



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
FACULDADE DE FÍSICA

AMANDA CRISTINA SOARES DA SILVA

**EXPLORANDO AS DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM DE CONCEITOS FÍSICOS
EM UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA: UMA PERSPECTIVA PELA TEORIA DOS
CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD**

Belém-PA

2021

AMANDA CRISTINA SOARES DA SILVA

**EXPLORANDO AS DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM DE CONCEITOS FÍSICOS
EM UMA ABORDAGEM INVESTIGATIVA: UMA PERSPECTIVA PELA TEORIA DOS
CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física da Universidade Federal do Pará como parte dos requisitos para obtenção de outorga de Grau de Licenciado em Física.

Orientadora: Profa. Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha.
Coorientadora: Profa. Dra. Fátima Nazaré Baraúna Magno



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
FACULDADE DE FÍSICA

ATA DA APRESENTAÇÃO E DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO –
TCC

Ata da sessão de apresentação e defesa de Trabalho de Conclusão de Curso para concessão de grau de Licenciado em Física, realizado às 15:00 h do dia 06 de Outubro de 2021, de forma virtual por meio da Plataforma Google Meet (<https://meet.google.com/apajkyk-gae>), cuja orientação teve início em 01 de Agosto de 2020 sendo intitulada: “**EXPLORANDO AS DIFICULDADES DE APRENDIZADOS DE CONCEITOS FÍSICOS NO COMPORTAMENTO DE UM MUSCULO ARTIFICIAL: uma perspectiva pela teoria dos campos conceituais de Vergnaud.**”, contendo 65 páginas, que foi apresentado durante 31 minutos pela discente **AMANDA CRISTINA SOARES DA SILVA**, matrícula Nº **201508140005** diante da banca examinadora aprovada pela Faculdade de Física do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal do Pará, assim constituída: **Profa. Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha (Orientadora - UFPA)**, **Prof. Dr. Glauco Cohen Ferreira Pantoja (Examinador 1 - UFOPA)** e **Prof. Anderson Duarte Monte (Examinador 2 – SEE/AP)**. Em seguida a mesma foi submetida à arguição, tendo demonstrado conhecimentos no tema objeto da proposta de TCC, favorecendo à banca examinadora apresentar contribuições para melhoras no desenvolvimento e decidir pelo conceito **EXC** do mesmo, bem como conceder o prazo máximo de 15 dias para serem efetuadas as modificações sugeridas pela banca, se for o caso, e em seguida a mesma será assinada por todos os membros. Para constar foram lavrados os termos da presente ata que lida e aprovada recebe a assinatura dos integrantes da banca examinadora e da DISCENTE.

Documento assinado digitalmente



Simone da Graça de Castro Fraiha
Data: 13/10/2021 18:33:18-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

ORIENTADOR: _____

EXAMINADOR 1: _____

EXAMINADOR 2: _____

DISCENTE: _____

Glauco Pantoja



Documento assinado digitalmente

ANDERSON DUARTE MONTE
Data: 18/10/2021 15:19:20-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Amanda C. S. Silva

AMANDA CRISTINA SOARES DA SILVA

“EXPLORANDO AS DIFICULDADES DE APRENDIZADOS DE CONCEITOS FÍSICOS NO COMPORTAMENTO DE UM MUSCULO ARTIFICIAL: uma perspectiva pela teoria dos campos conceituais de Vergnaud.”

Monografia apresentada como requisito para obtenção do título de Licenciado em Física pela Faculdade de Física do Instituto de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Federal Pará, submetida à apreciação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Orientador:



Documento assinado digitalmente
Simone da Graça de Castro Fraiha
Data: 13/10/2021 18:32:46-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha
(UFPA)

Examinador 1:

Prof. Dr. Glauco Cohen Ferreira Pantoja
(UFOPA)

Examinador 2:



Documento assinado digitalmente
ANDERSON DUARTE MONTE
Data: 18/10/2021 15:18:38-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Anderson Duarte Monte
(SEE/AP)

Belém, 06 de outubro de 2021.

AGRADECIMENTOS

Ao criador deste Universo, pela dádiva da vida e da saúde que paira sobre a minha família.

À minha mãe, Alice Soares, que abdicou de muitas coisas para cuidar dos seus filhos, sempre dando o seu melhor como mãe e amiga. Obrigada por todo o seu esforço e dedicação, a pessoa que eu sou hoje é fruto do seu amor e carinho por nós.

Ao meu pai, André Victor, por sempre ter me guiado com muito amor ao caminho da educação e me apoiar integralmente em todos os momentos importantes da minha vida. Gratidão por todo o incentivo.

Aos meus irmãos, Arthur Victor e Marina Marques, por me erguerem as mãos nos dias mais difíceis e me fazerem rir nos momentos de tristeza.

À minha avó Suely Sena, pela força, apoio e muito carinho que sempre me deu para que eu alcançasse a carreira dos meus sonhos. Obrigada pelos diversos bate-papos que tivemos juntas em altas madrugadas.

Aos meus eternos avós, Mauriceia Soares, Anastácio Soares e Nathanael Victor, que se tornaram estrelas no céu antes de vivenciarem este momento tão importante da minha vida. Gratidão eterna a vocês que me ensinaram muito nesta vida e me apoiaram até o último segundo de suas vidas. Que vocês possam me guiar pelo melhor caminho sempre.

À minha tia Cristina Sena, por toda a força me deu para seguir meu sonho de entrar no curso de Física e ter os melhores conselhos que uma sobrinha pode receber.

À minha melhor amiga da escola, Fernanda Batista, que me mostrou pela primeira vez o que significa uma amizade sincera que perdura há mais de 15 anos. Gratidão eterna pela nossa amizade.

A todos os meus amigos da UFPA, especialmente Clara Tabosa, Joaquim Magno, Gustavo Magalhães, Lorena Lima, Tainah Santos, Alexsandro Corrêa, Henrique Lisboa, Isabela Carvalho e Isabelle Favacho, por todos o apoio acadêmico e emocional quando eu mais precisei.

Às minhas amigas que fiz no curso de inglês, Sâmara Leão e Izabelly Santos, que sempre confiaram no meu potencial nos estudos.

Aos meus queridos amigos que ganhei na minha primeira vivência profissional, Leonardo Benone, Cassiano Guerreiro, Augusto César, Márcio Pantoja, Victória Wanzeler, Sarah Mota, Luana Lobato, André Cruz, Verena Moreira, Giovanna Torres e Suzana Lustosa, que foram a base para o meu amadurecimento profissional e pessoal nos últimos 5 anos.

Aos meus tios, Jacqueline Soares, Rita Soares, Amaury Soares e Izaura Piedade, pelo carinho e por me ajudarem quando eu mais precisei.

Aos meus novos amigos, Kevin Gabriel Leite e Maycon Favacho, que me nunca me deixaram subestimar a minha capacidade de oferecer o meu melhor em sala de aula.

À Prof. Dra. Simone da Graça de Castro Fraiha pela orientação e formação acadêmica e profissional, sobretudo a amizade sincera que cultivamos nesses últimos anos dentro da Extensão e Pesquisa.

À Prof. Dra. Silvana Perez pelo apoio e acolhimento que recebi dentro do Ensino de Física, aprendi com você que mudar.

À Prof. Andreza Palheta, que me ensinou quando criança o quão deslumbrante e cativante é a Matemática.

Aos Profs. Eder Guimarães e Walter Ferreira, pelas melhores aulas de Física que eu pude ter na minha educação básica.

Aos Profs. Drs. Fátima Baraúna Magno, Rubens Silva, Ednilton Santos de Oliveira e Newton Martins Barbosa da Silva, por me ensinarem as disciplinas, bem como mostrarem o verdadeiro papel de um professor em sala de aula.

Ao Grupo de Pesquisa em Ensino de Física da UFPA (GPEF/UFPA), que me abriu os olhos para a minha paixão de lecionar Física, pela contribuição para a minha formação profissional e acadêmica em busca de fazer a diferença.

À UFPA pelo acolhimento e espaço de muito aprendizado, onde vivenciei os melhores momentos do meu crescimento profissional e pessoal, juntamente com pessoas incríveis ao meu lado.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes.”

(Isaac Newton)

Em homenagem à Mauriceia da Silva Soares.

A minha maior inspiração em ser uma mulher forte e guerreira partiu de você. Este trabalho só foi possível graças à força proveniente do nosso amor de avó e neta. Obrigada pelo seu amor incondicional, espero que esteja comemorando nossa nova vitória onde quer que esteja.

RESUMO

O estudo sobre novas abordagens para ensinar Ciências tornou-se importante para entender de que forma estas novas metodologias podem potencializar o aprendizado dos aprendizes. Neste contexto, a abordagem investigativa e a abordagem STEAM vem ganhando cada vez mais força e notoriedade na literatura da pesquisa na área. A fim de averiguar as potencialidades dessas abordagens para o ensino de Física em turmas do Ensino Médio, 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. Por ser de cunho interdisciplinar, a oficina tem como vertentes três áreas da ciência: Biologia, Física e Biofísica – que são abordadas em três momentos distintos. Durante as primeiras implementações da oficina, ao serem abordados conceitos matemáticos atrelados aos conceitos físicos que estavam sendo trabalhados (Lei de Hooke), ficou evidente a grande dificuldade dos participantes: entender a proporcionalidade entre grandezas físicas. A partir desta observação, buscou-se entender a raiz do problema e, após a realização de um levantamento bibliográfico sobre o processo de ensino-aprendizagem tendo como fundamentação teórica o desenvolvimento cognitivo, chegou-se à teoria cognitivista *neopiagetiana* chamada Teoria dos Campos Conceituais, proposta por Gérard Vergnaud. Assim, neste trabalho tendo como base a teoria de Vergnaud, foram analisados: 1. Os campos conceituais das chamadas “estruturas multiplicativas”, que estão relacionadas aos conhecimentos que envolvem conceitos matemáticos na Física (proporcionalidade); 2. A configuração de um campo conceitual, sendo descrita por quatro pilares (conceitos, situações, esquemas e invariantes operatórios) cujo seu domínio requer tempo e experiência adquirida; 3. A construção do conhecimento científico através de experiências pessoais do aprendiz. Na aplicação da oficina no modelo *on-line*, foram identificados conceitos e situações inerentes à construção matemática da Lei de Hooke. Os resultados se deram por meio da análise das discussões dialéticas orais entre os participantes e os aplicadores da oficina. Por meio das respostas aos questionários aplicados ao final de cada momento e destas discussões durante toda a oficina, houve indícios de que os participantes melhoraram seu domínio dos conceitos abordados, demonstrando as potencialidades do uso de abordagem investigativa e STEAM no ensino de conceitos de ciências.

Palavras-chave: Campos conceituais, ensino por investigação, interdisciplinaridade.

ABSTRACT

The study of new approaches to teaching Science has become important to understand how these new methodologies can enhance student learning. In this context, the investigative approach and the STEAM approach have been gaining more and more strength and notoriety in the research literature in this area. In order to investigate the potential of these approaches for teaching physics in high school classes, the workshop entitled "Building an Artificial Muscle" was created by the "Ciência em Foco" extension project, linked to the Physics Department at Federal University of Pará and to "REPENSE" Studies Center. As it is interdisciplinary in nature, the workshop has three areas of science as strands: Biology, Physics and Biophysics – which are addressed in three different moments. During the first implementations of the workshop, when mathematical concepts linked to the physical concepts that were being worked on were discussed (Hooke's Law), the great difficulty of the participants was evident: understanding the proportionality between physical quantities. From this observation, we sought to understand the root of the problem and, after conducting a bibliographic survey on the teaching-learning process having cognitive development as a theoretical foundation, we arrived at the neo-Piagetian cognitive theory called Theory of Conceptual Fields, proposed by Gérard Vergnaud. Thus, in this work, based on Vergnaud's theory, the following were analyzed: 1. The conceptual fields named "multiplicative structures", which are related to knowledge involving mathematical concepts in Physics (proportionality); 2. The configuration of a conceptual field, being described by four pillars (concepts, situations, schemes and operative invariants) whose domain requires time and acquired experience; 3. The construction of scientific knowledge through the learner's personal experiences. In the application of the workshop in the online model, concepts and situations inherent to the mathematical construction of Hooke's Law were identified. The results were given through the analysis of dialectical oral discussions between the workshop participants and applicators. Through the responses to the questionnaires applied at the end of each moment and these discussions throughout the workshop, there were signs that the participants improved their mastery of the concepts covered, demonstrating the potential of using an investigative approach and STEAM in teaching science concepts.

Keywords: Conceptual fields, inquiry teaching, interdisciplinarity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mola de Nylon.....	34
Figura 2 – Alunos construindo a mola de nylon.....	36
Figura 3 – Alunos realizando as medidas da deformação da mola de nylon.....	38
Figura 4 – Experimento da esfera dilatada ao receber calor	39
Figura 5 – Alunos transferindo calor para a mola de nylon ao segurar as massas ..	40
Figura 6 – Rede de molas de nylon.....	51
Figura 7 – Experimento realizado no aplicativo “ <i>Chemistry & Physics simulations</i> ”.	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Divisão dos momentos da oficina	31
Quadro 2 – Divisão dos momentos da oficina remota	48

LISTA DE ABREVIATURAS

UFPA	Universidade Federal do Pará
PIBIC	Programa Institucional De Bolsas De Iniciação Científica
PIBEX	Programa Institucional De Bolsas De Extensão
IYPT	International Young Physicist Tournament

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
OBJETIVOS	17
CAPÍTULO 1 – APORTE METODOLÓGICO	19
1.1. O Ensino por Investigação	19
1.2. A interdisciplinaridade	21
1.3. A abordagem STEAM	23
CAPÍTULO 2 – A BIOFÍSICA POR TRÁS DO MÚSCULO ARTIFICIAL E SUAS APLICAÇÕES	25
2.1. O Músculo Artificial e sua importância	25
2.2. Aspectos biológicos	26
2.3. Aspectos físicos	27
CAPÍTULO 3 – “CONSTRUINDO UM MÚSCULO ARTIFICIAL”: UMA OFICINA PARA ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO	30
3.1. O Projeto de Extensão e o surgimento da Oficina	30
3.2. Metodologia	32
3.3. Diagrama da Oficina	33
3.4. Discussões conceituais extraídas das aplicações da Oficina	35
CAPÍTULO 4 – A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD.....	42
4.1. Gérard Vergnaud	42
4.2. Campo Conceitual	42
4.3. Conceitos	43
4.4. Situações	44
4.5. Esquemas	45
4.6. Invariantes Operatórios	46
CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA OFICINA SOB A PERSPECTIVA DA TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS	48
5.1. Metodologia	48
5.2. Diagrama lógico da Oficina	50
5.3. Análise das discussões realizadas nos 3 dias da aplicação da Oficina	54
5.4. Conclusão da aplicação da oficina online	61
CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS.....	64

INTRODUÇÃO

O ensino de Ciências, como é conhecido nos tempos atuais, 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, percebeu-se diferentes finalidades deste ensino para se encaixar no que se chamam tendências, considerando aspectos sociais, políticos, históricos e filosóficos (ZOMPERO; LABURÚ, 2010).

Por muito tempo o ensino de Ciências no Brasil (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 na década de 1970, a situação começou a seguir um novo rumo com a ascensão da Psicologia Cognitiva, que buscava compreender os processos que envolvem a aprendizagem com base na estrutura cognitiva do sujeito – surgindo, então, diversos teóricos na busca de compreender a disposição do conhecimento e como ela interfere na aprendizagem.

Trazendo estes estudos para entender como o conhecimento científico é construído pelo aluno, surge uma linha de pesquisa que propõe **atividades investigativas no ensino**. No que se entende sobre abordagens investigativas, Zompero e Laburú (2010) afirmam:

(...) a utilização de atividades investigativas requer do aluno uma atividade intelectual mais ativa, contrapondo-se ao ensino transmissivo, no qual o aluno apresenta atividade intelectual mais passiva, recebendo as informações prontas do professor. (ZOMPERO e LABURÚ, 2010, p. 14)

Ao contrário do que é pensado, o ensino por investigação não se utiliza de estratégias metodológicas delineadas, e sim está associado às práticas do professor em sala de aula para desenvolver essas estratégias no que se chama de abordagem didática (SASSERON, 2015; SOLINO, 2017).

No contexto de aulas padronizadas por transmissão e exposição de conteúdos prontos e imutáveis visto anteriormente – conhecido também como “ensino tradicional” – o desenvolvimento cognitivo dos alunos perante um problema, seja ele científico ou social, se mostra escasso em grandes proporções na sociedade quando

se trata da educação como um todo. Não há, na verdade, um incentivo científico sendo criado ao apenas conceitualizar um tema da Física, o senso crítico do aluno não está sendo trabalhado para que ele possa compreender o que está sendo estudado e poder relacioná-los ao seu cotidiano.

Pensando neste problema e associando a abordagens investigativas, o projeto chamado “Ciência em Foco” (Projeto de Extensão da Universidade Federal do Pará - UFPA) desenvolveu uma oficina intitulada “Construindo um Músculo Artificial”, onde o público-alvo são os estudantes do Ensino Médio. Utilizando este tipo de abordagem somado a uma abordagem STEAM, o objetivo desta oficina é trabalhar conceitos relacionados ao que se chama Músculo Artificial e fazer com que as estruturas cognitivas dos alunos sobre a área científica de maneira interdisciplinar, se desenvolvam progressivamente. Sendo uma oficina com caráter científico, ela aborda três vertentes da Ciência, sendo elas: Biologia, Física e Biofísica.

Durante as aplicações da oficina, entretanto, surgiu um grande impasse teórico observado pelos aplicadores, que passaram a estudar a melhor maneira de minimizar essa dificuldade que norteia o desenvolvimento deste trabalho; todas as vezes que se falava em conceitos matemáticos atrelados à Ciência (neste caso específico, à Física), percebeu-se extrema dificuldade no ponto de vista dos alunos. Ao se tratar do termo “*proporcionalidade*”, vários ou nenhum conhecia o termo, muito menos o conceito e a expressão matemática relacionados. Essa dificuldade nos conceitos matemáticos em vários momentos acabava prejudicando o entendimento dos conceitos físicos.

Tomando como um estímulo de tentar compreender melhor de que forma este obstáculo está disposto nas estruturas cognitivas do aluno, foi realizada uma pesquisa teórica que trabalha a configuração de conhecimentos, mais especificamente os conhecimentos científicos e matemáticos, a fim de verificar como resolver problemas de assimilação voltados à matemática na Ciência – encontrando assim, uma teoria *neopiagetiana* chamada “Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud”.

Este trabalho, portanto, tem como marco teórico a Teoria dos Campos Conceituais, pensado por Gérard Vergnaud, psicólogo francês. É neste panorama que se busca entender o problema de maneira qualitativa sobre os aspectos cognitivos que norteiam este bloqueio conceitual, bem como também encontrar uma solução que

possa envolver o aluno no processo de aprendizagem e obter resultados relevantes para os mesmos.

Segundo Moreira (2002), Vergnaud toma como premissa que o conhecimento está configurado no que ele chama de *campos conceituais*, cujo domínio reivindica um longo período do tempo através de experiência, maturidade e aprendizagem. Pode-se dizer que a teoria dos campos conceituais admite que muitas das representações e conceitualizações (referência a objetos e situações do real por meio de conceitos) surgem da experiência cotidiana. Sob este conceito geral, é possível analisar que o conhecimento que os alunos antes não entendiam sobre proporcionalidade, está relacionado a pouca experiência vivida por eles no campo conceitual chamado “estruturas multiplicativas”.

Frente a estas observações, levanta-se o questionamento:

- **Como abordagens investigativas podem potencializar o aprendizado, harmonizando com o entendimento de campos conceituais de conhecimentos científicos?**

A fim de obter uma resposta significativa, é necessário utilizar-se dos pilares que envolvem estes campos conceituais em novas aplicações da oficina, sendo eles: conceitos, situações, esquemas e invariantes operatórios. Esta pesquisa traz abordagens didáticas ao aplicar esta atividade (oficina) que se entrelaçam com os aspectos cognitivos, bem como a metodologia presente se encarregará disso.

Este trabalho foi fruto de uma pesquisa realizada pela autora 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.

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, bem como analisar de que forma é possível potencializar o aprendizado de estudantes do Ensino Médio através de metodologias que se utilizem dos conjuntos que formam esses Campos em abordagens investigativa e STEAM, trabalhadas em uma oficina intitulada “Construindo um Músculo Artificial”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Compreender a importância de uma abordagem de cunho investigativo e interdisciplinar no ensino de Ciências para alunos do Ensino Médio, afim de obter uma expressiva potencialização nos seus aspectos cognitivos – expandindo-se também para o ensino à distância (remoto);
- Trabalhar alguns conceitos biológicos, físicos e biofísicos que definem a construção de um Músculo Artificial e suas aplicabilidades na tecnologia e no cotidiano do aluno;
- Utilizar do entendimento de Campos Conceituais na aplicação da oficina em um formato remoto (online) com alunos iniciando a graduação de Licenciatura em Física e analisar a potencialização de aprendizagem dos mesmos.

Este trabalho está organizado em 5 capítulos, onde no Capítulo 1 foram revisitadas algumas abordagens metodológicas para servirem de base para a aplicação da Oficina “Construindo um Músculo Artificial”. Em seguida, o Capítulo 2 explicita os conceitos científicos que definem o Músculo Artificial, nos seus aspectos físicos e biológicos, além de sua aplicabilidade. Posteriormente, no Capítulo 3, demonstramos a metodologia e discussões realizadas em uma aplicação da Oficina para alunos do Ensino Médio. Já o Capítulo 4 apresenta como fundamentação teórica a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud em função do problema apresentado no capítulo anterior, buscando entender a raiz do problema. Por fim, o Capítulo 5 explica a nova metodologia da Oficina sob à luz da teoria estudada.

CAPÍTULO 1 – APORTE METODOLÓGICO

Tratando-se de uma visão mais moderna sobre o ensino de ciências, a utilização de novas abordagens – que priorizam o aprendizado do sujeito – tem como papel inserir a cultura científica nas escolas, onde ainda é uma barreira a ser transpassada. Ao contrário do que o senso comum diz, novas formas de ensinar e aprender estreitam as relações entre o científico e o social, construindo assim sujeitos com a capacidade de formar opiniões e senso crítico dentro de suas vivências.

Para compreender e usufruir desta nova visão de ensinar/aprender, é necessário ter como apoio pesquisas voltadas ao ensino e aprendizagem na área do ensino cognitivista. Em atividades como a oficina “Construindo um Músculo Artificial”, que tem como objetivo justamente fugir do padrão da sala de aula e construir novos interesses através do viver científico, precisou-se do amparo teórico de três abordagens educacionais: o Ensino por Investigação, a Interdisciplinaridade e a Educação STEAM – que serão percorridas separadamente ao longo deste capítulo.

1.1. O Ensino por Investigação

Apesar da Pesquisa Cognitiva ter ganhado força nas últimas décadas, ainda é perceptível a conservação do ensino tradicional nas práticas educacionais. A transmissão passiva de conteúdos prontos tem como consequência uma lacuna relacionada ao pensamento crítico dos alunos, fazendo com que haja um afastamento da Ciência. Para que o conhecimento científico seja construído por um estudante, são necessários certos artifícios que possam contribuir para o entendimento dos conceitos, como por exemplo resolução de problemas – prática comum realizada na Ciência (SOLINO, 2013).

De acordo com Zompero e Laburu (2010), apesar de não ter um consenso sobre o termo “investigação” entre os autores que seguem esta linha de pesquisa, existem algumas características em comum que norteiam esta abordagem estudada por eles, a saber: atividades realizadas através de um problema norteador com participação ativa dos alunos a fim de resolver o problema; emissão de hipóteses de acordo com seus conhecimentos pré-existentes; reflexão e busca por informações; capacidade de argumentação, etc.

Por dar enfoque na construção e aquisição dos conceitos científicos e nas práticas docentes relacionadas às atividades investigativas abordadas, Sasseron (2015) e Solino (2017) defendem que o ensino por investigação não se trata de uma estratégia metodológica e sim de uma abordagem didática, pois não existe uma “receita” a ser seguida para que se chegue no conceito estudado. Essas práticas partem da ideia de como o professor atuará na construção do conhecimento dos alunos, não comprometendo a prática investigativa feita por eles. Um exemplo do que pode ser utilizado pelo professor é a exposição de questões interessantes e desafiadoras que regem o problema abordado – fazendo com que os alunos tenham a percepção da cultura científica (CARVALHO, 2006).

Vale ressaltar que, apesar de uma abordagem investigativa ter características muito próximas de práticas científicas (elaborar hipóteses, analisar dados, etc.), não significa que essas atividades tenham o objetivo de formar cientistas. A atuação dessa nova forma de ensinar, na verdade, é desenvolver habilidades cognitivas do aluno e obter uma base fortificada sobre como criar argumentos e explicações acerca do conteúdo apresentado – aproximando cada vez mais a cultura científica no âmbito escolar (ZOMPERO; LABURÚ, 2010).

Para a melhor compreensão de como se dá um processo investigativo de ensino em sala de aula, Zompero e Laburu (2010) afirmam ser necessário primeiramente entender que o ponto central a ser apresentado é o problema inicial, que é desconhecido pelos estudantes. A partir da proposição deste problema, é feito um levantamento de hipóteses criadas por eles, – de acordo com seus conhecimentos prévios – obtendo então uma comunicação bilateral (aluno-professor), aumentando o engajamento e reflexão sobre a proposta. Definidas as hipóteses, segue posteriormente a experimentação feita pelos alunos, ou pesquisa bibliográfica se for um problema de cunho teórico, para averiguar todas as hipóteses pensadas anteriormente. Utilizando-se da observação e análise dos dados obtidos na prática, é feita uma comparação com os argumentos pré-estabelecidos pelos estudantes para, por fim, obter uma conclusão.

Embora possa aparentar uma metodologia, os passos acima explicitam a ordem que é feita uma investigação de um problema científico comumente realizado nas Ciências. Entretanto, na abordagem investigativa se utiliza desse recurso, sendo

o professor o orientador que, através de perguntas, instigam variadas suposições advindas dos alunos (seu conhecimento prévio) – desenvolvendo as estruturas cognitivas como um todo.

O processo de desenvolvimento cognitivo advém dessa interação em conjunto de todos os presentes na atividade proposta, juntamente com as trocas de informações de conhecimentos existentes – pois cada sujeito é dotado de conhecimentos singulares de acordo com a sua vivência. Esta abordagem segundo Sasseron (2015) e Solino (2017), apud Carvalho (2013), que afirma a necessidade de:

[...] criar um ambiente investigativo em salas de aula de Ciências de tal forma que possamos ensinar (conduzir/mediar) os alunos no processo (simplificado) do trabalho científico para que possam gradativamente ir ampliando sua cultura científica, adquirindo, aula a aula, a linguagem científica (CARVALHO, 2013, p. 9)

Para que haja um aproveitamento considerável por parte dos alunos, deve-se entender que os professores precisam de um esforço contínuo para manter suas práticas didático-pedagógicas em concordância com esta abordagem didática – sendo uma delas a responsabilidade de ser o mediador de todo o processo investigativo, sem perder seu posto de autoridade social e epistêmica (SASSERON, 2015; SOLINO, 2017).

A utilização dessas práticas de ensino, portanto, visam uma maior interação entre a cultura científica e a cultura escolar, conduzindo ao caminho do pensamento crítico perante problemas reais do cotidiano, aprimoramento do saber da argumentação e solucionar problemas a partir de interações sociais.

1.2. A Interdisciplinaridade

Assim como o ensino por investigação começou a ter peso na literatura a partir da década de 70 com o avanço das pesquisas na área cognitiva da aprendizagem, a interdisciplinaridade também se fez presente no cenário educacional na mesma época.

Com o avanço tecnológico e científico, por muito tempo (e ainda até hoje) a educação se voltava completamente para formar futuros cientistas, utilizando-se de recursos tradicionais e imutáveis. Nesta conjuntura, a Ciência se demonstra cada vez

mais 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. Influenciadas pelos trabalhos de grandes nomes da Ciência como Galileu, Darwin, Descartes, Newton e outros, as ciências começaram a fragmentar-se em subáreas – surgindo o que se chama especializações. Por isso, surge como um movimento contemporâneo que procura romper com o caráter de hiperespecialização e fragmentações dos saberes (THIESEN, 2008).

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, ou seja, é necessário sair da zona de conforto e ir atrás de novos desafios que batem de frente com o mecanicismo disciplinar. Este 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, abarcando 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 real 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.

1.3. A educação STEAM

A educação STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) é uma proposta educacional que tem o objetivo de estreitar relações entre alunos e ciências e, conseqüentemente, instigá-los a seguir carreira científica. A ideia desse modelo é a conceitualização dessas disciplinas como uma entidade coesa, cujo ensino é construído à medida em que a aplicação de problemas do mundo real é feita (SANDERS, 2009).

Existem formas diferentes de trabalhar com a educação STEM: alguns autores defendem a conceitualização através da renovação de cada disciplina abordada, outros apoiam uma educação multidisciplinar e integrativa em que o ensino dos conteúdos seja semelhante ao tratamento delas na vida real (TOMA; GREGA, 2017). Por isso, Pitt (2009) afirma que:

[..] essa abordagem é complexa e não há consenso sobre como o conteúdo deve ser organizado, ensinado e avaliado e em que estágio educacional sua implementação seria mais conveniente e benéfica (PITT, 2009).

Com a economia criativa ganhando um espaço considerável e grande importância no século XXI, surgiu um movimento na universidade americana *Rhode Island School of Design* (RISD) de adicionar Arte e Design ao STEM, surgindo então a sigla STEAM. O objetivo principal é incentivar o ensino multidisciplinar nas escolas

por meio do design e, também, trazer inovações de produtos tecnológicos e seus resultados. Muitas instituições utilizam este modelo pois, o enfoque em um desenvolvimento de produtos transforma o aprendizado do aluno em algo que faça sentido para ele.

As atividades guiadas nesta metodologia se utilizam dos conceitos de interdisciplinaridade e abordagem investigativa para que os alunos tenham a capacidade de solucionar os problemas abordados, fazendo com que os estudantes estejam no centro do processo cognitivo por meio da colaboração, investigação e protagonismo. Além disso, STEAM se alinha com a maneira em que pessoas lidam com problemas do cotidiano, buscando assim uma aproximação com a realidade (Disponível em: <https://www.educasteam.com.br/2019/11/10/stem-ou-steam/>).

De acordo com as ideias propostas pelo método STEAM, é possível obter resultados positivos no aprendizado de um sujeito por se assemelhar a problemas reais e trazer a tecnologia e inovação para a sala de aula, explorando as habilidades de cada estudante e aprimorar também o senso crítico perante informações. Este processo requer 5 etapas básicas: (Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/18021/como-levar-o-steam-para-a-sala-de-aula>)

- 1) Investigar;
- 2) Descobrir;
- 3) Conectar;
- 4) Criar;
- 5) Refletir.

Por meio dessas etapas, os estudantes podem vivenciar a cultura científica através da prática de atividades lúdicas e interdisciplinaridades, desenvolvendo a criticidade e a curiosidade de maneira reflexiva e interpretativa. Em outras palavras, a abordagem STEAM se utiliza dos recursos do ensino por investigação e interdisciplinaridade no desenvolvimento de projetos, oficinas e trabalhos escolares no intuito de promover um aprendizado menos mecanicista e mais humano.

CAPÍTULO 2 – A BIOFÍSICA POR TRÁS DO MÚSCULO ARTIFICIAL E SUAS APLICAÇÕES

2.1. O Músculo Artificial e sua importância

O uso da tecnologia em diversas áreas de estudo, seja na medicina, engenharia e educação, se tornou de extrema relevância para a sociedade moderna. 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 de usufruir da tecnologia em conjunto com outras áreas científicas, tal como a Física, a Biologia, a Química, etc. Tendo como gancho a seção 1.2 do capítulo anterior, tem-se então, a quebra das barreiras que delimitam estes campos de saberes, também chamada de interdisciplinaridade. Dessa forma, o encontro da Biologia com a Física visto neste trabalho, remete a um melhor entendimento das complexidades do mundo real, visando contribuir significativamente para a sociedade.

A Biofísica, 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, transporte molecular pelas membranas celulares, 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 sobre a atuação dos músculos humanos ao movimentar um corpo humano 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 seus processos físicos atribuídos, 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.

2.2. Aspectos biológicos

Se o propósito de desenvolver este aparato chamado músculo artificial, então será necessário simular as mesmas características de um músculo biológico.

A anatomia do corpo humano é composta por alguns sistemas que, em conjunto, trabalham para mantê-lo funcionando e organizado. Dentre eles, terá como enfoque o **sistema muscular**, que se dá pelo conjunto dos músculos que existem no corpo humano, os tipos e as características dos músculos 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).

Além da contração e do relaxamento, que diz respeito ao movimento dos membros corporais, 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; e 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, segundo os autores Filho e Pereira (2015): **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, devido eles serem os únicos que têm características usuais.

2.3. Aspectos físicos

Os músculos biológicos que compõem o corpo humano se contraem de maneira voluntária, como foi visto anteriormente. Isto acontece porque há transformação de energia química em energia mecânica através de sinapses provenientes do cérebro (FILHO; PEREIRA, 2015). 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.

De acordo com Young e Freedman (2008), os corpos que têm este comportamento, ou seja, sua deformação ser proporcional a uma força externa limitada, obedecem a chamada **lei de Hooke**, em outras palavras, o alongamento de uma mola, seja ela uma mola ideal, quando a força aplicada sobre ela, sob certas condições – obtendo-se então a constante de proporcionalidade k , é diretamente proporcional a esta elongação, o que se dá por uma relação funcional entre as grandezas **força** e **deformação**. A relação matemática desta lei se dá por:

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

sendo F representada pela força necessária para esticar a mola e Δx a deformação. 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 depende também do estímulo a ser aplicado para que exista o movimento.

Surgiram então pesquisas sobre a utilização de *nylon*, um polímero termoplástico sintético, comumente conhecido como fio de pesca. Por ele ser um

polímero, tem características de ser uma longa molécula que consiste muitas subunidades repetidas em cadeias (LØKLINGHOLM, 2018).

Todavia, num fio extenso de *nylon* não é fácil observar a deformação sofrida ao se aplicar força. Para que este fio seja capaz de se deformar e voltar ao seu estado inicial, comportando-se como uma mola, precisa-se mudar sua estrutura de alguma maneira – chegando no resultado de uma **torção** deste material através da rotação do fio 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 através de pequenas deformações aplicadas sobre ela – obtendo valores próximos da constante elástica k .

Essa torção realizada no fio se dá especialmente pelo fato de este material ser um polímero: as disposições das moléculas mudam ao modificar 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 não somente consegue ser deformado por ter se tornado uma mola, como também é possível obedecer à lei de Hooke até um certo ponto de deformação. De acordo com Løklingsholm (2018), as características que representam o polímero de *nylon* são:

- Os polímeros de *nylon* passam a ser **anisotrópicos** ao serem torcidos (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 destorcerá.

Isto significa que, um fio de *nylon* ao ser torcido, tornando-se uma mola, ganha 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 em seu comprimento, ele irá encolher nesta direção, e dilatar agora na direção radial. 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 que precisava para haver mobilidade de algum objeto que contenha músculos artificiais feitos de *nylon*. Ao ganhar calor, parte de uma rede de músculos irá **contrair**; ao perder calor (esfriar), irá relaxar em uma expansão dos músculos.

Portanto, ao trabalhar músculos artificiais com um material de bom custo-benefício (fio de pesca), tem-se a criação de uma mola a partir de uma força aplicada radialmente e seus movimentos são dados através da transferência de calor que é capaz de contrair este músculo artificial para que ocorra sua mobilidade.

CAPÍTULO 3 – “CONSTRUINDO UM MÚSCULO ARTIFICIAL”: UMA OFICINA PARA ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO

3.1. O Projeto de Extensão e o surgimento da Oficina

Como foi visto anteriormente no Capítulo 1 deste trabalho, o estudo e aprimoramento do ensino por investigação tem ganhado força nas últimas décadas com o avanço da tecnologia e de estudos voltados à aprendizagem cognitiva. Entretanto, ainda existem muitos obstáculos a serem superados, entre eles o modelo de aula tradicional de ensino e barreiras socioeconômicas do país, tendo pouco espaço nas escolas para promover uma educação mais abrangente e crítica.

Por conta disso, foi pensando em um projeto que pudesse colocar em prática trabalhos que tem como fundamentos a abordagem investigativa, a interdisciplinaridade e modelos que seguem abordagem STEAM. Chamado de Ciência em Foco, o projeto de extensão – vinculado ao Programa de Extensão do ICEN intitulado Núcleo de Estudos REPENSE – tem como propósito levar aos alunos de Ensino Médio oficinas experimentais de Ciências em laboratórios didáticos informatizados para que a cultura científica seja inserida aos poucos na cultura escolar.

A primeira ideia a ser desenvolvida deste projeto surgiu durante uma aula ministrada pela professora membro do grupo REPENSE na disciplina Laboratório Básico II no ano de 2018, onde foram utilizadas novas metodologias de cunho investigativo durante todo o semestre. As atividades e avaliações tinham como premissa a utilização de **problemas em aberto** através do *International Young Physicists' Tournament* (IYPT), um torneio internacional voltado para jovens aspirantes a cientistas (Disponível em: www.iypt.com.br). Popularmente conhecida como “Copa do Mundo de Física”, esta competição apresenta inúmeros problemas de Física que ainda não tenha solução para que estudantes de qualquer ano do Ensino Médio possam participar e resolver com base nos conhecimentos físicos e matemáticos adquiridos por eles.

A metodologia na disciplina de laboratório consistia em trazer alguns problemas em aberto do IYPT e, através de uma divisão de grupos entre os graduandos, era escolhido um problema para cada equipe. A avaliação consistia em apresentar as dificuldades ao estudar os conceitos relacionados em cada situação e

obter resultados significativos para resolver o problema em questão num processo investigativo. Um dos grupos selecionou um problema relacionado a criação de um músculo artificial que tem como característica reproduzir o comportamento do músculo humano, feita totalmente com *nylon*.

Ao longo das pesquisas sobre o comportamento do músculo artificial, foi feito um levantamento conceitual com base em conceitos físicos e biológicos – onde foram cruciais para a aprendizagem dos estudantes, percebida ao final do seminário avaliativo pela professora. A discussão levou ao questionamento:

- **É possível potencializar o aprendizado não só de alunos de graduação, mas também de alunos do Ensino Médio com esta metodologia?**

A partir deste questionamento, surgiu a idealização de uma oficina baseada neste problema atrelada ao Projeto de Extensão, ou seja, os processos de investigação foram redimensionados à realidade de adolescentes da rede pública e particular do Ensino Médio no Brasil. Em conjunto com o REPENSE, alunos da graduação – os que fizeram parte do grupo da disciplina que trabalharam com o músculo artificial – esquematizaram passo a passo a oficina intitulada “Construindo um Músculo Artificial”, a fim de obter uma construção gradativa dos conhecimentos desde conceitos básicos de Biologia e Física, bem como também a confecção dos músculos pelos próprios alunos.

Como o objetivo é trazer uma abordagem investigativa no sentido de obter resultados potencializadores do aprendizado, o primeiro passo do projeto foi pesquisar sobre Ensino por Investigação e como ele se dá no processo de aprendizagem dos estudantes. Posteriormente, foi necessário entender a Interdisciplinaridade devido a existência de conceitos não só da Física como também da Biologia, duas disciplinas que comumente no âmbito escolar não são vistas relacionadas entre si. Por fim, organizar a oficina de modo em que seja trabalhado todo o conteúdo, tanto de forma teórica quanto prática.

3.2. Metodologia

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 (onde cada dia durava 3 horas) para que cada dia tivesse a oportunidade de trabalhar separadamente os conceitos, além de separar um momento para que os estudantes pudessem pôr em prática o que aprenderam. O primeiro dia (DIA 1), organizou-se toda a teoria da Biologia, no segundo dia (DIA 2), a da Física e, portanto, no terceiro e último dia, a da Biofísica. 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, teve como relevância dividir também em dois momentos: o primeiro momento para a abordagem teórica, e o segundo momento para os experimentos estipulados (Quadro 1). 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 trabalhem com a investigação.

Quadro 1 – Divisão dos momentos da oficina

	PRIMEIRO MOMENTO	SEGUNDO MOMENTO
DIA 1	Apresentação de Slides 1 (Biologia)	Experimento 1
DIA 2	Apresentação de Slides 2 (Física)	Experimento 2
DIA 3	Apresentação de Slides 3 (Biofísica)	Experimento 3

Fonte: Próprio autor.

Nos dois momentos em que acontecem as atividades, são feitas perguntas direcionadas aos alunos em que é possível discutir sobre o que os estudantes entendem sobre o assunto em questão, para poder construir o conceito abordado. As abordagens investigativas são visíveis nestes momentos da oficina, pois elas entregam a construção do conhecimento conjuntamente com os alunos ao orientá-los com perguntas que os instiguem.

3.3. Diagrama da oficina

O número de alunos participantes de cada oficina presencial foi de no máximo 20 alunos do ensino médio (do 1º ao 3º ano). Cada dia, as atividades duravam em torno de 4 horas, perfazendo um total de 12 horas para a oficina completa.

As perguntas realizadas no primeiro momento foram divididas em blocos, onde cada um tinha um tema relacionado ao conceito abordado. No fim de cada discussão, eram 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.

O segmento da oficina foi dado inicialmente por perguntas (dividida em blocos) feitas diretamente aos alunos sobre alguns pequenos conceitos através de uma apresentação de *slides*. Ao final de cada dia, é feito um levantamento escrito pelos alunos do que eles aprenderam durante todo o processo.

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

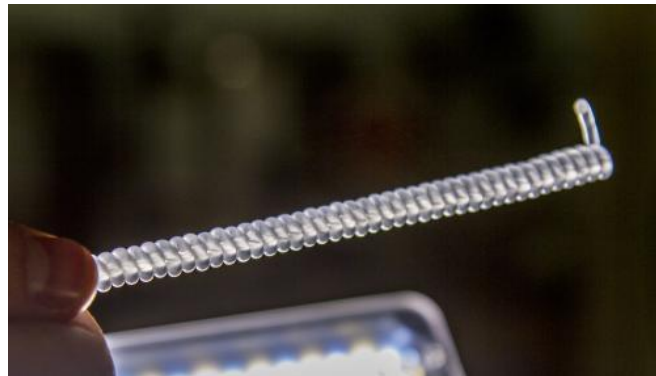
Pergunta 1: *Quais são os tipos de músculos existentes?*

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: Medidas por fita métrica das deformações que a mola de *nylon* apresenta ao serem inseridos pesos de laboratório.

Experimento 3: Encontrar a 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.

3.4. Discussões conceituais extraídas das aplicações da Oficina

Em uma das aplicações realizadas no ano de 2019 com estudantes do colégio estadual EEFM Paulo Fonteles de Lima, obteve-se inúmeras discussões pertinentes sobre a eficiência do ensino por investigação aplicada nesta oficina. Uma delas foi a grande resistência ao diálogo entre os aplicadores e os alunos, que surgiu no início do primeiro dia. Isto se deu pelo fato de o ensino tradicional ainda estar enraizado nas escolas, onde o método punitivo é normalizado ao existir erros conceituais por parte dos alunos.

Em virtude do medo de errar, os participantes demoraram a responder às perguntas apresentadas durante o bloco 1. Para que fosse possível extrair o máximo de respostas deles, mesmo que erradas, foram utilizadas linguagens comumente usadas entre adolescentes que pudessem colaborar com uma aproximação entre os

envolvidos na oficina. Ao longo das discussões, percebeu-se uma relação consideravelmente mais estreita que deixou os estudantes mais à vontade para opinar sobre o que estavam estudando – conquistando trocas de conhecimentos em relações aluno-aluno e aplicadores-alunos, sobre os conceitos que envolvem os músculos humanos.

Após o fim do primeiro momento, o experimento 1 foi anunciado na apresentação de *slides*: “construa este aparato” (Figura 1), porém sem nenhuma instrução que pudesse direcionar os participantes. O propósito desse segundo momento é instigá-los a buscarem respostas e chegarem ao resultado final por seus méritos e com trabalho em equipe. Foram dados apenas os materiais necessários para a construção da mola: furadeira (ou batedeira); um fio de nylon já com comprimento padrão; e um bastão de ferro. Cada grupo foi responsável por transformar um fio comum de *nylon* (fio de pesca) em uma mola (Figura 2).

Figura 2 – Alunos construindo a mola de nylon



Fonte: Próprio autor.

Apesar do início do processo ter sido dificultoso, os aplicadores da oficina direcionavam-nos o caminho a ser seguido sem conceder a resposta diretamente. Por fim, os alunos recebiam um papel em branco onde eles deveriam escrever todo o processo do experimento até chegar ao resultado e o que foi aprendido – chamado de “diário de bordo”. O fato de ter o momento da prática fez com que os alunos se sentissem mais à vontade para responder perguntas indagativas durante a confecção da mola. Além disso, os diários de bordos tiveram resultados que demonstraram que

o conhecimento dos temas abordados foi construído a partir do ponto de vista dos participantes.

No segundo dia foi percebida uma maior interação entre os alunos e uma maior participação, visto que o experimento 1 foi de caráter importante para o engajamento na oficina. Apesar de ser o conteúdo com maiores barreiras de aprendizagem, o DIA 2 traz a disciplina Física com outra roupagem fora dos padrões da sala de aula: em vez de demonstrar diretamente os conceitos físicos, foram feitas as perguntas do bloco 1 sobre elasticidade, sem nenhum tipo de fórmula.

No decorrer das respostas apresentadas pelos estudantes, foram percebidos pontos em comum entre eles, tanto nos acertos como nos erros conceituais. Até então, os conceitos envolvidos com elasticidade de corpos extensos foram construídos naturalmente devido a presença dos conhecimentos de mundo que os alunos estavam inseridos. Entretanto, ao chegar no ponto crucial deste segundo dia, – a Lei de Hooke – foi percebida a dificuldade dos alunos com o conceito matemático por trás da lei física.

Sabe-se que a Lei de Hooke é baseada em uma relação direta entre duas grandezas físicas (força aplicada a um corpo e a deformação causada), onde uma depende inteiramente da outra. Por exemplo, se uma força com um valor arbitrário for aplicada a uma determinada mola, ela será deformada **proporcionalmente** a esta força; e se aumentar o valor do módulo da força, a deformação também aumentará, e assim por diante.

Ao fazer as perguntas referentes ao conceito de proporcionalidade, não foi possível obter respostas dos participantes, tampouco eram conhecidas grandezas físicas por eles. Naquele ponto da oficina, havia uma lacuna antes não percebida pois não se tratava de uma teoria escrita, e sim de um problema matemático de grande relevância, neste processo de aprendizagem. Aqui se fez necessária uma investigação sobre a situação que os alunos estavam envolvidos, de forma que pudesse encontrar não somente o entendimento do problema, como também a solução. No capítulo seguinte, discutir-se-á sobre como esta lacuna será tratada em futuras aplicações desta oficina.

Para a realização dos experimentos 1 e 2, foram separadas algumas molas de *nylon* confeccionadas pelos aplicadores da oficina e devidamente analisadas

através da Lei de Hooke. No primeiro experimento, buscou-se demonstrar a elasticidade da mola ao inserir gradativamente pequenas massas de laboratório (a força que deforma a mola neste caso é a força peso). Ao afincar a primeira massa, percebia-se uma deformação da mola; ao afincar a segunda, uma deformação maior; e assim por diante. Os alunos tinham como tarefa analisar os valores obtidos a cada massa inserida através de uma tabela: para uma massa X (kg), houve uma deformação Y (cm) (Figura 3).

Ao final deste passo, iniciou-se o segundo experimento, que se trata de uma análise teórica sobre a constante elástica. A instrução se baseou em trazer a relação que existe entre as grandezas para o conceito matemático, através da **razão**. Ao fazer a divisão de cada valor obtido, foi percebido pelos participantes que o valor calculado se tratava de uma **constante**, ou seja, o mesmo valor para todas as razões feitas. Por fim, todas as tabelas feitas por eles entraram no diário de bordo, bem como os conceitos estudados.

Figura 3 – Alunos realizando as medidas da deformação da mola de *nylon*



Fonte: Próprio autor.

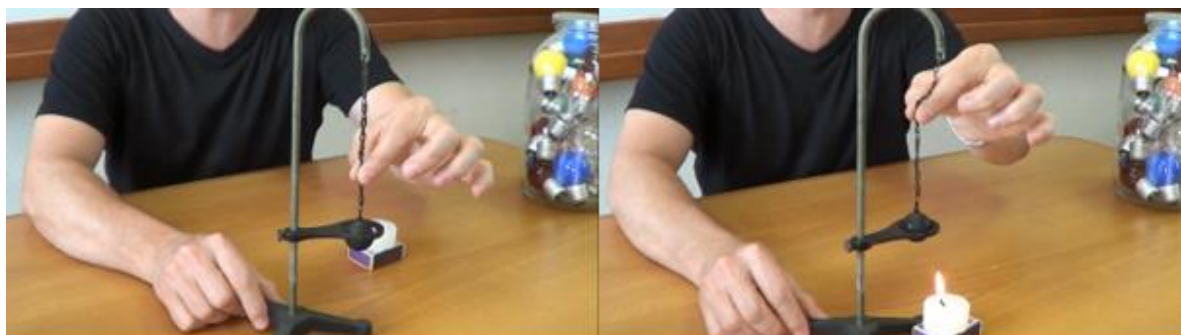
No terceiro e último dia da oficina, foram trabalhados conceitos da Biofísica atreladas ao músculo artificial. Até este momento, os estudantes conseguiram perceber que a mola de *nylon* que eles confeccionaram se tratava de um protótipo de um músculo artificial, sendo possível interligar os conceitos vistos no primeiro dia com os do segundo dia. Expondo as perguntas do bloco 1 e 2, sobre Biofísica e dilatação térmica, respectivamente, os alunos foram capazes de argumentar com mais

facilidade, em comparação aos outros dias – mesmo que eles não tivessem conhecimento sobre conceitos biofísicos.

Trazendo diversos exemplos onde a Biofísica funciona na área tecnológica e social, como por exemplo a biofísica molecular, fisiológica e da radiação, por ter mais relevância para esta oficina, as aplicações da biofísica fisiológica foram a pauta principal a ser discutida, especialmente a sua contribuição no contexto atual da sociedade. A maioria dos participantes argumentou que esse estudo beneficia no aprimoramento da robótica e em desenvolvimento de próteses para pessoas portadoras de necessidades especiais.

Para conectar o aporte teórico discutido com o experimento final, foi apresentado um vídeo que representava a dilatação de um corpo ao receber calor: uma esfera não conseguindo transpassar uma abertura após ter sido esquentada por um fósforo aceso (Figura 4).

Figura 4 – Experimento da esfera dilatada ao receber calor



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=9ETIFtspCTI>

Chegou-se à conclusão conjunta de que qualquer corpo que recebesse calor, se expandiria, aumentando então de tamanho – levando em consideração alguns exemplos que os próprios estudantes puderam expor durante a discussão, como por exemplo abrir uma jarra de condimento alimentar ao jogar água quente na tampa. Neste processo da construção do conceito, foi posto em prática então, o último experimento da oficina: aplicar calor à mola de *nylon* que eles construíram. A instrução se deu em utilizar da mesma estrutura do experimento anterior, onde tinha as molas de *nylon* (agora chamadas de protótipos de músculos artificiais) e algumas massas aferidas de laboratório. Ao invés de medir a deformação deste sistema, aplicou-se

calor através de um secador potente que pudesse esquentar significativamente a mola e extrair as devidas informações (Figura 5).

Figura 5 – Alunos transferindo calor para a mola de *nylon* ao segurar as massas.



Fonte: Próprio autor.

Todavia, o que foi observado algo curioso em relação aos conceitos de dilatação térmica. Os estudantes perceberam que, ao aplicar energia térmica, ou seja, calor, o músculo artificial não se expandiu, como foi o caso da esfera, e sim **contraiu**. Esta observação trouxe divergência de ideias, onde cada participante tentou encontrar uma resposta que fosse a mais plausível para explicar o que aconteceu neste momento do experimento. Apesar de terem feito uma discussão sobre as hipóteses a respeito do ocorrido, ninguém tinha certeza sobre o que realmente aconteceu.

O que explica este comportamento anômalo são as propriedades anisotrópicas do *nylon*, conhecido por ser um polímero. Essa discussão se estendeu a explicações feitas pelos aplicadores da oficina sobre os conceitos dos polímeros isotrópicos e anisotrópicos, carregado de informações novas para estudantes do Ensino Médio. Apesar de ser um conceito visto apenas no Ensino Superior, foi feita uma seleção de informações que fossem gerais sobre o conteúdo, explicando de forma bastante compreensível. Ao final da explicação, os alunos fizeram o último diário de bordo explicando o que aprenderam neste último dia.

Durante toda a oficina, foi evidente o processo de aprendizagem desenvolvido, através de uma abordagem investigativa, com perguntas levantadas

que, após encorajados os estudantes presentes fizeram, com o objetivo de aprimorar o conhecimento, a capacidade de emitir hipóteses, ter senso crítico e o poder da argumentação científica. Para além da aprendizagem, ainda foi possível perceber o interesse nestas disciplinas que comumente têm fama de serem difíceis e totalmente “decoráveis”, especialmente a Física, com as inúmeras equações que a compõe.

Com isso, os resultados apontam uma potencialização na aprendizagem na contextualização relacionados à Física e Biologia, bem como a nova disciplina proveniente da interdisciplinaridade, a Biofísica. Entretanto, ainda há um passo a ser dado referente aos conceitos de Física voltados para a matemática, onde ainda é visto como um impasse não só para estes alunos, mas também para qualquer sujeito que esteja no Ensino Médio. Tomando como base este problema, fez-se um estudo aprofundado sobre como o conhecimento é disposto no processo de aprendizagem, chegando assim à Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud – teoria que se explicará no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 4 – A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD

A fim de buscar novas respostas para compreender e solucionar esta dificuldade demonstrada no capítulo anterior, fez-se uma breve 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 deste capítulo, buscou-se entender os conceitos por trás dos elementos que compõem estes campos conceituais.

4.1. Gerárd Vergnaud

Matemático, filósofo e psicólogo francês, Gerárd Vergnaud, formado em Genebra, compôs o segundo conjunto de pesquisadores doutorados por Jean Piaget, além de ser professor emérito do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS), em Paris.

Por ter sido aluno de Piaget, o trabalho de Vergnaud teve muita inspiração nas teorias cognitivistas de seu orientador. Então, seu objetivo foi 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).

4.2. Campo Conceitual

Vergnaud como discípulo de Piaget, formulou a Teoria dos Campos Conceituais, uma teoria cognitivista de aprendizagem que vai além das ideias de seu antecessor. Segundo 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)

Além disso, 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 um campo conceitual é o de estruturas multiplicativas, onde o domínio deste campo é formado por situações em que abrange todas as diferentes formas que estão atreladas à operação multiplicação (função linear, função não-linear, fração, razão, taxa, proporcionalidade, multiplicação e divisão) (MOREIRA, 2002). Ou seja, para que haja um domínio completo sobre problemas matemáticos que envolvem estruturas multiplicativas, é necessário dominar as várias formas em que são formadas essas situações – entretanto, este processo requer tempo e dedicação para que seja conquistado. 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 diz 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 eles 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.

4.3. Conceitos

O significado de conceito, pela definição do dicionário, é: a percepção que alguém possui sobre algo ou alguém; a capacidade intelectual e cognitiva do ser humano (Disponível em: www.dicio.com.br/conceito). A definição, para o Vergnaud, traz uma analogia da matemática que diz que o conceito é composto de um tripeto de

três conjuntos. Esses conjuntos são definidos como S, I e R, representando então o conceito, por $C = (S, I, R)$. Então, por definição (MOREIRA, 2002):

- 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.

4.4. Situações

A partir do conceito de campo conceitual e do conceito propriamente dito, é explicado por Moreira (2002) que cada campo conceitual é composto por uma série de situações, onde o conjunto dessas situações é que darão 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).

4.5. Esquemas

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”.

É neste estudo de Vergnaud (1990) 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 facilita uma melhor organização dos esquemas do sujeito perante um conceito, mesmo que seu esquema esteja distante do real.

Segundo Moreira (2002), Vergnaud define 4 ingredientes dos esquemas, que são:

- 1) Metas e antecipações;
- 2) Regras de ação, busca por informações e controle;
- 3) Invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação);
- 4) Possibilidades de inferência (ou raciocínios);

Percebe-se que os esquemas se referem a situações ou classes de situações. Essas classes se distinguem em dois tipos (MOREIRA, 2002):

- 1) Classes de situações em que o sujeito dispõe de competências necessárias ao tratamento imediato da situação;
- 2) Classes de situações em que o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias em um momento imediato, obrigando-o a ter um tempo para reflexão sobre a situação envolvida.

A partir dessa diferença entre as classes de situações, o conceito de esquema não funciona igualmente nas duas classes: no primeiro, por ser algo de imediato, aparecem condutas sistemáticas e pré-determinadas pelo sujeito; e no segundo, será necessário um período maior para reflexão e, conseqüentemente tendo a necessidade de sucessivos esquemas que podem até mesmo entrar em competição entre si para atingir a meta desejada. (MOREIRA, 2002).

4.6. Invariantes Operatórios

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).

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DA APLICAÇÃO DA OFICINA SOB A PERSPECTIVA DA TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS

5.1. Metodologia

Com base na teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e o Ensino por Investigação, numa abordagem interdisciplinar, foi desenvolvida uma pesquisa qualitativa e interpretativa através da oficina “Construindo um Músculo Artificial” que foi aplicada a um grupo de discentes e docentes.

Devido o momento pandêmico atual, a aplicação presencial da oficina se tornou inviável em virtude dos protocolos de biossegurança, tendo que manter o distanciamento social. Intitulada “Construindo um Músculo Artificial”, a oficina então foi reestruturada para que fosse aplicada na categoria remota. Para que a aplicação entrasse em concordância com a proposta do projeto e tenha um retorno significativo do público-alvo (estudantes do Ensino Médio da região metropolitana de Belém), a versão remota da oficina foi primeiramente aplicada na sua versão “piloto” para discentes e docentes da Universidade Federal do Pará, – integrantes do grupo Núcleo de Estudos REPENSE, situado no laboratório de Física/Ensino do campus Belém da UFPA – e logo depois, para novos ingressantes no curso de Licenciatura em Física do turno da noite, que recém chegaram do Ensino Médio. As análises das discussões e resultados inseridos neste capítulo foram baseadas na aplicação da oficina com este último grupo, por se aproximarem mais do público-alvo.

A oficina, por ser interdisciplinar, trabalha os conceitos de Biologia, Física e Biofísica durante sua aplicação. Por isso, ela permaneceu na divisão de três dias, seguindo esta ordem para construir o conhecimento do tema principal, que é o músculo artificial. Além da divisão por disciplina, também foi feita a divisão por momentos, sendo o primeiro momento aplicado de maneira síncrona; e o segundo, de maneira assíncrona.

A apresentação síncrona exige um contato direto e instantâneo entre o apresentador e o receptor, ou seja, há uma comunicação imediata que traz o diálogo entre os participantes. Já a apresentação de maneira assíncrona é caracterizada por ter uma comunicação atemporal – onde o contato é indireto através de mensagens

que podem ser vistas posteriormente (Disponível em: <https://vaipe.com.br/blog/comunicacao-sincrona-e-assincrona/>).

Sendo assim, a divisão ficou estabelecida como mostrado no Quadro 2:

Quadro 2 – Divisão dos momentos da oficina remota

	PRIMEIRO MOMENTO (SÍNCRONO)	SEGUNDO MOMENTO (ASSÍNCRONO)
DIA 1	Apresentação de Slides 1 (Biologia)	Vídeos 1 e 2 Questionário 1
DIA 2	Apresentação de Slides 2 (Física)	Vídeo 3 Questionário 2
DIA 3	Apresentação de Slides 3 (Biofísica)	Vídeo 4 Questionário 3

Fonte: Próprio autor.

Para o primeiro momento (síncrono), foi utilizada a plataforma *Google Meet* como meio de comunicação entre os aplicadores da oficina e os participantes, pois há uma grande liberdade de poder ver e ouvir todos presentes. O segundo momento (assíncrono) foi mediado a partir da utilização da plataforma *Google Classroom*, contemplada com vídeos em formato “.mp4” e questionários criados a partir do *Google Formulário*.

Assim como na oficina presencial, nos dois momentos da oficina remota em que acontecem as atividades, também são feitas perguntas direcionadas aos estudantes em que é possível agora discutir sobre o que até então eles dominam sobre uma determinada **situação** para construir o **conceito** abordado.

5.2. Diagrama lógico da Oficina

A investigação em sala de aula atualmente é utilizada no ensino com finalidades como o desenvolvimento de habilidades cognitivas nos alunos, a realização de procedimentos como elaboração de hipóteses, anotação e análise de dados e o desenvolvimento da capacidade de argumentação (ZOMPÊRO; LABURU, 2011).

Com base neste conceito, a oficina “Construindo um Músculo Artificial” foi esquematizada para que siga uma lógica conceitual sobre cada assunto para ser trabalhado no primeiro momento (síncrono) e, por fim, extrair o conhecimento prévio deles sobre cada um dos assuntos. Foi feita uma divisão por blocos, sendo que cada um aborda um conceito advindo de um campo conceitual.

5.2.1. DIA 1 – PRIMEIRO MOMENTO

Bloco 1: Ciência

Pergunta 1: *O que você entende por Ciência?*

Pergunta 2: *O que você entende por conhecimento científico?*

Pergunta 3: *O que é Biologia?*

Pergunta 4: *O que é Física?*

Pergunta 5: *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 músculos

Pergunta 1: *Qual a propriedade em que todos os tipos de músculo têm em comum?*

Pergunta 2: *É possível comparar essa propriedade com outros objetos que você conheça?*

5.2.2. DIA 1 – SEGUNDO MOMENTO

Vídeo 1: Simulação de um coração expandindo e contraindo.

Vídeo 2: Um sistema de molas atravessadas transversalmente (Figura 6) entre si, formando uma rede de molas sobrepostas de maneira longitudinal, recebendo força de mãos humanas a fim de esticar a configuração deste.

Figura 6 – Rede de molas de nylon.



Fonte: Próprio autor.

Questionário 1:

Pergunta 1: *O que você entende por Ciência?*

Pergunta 2: *O que você entende por conhecimento científico?*

Pergunta 3: *Com base nos Vídeos 1 e 2 disponíveis que você assistiu, cite 3 semelhanças e diferenças entre eles.*

5.2.3. 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?*

Bloco 2: Deformidade

Pergunta 1: *O que é a deformidade de um corpo?*

Pergunta 2: *O que são deformação elástica e deformação plástica?*

Pergunta 3: *Você conhece uma deformação plástica? Cite.*

Bloco 3: Grandezas Físicas

Pergunta 1: *É possível medir uma força?*

Pergunta 2: *É possível medir uma distância?*

Pergunta 3: *Como consigo relacionar duas grandezas?*

Bloco 4: Proporcionalidade

Pergunta 1: *O que é ser proporcional?*

Pergunta 2: *De acordo com o vídeo da mola de nylon sendo esticada, o que acontece quando é colocada as massas na extremidade da mola?*

Pergunta 3: *Elas são diretamente ou inversamente proporcionais?*

Pergunta 4: *De acordo com o experimento que foi feito pelo aplicativo, ao encontrar a razão entre as grandezas, que valor você encontrou?*

5.2.4. DIA 2 – SEGUNDO MOMENTO

Vídeo 3: Criação de uma mola de fio de nylon.

Vídeo 4: Experimento com a mola de nylon sendo esticada verticalmente pela força proveniente de pequenas massas de laboratório.

Questionário 2:

Pergunta 1: *O que são deformação elástica e deformação plástica?*

Pergunta 2: *Cite exemplos de deformações elásticas e deformações plásticas do seu cotidiano.*

Pergunta 3: *O que acontece quando são colocadas as massas na extremidade da mola?*

Pergunta 4: *Quais são as grandezas envolvidas?*

5.2.5. DIA 3 – PRIMEIRO MOMENTO**Bloco 1: Biofísica e suas características**

Pergunta 1: *O que é biofísica?*

Pergunta 2: *Qual a importância desse estudo?*

Pergunta 3: *O que ela tem a ver com o músculo humano?*

Bloco 2: Dilatação térmica

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

Pergunta 2: *Com base no vídeo da mola de nylon receber calor, por que ele contrai em vez de dilatar?*

Bloco 3: Músculo artificial de nylon

Pergunta 1: *O nylon, ao ser torcido, tem propriedade isotrópica ou anisotrópica?*

Pergunta 2: *É possível criar um sistema de músculos artificiais feitos de nylon?*

Pergunta 3: *Quais são as aplicações de um Músculo Artificial?*

5.2.6. DIA 3 – SEGUNDO MOMENTO

Vídeo 5: Experimento de dilatação térmica onde uma pequena esfera não consegue transpassar uma abertura devido a transferência de calor.

Vídeo 6: Experimento com a mola de nylon com as massas acopladas recebendo calor através de um secador de cabelo potente.

Questionário 3:

Pergunta 1: *O que acontece com corpos no geral quando esquentam?*

Pergunta 2: *Ao analisar o vídeo da mola recebendo calor, o que aconteceu?*

Pergunta 3: *Qual é a característica que justifica o comportamento da mola?*

Pergunta 4: *Faça um pequeno resumo sobre o que você aprendeu na Oficina do Músculo Artificial e o que foi mais surpreendente na sua opinião.*

5.3. Análise das discussões realizadas nos 3 dias da aplicação da oficina

5.3.1. DIA 1

No bloco 1, deste primeiro momento, foi presenciado o debate entre *o que é fazer ciência* e *o que é possuir conhecimento científico*, tendo sido explanado que as duas tinham relação com fazer experimento, medições, coletas de dados, etc. A partir desse debate, foi pensado na Ciência propriamente dita e suas ramificações, como a Física, Química, Biologia, etc. Feitas essas perguntas, foi possível perceber que elas podem ter uma relação entre si, confirmada na pergunta 5, através de diversas situações, como na astrobiologia, estudo da matéria e suas propriedades e a biofísica – onde se torna o foco desta oficina.

Antes de se aprofundar no conceito de Biofísica, primeiro é necessário entender o que é a Biologia. Por ser a ciência da vida, ela é muito vasta e cheia de ramificações, trazendo então apenas o estudo do corpo humano, mais especificamente, a anatomia do sistema muscular. Neste ponto foram feitas as perguntas 1, 2 e 3 do bloco 2, para entender qual a finalidade do músculo e porque o ser humano consegue se movimentar através deles.

Já no bloco 3, é discutido se existem diferentes tipos de músculos e qual a finalidade de cada um no corpo humano. Cada tipo de músculo foi exemplificado com imagens e *Gifs* que demonstram situações em que os participantes estejam familiarizados. Foi percebido pelos participantes, então, que os músculos no geral

apresentam uma propriedade em comum: tanto os músculos cardíacos, quanto o esquelético e o liso, têm a capacidade de se deformar de acordo com a função de cada um. Se por um lado o músculo cardíaco se expande e contrai involuntariamente, o músculo esquelético e o liso fazem o mesmo, porém de forma voluntária. Relacionando esse raciocínio com a pergunta 3, obteve-se respostas como “*xuxinha*” de cabelo, liga de elástico e molas da cama.

A última atividade para finalizar o DIA 1 foi apresentar uma imagem de uma pequena mola de nylon (figura 2) e fazer um questionamento aberto sobre como é possível transformar um fio comum de nylon (fio de pesca) em uma mola. Todavia, os participantes não precisavam responder de maneira síncrona; na verdade, o questionamento teve como objetivo elaborar hipóteses em cima da criação desta mola. A discussão voltará no início do DIA 2 para começar na discussão que remeta à **elasticidade**, tema do próximo bloco.

Durante o momento em que as perguntas foram feitas, foi possível verificar uma breve discussão entre alguns participantes relacionada a cada bloco. Pelo formato da oficina ser online, percebeu-se uma pequena resistência entre alguns dos participantes de responder às perguntas. Esta observação levantou hipóteses sobre qual seria a melhor abordagem para trabalhar as perguntas. Apesar disso, a interação no geral foi aproveitada conforme a oficina seguia o seu percurso.

5.3.2. DIA 2

Por ser o dia mais denso em conteúdo, o DIA 2 precisou ter mais blocos que o primeiro devido a quantidade de conceitos a serem trabalhados para construir o conceito que é procurado – a Lei de Hooke.

Antes de começar o assunto proposto neste dia, primeiramente foi realizada uma recapitulação do que foi deixado em aberto no dia anterior, – *como transformar um fio de nylon em uma mola?* – abrindo uma série de discussões e variadas hipóteses. Depois de várias tentativas dos participantes, um vídeo da criação da mola foi apresentado para todos: o fio de nylon é contorcido utilizando uma batedeira de cozinha (ou uma furadeira) sendo uma de suas extremidades presa a um desses equipamentos e a outra extremidade presa a um suporte de metal. Ao ligar a batedeira, o fio começa a girar no mesmo sentido que a palheta da mesma, fazendo

assim com que ele se contorça até o momento exato em que se torna uma pequena mola, mudando totalmente sua configuração inicial de fio. A partir deste ponto, é possível perceber que esta mola desenvolveu características elásticas – sucedendo assim, a discussão do primeiro bloco do DIA 2.

Começando com o bloco 1, os participantes responderam sobre corpos elásticos terem a capacidade de deformar e voltar ao seu tamanho original, relacionando todos os exemplos que já apareceram desde então (objetos do dia a dia, os próprios músculos e a mola de nylon) trazendo a discussão para o bloco 2, que traz questionamentos sobre essas deformidades que os corpos apresentam. É feita, então, a distinção entre objetos que conseguem voltar ao seu tamanho original ao serem deformadas, porém também há matérias que não conseguem e, conseqüentemente, se tornam deformados eternamente. Ao inserir a pergunta 3 deste bloco, foi possível perceber que os participantes puderam dar mais exemplos e, conseqüentemente, a percepção de que é preciso aplicar uma **força** para que haja essa deformação (seja elástica ou plástica) – tendo assim uma relação com o bloco 4, sobre grandezas. Força é uma grandeza em que é possível medir e encontrar valores numéricos, bem como a massa, o comprimento de uma mola e o tempo.

Até este momento, foi visível para os participantes que o conceito a ser apresentado estava sendo construído de forma gradual entre diversas situações, que vão definir o conceito em que a oficina propõe. Quando é discutido sobre as grandezas “força” e “comprimento de uma mola”, a pergunta 3 do bloco 3 é feita e foi possível relacionar essas duas grandezas e, por fim, saber se elas têm essa relação direta ou inversa (bloco 4).

No bloco 4, é identificado o que é a proporcionalidade e quais são as possibilidades das grandezas se relacionarem. Para exemplificar uma proporção direta, foi utilizada uma situação característica da região:

“Se o preço de 1 litro de açaí é R\$10,00, quantos reais seriam 2 litros?”

Da feita que era obtida a resposta, era mudado o valor de uma grandeza para perceber a relação:

“E quanto seriam 3 litros? E 10 litros?”

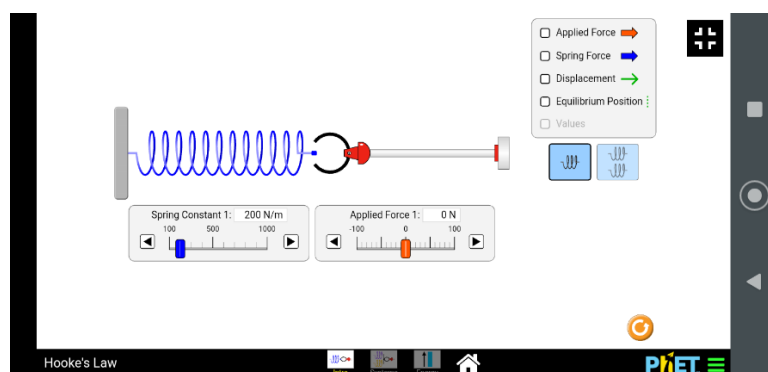
Já na proporção inversa, a situação apresentada foi sobre encher um tanque de 10 litros com água com 2 vasilhas de 5 litros cada uma.

“E se cada vasilha tivesse 2 litros, quantas vasilhas serão necessárias para encher o tanque?”

“E uma vasilha de 1 litro?”

A parte teórica e a imersão em várias situações, ao final dessas perguntas sobre a proporcionalidade, teve como objetivo focar na proporcionalidade entre força e deformidade – pois é neste ponto que a oficina tem sua chave principal. Os participantes tiveram que fazer o *download* de um aplicativo que simula diversos experimentos físicos, chamado *“Chemistry & Physics simulations”* (Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.kiwix.kiwixcustomphet>), e utilizar a simulação chamada *“Lei de Hooke”*. Neste aplicativo, é possível interagir com a simulação de uma mola presa a um ponto fixo em uma extremidade, e um anel interligado a outra extremidade, a fim de deformar a mola da feita que é movimentada na horizontal (Figura 7).

Figura 7 – Experimento realizado no aplicativo *“Chemistry & Physics simulations”*



Fonte: Aplicativo *“Chemistry & Physics simulations”*.

Os participantes puderam manipular essa mola virtual com base nas seguintes instruções:

- Aplique uma determinada força qualquer e verifique quanto alongou a mola;
- Faça o mesmo, agora duplicando a força;
- Triplique a força.

A cada aplicação da força realizada na mola, foi pedido para que os participantes anotassem o valor da força e quanto a mola foi deformada. Depois de três medidas feitas, a instrução agora foi calcular a **razão** entre a força e a deformação, chegando a um valor numérico constante (k) que, logo depois, foi apresentado como *constante elástica de deformação*, expressa pela equação:

$$\frac{F}{\Delta x} = k. \quad (2)$$

Diante desta equação, por fim, chega-se à *Lei de Hooke*, que expressa a seguinte máxima:

“As forças deformantes são proporcionais às deformações elásticas produzidas.”

Matematicamente, ela pode ser descrita em módulo, como:

$$F = k\Delta x, \quad (3)$$

onde F representa a força atuante no sistema, k é a constante elástica e Δx a deformação que a mola exerce, sendo esta a diferença entre o ponto de equilíbrio da mola e o ponto em que ela é esticada devido a força aplicada.

Para concluir o DIA 2, foi mostrado um vídeo da mola de nylon (que foi construída no início do encontro) em um experimento realizado pelos aplicadores da oficina. Neste experimento, foi acoplado à mola de nylon um gancho para inserir algumas massas com valores arbitrários. A cada massa inserida no gancho, percebia-se um aumento da deformação da mola, concluindo assim que a relação matemática encontrada pelos participantes fosse comprovada experimentalmente.

Durante o processo investigativo para chegar à Lei de Hooke, foram trabalhados os elementos básicos que compõe esta lei da mecânica, para finalmente chegar-se a sua representação simbólica, como foi visto na equação (3), e por fim, verificar experimentalmente seu comportamento.

Na aplicação piloto desta oficina, não foi possível apontar os invariantes operatórios no DIA 2 referentes ao campo conceitual das estruturas multiplicativas pois no momento o mais importante foi realizar testes sobre como aplicar a oficina no formato remoto, que até então era o maior desafio.

5.3.3. DIA 3

No último dia da aplicação da oficina, o DIA 3, é feita uma breve revisitação de uma das primeiras discussões feitas no primeiro dia: *é possível entrelaçar a Biologia e a Física?* Ao voltar sobre o tema, uma série de relações entre essas duas ciências foram mencionadas (biofísica molecular, fisiológica e da radiação), mas apenas uma é interessante neste projeto – a Biofísica Fisiológica. Ao fazer a pergunta 3 do bloco 1, analisa-se qual realmente é a ligação desse estudo com o músculo que foi estudado no primeiro dia. Durante essa discussão, os participantes comentaram que, até o momento, o estudo dos músculos foi direcionado às suas características de contração e expansão (propriedade que remete à elasticidade). Existe, então, o entrelaçamento da Biologia com a Física a partir deste ponto.

Entretanto, a oficina carrega em seu título um outro tipo de músculo que ainda não foi mencionado. Se existem 3 tipos de músculos (cardíacos, esqueléticos e lisos), há também a categoria não biológica pertinente a ser estudado, principalmente no século do desenvolvimento tecnológico. O músculo artificial é relevante em diversos contextos, como o tecnológico (robótica), o social e na medicina, visando a inclusão e o bem estar de uma parcela da população. Em um questionamento rápido, os aplicadores perguntaram o que é necessário para que um músculo humano, mais especificamente o músculo esquelético, precisa para obter seus movimentos de contração e expansão. Segundo os participantes, é necessário estímulos neurais para que seja possível o movimento. No músculo artificial, como não há esse estímulo, é necessária outra forma de conseguir a mobilidade.

Para demonstrar esse estímulo, foi mostrado o vídeo de uma esfera transpassando uma abertura circular (vídeo 5), de diâmetro um pouco maior que a própria esfera, sem dificuldades. Ao esquentar a esfera, é tentado novamente fazê-la passar pela mesma abertura, porém ela fica presa no meio do percurso. Fazendo a pergunta 1 do bloco 2, instantaneamente obteve-se repostas sobre dilatação térmica: o aumento da temperatura de um corpo faz agitar as suas moléculas, fazendo com que o espaço entre elas aumente e faça o objeto como um todo expandir em todas as suas dimensões. Então, foi mostrado o vídeo da mola de nylon recebendo calor também, bem como a esfera, só que agora com um secador de cabelo potente. Neste momento, a expectativa era de acontecer exatamente o que aconteceu com a esfera.

Esquentando a mola, contendo as massas acopladas a ela, foi possível perceber um comportamento atípico e completamente diferente da expectativa: a mola não dilatou, e sim contraiu, diminuindo seu comprimento, fazendo com que as massas subissem como consequência da diminuição de tamanho da mola.

A partir da pergunta 2 deste mesmo bloco, que os participantes não conseguiram chegar à conclusão do porquê a mola contrai em vez de dilatar, foi feita uma breve explicação sobre as propriedades do nylon. Este material é um tipo de polímero (conjunto de várias micromoléculas interligadas entre si) que é capaz de ter características distintas de acordo com o estímulo que receberá, seja estímulos mecânico, térmico ou termomecânico. De acordo com o vídeo 5, o estímulo causado no fio de nylon foi o térmico (transferência de calor através do secador). Todavia, foi questionado pelos participantes que um fio de nylon comum dilata a ponto de derreter, um tipo de situação que já é conhecido por eles. O que muda, de fato, é que ao torcer este fio, a estrutura das posições das moléculas é modificada – transformando o fio, que tinha propriedade isotrópica, em uma mola com propriedade anisotrópica (pergunta 1 do bloco 3). Essas propriedades definem como cada polímero reage de acordo com os estímulos recebidos, sendo o isotropismo tendo as mesmas propriedades físicas em que é destinado, e o anisotropismo tendo propriedades físicas diferentes conforme as diferentes direções.

Por fim, através da pergunta 2 do bloco 3, a discussão chegou na relação da transferência do calor fazer a mola de nylon (músculo artificial) contrair, como se fosse um músculo humano se contraindo ao carregar objetos. Então, se uma mola é capaz de realizar esse movimento, um conjunto de molas pode até mesmo carregar algum tipo de objeto com certa massa consideravelmente relevante, remetendo assim à criação de sistemas robóticos e próteses humanas.

Como conclusão, estabeleceu-se as seguintes características de um músculo artificial feito de mola de nylon:

- 1) Apresenta características anisotrópicas ao ser torcido;
- 2) É sensível ao calor;
- 3) É utilizado na construção de sistemas robóticos análogos ao sistema humano.

5.4. Conclusão da aplicação da oficina online

Através das discussões feitas durante toda a oficina, foi percebido que os participantes conseguiram construir o conhecimento do conceito de músculo artificial, além de compreender de que maneira a Física e a Biologia conseguem se interligar no que se chama “interdisciplinaridade”. Ao fim da aplicação do projeto, foi possível analisar a evolução dos participantes na argumentação de determinados tópicos ao responder os questionários, que direcionavam a eles perguntas feitas anteriormente durante as discussões, mas agora com caráter investigativo e diagnóstico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução do ensino de ciências trouxe muitas discussões de novas formas de aprendizagem ao longo dos últimos anos. Com a ajuda da Pesquisa Cognitiva que alavancou os estudos em todas as áreas do conhecimento a partir da década de 60, as abordagens investigativas ganharam espaço nas disciplinas de ciências naturais, mais especificamente a Física, com o propósito de aproximar a cultura científica no cotidiano dos aprendizes. Apesar de ainda existir um longo caminho para que estas novas percepções da educação se perpetuem no âmbito escolar, este trabalho mostrou que é possível inserir novas metodologias, aos poucos, na vivência dos estudantes.

A oficina “Construindo um Músculo Artificial” é um projeto originalmente pensado para estreitas relações entre a Ciência e estudantes do Ensino Médio por meio da educação STEAM e ensino por investigação, a fim de instigar os alunos a desenvolver o pensamento crítico e científico perante situações existentes em seu cotidiano. Entretanto, devido o atual momento de pandemia causada pela Covid-19, buscou-se trazer esta oficina, que já existia no formato presencial, para o formato remoto (online). No momento em que estava sendo desenvolvida, apontou-se algumas dificuldades como: barreiras de comunicação, a perda do momento em que a mola de nylon é construída pelos alunos e, principalmente, a dificuldade de observar os esquemas e os invariantes operatórios dos alunos durante a oficina. Por isso, foi necessário um tempo maior para que a adaptação fosse feita da melhor maneira possível, além de realizar a oficina piloto e a aplicação com os calouros na graduação em Física, antes de ser aplicada com os alunos do Ensino Médio, a fim de evitar possíveis erros de organização e analisar o tempo da oficina.

Durante a aplicação desse projeto, a pesquisa sobre os campos conceituais de Vergnaud trouxe diversas reflexões sobre os conceitos em que são abordados os temas da oficina, bem como a Ciência no geral – além de ter uma outra perspectiva centrada na evolução cognitiva perante um problema científico em que o sujeito é submetido. A fundamentação teórica até aqui mostrou que, ao abrir discussões sobre um determinado conceito, é possível identificar as situações envolvidas a este conceito, ou seja, um conjunto de situações dão sentido ao conceito; os invariantes operatórios que ordenam o pensamento do sujeito, e as representações simbólicas

atreladas ao conceito. Tomando como premissa o entendimento destes elementos que compõe um campo conceitual, além de identificá-los ao longo do processo de aprendizagem, é possível trabalhar conceitos científicos de maneira gradual e de acordo com o que o aprendiz já conhece. Para dominar um conhecimento, seja de Física ou Matemática, Vergnaud afirma que é necessário tempo, experiência e amadurecimento do aprendiz; e utilizando as novas abordagens descritas neste trabalho, foi possível pontuar uma potencialização do aprendiz – contribuindo consideravelmente no domínio dos conceitos estudados.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO Jr, G. e AGUIAR Jr., O.; **Os Campos Conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 25, n. 2: p. 207-227, ago. 2008.
- CARVALHO, A. M. P. **O ensino de ciências e a proposição de sequências de ensino investigativas**. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.) Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013, cap. 1, p. 1-20.
- Como levar o STEAM para a sala de aula**. Nova Escola. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/18021/como-levar-o-steam-para-a-sala-de-aula>. Acesso em 15/08/2021.
- DELATORRE, P.; **Biofísica para Ciências Biológicas / Plínio Delatorre**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2015.
- FERRAZ, A. T., SASSERON, L. H; **Propósitos epistêmicos para a argumentação em aulas investigativas**. Investigações em Ensino de Ciências 22 (1), 42 (2017).
- FILHO, E. P. A.; PEREIRA, F. C. F.; **Anatomia Geral**. INTA & PRODIPE. 1ª edição. Sobral. 2015.
- LØKLINGHOLM, K.; **Walking robot with artificial muscles made of fishing line: Exploration of a nylon 6 polymer actuator**. Dissertação apresentada para o grau de Mestre em Robótica e Sistemas Inteligentes. UNIVERSITY OF OSLO, 2018.
- MOREIRA, M. A.; **Aprendizagem significativa em mapas conceituais**. Textos de Apoio ao Professor de Física 24 (6), 2013.
- MOREIRA, M. A; **A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a Pesquisa nesta Área**; Investigações em Ensino de Ciências, V7(1), pp. 7-29, 2002.
- REZENDE JR., M. F. e CUSTÓDIO, J. F.; **A Teoria Dos Campos Conceituais De Vergnaud: Considerações Para Propostas De Inserção Da Física Moderna No Ensino Médio**; IV Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências.
- ROSA, Cleci Werner; ROSA, Álvaro Becker. **O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais**. Revista Ibero-americana de Educação, [s. l.], v. 58, n. 2, p. 1-24, 2012.
- SASSERON, L. H. **Interações discursivas e investigação em sala de aula: O papel do professor**. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.) Ensino de Ciências por investigação: Condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013, cap. 3, p. 41-61.
- SANDERS, M. (2009). **STEM, STEM Education, STEM Mania**. Technology Teacher, 68(4).
- SOLINO, A. P.; FERRAZ, A. T.; SASSERON, L. H.; **Ensino por investigação como abordagem didática: desenvolvimento de práticas científicas escolares**. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física, p. 1-6, 2015.
- SIGNIFICADO DE CONCEITO**. Dicionário Online de Português. Disponível em: www.dicio.com.br/conceito. Acesso em 20/03/2021.

SANTANA, Eurivalda; ALVES, Alex Andrade; NUNES, Célia Barros.; **A Teoria dos Campos Conceituais num Processo de Formação Continuada de Professores.** Bolema, Rio Claro, v. 29, n. 53, p. 1162-1180, dez. 2015.

STEM OU STEAM – O que é isso? Mundo STEAM. Disponível em: <https://www.educasteam.com.br/2019/11/10/stem-ou-steam/>. Acesso em: 15/08/2021.

THIESEN, J. S.; **A interdisciplinaridade como um movimento articulador no processo ensino-aprendizagem.** Revista Brasileira de Educação v. 13 n. 39 set./dez. 2008

TOMA, Radu Bogdan; GRECA, Ileana M., **The Effect of Integrative STEM Instruction on Elementary Students' Attitudes toward Science.** Departamento de Didácticas Específicas, Universidad de Burgos, SPAIN. December, 2017.

VERGNAUD, G. et al. **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, 1990.

VERGNAUD, G.; **Multiplicative structures.** In Lesh, R. and Landau, M. (Eds.) **Acquisition of Mathematics Concepts and Processes.** New York: Academic Press Inc. pp. 127-174, 1983.

YOUNG, H.D.; FREEDMAN, R.A.; **Física I: Mecânica.** Addison Wesley, São Paulo, 2008), 12a ed., p. 193-194.

ZOMPERO, A. F., & LABURÚ, C. E. **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, 2010.