

Verificando indicadores de invariantes operatórios mobilizados no ensino-aprendizagem da hidrostática

Examining indicators of operational invariants in the teaching and learning of hydrostatics

Ivan Targino Ponciano Filho¹, Ronaldo Júlio Baganha², Gabriel Dias de Carvalho Junior³

RESUMO: O presente artigo é resultado de uma pesquisa realizada no âmbito do Mestrado Profissional em Educação Profissional e Tecnológica (ProfEPT). Tal pesquisa, de abordagem qualitativa, apresenta os resultados de uma intervenção didática para o ensino dos conceitos e teoremas da hidrostática para alunos do terceiro ano do ensino médio integrado de um campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG). Foi adotado como lastro teórico a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), desenvolvida por Gérard Vergnaud, que articula, de forma complementar, a Epistemologia Genética de Jean Piaget e a Psicologia Sociocultural de Lev Vygotsky. Objetivamos, assim, por meio da conformação e do desenvolvimento de uma sequência de ensino, promover um estudo de caso instrumental. Ao fazer uso de questionário e gravações como instrumento de pesquisa, também objetivamos verificar indicadores de invariantes operatórios mobilizados pelos alunos participantes acerca dos conceitos inerentes à estática dos fluidos. A conclusão deste trabalho aponta para a compreensão de que a TCC se mostra um referencial teórico coerente e eficiente para o desenvolvimento e aprimoramento de uma prática didática alternativa no campo do ensino da física.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Física; Teoria dos Campos Conceituais; Invariantes Operatórios.

ABSTRACT: The present article stems from research conducted within the framework of the Professional Master's Program in Professional and Technological Education. This qualitative study presents the outcomes of a didactic intervention designed to teach the concepts and theorems of hydrostatics to third-year students enrolled in the integrated high school program at a campus of the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Minas Gerais (IFMG). The investigation is theoretically grounded in Gérard Vergnaud's Theory of Conceptual Fields (TCF), which articulates, in a complementary manner, Jean Piaget's Genetic Epistemology and Lev Vygotsky's Sociocultural Psychology. The objective of this study was to design and implement a teaching sequence that would serve as an instrumental case study. By employing questionnaires and audio

¹ Universidade do Vale do Sapucaí, Doutorando em Educação do Programa de Pós-Graduação em Educação, Conhecimento e Sociedade (PPGEduCS), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6174-8270>. E-mail: ivan.targino@yahoo.com.br.

² Universidade do Vale do Sapucaí, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4828-5212>. E-mail: ronaldobaganha@univas.edu.br.

³ Université de Namur/Université Catholique de Louvain, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1776-1186>. E-mail: gabriel.carvalho@unamur.be.

Revisado pela Profa. Ma. Patrícia Ferreira Ramos em 12 de novembro de 2025. Contato: professorapatrícia.texto@gmail.com.

recordings as research instruments, this study also aims to identify indicators of operative invariants mobilized by participating students in relation to concepts inherent to fluid statics. The findings indicate that the TCF constitutes a coherent and effective theoretical framework for the development and enhancement of an alternative didactic practice in the field of physics education.

KEYWORDS: Physics Teaching; Theory of Conceptual Fields; Operative Invariants.

INTRODUÇÃO

O presente artigo apresenta um recorte dos resultados de uma investigação que deu suporte à dissertação de mestrado profissional em Educação Profissional e Tecnológica (ProfEPT) de um dos autores. Nosso objetivo geral foi examinar as possibilidades abertas pela utilização da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) como referencial teórico e metodológico para a formulação de intervenções didáticas no ensino da hidrostática. Na referida investigação, buscamos, como um dos objetivos específicos, identificar indícios de invariantes operatórios (Vergnaud, 1993, 1998) mobilizados neste campo conceitual pelos estudantes participantes.

Trata-se, aqui, de uma pesquisa aplicada de abordagem qualitativa (Ludwing, 2014), na qual se promoveu um estudo de caso instrumental (Alves-Mazzotti, 2006; Teixeira, 2015), por meio da conformação e aplicação de uma sequência de ensino (SE), fazendo uso de questionários e gravações como instrumentos de pesquisa. A pesquisa contou com a participação de estudantes do 3º ano do ensino médio integrado, com idades entre 17 e 19 anos, de uma escola pública da Rede Federal de Educação Profissional e Tecnológica do interior de Minas Gerais.

A pergunta que se coloca como problema central da pesquisa relatada é: em que bases o modelo psicológico da TCC pode se conformar como suporte teórico-metodológico para a modelagem de ações didáticas alternativas no ensino da hidrostática visando superar as barreiras de aprendizagem existentes?

Existe, no âmbito da pesquisa em ensino de ciências, um importante esforço de profissionais da área em construir, desenvolver e conformar propostas didáticas que permitam avanços no processo de ensino-aprendizagem. O maior desafio que está colocado é a forma como todos os esforços e êxitos dessas pesquisas se materializam no chão das escolas e na relação cotidiana entre os agentes envolvidos na prática escolar.

Das diversas concepções em voga no âmbito do ensino de física, podemos separá-las em duas matizes antagônicas: a matematizada e a conceitual. Na abordagem matematizada, as equações prevalecem sobre os conceitos, cabendo ao professor transmitir aos alunos esses conceitos e dedicar seus esforços para melhor explicar matematicamente os fenômenos. Já na abordagem conceitual, busca-se, essencialmente, o entendimento dos conceitos, priorizando os debates e discussões em torno das opiniões nascidas na análise dos fenômenos (Carvalho Jr., 2011).

A conclusão deste trabalho aponta para a compreensão de que a conceitualização se configura como uma forma coerente e eficiente para o ensino dos fenômenos físicos, sendo que a TCC oferece o lastro teórico-metodológico necessário para essa perspectiva. Este esforço é, ao nosso ver, um aporte relevante no campo do aprimoramento do ensino da física.

REFERENCIAL TEÓRICO

A TCC, proposta por Gérard Vergnaud, estabelece um diálogo entre a Epistemologia Genética, de Jean Piaget, e a Psicologia Sociocultural, de Lev Vygotsky. Além disso, considera a conceitualização do real o cerne do desenvolvimento cognitivo. Ao utilizar-se da TCC como base teórico-metodológica, pode-se analisar a trajetória de aprendizagem de um sujeito diante do enfrentamento de uma situação, um problema a ser superado, como bem afirmam Carvalho Jr. e Aguiar (2008):

Com a análise do sujeito de situação, proposta por Vergnaud, podemos pesquisar e compreender melhor a evolução temporal dos sujeitos à medida que aprendem, bem como pensar em planejamentos de intervenções didáticas centradas nas características dos conteúdos que serão estudados. Para o autor, o desenvolvimento cognitivo é fortemente influenciado pelo conteúdo do ensino. A sua teoria dos campos conceituais afirma que o ponto fundamental da cognição é o processo de conceitualização do real, atividade psicológica interna ao sujeito que não pode ser reduzida nem a operações lógicas gerais, tampouco às operações puramente linguísticas (Carvalho Jr.; Aguiar, 2008, p. 210-211).

Ao tratar da conceitualização, Vergnaud (1993, 1998) refere-se a um processo não relacionado apenas ao campo da didática, mas à psicologia e ao desenvolvimento cognitivo mais geral. Em outras palavras, a TCC não se conforma em uma teoria didática, ainda que demonstre ter forte validade e aplicação nesse campo, mas, sim, em uma teoria psicológica, tratando, de fato, de como aprendemos, e não necessariamente de como podemos ensinar um conceito ante a uma situação.

CAMPO CONCEITUAL, CONCEITO E ESQUEMA NA TCC

De acordo com Carvalho Jr. (2011, p. 31), um campo conceitual é “um conjunto de conceitos e situações cujo domínio se dá ao longo de um extenso período de tempo e articula uma grande quantidade de relações entre conceitos”. Segundo a TCC, o conhecimento está organizado em campos, e o entendimento ou domínio de um dado campo, por parte de um indivíduo, é construído num largo período de tempo, considerando o acúmulo de experiência, a maturidade e a aprendizagem, ou seja:

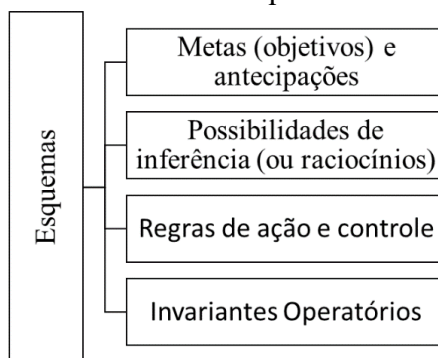
o domínio de um campo conceitual não ocorre em alguns meses, nem mesmo em alguns anos. Ao contrário, novos problemas e novas propriedades devem ser estudados ao longo de vários anos se quisermos que os alunos progressivamente os dominem. De nada serve tentar contornar as dificuldades conceituais; elas são superadas na medida em que são encontradas e enfrentadas, mas isso não ocorre de um só golpe (MOREIRA, 2002, p. 8).

Por conceito na TCC, referimo-nos a “uma trinca indissolúvel e coordenada entre situações (S), as representações semióticas (R) e os invariantes operatórios (I)” (Carvalho Jr., 2011, p. 31). Nessa trinca, as situações dão significado ao conceito, os elementos semióticos (linguagem verbal e simbólica) correspondem aos significantes do conceito e os invariantes operatórios são dotados da operacionalidade do conceito, já que é aqui que se localizam as formulações e regulações que permitem ao indivíduo atuar frente ao problema.

É nítida a influência piagetiana nas elaborações da teoria de Vergnaud, “na ideia central de que o sujeito trabalha internamente para construir relações entre objetos (físicos e psicológicos)” (Carvalho Jr., 2011, p. 32). Porém, diferente de Piaget, a TCC “não procura construir uma teoria geral para o desenvolvimento. Ao contrário, procura relacionar o desenvolvimento do sujeito com as tarefas que esse sujeito é levado a resolver” (Carvalho Jr., 2011, p. 60).

Uma categoria central na TCC é a noção de esquema. Longe de ser entendido como um algoritmo ou uma receita de ações predefinidas, o esquema deve ser entendido como a organização invariante do comportamento diante de uma determinada situação (Moreira, 2002). Segundo Vergnaud, “o conceito de esquema é muito frutífero, não somente para descrever comportamentos familiares, mas também para descrever e compreender os processos de resoluções de problemas” (Vergnaud, 1998, p. 173). Aqui, Vergnaud identifica quatro elementos que compõem um esquema:

Figura 1: O conceito de esquema em Vergnaud.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Nesse diagrama, cabe um destaque inicial para as metas (objetivos) e antecipações, uma vez que um determinado esquema sempre busca a superação de uma determinada classe de situações. A sequência de ações do sujeito em situação é orientada pelas regras de ação e controle. Os invariantes

operatórios guiam a construção dos modelos mentais. As possibilidades de inferência (ou raciocínios) permitem determinar as regras e antecipações a partir das informações e dos invariantes operatórios de que dispõem os sujeitos (Vergnaud, 1998). Segundo Vergnaud:

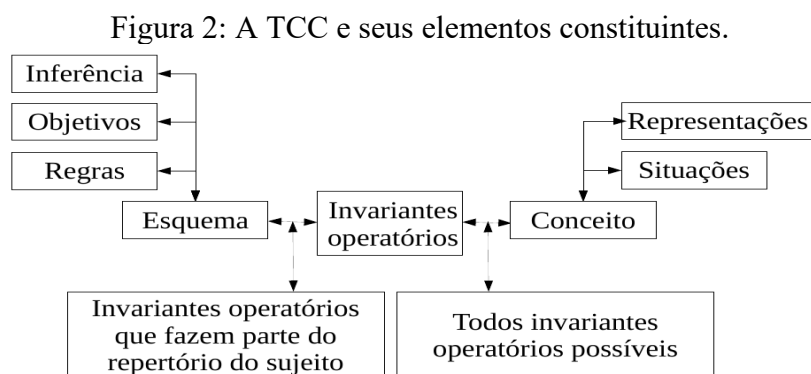
Destes ingredientes, os invariantes operatórios, cujas categorias principais são teoremas-em-ação e conceitos-em-ação, constituem a base conceitual implícita que permite obter a informação pertinente e, a partir dela e dos objetivos a alcançar, inferir as regras de ação mais pertinentes (VERGNAUD, 1993, p. 201).

Ao enfrentar uma determinada situação, a partir da ativação de um grupo de esquemas, um indivíduo seleciona os conceitos que lhe pareçam pertinentes, planeja sua intervenção e propõe iniciativas e respostas. Esse processo ocorre de forma complexa e exige uma articulação entre os recursos existentes no repertório cognitivo do sujeito. Os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação são as ferramentas epistêmicas que permitem um sujeito atuar em situação (Carvalho Jr., 2011).

Os conceitos-em-ação são constructos dos quais o indivíduo é dotado e são orientados para uma determinada classe de situações. Eles podem ser pertinentes ou não pertinentes e não são conceitos verdadeiros, por não serem oriundos de uma teoria científica. Já os teoremas-em-ação são responsáveis pela articulação entre conceitos-em-ação, podendo ser falsos ou verdadeiros (Carvalho Jr., 2011).

Nesse enunciado descritivo da TCC, está claro que a ação de um sujeito em situação exige a articulação entre diversos recursos do sujeito. Ao responder a uma determinada situação, os erros de um sujeito podem ter origem em duas dimensões: ou em um conceito-em-ação não pertinente ou em um teorema-em-ação falso. Cabe destacar que, nesse processo, os invariantes operatórios podem evoluir, ampliando as competências dos sujeitos segundo a TCC.

O diagrama a seguir traz uma forma sintetizada de representar a TCC:



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Os elementos dispostos à esquerda do diagrama estão relacionados aos aspectos subjetivos no processo de ensino-aprendizagem, cujo centro é delimitado pela noção de esquema. Como já dito, o esquema é composto pelas possibilidades de inferência (ou raciocínios), pelas regras de ação, pela busca por informações e controle, pelas metas e antecipações e pelos invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação). Já os elementos apresentados mais à direita da imagem estão ligados ao meio cultural no qual está imerso o indivíduo, ou seja, consiste na dimensão objetiva do processo de ensino-aprendizagem. Nessa dimensão, merece destaque o elemento “conceito”, que aqui descrevemos como a trinca: situações (para as quais a utilização do conceito é necessária), elementos ou representações semióticas (que permitem evocar o conceito) e invariantes operatórios (que podem ser mobilizados no sentido de tornar o conceito operacional) (Carvalho Jr., 2011).

O vínculo entre esses dois territórios é feito pelos chamados invariantes operatórios e se configura como um importante aporte de Vergnaud e de sua teoria. À primeira vista, cabe afirmar que está clara e coerente (embora não seja este o objeto de discussão deste artigo) a articulação entre a Epistemologia Genética e a Psicologia Sociocultural no âmago da TCC.

Como se vê, a ação do educador dá-se no campo objetivo, na proposição de situações que permitam, ao sujeito em ação, avanços na sua trajetória de apropriação de um determinado conceito, de ampliação de suas consequências e na evolução dos invariantes operatórios. A presente investigação apoia-se na hipótese de que a TCC, por seus pressupostos, é uma ferramenta teórico-metodológica que aporta satisfatoriamente para essa meta, apresentando “um grande potencial para descrever, analisar e interpretar aquilo que se passa em sala de aula na aprendizagem de matemática e ciências” (Moreira, 2002, p. 28).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

OS SUJEITOS ENVOLVIDOS, O LÓCUS E PERFIL DA PESQUISA

Trata-se, aqui, de uma pesquisa aplicada de abordagem qualitativa, por meio de um estudo de caso instrumental, fazendo uso de questionários e gravações como instrumentos de pesquisa. Para a construção dos dados, foi desenvolvida e aplicada uma sequência de ensino (SE) com a participação voluntária de alunos do 3º ano do ensino médio integrado, com idades entre 17 e 19 anos, de uma escola pública da Rede Federal de Educação Profissional e Tecnológica do interior de Minas Gerais, dos cursos técnicos integrados de Metalurgia (MET), Informática (INF) e Administração (ADM), conforme tabela abaixo:

Tabela 1: Turmas participantes

Turmas	Quantidade de participantes
Técnico Integrado de Metalurgia (MET)	23 alunos
Técnico Integrado de Informática (INF)	19 alunos
Técnico Integrado de Administração (ADM)	17 alunos

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

De forma geral os estudantes participaram de forma ativa e com bastante entusiasmo das atividades propostas. Tal pesquisa foi autorizada pelo Comitê de Ética em Pesquisa sob o número CAAE 18546619.1.0000.8122.

O lócus da pesquisa apresenta características específicas que destoam fortemente da realidade da ampla maioria das escolas públicas de educação básica no país. A começar pela infraestrutura da unidade, que dispõe de laboratórios, salas de informática, biblioteca, espaços de vivências e outros equipamentos que permitem um ambiente salutar para o desenvolvimento de atividades educativas.

Junto a isso, também merecem destaque os serviços de assistência sociopedagógica dados aos estudantes, a exemplo do acompanhamento de pedagogos, psicólogos, assistentes sociais e enfermeiros dentro do campus. E, por fim, o quadro docente formado por professores com dedicação exclusiva, que, além das atividades de ensino, dedicam-se à construção de projetos de pesquisa e extensão e que dispõem de recursos laborais que lhes permitem o melhor desenvolvimento de sua docência se conforma como outro importante diferencial dessa rede de ensino. O ingresso dos alunos no ensino médio integrado ocorre por meio de seleção pública promovida anualmente e tem como pré-requisito a conclusão do ensino fundamental.

Nossa escolha por esse público encontra assento nas características do ProfEPT. Esse programa de mestrado se preocupa em investigar, notadamente, os pressupostos, os desafios e os quotidianos da Educação Profissional e Tecnológica brasileira. Nesse sentido, a didática da Física para a EPT deve ser problematizada e investigada em seu lócus próprio.

PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Aplicamos a SE em quatro horas-aulas em cada turma. Em cada momento, apresentamos um experimento confeccionado com recursos de baixo custo que demonstrava um fenômeno relacionado aos conceitos e teoremas da hidrostática, de tal forma a constituir uma situação que motivava a discussão coletiva entre os estudantes. A sequência das atividades ocorreu nas turmas segundo o cronograma a seguir:

Quadro 1: Cronograma de Aplicação da SE.

Aula	Conteúdo	Atividades / Experimentos
1	Pressão Atmosférica	Balão no Copinho, Hemisférios de Magdeburgo
2	Pressão e Teorema de Pascal	Caneta na palma da mão, Disputa das Seringas
3	Teorema de Arquimedes	Ludião
4	Densidade e Avaliação da SE	HQ/Cartilha e Formulário de Avaliação

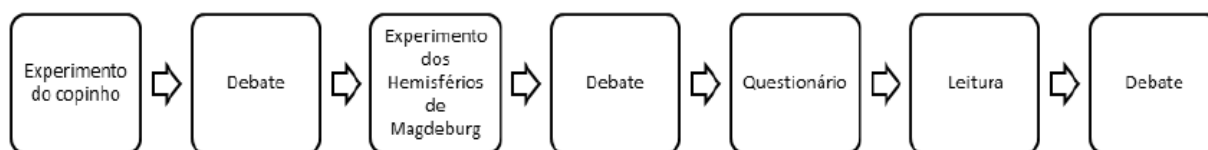
Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Dado o propósito do presente artigo, de apresentar um recorte da pesquisa mais geral, e os limites impostos pela amplitude dos dados da pesquisa, dedicaremos, aqui, esforços apenas na apresentação e análise dos dados obtidos nas aulas 1 e 2, que se mostram ricos e possibilitam alcançar o objetivo aqui estabelecido.

Aula 1: Pressão atmosférica

Na primeira aula, estabelecemos como objetivos didáticos a comprovação da existência da pressão atmosférica e a compreensão, pelos alunos, do conceito e das propriedades da pressão atmosférica. A expectativa era de que os estudantes pudessem identificar a existência da pressão atmosférica, relacionando-a com a existência de uma quantidade de matéria presente numa camada da atmosfera acima dos corpos. Para tanto, sugerimos situações que provocassem os participantes nessa perspectiva de construção do conhecimento. A referida aula foi conduzida em todas as turmas, conforme fluxograma descrito na figura a seguir:

Figura 3: Cronograma de Aplicação da SE.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Para a primeira experiência, cada aluno recebeu uma bexiga e um pequeno copo plástico descartável, desses utilizados para beber café. Seguindo a orientação que consta na cartilha de aplicação da SE, os alunos colocaram o balão ainda vazio no interior do copinho e foram orientados a enchê-lo.

Em decorrência desse procedimento, ao ganhar volume, o balão ocupa, gradativamente, a parte do interior do copinho, expulsando o ar ali contido, de tal forma que a pressão atmosférica na

parte interior do copo se torna menor que a pressão na parte exterior, fazendo com que o copo permaneça preso à superfície do balão e, em alguns casos, sofra também uma leve deformação.

Figura 4: Experimento do copinho com o balão.

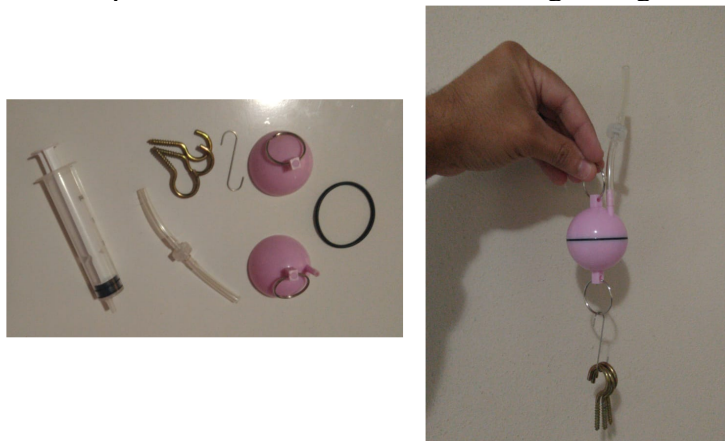


Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Propositadamente, alguns dos copos distribuídos foram furados com uma agulha, o que impedia que esse fenômeno ocorresse; pretendíamos que isso fosse um fato gerador de questionamento e debate.

No segundo experimento, utilizamos um aparato que simula, em menores dimensões, o mesmo instrumento utilizado pelo físico alemão Otto Von Guericke (1602-1686) para provar a possibilidade da ausência de matéria em determinada região do espaço. Nesse experimento, temos duas semiesferas de plástico e um anel de vedação de borracha entre elas. Em uma das semiesferas, temos um orifício pelo qual é possível retirar boa parte do ar com o auxílio de uma seringa e de uma válvula de fluxo unidimensional que permite a saída de ar, mas não sua entrada após retirada a seringa. Depois de realizada a montagem e a retirada do ar de seu interior, nota-se que a esfera permanece firmemente unida, mesmo quando foram pendurados nela pequenos pesos. Isso se dá porque a pressão exercida pelo ar no exterior do aparato, a pressão atmosférica, é maior que a pressão exercida pela pouca quantidade de ar em seu interior, o que prova a existência da pressão atmosférica.

Figura 5: Experimento dos Hemisférios de Magdeburgo.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Aula 2: O conceito de pressão e Teorema de Pascal

Os objetivos da segunda aula foram que os estudantes pudessem compreender a relação entre pressão, área de contato e força de aplicação, que pudessem entender como se dá a “multiplicação” de forças em um sistema hidrostático e que conseguissem identificar e relacionar as aplicações práticas do Teorema de Pascal. Para construir as situações para a análise e discussão, foram apresentados dois problemas: a caneta na palma da mão e a disputa das seringas. O fluxograma a seguir resume a condução da aula:

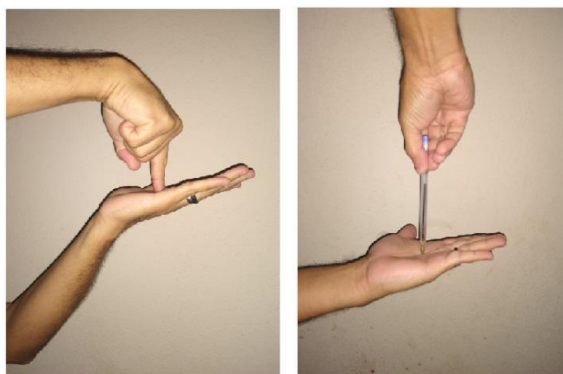
Figura 6: Aplicação da Aula 2 sobre pressão e Teorema de Pascal.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Inicialmente, pedimos aos alunos que, com a ponta do dedo indicador direito, pressionassem com bastante força a palma da mão esquerda. Mesmo com certo desconforto, o procedimento foi executado com bastante entusiasmo pelos alunos em todas as turmas que participaram. Logo após, foi proposto que o procedimento fosse repetido, utilizando a mesma intensidade de força, com a ponta de uma caneta. De forma quase instintiva e imediata, todos se negaram à tarefa, por saberem que, disso, decorreria alguma lesão e significativa dor.

Figura 7: Experimento da caneta na palma da mão.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Essa postura intuitiva dos participantes se remete ao conceito de pressão: razão entre a intensidade de uma força perpendicular a uma superfície e a área da referida superfície. Ou seja, utilizando a mesma intensidade de força com as pontas do dedo e da caneta, a pressão sobre a palma da mão é superior com a ponta da caneta, porque a área de contato é bem menor: a experiência realizada com a ponta da caneta seria bastante dolorosa.

Para a segunda atividade da aula, foram utilizados aparatos a partir da junção de duas seringas de diâmetros diferentes por meio de uma pequena mangueira. O interior do sistema foi preenchido de água, configurando um sistema de vasos comunicantes.

Figura 8: Experimento da disputa das seringas.



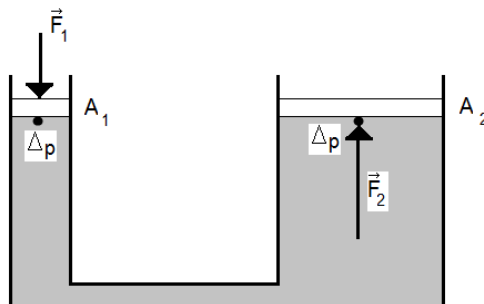
Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Esse experimento consiste em propor uma disputa entre dois alunos para verificar quem seria capaz de deslocar o êmbolo da seringa adversária. Ao se realizar a competição, verifica-se que o vencedor é aquele que conta com a seringa de menor diâmetro de seção transversal.

Ainda que o resultado do experimento possa parecer contraditório, uma vez que há uma tendência em acreditar que o mecanismo capaz de exercer mais força sobre o outro seja aquele aparentemente mais robusto, o efeito verificado é coerente com o Teorema de Pascal e o conceito de pressão. Segundo o teorema formulado por Blaise Pascal, ao se exercer um incremento de pressão

em um determinado ponto de um fluido, essa pressão se distribui integralmente a todos os demais pontos desse fluido, tal como explica a figura abaixo:

Figura 9: Representação das grandezas no Teorema de Pascal.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

À medida que o incremento de pressão decorrente da aplicação da força no êmbolo de menor seção se distribui integralmente para todos os pontos do fluido presente no vaso comunicante, esse incremento de pressão, ao atuar na superfície do êmbolo de maior seção, acaba por “multiplicar” a força sobre essa superfície, dada a relação de proporcionalidade entre as grandezas. Assim, como $A_2 > A_1$, decorre que $F_2 > F_1$, dado que as pressões acarretadas são iguais nos pontos adjacentes ao êmbolo.

ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS

Foi usada como técnica de análise dos dados, a análise de conteúdo formulada por Bardin (1977). Optamos, aqui, por apresentar a análise dos dados coletados na aplicação das aulas 1 e 2, pelo recorte sugerido neste artigo, de forma comparativa entre as turmas, buscando identificar os invariantes operatórios mobilizados pelos alunos participantes que surgiram no decorrer do desenvolvimento das atividades.

Ainda que tenha sido aplicada a SE nos três cursos integrados existentes hoje na escola, optamos por restringir a análise comparativa dos dados aos cursos de Metalurgia (MET) e Informática (INF), descartando, após análise prévia, os turnos de fala e registros escritos coletados na turma de Administração (ADM). Mesmo diante da riqueza de dados acumulados junto a essa última turma, nessa primeira verificação, concluímos haver grande similaridade entre os dados coletados nela e na turma de INF, de forma que essa restrição da amostra de investigação não acarreta prejuízo para os objetivos da presente pesquisa.

Uma questão muito relevante para a análise dos dados dá-se no fato de que, das três turmas, apenas a turma de Metalurgia já havia tido contato com o conteúdo abordado na sequência em uma disciplina técnica no ano letivo anterior.

O início da análise dos dados se deu com a audição e transcrição de todos os registros contidos nos gravadores usados no decorrer das aulas, e pela leitura e sistematização dos questionários. Logo após, foi feita uma tabulação e organização desses dados e realizada uma análise preliminar do material. A referida análise, juntamente com os dados brutos, foi compartilhada entre os pesquisadores envolvidos na investigação, e, em três reuniões, tratamos de dividir impressões e conclusões sobre os elementos ali identificados. Em todo esse processo, buscamos identificar variáveis e categorias que se constituíssem em indícios dos invariantes operatórios utilizados pelos alunos de forma que, não constitui parte dos objetivos desta pesquisa, até o momento, estabelecer a distinção entre os conceito-em-ação e teorema-em-ação nos dados construídos e analisados.

Apresentamos os episódios que julgamos mais representativos e dotados de significado em nossas análises e avaliação – por serem respostas mais recorrentes ou, ainda, por destoarem muito da compreensão apresentada majoritariamente pela turma – e que apresentavam indícios de variáveis que faziam parte do repertório acumulado pelos sujeitos. Partimos, ainda, do entendimento de que a interação social entre os sujeitos envolvidos na pesquisa constitui um elemento muito importante para a construção e formatação do conhecimento (Carvalho Jr., 2005).

Nos episódios apresentados, reconhecemos que a natureza das construções não é individual, mas que se coloca em um plano coletivo, sendo que as ideias, as concepções e os conceitos são compartilhados pelos integrantes dos grupos que interagem, não pertencendo a um sujeito em particular. A partir dessas interações, porém, cada sujeito, em função de seus esquemas cognitivos, compromissos e suas concepções, constrói modelos de funcionamento distintos uns dos outros, permitindo que as trajetórias de aprendizagem que queremos investigar sejam pessoais (CARVALHO JR., 2005, p. 103).

Na apresentação dos dados e resultados, optamos por não identificar nominalmente os alunos. Para a indicação dos pesquisados, utilizaremos “Aluno” ou “Aluna”, seguido por um número de identificação e pela sigla referente a sua turma entre parênteses, tal como nos exemplos a seguir: “Aluno 1 (MET)”, que corresponde ao aluno 1 do curso de Metalurgia; “Aluna 1 (INF)”, que corresponde à estudante 1 da turma de Informática; ou “Aluno 2 (ADM)”, que correspondendo ao aluno 2 da turma de Administração. Tal numeração seguiu a ordem de participação dos alunos.

ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS COLETADOS NA AULA 1 E A VERIFICAÇÃO DE INDICADORES DE INVARIANTES OPERATÓRIOS

A turma de Metalurgia contou, nesta aula, com 23 participantes. Como já explicado anteriormente, os alunos já tinham estudado hidrostática em uma disciplina técnica/específica em um semestre anterior. Já a turma de Informática, que contou com 24 participantes, nunca havia tido contato com esse conteúdo no curso. Em ambas as turmas, os alunos demonstraram, a todo o momento, muito interesse e participação no decorrer da aplicação e do desenvolvimento das atividades, ainda que a turma de Informática tenha tido uma postura de maior espontaneidade ao propor soluções e iniciativas.

Um episódio bastante simbólico e dotado de muito significado para nossa análise foi o questionamento da Aluna 3 (MET) ao final do debate em torno do experimento dos Hemisférios de Magdeburgo: “mas o que isso tem a ver com hidrostática?”. Nesse questionamento, ela busca generalizar sua compreensão (ainda em construção até aquele momento) com a noção compartilhada inicialmente sobre a hidrostática e sua aplicação tecnológica e cotidiana.

Esse esforço não é comumente verificado numa abordagem matematizada no ensino desse campo da física, nem foi constatado na análise das outras turmas envolvidas (aquelas que não tiveram anteriormente uma disciplina técnica sobre a aplicação desse campo da física em tecnologias do mundo do trabalho). Por sua vez, percebemos que não houve, por parte da turma de Informática, diálogos e discussões que tentaram relacionar o conteúdo que estava sendo estudado com sua aplicação tecnológica no mundo do trabalho.

Opinamos que essa distinção entre as turmas ao buscarem respostas, relações e aplicações desses conceitos ao mundo do trabalho seja consequência da influência das disciplinas de caráter técnico. E isso pode ser entendido como parte da proposta de ensino integrado na Educação Profissional e Tecnológica (EPT) vigente nos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia (Brasil, 2008), que, entre outros aspectos, contribuem para uma formação não fragmentada e parcial dos estudantes (Araújo; Frigotto, 2015).

A partir da leitura e da análise comparativa dos dados coletados nas duas turmas, verificamos três variáveis predominantes na forma com a qual os alunos buscaram explicar os fenômenos, que são indicadores de Invariantes Operatórios mobilizados em torno do conceito de Pressão Atmosférica: (1) tentou-se explicar ambos os experimentos a partir de propriedades e características intrínsecas aos objetos; (2) buscou-se, ainda, tentar explicar o comportamento do copinho e do balão como sendo resultado da ação de uma força exercida pelo balão no copinho; (3) tentou-se explicar o comportamento dos corpos a partir da ação do vácuo.

As respostas a seguir mostram a tendência em se explicar o experimento do copinho por meio das características dos corpos:

Questão a: Por qual motivo o copinho foi levemente amassado quando você enchia o balão?

Aluna 1 (MET): *Devido o copinho ser deformado e ele ficou preso, impedindo a passagem do mesmo.*

Questão c: Por que alguns copinhos não ficaram grudados nos balões?

Aluna 7 (MET): *Por causa que alguns copos estão furados e facilitando a passagem do ar dificultando a pressão do balão.*

Questão c: Por que alguns copinhos não ficaram grudados nos balões?

Aluno 5 (MET): *Porque eles não conseguem fazer a pressão por causa dos buracos. O buraco não deixa a pressão aumentar, permanecendo sempre a mesma.*

No que diz respeito ao grupo de alunos que buscou explicar o comportamento do copinho e do balão como sendo resultado da ação de uma força exercida pelo balão no copinho, compartilhamos a fala do Aluno 1 (INF), considerando, ainda, a imprecisão de conceito ao tratar “pressão” como “força”:

Aluno 1 (INF): Eu acho que, tipo... pressão atmosférica. Na hora que você enche o balão aqui, a pressão que o balão exerce no copinho de dentro pra fora meio que segura ele aqui, só que, como tá furado – não sei se fala assim – a atmosfera não tem como entrar no copinho e não deixa ele grudar.

E, ainda, a resolução sugerida pelo Aluno 2 (MET):

Questão b: O que faz com que alguns copinhos permaneçam grudados nos balões?

Aluno 2 (MET): *A força que o balão exerce sobre o copo é igual a que o copo exerce no balão.*

Ainda que menos representativo, verificamos alunos que explicaram o comportamento dos corpos como sendo resultado da ação do vácuo sobre eles. Vejamos:

Questão a: Por qual motivo o copinho foi levemente amassado quando você enchia o balão?

Aluno 3 (INF): *O ar que havia no copinho foi expulso pelo balão criando um vaco (sic) capaz de prender o copinho e o amassar (sic).*

Esta última análise surgiu em poucas explicações apresentadas pelos alunos, ainda assim merece a citação por indicar uma forma bastante peculiar e destacável que pode vir a ser encontrada em outras experiências similares.

ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS COLETADOS NA AULA 2 E A VERIFICAÇÃO DE INDICADORES DE INVARIANTES OPERATÓRIOS

Em ambas as turmas, essa aula foi bastante determinada pelo fato de que o tempo disponível estava comprometido, uma vez que as atividades da aula inicial (aula 1) sobre pressão atmosférica extrapolaram o cronograma previsto. Além do tempo, que comprometeu o debate mais coletivo de cada questão levantada, verificamos que a formulação do item “b”, de forma demasiadamente objetiva, não ajudou a criar uma situação que permitisse avanços na construção dos conceitos pelos participantes. Dessa forma, todos os alunos responderam à pergunta de maneira objetiva e direta, sendo necessária a devida reformulação na cartilha de aplicação da SE.

Novamente, verificamos, nessa aula, a tendência já demonstrada anteriormente pela turma de Metalurgia em generalizar suas conclusões sobre os fenômenos estudados buscando relacioná-las à aplicação técnica das propriedades e fenômenos estudados no chamado mundo do trabalho. Tal situação pode ser vista pelas indicações e observações apresentadas pelo Aluno 2 (MET) quando questionado pelo pesquisador:

Pesquisador: Isso explica, então, por que é mais doloroso utilizar a ponta da caneta na palma da mão com uma pequena força do que utilizar a ponta do seu dedo na palma da mão com uma força maior?

Aluno 1 (MET): Porque a área é menor, logo, a pressão é maior.

Aluno 2 (MET): É isso que tem a ver com a prensa hidráulica?

Aluna 3 (MET): Então, ele aumenta a força, né?!

Aluno 2 (MET): Igual o macaco hidráulico daquelas oficinas.

Ao verificarmos os dados coletados, percebemos que predominou, entre os estudantes, o entendimento correto da relação de proporcionalidade entre as grandezas envolvidas no primeiro experimento, da caneta na palma da mão, como podemos constatar nas respostas ao questionário:

Questão a: Explique o motivo pelo qual é mais doloroso aplicar uma pequena força para pressionar a ponta de sua caneta na palma da mão, se comparado com uma força de maior intensidade, ao pressionar seu dedo indicador no mesmo local.

Aluna 6 (MET): *Pelo fato da área (sic) de contato ser menor e a pressão maior.*

Aluna 3 (INF): *Porque a superfície de contato é menor e a pressão é exercida de forma maior, ou seja, são inversamente proporcionais.*

Mesmo com essa predominância, foi possível identificar a ocorrência de uma variável que indica fortemente um invariante operatório na forma com a qual esses alunos constroem o conceito

de pressão: a equiparação da noção de pressão ao conceito de força. No diálogo a seguir, percebemos essa variável:

Pesquisador: Quem vai ganhar essa disputa? Quem tá com a seringa maior ou com a menor?

Aluna 7 (MET): A seringa maior. Ela é mais forte.

Aluno não identificado: Depende também da força de cada um.

Aluno 3 (MET): Isso mesmo. Não tem como saber sem saber quem vai ficar com a seringa pequena.

Esse experimento nos permitiu identificar essa variável que indica a presença de um invariante operatório. Além disso, ele também se mostrou bastante útil e eficiente como recurso didático para promover o debate e para demonstrar que essa relação de equivalência entre força e pressão não se mostra pertinente na construção do conceito de pressão à medida que a aplicação deste conceito demonstra categoricamente o equívoco, permitindo avanço na compreensão do fenômeno e na construção do conceito por parte dos alunos.

UM QUADRO RESUMO DOS INDICADORES DE INVARIANTES OPERATÓRIOS VERIFICADOS

Diante da análise comparativa apresentada dos dados coletados com a aplicação das Aulas 1 e 2, apresentamos um quadro resumo para explicitar as variáveis identificadas no procedimento de pesquisa:

Quadro 2: Indicadores de Invariantes Operatórios verificados.

Sobre o Conceito de Pressão Atmosférica (Aula 1)
• Tentou-se explicar ambos os experimentos a partir de propriedades e características intrínsecas aos objetos; • Tentou-se explicar o comportamento do copinho e do balão como sendo resultado da ação de uma força exercida pelo balão no copinho; • Tentou-se explicar o comportamento dos corpos a partir da ação do vácuo.
Sobre o conceito de Pressão e o Teorema de Pascal
• Buscou-se estabelecer a relação de proporcionalidade entre pressão, força e a área de contato; • Buscou-se a equiparação do conceito de força ao conceito de pressão.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Reforçamos que não é parte dos objetivos da pesquisa, nesta primeira incursão, estabelecer a distinção entre os conceito-em-ação e teorema-em-ação nos dados analisados, mas tão somente verificar indicadores de invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes no estudo dos conceitos abordados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais desta investigação apontam para a compreensão de que a TCC se mostra um referencial teórico e metodológico coerente e eficiente para o desenvolvimento e aprimoramento de intervenções didáticas alternativas e de uma prática docente no campo do ensino da física distintos daqueles vigentes na contemporaneidade. Concluimos, destacando o quão importante é a ruptura com a prática de ensino matematizado dos campos conceituais da física. À medida em que construímos intervenções didáticas pautadas na experimentação, construindo uma relação de predominante diálogo entre os sujeitos, em que foi possível compartilhar e contrapor ideias e opiniões, verificamos a conformação de um espaço de ensino democrático e instigante, que educa os estudantes numa postura crítica, questionadora e transformadora no decorrer do processo de ensino-aprendizagem.

Outra conclusão que merece destaque neste trabalho se deu na verificação da forma com que os estudantes analisam os problemas que encontram, buscando generalizações e estabelecimento de relações com a materialidade de suas vidas. Essa postura contribui notadamente no processo de aprendizagem dos alunos, bem como em seus estilos e ritmos de construção de conclusões sobre determinado campo do conhecimento humano. Uma forma de constatar essa conclusão é reavaliar as interações dos alunos do curso de Metalurgia nas aulas sobre os conceitos de pressão e pressão atmosférica: sempre buscavam essa generalização e relação prática de suas conclusões com a aplicação tecnológica no âmbito do mundo do trabalho. Aqui, a ideia do desenvolvimento de esquemas a partir da vivência de situações semelhantes funciona muito bem.

Por todo exposto, julgamos que nosso esforço coletivo de construção e implementação desta pesquisa cumpre seu papel de contribuir para o debate e a defesa de um modelo de educação que tenha como horizonte a formação humana integral e a serviço da superação das contradições impostas pelo atual modelo de escola e sociedade. Além disso, esta pesquisa se conformou também em uma oportunidade para os pesquisadores nela envolvidos reavaliarem e reconstruírem suas práticas docentes, reafirmando a importância da pesquisa no campo do ensino de física para o estímulo aos sujeitos que dedicam seu cotidiano a uma atividade humana tão contraditória, desafiadora e recompensadora, apesar de tudo: a educação.

REFERÊNCIAS

ALVES-MAZZOTTI, A. J. Usos e Abusos dos Estudos de Casos. **Cadernos de Pesquisa**, v. 36, n. 129, p. 637-651, set./dez. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cp/v36n129/a0736129.pdf>. Acesso em: 09 set. 2020.

ARAÚJO, R. M. L.; FRIGOTTO, G. Práticas pedagógicas e ensino integrado. **Revista Educação em Questão**, v. 52, n. 38, p. 61–80, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/educacaoemquestao/article/viewFile/7956/5723>. Acesso em: 08 nov. 2020.

BARDIN, L. **L'analyse de contenu**. Paris: PUF, 1977.

BRASIL. **Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008**. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Ciência e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia. Brasília, 2008.

CARVALHO JR., G. D. **Trajetórias de aprendizagem de alunos de ensino médio: Produção de Significados em um Curso Introdutório de Física Térmica**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, UFMG, 2005.

CARVALHO JR., G. D. **Aula de física do planejamento à avaliação**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

CARVALHO JR., G. D.; AGUIAR JR., O. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 25, n. 2, p. 207-227, ago. 2008. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2008v25n2p207/5632>. Acesso em: 15 nov. 2020.

LUDWING, A. C. W. Métodos de Pesquisa em Educação. **Revista Temas em Educação**, v. 23, n. 2, p. 204-233, jul.-dez. 2014. Disponível em: <http://www.periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/rteo/article/view/18881/12572>. Acesso em: 08 set. 2020.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nessa área. **Investigações em Ensino de Física**, Porto Alegre, n. 07, p. 07-29. março de 2002. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/569/361>. Acesso em: 24 nov. 2020.

TEIXEIRA, N. F. Metodologias de Pesquisa em Educação: Possibilidades e Adequações. **Caderno Pedagógico**, v. 12, n. 2, p. 7-17, 2015. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/cadped/article/view/955/943>. Acesso em: 09 set. 2020.

VERGNAUD, G. Teoria dos campos conceituais. In: NASSER, L. (ed.). **Seminário Internacional de Educação Matemática**, Anais do Seminário, 1, 1993, Rio de Janeiro. Internacional de Educação Matemática. p. 1-26.

VERGNAUD, G. A Comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education. **Journal of Mathematical Behavior**, n. 17, v. 2, p. 167-181, 1998.