos e químicos que atuam em conjunto para o funcionamento de um corpo humano.

Tomando como exemplo a explicação biofísica da atuação dos músculos humanos ao se movimentar ou carregar algum objeto, surgiu a ideia de imitar estes movimentos de modo totalmente sintético, através da criação dos chamados *músculos artificiais*. Utilizando-se de recursos tecnológicos e de alguns conceitos físicos para obter o estímulo necessário, esses músculos artificiais tem como papel simular as movimentações de um músculo humano (LØKLINGHOLM, 2018), com o objetivo de aprimorar os estudos na área da robótica, na medicina (uso de próteses, por exemplos), entre outros espaços científicos.

Para compreender o comportamento de um músculo artificial e os processos físicos envolvidos no seu funcionamento, primeiramente é necessário entender as características biológicas que compõem um músculo para fazer uma correlação com os elementos que integram o aparato artificial, e por fim, trazer seus aspectos físicos para explicar o movimento do mesmo.

A anatomia do corpo humano é composta por alguns sistemas que, em conjunto, trabalham para mantê-lo funcionando de maneira organizada e sincronizada. Neste trabalho, será abordado o sistema muscular, constituído pelo conjunto dos músculos que existem no corpo humano. De acordo com Filho e Pereira (2015), os músculos:

[...] são estruturas anatômicas de formas e comprimentos variáveis, formadas por miócitos e que se inserem aos ossos através de tendões; são caracterizados pela contração (capacidade

de diminuir o comprimento) e relaxamento, onde estas ações movimentam partes do corpo, inclusive os órgãos internos. (FILHO; PEREIRA, 2015, p. 112).

Os músculos se classificam em três tipos: músculo estriado cardíaco, músculo estriado esquelético e o músculo liso (não estriado). Cada tipo vai ser responsável por funções do corpo de acordo com a localização em que estão dispostos: o músculo cardíaco é encontrado no coração, que tem como função controlar os batimentos cardíacos e suas contrações são fortes; o músculo esquelético se localiza fixado aos ossos através de tendões e suas contrações exercem força nos ossos para realizar o movimento; já o músculo liso é situado nas paredes de órgãos como o estômago, vísceras e vasos sanguíneos (FILHO; PEREIRA, 2015).

Existem, também, duas possibilidades de contração, voluntária e involuntária. Tratando-se do músculo cardíaco, suas contrações são completamente involuntárias, pois é ele que comanda os batimentos cardíacos. Também com contração involuntária, tem-se o músculo liso que comanda o movimento de materiais através dos sistemas de órgãos. Já o músculo esquelético se movimenta através de contrações voluntárias, sendo os únicos do corpo todo a terem esta característica (FILHO; PEREIRA, 2015). Para ter como base a criação de um músculo artificial, o estudo do sistema muscular se restringirá apenas aos músculos esqueléticos.

Os músculos esqueléticos que compõem o corpo humano se contraem de maneira voluntária. Isto acontece porque há uma transformação de energia química em energia mecânica através de sinapses provenientes do cérebro. Essa interação é capaz de causar a movimentação, dada por contrações e relaxamento dos músculos dos braços e pernas de um corpo. Um músculo artificial precisa ser composto por um material que tenha as mesmas funções de mobilidade ao receber algum tipo de estímulo. A característica física que mais se assemelha a estas contrações se chama **elasticidade**, propriedade de corpos que tem o comportamento de deformação, ao ser aplicada alguma força externa sobre ele, e voltar ao seu normal quando esta força deixa de ser aplicada.

Conforme explicam Young e Freedman (2008), alguns corpos tem este comportamento, ou seja, sofrem deformação proporcional a uma força externa. Pode-se modelar esse comportamento considerando uma situação ideal, na qual a relação entre a força resultante aplicada e a deformação sofrida é linear e obedece à chamada Lei de Hooke. Considerando, por exemplo, uma mola ideal de constante de proporcionalidade k , a relação matemática desta lei pode ser escrita como:

$$F = k\Delta x, \quad (1)$$

sendo F representada pela força necessária para esticar a mola e Δx a deformação sofrida por esta. Vale ressaltar que para que esta lei seja obedecida, é preciso que as condições da deformação estejam delimitadas a forças atuantes no sistema que não o deformem permanentemente. Então, corpos elásticos são fortes candidatos a fazerem parte deste aparato.

Entretanto, não é qualquer material elástico que pode ser utilizado no músculo, pois a contração deve depender também do estímulo a ser aplicado para que exista o movimento. Surgiram então pesquisas sobre a utilização de *nylon*, um polímero termoplástico sintético, comumente utilizado para várias funções, em especial em fios de pesca. Como qualquer polímero, sua unidade é uma longa molécula que consiste de muitas subunidades repetidas em cadeias (LØKLINGHOLM, 2018).

Num fio extenso de *nylon*, não é fácil observar a deformação sofrida ao se aplicar uma força. Para que este fio seja capaz de se deformar e voltar ao seu estado inicial, comportando-se como uma mola, é necessário mudar sua estrutura molecular de alguma maneira. A maneira encontrada é por meio de uma torção do fio através da rotação ao redor do seu próprio eixo, criando assim uma mola de *nylon*. A partir deste ponto, é possível analisar que esta mola, apesar de não ser ideal, consegue obedecer à lei de Hooke para pequenas deformações aplicadas sobre ela – obtendo valores aproximados para a constante elástica k .

Em resumo, dependendo da maneira com que se faça a torção no fio, e pelo fato dele ser um polímero, pode-se modificar as disposições das moléculas, alterando a sua estrutura inicial pelo torque em torno do próprio eixo. Se antes um fio comum de pesca (*nylon*) não tinha propriedades elásticas, depois de alterar suas estruturas moleculares no momento da torção, ele consegue ser deformado tornando-se uma mola que obedece à lei de Hooke até um certo ponto de deformação. Além disso, ele também tem outro comportamento interessante que o habilita a ser um bom músculo artificial: ao ser aquecido, ele expande na direção radial.

Løklingsholm (2018) lista as características que os polímeros de *nylon* apresentam:

- O polímero de *nylon* passa a ser **anisotrópico** ao serem torcido (propriedades físicas e mecânicas dependem da direção do material);
- Quando o polímero é aquecido, ele se expande na direção radial, mas se contrai na direção do comprimento;
- Se um polímero anisotrópico for torcido, o aquecimento o distorcerá.

Isto significa que, ao se torcer um fio *nylon* de maneira apropriada, tornando-se uma mola, ganha-se propriedades anisotrópicas – fazendo com que ela contraia na direção do comprimento da mola. Além desta característica, o que chama atenção nas novas características adquiridas por esta mola é sua interação com a transferência de calor através de um aquecimento: ao invés do corpo dilatar o seu comprimento (como usualmente ocorre), ele encolhe na direção do aquecimento, e dilata na direção radial perpendicular a ele. Tem-se, então, o estímulo que o músculo artificial precisa para se movimentar, intercalando entre expansões e contrações.

Usando estes parâmetros no desenvolvimento do músculo artificial, tem-se que o calor será a grandeza física relacionada com a contração e expansão da mola - sendo então propícia a ser o estímulo necessário para haver mobilidade de algum objeto que contenha músculos artificiais feitos de *nylon*. Ao ganhar calor (aquecer), parte de uma rede de músculos irá contrair; ao perder calor (esfriar), irá relaxar em uma expansão do músculo artificial.

Portanto, ao trabalhar músculos artificiais com um material de bom custo-benefício (fio de pesca), tem-se a criação de uma mola reproduzindo as contrações e o seu movimento é dado pelo estímulo, através da transferência de calor que é capaz de contrair este músculo artificial para que ocorra sua mobilidade.

A.2 A oficina no formato presencial

A oficina é dividida em três etapas, com uma média de três horas de implementação cada e cada etapa foi dividida em dois momentos. O Quadro 1 apresenta a estrutura geral da oficina.

Quadro 1 - Estrutura Geral da Oficina

	PRIMEIRO MOMENTO	SEGUNDO MOMENTO
DIA 1	Discussão conceitual (Conceitos de Biologia)	Experimento 1
DIA 2	Discussão conceitual (Conceitos de Física)	Experimento 2
DIA 3	Discussão conceitual (Conceitos de Biofísica)	Experimento 3

Fonte: os autores

Nos dois momentos em que acontecem as atividades, são feitas perguntas direcionadas aos alunos com o objetivo de identificar os seus conhecimentos prévios sobre o assunto, para poder explorar e aprofundar a discussão em torno dos conceitos abordados na etapa. A abordagem investigativa é utilizada nestes momentos da oficina, em um processo centrado no estudante e mediado pelo professor, com perguntas e atividades que os instiguem na construção de seu próprio conhecimento.

O número de alunos participantes de cada oficina presencial é da ordem de 20 alunos. No formato remoto, esse número pode ser facilmente alterado. Em cada dia, as atividades duram em torno de 4 horas, perfazendo um total de 12 horas para a oficina completa.

As perguntas realizadas no primeiro momento são divididas em blocos, onde cada um trata um tema relacionado ao conceito abordado. No fim de cada discussão, são feitos experimentos relacionados ao músculo artificial. De acordo com esta esquematização, tem-se uma distribuição de tarefas a serem realizadas pelos alunos – que estão divididos em aproximadamente 5 discentes por grupo. Ao final de cada dia, é feito um levantamento escrito pelos alunos do que eles aprenderam durante todo o processo.

Na adaptação para o formato *online*, em cada etapa existem momentos síncronos e tarefas a serem desenvolvidas pelo estudante.

A seguir, apresentamos o desenho detalhado de cada etapa, para a implementação no formato presencial

DIA 1 – PRIMEIRO MOMENTO

Bloco 1: Ciência

Pergunta 1: O que é Biologia?

Pergunta 2: O que é Física?

Pergunta 3: Você acredita que elas se entrelaçam?

Bloco 2: Sistema Muscular

Pergunta 1: Como conseguimos mover nossos braços e pernas?

Pergunta 2: Se não tivéssemos os músculos, poderíamos nos locomover?

Pergunta 3: Todos os músculos são iguais?

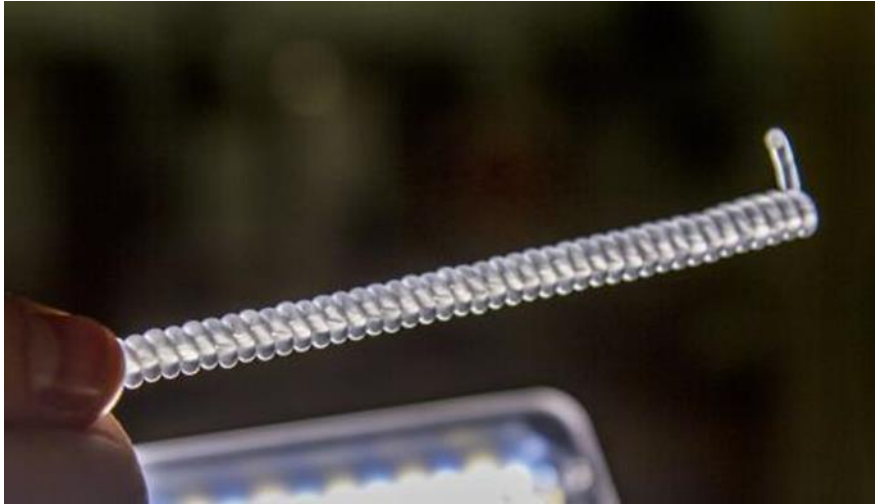
Bloco 3: Tipos de Músculo

Pergunta 1: Quais são os tipos de músculos existentes?

Pergunta 2: Onde cada músculo é encontrado?

DIA 1 – SEGUNDO MOMENTO

Experimento 1: Reproduzir a estrutura da mola (Figura 1) feita de *nylon*.

Figura 1 – Mola de Nylon

Fonte: <https://www.nbcnews.com/science/science-news/muscles-robots-made-fishing-line-twine- n34576>

DIA 2 – PRIMEIRO MOMENTO

Bloco 1: Elasticidade

Pergunta 1: Todos os corpos são elásticos?

Pergunta 2: O que faz um corpo esticar?

Pergunta 3: Todos os corpos se deformam?

DIA 2 – SEGUNDO MOMENTO

Experimento 2: Medida com fita métrica das deformações que a mola de *nylon* apresenta ao serem inseridos pesos de laboratório.

Experimento 3: Cálculo da constante elástica através dos números obtidos nas medidas do experimento anterior.

DIA 3 – PRIMEIRO MOMENTO

Bloco 1: Biofísica e suas características

Pergunta 1: O que é biofísica?

Pergunta 2: Quais são as ramificações da Biofísica?

Bloco 2: Dilatação térmica

Pergunta 1: O que acontece quando um corpo recebe calor?

Pergunta 2: Por que o nylon se comporta diferente ao receber calor?

DIA 3 – SEGUNDO MOMENTO

Experimento 4: O uso do calor na mola de *nylon* através de um secador potente.