

Contribuições expressas por meio de Estratégias de Ensino Metacognitivas sobre o conceito de calor através de Invariantes operatórios mobilizados por alunos do Ensino Médio

DOI: <https://doi.org/10.33871/23594381.2023.21.2.7129>

Samira Cassote Grandi França¹, Luciano Carvalhais Gomes², Marcelo Christiano da França Júnior³

Resumo: Este trabalho tem por objetivo apresentar por meio de alguns invariantes operatórios mobilizados pelos alunos da segunda série do Ensino Médio as contribuições originadas pela aplicação de Estratégias de Ensino Metacognitivas. Estes resultados fazem parte de uma pesquisa maior de doutorado a qual buscou identificar quais contribuições que estratégias de ensino metacognitivas têm para trabalhar com os invariantes operatórios sobre o conceito de calor de alunos da segunda série do Ensino Médio. A aplicação deste estudo ocorreu em uma escola pública da cidade de Jardim-Mato Grosso do Sul, no ano de 2021, período de volta ao presencial em meio a pandemia da COVID-19. Participaram desta pesquisa trinta e oito alunos, dos quais foram analisadas apenas as respostas de vinte e um alunos que participaram de todas as aulas desenvolvidas. Em termos metodológicos, a pesquisa se desenvolveu por meio de uma observação participante, tendo como instrumento de coleta de dados um questionário aplicado em três momentos distintos guiados pelas estratégias de ensino metacognitivas. Para este artigo, selecionamos apenas uma das questões presente no questionário em que o fenômeno térmico se faz presente cuja pretensão era a compreensão e aplicação da concepção do calor como o nome convencional de um processo. A análise dos dados se perpetua pelos pressupostos da Teoria dos Campos Conceituais, na qual buscou-se evidenciar os invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) manifestados pelos alunos ao responderem as diferentes situações presentes no questionário. Os resultados identificados permitem inferir que as estratégias de ensino metacognitivas utilizadas potencializaram a construção de novos invariantes operatórios necessários para a compreensão dos processos microscópicos envolvidos nos fenômenos físicos associados com o calor. Além disso, mostram-se pertinentes para o processo de tomada de consciência de seus conhecimentos, de seus colegas e da ciência.

Palavras-chaves: Calor; Teoria dos Campos Conceituais; Metacognição.

Contributions expressed through Metacognitive Teaching Strategies on the concept of heat through operative invariants mobilized by high school students

Abstract: This work aims to present, through some operational invariants mobilized by the students of the second year of high school, the contributions originated by the application of Metacognitive Teaching Strategies. These results are part of a larger doctoral research which sought to identify what contributions metacognitive teaching strategies have to work with operative invariants on the concept of heat in second grade high school students. The application of this study took place in a public school in the city of Jardim-Mato Grosso do Sul, in the year 2021, a period back to face-to-face amid the

¹Doutoranda em Educação para a Ciência e a Matemática. Universidade Estadual de Maringá. E-mail: samyracassote@gmail.com

²Doutor em Educação para a Ciência e a Matemática. Docente associado do departamento de Física e do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática (PCM). Universidade Estadual de Maringá. E-mail: lcgomes2@uem.br

³Mestre em Engenharia Elétrica. Docente EBTT do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS). E-mail: marcelo.franca@ifms.edu.br

COVID-19 pandemic. Thirty-eight students participated in this research, of which only the responses of twenty-one students who participated in all the developed classes were analyzed. In methodological terms, the research was developed through participant observation, having as a data collection instrument a questionnaire applied in three different moments guided by metacognitive teaching strategies. For this article, we selected only one of the questions present in the questionnaire in which the thermal phenomenon is present, whose intention was to understand and apply the concept of heat as the conventional name of a process. Data analysis is perpetuated by the assumptions of the Theory of Conceptual Fields, in which we sought to highlight the operational invariants (concepts-in-action and theorems-in-action) manifested by the students when answering the different situations present in the questionnaire. The identified results allow us to infer that the metacognitive teaching strategies used potentiated the construction of new operational invariants necessary for the understanding of the microscopic processes involved in the physical phenomena associated with heat. In addition, they are relevant to the process of becoming aware of their knowledge, their colleagues and science.

Keywords: Heat; Conceptual Fields Theory; Metacognition.

Introdução

O ensino de Física pede por transformações que superem as velhas técnicas empiristas de transmissão de conteúdo, pois elas privilegiam mais a memorização do que uma compreensão consistente dos conceitos. Por consequência, muitas das concepções de fenômenos físicos que os alunos trazem para a sala de aula continuam persistindo após anos de instrução, sendo encontradas, inclusive, entre professores em situação de ensino.

De acordo com Nardi e Gatti (2005, p. 145), as primeiras pesquisas⁴ que identificaram esses problemas revelaram que existem padrões de respostas dos alunos a várias situações físicas, em contradição com o conhecimento científico atual, que são resistentes a mudanças. No início, essas concepções receberam nomes variados, por exemplo, “pré-concepções” e “misconception”. Após as críticas de Driver e Easley (1978) a essas denominações, o termo “concepções alternativas” ficou como o preferido pelos pesquisadores, trazendo a ideia de que estas possuem uma estrutura lógica e se apresentam quase do mesmo modo em diferentes indivíduos, não se tratando, desse modo, de meras opiniões fortuitas e equivocadas sobre os fenômenos.

As conclusões provenientes das pesquisas nessa área mostraram que além de apresentarem um caráter universal para cada conceito analisado e estar presentes em diversas idades, gêneros e culturas, algumas delas fizeram parte da história da ciência e foram consideradas científicas por décadas, por esse motivo se apresentam tão resistentes as mudanças favorecidas pelo ensino tradicional.

⁴ Doran (1972), Viennot (1979), Watts e Zylbertajn (1981) e Driver (1985).

A exemplo temos o conceito de calor que segundo Garcia Houcarde e Rodrigues de Avila (1985, p. 192, grifo nosso, tradução nossa) sua explicação física passou por três fases:

- a) O **calor é um fluido** contido nos corpos e intercambiável. b) O **calor é uma forma de energia** e c) O **calor é o nome convencional de um processo**.

Nesse aspecto percebemos o quão difícil tem sido seu ensino e aprendizagem, no qual, apesar das inúmeras pesquisas existentes nesse campo buscando identificar as concepções apresentadas pelos estudantes e mesmos as tentativas e propostas apresentadas, não foram suficientes para alterá-las. Desse modo, nosso principal interesse de pesquisa foi buscar alternativas para que o conceito de calor pudesse ser compreendido pelos estudantes.

Aguiar Júnior (2001, p. 2), ao fazer uma revisão crítica dos trabalhos que tinham como interesse modificar as concepções alternativas, informa-nos que:

Grosso modo, podem-se dividir os trabalhos em duas categorias, segundo a preocupação e a abordagem predominante-epistemológica ou psicológica. Os primeiros consistem em propor modelos para mudanças conceituais inspirados em trabalhos derivados da filosofia das ciências, ou seja, em projetar para a educação científica desafios semelhantes àqueles enfrentados historicamente pelas comunidades científicas quando do debate entre teorias rivais em um dado domínio do conhecimento. O segundo grupo de estudos insere-se no campo da psicologia cognitiva, no sentido de precisar o modo como as crianças pensam e os fatores que determinam ou favorecem mudanças ao longo de seu desenvolvimento e no curso da aprendizagem escolar em domínios específicos do conhecimento. Embora o olhar para a mudança seja distinto, quer se considere a perspectiva filosófica ou psicológica, não há, tampouco, consenso sobre a natureza das mudanças no interior de cada uma dessas abordagens.

Desse modo, em nosso trabalho de doutorado, realizamos uma pesquisa que se enquadra no campo da psicologia cognitiva por ter feito uma análise das concepções alternativas do conceito de calor a partir da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Vergnaud. Pois, assim como Moreira (2002), defendemos que a TCC é um referencial teórico rico para “[...] precisar o modo como as crianças pensam e os fatores que determinam ou favorecem mudanças ao longo de seu desenvolvimento e no curso da aprendizagem escolar [...]” (AGUIAR JÚNIOR, 2001, p. 2).

Cientes dessa realidade, o objetivo deste artigo é apresentar por meio de alguns invariantes operatórios mobilizados pelos alunos da segunda série do Ensino Médio as contribuições originadas pela aplicação de Estratégias de Ensino Metacognitivas, guiadas pelo seguinte problema de pesquisa: Qual é a contribuição que estratégias de ensino metacognitivas têm para trabalhar com os invariantes operatórios sobre o conceito de calor, de alunos da segunda série do Ensino Médio?

Sobre a metacognição, consideramos como o “conhecimento que o sujeito tem de seus próprios processos cognitivos, de seus produtos e de qualquer assunto que se relaciona a ele [...]” (FLAVELL, 1976, p.232). Em seus trabalhos Flavell (1976) destaca duas propriedades relacionadas a ela (conhecimentos metacognitivos e controle executivo e autorregulador), em linhas gerais, compreendemos a metacognição como um conjunto de três componentes:

- estratégias de conhecimento metacognitivos, ao qual se refere ao conhecimento do sujeito em relação aos seus próprios processos cognitivos, um conhecimento do conhecimento (FLAVELL, 1976);

- estratégias de controle executivo e autorregulador que exercemos sobre o nosso próprio pensamento (autorregulação) (FLAVELL, 1976); e

- estratégia de auto-organização chamada autopoiese ao qual remete-se aos processos de análise e síntese, recursividade e feedback (PORTILHO, 2006; 2009) exercidos pelo sujeito em relação as experiências vivenciadas por sua ação sobre a tarefa, ao qual reforça os elementos anteriores ocasionados pelo processo de consciência dos sujeitos.

Assim, como estratégias de ensino metacognitiva compreendemos as ações pedagógicas planejadas e empregadas pelo professor de forma a potencializar no aluno o domínio e o uso dos três principais componentes da metacognição (conhecimentos metacognitivos; controle executivo e autorregulador; autopoiese) com a finalidade de auxiliar na aprendizagem de determinado conceito ou conteúdo.

Nesse sentido, acreditamos que a metacognição pode favorecer o desenvolvimento de estruturas cognitivas mais ricas, por meio de ações mais conscientes e conceitos sólidos, potencializando a aprendizagem conceitual e a relação entre novos Campos Conceituais. Contudo, antes de descrevermos a metodologia e os resultados encontrados, vamos discorrer um pouco mais sobre a TCC.

A Teoria dos Campos Conceituais

A Teoria dos Campos Conceituais, proposta por Gérard Vergnaud, é considerada uma teoria cognitivista, cujo foco principal é compreender o desenvolvimento e a aprendizagem das competências complexas. De acordo com Vergnaud (1993, p. 1):

[...] Por fornecer uma estrutura à aprendizagem, ela envolve a didática, embora não seja, em si, uma teoria didática. Sua principal finalidade é propor uma estrutura que permita compreender as filiações e rupturas entre conhecimentos, em crianças e adolescentes, entendendo-se por “conhecimentos”, tanto as habilidades quanto as informações expressas [...].

Essa estrutura proposta para compreender as filiações e rupturas entre conhecimentos está alicerçada na seguinte premissa maior: “Um conceito não pode ser reduzido à sua definição, principalmente se nos interessamos por sua aprendizagem e seu ensino [...]” (VERGNAUD, 1993, p. 2). Desse modo, é por meio “[...] das situações⁵ e dos problemas a resolver que um conceito adquire sentido [...]” (VERGNAUD, 1993, p. 2).

O que nos leva a uma primeira definição de campo conceitual, sendo um conjunto variado de situações que dá sentido a um determinado conceito. Essa abordagem inicial tem a vantagem de “[...] permitir a produção de uma classificação baseada na análise das tarefas cognitivas e dos procedimentos que podem ser adotados em cada um deles” (VERGNAUD, 1993, p. 9). Assim, de início, as situações podem ser divididas em duas classes principais:

- 1) classes de situações em que o sujeito dispõe, no seu repertório, em dado momento de seu desenvolvimento e sob certas circunstâncias, das competências necessárias ao tratamento relativamente imediato da situação.
- 2) classes de situações em que o sujeito não dispõe de todas as competências necessárias, o que o obriga a um tempo de reflexão e exploração, a hesitações, a tentativas frustradas, levando-o eventualmente ao sucesso ou ao fracasso (VERGNAUD, 1993, p. 2).

Para Vergnaud (2001; 2008), a interação do sujeito com a situação não é direta, mas mediada por esquemas que o sujeito dispõe e utiliza para se adaptar às situações. O esquema pode ser entendido como a organização invariante do comportamento do sujeito para uma classe de situações dada. Além disso:

[...] Mesmo percebendo facilmente que um **esquema** é composto de **regras de ação** e de antecipações, visto que gera uma série de ações para se atingir um objetivo, nem sempre se reconhece que ele também é composto, de modo essencial, por **invariantes operatórias (conceitos-em-ação e conhecimentos-em-ação)** e por **inferências** [...] (VERGNAUD, 1993, p. 4, grifo nosso).

Desses componentes, os invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) são os conhecimentos contidos nos esquemas que permitem analisar a situação e inferir as regras de ação adequadas para alcançar a meta desejada, contudo, eles “[...] raramente são explicitados pelos alunos, mesmo quando são construídos por eles na ação” (VERGNAUD, 1993, p. 7).

O teorema-em-ação é uma proposição sobre o real suscetível de veracidade ou de falsidade, enquanto o conceito-em-ação é um objeto, um predicado, ou uma categoria de pensamento que não é nem verdadeira nem falsa, mas somente pertinente ou não pertinente

⁵ O termo situação para Vergnaud não deve ser entendido da mesma forma que assume na teoria das situações didáticas de Brousseau (2008), por situação, Vergnaud considera uma tarefa a ser problematizada, resolvida, confrontada por um sujeito.

para a análise da situação. É necessário frisar que não há proposição sem conceitos e vice-versa. Portanto, teorema-em-ação e conceito-em-ação, apesar de serem distintos, estão em uma constante relação dialética. Por outro lado:

[...] um conceito-em-ação não é, absolutamente, um conceito, nem um teorema-em-ação é um teorema. Em ciência, conceitos e teoremas são explícitos e podemos discutir a sua pertinência e veracidade. O mesmo não se dá necessariamente para os invariantes operatórios. Conceitos e teoremas explícitos são apenas a ponta visível do iceberg da conceitualização: sem a parte oculta, formada pelos invariantes operatórios, essa parte visível nada seria [...] (VERGNAUD, 1993, p. 8).

Diante do que já expomos, com Vergnaud (1993), podemos compreender o conceito como sendo composto por uma trinca de conjuntos, $C = (S, I, Y)$, sendo: S conjunto das situações que dão sentido ao conceito (referência); I conjunto das invariantes em que se baseia a operacionalidade dos esquemas (significado); Y conjunto das formas de linguagem (ou não) que permitem representar simbolicamente o conceito, suas propriedades, as situações e os procedimentos de tratamento (significante).

Percurso metodológico

Para a condução do nosso trabalho optamos pelos pressupostos investigativos da pesquisa qualitativa, por oferecer maior flexibilidade para os processos de coleta de dados e um melhor aprofundamento na análise do conteúdo das respostas e dos significados apresentados (BOGDAN; BIKLEN, 1994; FLICK, 2009).

A aplicação deste estudo foi realizada em uma escola da rede pública da cidade de Jardim, localizada no sudoeste de Mato Grosso do Sul, no período de 06/10/2021 a 24/11/2021, totalizando 13 aulas com duração de 50 min cada uma.

Participaram da pesquisa trinta e oito alunos de duas turmas da segunda série do Ensino Médio, sendo 21 estudantes do sexo feminino e 17 do sexo masculino. O grupo era constituído de adolescentes entre a faixa etária de 15 a 17 anos.

A pesquisa se desenvolveu mediante apreciação e aprovação do Comitê Permanente de Ética em Pesquisas com Seres Humanos (COPEP) da Universidade Estadual de Maringá⁶(UEM), que tem entre uma de suas funções garantir a integridade de quem participa de pesquisas acadêmicas. Por essa razão, foi preservada a identidade da instituição de ensino,

⁶ Pesquisa aprovada pelo Conselho de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelo parecer número 3.762.085; e com Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) número 20549419.7.0000.0104.

bem como a dos sujeitos participantes, que tiveram suas falas e sua própria classificação codificados por letras seguido de um número natural, por exemplo: aluno A1, A2 ... até A38, garantindo o anonimato dos participantes.

O processo de constituição dos dados se deu por meio da observação participante, sendo a pesquisadora também a docente de Física da turma que aplicou as atividades. De acordo com Minayo (1994), Triviños (1987) e Lüdke e André (1986), a observação participante como técnica de coleta de dados, traz a vantagem e a possibilidade de um contato pessoal com o objeto da investigação, permitindo acompanhar as experiências dos sujeitos, bem como apreender o significado que atribuem à realidade (LÜDKE; ANDRÉ, 1986).

Com relação aos instrumentos de coleta de dados, segundo Yin (2016) e Stake (2005; 2011), o ideal é utilizar ao menos três fontes de coleta de dados para validar ou ampliar as interpretações feitas pelo pesquisador. Em nosso trabalho, utilizamos: 1) as anotações do diário da pesquisadora das informações obtidas pela observação direta e participante; 2) os relatos verbais dos alunos, obtidos por meio de gravações de áudio durante a realização das atividades; e 3) as respostas escritas dos alunos dos questionamentos efetuados pela professora.

A coleta de dados se deu ao longo da aplicação das atividades que, por sua vez, foram distribuídas ao longo de treze aulas, entretanto, para nossa análise selecionamos apenas a questão 2 abaixo:

QUADRO 1 – QUESTÃO 2 UTILIZADA AO LONGO DAS ESTRATÉGIAS DE ENSINO METACOGNITIVAS

Q.2. Dois recipientes A e B contendo mesma quantidade de água, mas a temperatura diferente, são posicionados conforme representado na imagem abaixo e, imediatamente é colocado sobre eles uma caixa que os mantém isolados do meio externo.



Fonte: Martini, et al., 2016, p.18

- a) Com o passar do tempo, o que acontecerá com a temperatura da água no recipiente A? e no recipiente B?
- b) O que aconteceu entre os recipientes que ocasionou essa mudança na temperatura? Explique, detalhadamente, o seu raciocínio.

Fonte: Elaborada pelos autores

Por sua vez, a questão 2 foi aplicada em três momentos distintos, ao longo das estratégias de ensino metacognitivas, conforme o quadro 2:

QUADRO 2 – DISTRIBUIÇÃO E DESCRIÇÃO RESUMIDA DAS ATIVIDADES APLICADAS

AULA 02
Atividades
- Aplicação de um questionário inicial, com quatro questões objetivas sobre alguns fenômenos térmicos do cotidiano. OBS.: Nesta aula, foram respondidas as três últimas questões cuja questão 2 está inclusa.
Descrição resumida
- Identificamos os principais invariantes operatórios que cada aluno tinha sobre o conceito de calor.
AULA 05 (OBS.: As atividades ocorreram em 2 horas-aulas)
Atividades
- Análise e discussão da Questão 2 do Questionário Inicial por meio de estratégias de ensino metacognitivas.
Descrição resumida
- Os alunos foram organizados em grupo com, no máximo, 4 integrantes. Depois, entregamos a Questão 2 do Questionário Inicial, para cada aluno, com a sua respectiva resposta. Na sequência, aplicamos as seguintes estratégias de ensino metacognitivas: 1) Solicitamos que cada um lesse para os demais membros do grupo a resposta que deu para a questão; 2) Solicitamos que cada um, com a participação dos demais membros do grupo, justificasse com qual concepção de calor a sua resposta se identificava; 3) Solicitamos que os membros do grupo discutissem entre eles e elaborassem, em conjunto, três novas respostas para a questão, considerando a compreensão do calor como: a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo. Ao final, por meio de um diálogo em que todas as vozes foram ouvidas, realizamos uma discussão crítica-reflexiva sobre as respostas apresentadas, auxiliando os alunos na aprendizagem dos conteúdos e conceitos que ainda estavam com dúvidas. Para encerrar a atividade aplicamos a última estratégia de ensino metacognitiva planejada: 4) solicitamos que um do grupo lesse para os demais a resposta formulada pelo grupo tendo como base cada uma das concepções de calor; 5) Solicitamos que dialogassem entre si analisando novamente suas respostas, tomando como base as discussões e respostas descritas na folha, podendo complementá-las, reformulá-las, alterá-las, ou caso necessitassem inverter as respostas para que melhor representassem cada concepção.
AULA 13
Atividades
- Aplicação do questionário final, com quatro questões objetivas sobre alguns fenômenos térmicos do cotidiano.
Descrição resumida
- Visando identificar se, após a aplicação das estratégias de ensino metacognitivas, os invariantes operatórios dos alunos sobre o conceito do calor modificaram, comparados com aqueles que foram manifestados no questionário inicial, entregamos, novamente, o mesmo questionário inicial, para cada aluno. A única diferença foi que, dessa vez, solicitamos que cada questão fosse respondida considerando o calor como o nome de um processo.

Fonte: Elaborada pelos autores

Como último esclarecimento metodológico, informamos que para a identificação dos invariantes operatórios, tanto no questionário inicial quanto no final, adotamos o seguinte procedimento prático para identificar os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação mobilizados pelos alunos. Por meio dos áudios, do diário da pesquisadora e das atividades escritas, analisamos qual foi a relação de causalidade (regra de ação do tipo “se ... então”) expressa pelo aluno para justificar a sua resposta para cada questionamento. Por exemplo, para a primeira questão dos questionários, tivemos a seguinte resposta de um aluno:

É por conta que o azulejo é um objeto que contém menos calor, diferente do piso de madeira. Um absorve mais calor e o outro não. (A7)

Pela regra de ação do tipo “se ... então”, inferimos que está sendo mobilizado o seguinte teorema-em-ação: Se o objeto for de madeira, então ele contém/transmite/libera mais calor. Uma vez identificado o teorema-em-ação, buscamos identificar qual o conceito-em-ação que está explicitamente ou implicitamente presente neste teorema. Em Física, um conceito-em-ação pode ser sintetizado em uma afirmação. No exemplo acima, podemos inferir que o conceito-em-ação mobilizado foi: Os materiais têm diferentes resistências para ceder/receber o calor. Quando não foi possível identificar nenhuma regra de ação do tipo “se ... então”, as respostas foram classificadas como indefinidas.

Apresentação e análise dos resultados

Os dados coletados na pesquisa possibilitaram a identificação de invariantes operatórios dos alunos sobre o conceito de calor para, praticamente, todas as atividades aplicadas. Contudo, o recorte que nos propomos apresentar e analisar neste artigo se refere às respostas da questão 2 do questionário inicial/final em três momentos: 1) na sua primeira aplicação (Aula 02); 2) na sua segunda aplicação (Aula 05); e 3) na sua última aplicação (Aula 13), cujas análises dos invariantes voltaram-se apenas as explicações relacionadas ao entendimento do calor como c) **o nome convencional de um processo.**

Apesar da assinatura de 38 termos no início da pesquisa, ao longo das aulas vários alunos faltaram dificultando a análise de sua construção conceitual. Logo, como os grupos haviam sido formados identificando a ausência esporádica dos alunos isso não prejudicou o trabalho em grupo, porém, a análise dos dados se deu apenas àqueles alunos que participaram de todas as atividades aplicadas.

Portanto, para a análise da primeira aplicação da questão 2 e as demais aplicações nos pautamos em 21 respostas, conforme se apresentam no Quadro 3.

QUADRO 3 – INVARIANTES OPERATÓRIOS MOBILIZADOS PELOS ALUNOS NA PRIMEIRA APLICAÇÃO DA QUESTÃO 2

Exemplos Justificativas	de	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
<i>Vai chegar um momento em que o A e o B vão ficar</i>		Se dois corpos de diferentes temperaturas		

<i>com a mesma temperatura. O que ocasionou a mudança de temperatura foi a caixa, porque ela irá manter suas temperaturas iguais. (A11)</i>	são isolados do meio externo, então, com o tempo, eles trocarão calor apenas entre si até ficarem com a mesma temperatura.	Calor é uma substância contida nos objetos que pode ser cedida ou recebida, aumentando ou diminuindo a temperatura, respectivamente.	A30
<i>A água do recipiente A vai acabar esquentando e a do B vai dar uma esfriada. O recipiente B vai soltar uma espécie de vapor quente e acaba afetando o ambiente e vai acabar esfriando. (A7)</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com maior temperatura perde calor, se esfriando, e o de menor temperatura ganha calor, ficando mais quente.		A2; A5; A31; A10; A22.
<i>O A vai manter porque ele está em um ambiente fechado, então continua com a mesma temperatura. O B vai diminuir porque a caixa está fechada, então vai esfriar. (A17)</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com maior temperatura perde calor, se esfriando, e o de menor temperatura não sofre alteração.	Calor é uma substância contida nos objetos quentes que pode ser cedida, diminuindo a sua temperatura.	A18; A32; A35; A36.
<i>Como o recipiente A foi abafado a temperatura vai subir, e no B por já estar com a temperatura alta e foi abafado provavelmente vai manter esta temperatura. (A13)</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com menor temperatura ganha calor, se esquentando, e o de maior temperatura não sofre alteração.	Calor é uma substância contida no ambiente que pode ser recebida pelos objetos mais frios, aumentando a sua temperatura.	
<i>Com o passar do tempo elas ficarão com a mesma temperatura mesmo que antes estavam diferentes. (A20)</i>	Indefinido	Indefinido	A9; A23; A28; A29; A37; A38

Fonte: Elaborada pelos autores

Pelas respostas, fica claro que a maioria dos alunos compreende que, com o passar do tempo, as temperaturas de ambos os recipientes serão iguais. O que corresponde ao aspecto descritivo do fenômeno, entretanto, com relação às explicações causais, quando os invariantes operatórios são mobilizados, as justificativas, quase na sua totalidade, apoiam-se na concepção do calor como sendo uma substância.

No caso das respostas classificadas como indefinidas, segundo Oliveira, *et al*, (2011), a ausência dos invariantes operatórios nem sempre representa que o aluno não soube explicar,

isso acontece por que quando o sujeito age em alguma situação precisa organizar seus esquemas, construir uma representação para o fenômeno, selecionar conceitos pertinentes, planejar as etapas e a própria ação para assim obter conclusões e propor respostas. No entanto, esse processo é complexo, uma vez que nem sempre os conceitos encontrados apresentam-se sólidos em suas estruturas cognitivas, dessa forma, os alunos têm dificuldade em tornar explícito os seus pensamentos de causalidade.

Com base nos teoremas-em-ação e conceitos-em-ação que foram mobilizados, há três características nas concepções alternativas sobre o conceito de calor dos alunos que se destacam: 1) O calor é um fluido contido nos corpos e intercambiável; 2) Quanto maior a temperatura de um corpo, maior é a sua quantidade de calor; 3) Quanto menor a temperatura de um corpo, menor é a sua quantidade de calor. Essas características também foram encontradas em outros trabalhos que se debruçaram sobre as concepções alternativas do conceito de calor, tais como Cervantes (1987), Amaral e Mortimer (2001) e Köhnlein e Peduzzi (2002).

Analisando esse resultado à luz da trinca de conjuntos que compõem um conceito, segundo Vergnaud (1993), podemos afirmar que esses invariantes operatórios (significado) são decorrentes do conjunto das situações que dão sentido ao conceito do calor (referência) e do conjunto das formas de linguagem que representam simbolicamente esse conceito (significante) que os alunos vivenciaram até o momento da aplicação do questionário, tanto no cotidiano quanto na escola.

Também incluímos o ensino formal como uma das fontes dessas concepções, pois elas são reforçadas pelos livros didáticos e, por consequência, pelos docentes, quando, em poucas palavras, afirmam que o calor não é uma substância, mas, a todo momento, utilizam expressões criadas no contexto do calórico para analisarem os fenômenos térmicos, tais como:

Quando dois ou mais **corpos cedem** ou **absorvem** quantidades iguais de **calor**, a **variação de temperatura por eles sofrida** é, em geral, diferente uma da outra [...] (GASPAR, 2000, p. 310, grifo nosso).

[...] A **passagem do calor cessa ao ser atingido o equilíbrio térmico**, isto é, quando as temperaturas se igualam [...] (RAMALHO JUNIOR, FERRARO; SOARES, 2007, p. 47, grifo nosso).

Essas afirmações induzem e reforçam as concepções alternativas dos alunos sobre o calor (GOMES, 2012). Neste contexto, esses invariantes operatórios não serão alterados se as situações associadas com esse conceito, que estão presentes tanto no cotidiano quanto na escola, não forem ressignificadas pelos alunos. Foi com essa intenção que aplicamos as estratégias de ensino metacognitivas.

Afinal, se não é possível inserir no Ensino Médio novas situações associadas com o conceito de calor, que são trabalhadas em disciplinas do ensino superior, como Termodinâmica Estatística, temos que oferecer aos alunos condições para eles tomarem consciência das três fases pelas quais a explicação física dos fenômenos associados com o calor passou, bem como criar oportunidades, por meio da metacognição, para eles se tornarem agentes ativos no processo de construção de novos invariantes operatórios sobre esse conceito.

Vale ressaltar que não almejamos a substituição de um conjunto de invariantes operatórios pelo outro, mas o enriquecimento (ampliação) do campo conceitual de calor do aluno, de tal forma, que ele consiga, quando for solicitado, explicar determinado fenômeno térmico do cotidiano por meio da compreensão do calor como: a) um fluido contido nos corpos e intercambiável; b) uma forma de energia e c) o nome convencional de um processo, e que quando necessário saiba diferenciá-los.

Na segunda aplicação da questão 2, obtivemos 7 respostas com a participação de 21 alunos em grupos, o que levaram a identificação de dois conceitos-em-ação, conforme se apresentam no Quadro 4.

QUADRO 4 – INVARIANTES OPERATÓRIOS MOBILIZADOS PELOS ALUNOS NA SEGUNDA APLICAÇÃO DA QUESTÃO 2

Exemplos de Justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Alunos que eram componentes dos grupos
<i>A temperatura irá variar uma da outra, como no corpo B está a 100°C a temperatura irá mudar para o corpo A, dividindo o aumento da energia de suas moléculas, forma de processo.</i> (G1/G5/G8/G9/G10)	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com maior temperatura diminui a sua energia, se esfriando, e o de menor temperatura aumenta a sua energia, ficando mais quente.	Calor é uma grandeza física associada com a variação da energia e da temperatura dos corpos.	A5; A7; A10; A11; A13; A17; A18; A28; A29; A31; A23; A32; A36; A37; A38.
<i>Como as moléculas vibram de forma diferente, quando se interagem, ocorrem microtrabalhos, até que atinjam o equilíbrio térmico.</i> (G3/G7)	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, por meio da interação entre as suas moléculas, ocorrerão microtrabalhos até que se atinja o equilíbrio térmico.	Calor é uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação até que se atinja o equilíbrio térmico.	A2; A9; A20; A22; A30; A35.

Fonte: Elaborada pelos autores

Após a aplicação de algumas estratégias de ensino metacognitivas, percebe-se que os alunos conseguiram, em grupo, a mobilização de invariantes operatórios relacionados com a compreensão do calor como uma forma de energia e o nome convencional de um processo, diferente daqueles apresentados anteriormente como sendo um fluido. O que é um forte indício de que, aos poucos, a visão microscópica dos fenômenos térmicos estava sendo compreendida.

Na terceira aplicação da questão 2, obtivemos a partir das 21 respostas 3 conceitos-em-ação formados, conforme se apresentam no Quadro 5.

QUADRO 5 – INVARIANTES OPERATÓRIOS MOBILIZADOS PELOS ALUNOS NA TERCEIRA APLICAÇÃO DA QUESTÃO 2

Exemplos de Justificativas	Teoremas-em-ação (inferidos)	Conceitos-em-ação (inferidos)	Outros alunos que apresentaram justificativas semelhantes
<i>Se os dois corpos estão isolados do meio externo, então as moléculas do corpo A e B realizarão microtrabalhos, ou seja, as moléculas que estão lá dentro vão interagir, então depois de um certo tempo, vão chegar a uma certa temperatura igual, atingindo o equilíbrio térmico. (A5).</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, por meio da interação entre as suas moléculas, ocorrerão microtrabalhos até que se atinja o equilíbrio térmico.	Calor é uma grandeza física associada com a interação entre as moléculas de corpos com diferentes temperaturas e com o conjunto de microtrabalhos que ocorrem nesta situação até que se atinja o equilíbrio térmico.	A9; A13; A18; A20; A22; A23; A29; A31; A37
<i>Os recipientes estão isolados no mesmo lugar as moléculas do corpo B passará para o corpo A até que se mantenham em equilíbrio térmico. (A30)</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, o corpo com maior temperatura perde calor, se esfriando, e o de menor temperatura ganha calor, ficando mais quente.	Calor é uma substância contida nos objetos que pode ser cedida ou recebida, aumentando ou diminuindo a temperatura, respectivamente.	A32; A35; A38
<i>As moléculas do corpo B estão mais agitadas do que a do corpo A, então vai haver uma transferência de energia do corpo B para o ar e depois para o corpo A, a temperatura do corpo B diminui pois está</i>	Se dois corpos de diferentes temperaturas são isolados do meio externo, então, com o tempo, as moléculas do corpo de maior temperatura transferem energia diminuindo sua vibração e as moléculas	Calor é uma energia provocada pelo aumento da vibração das moléculas de um corpo que sendo transferido de um corpo a outro altera a temperatura e a vibração das moléculas.	A11

<i>transferindo energia para o corpo A, essa transferência ocorre até eles atingirem o equilíbrio térmico. (A28)</i>	do corpo de menor temperatura aumenta a vibração de suas moléculas.		
<i>Ocorrerá uma variação de temperatura no corpo B que tem maior vibração das moléculas e no corpo A, cuja variação das moléculas é mais lenta, mas ao fim atingem o equilíbrio térmico. (A17)</i>	Indefinido	Indefinido	.A2; A7; A10; A36.

Fonte: Elaborada pelos autores

Agora, de forma individual, 48% (10 alunos) apresentaram em suas explicações a mobilização de invariantes operatórios relacionados com a compreensão do calor como o nome convencional de um processo. Nas explicações cujos invariantes operatórios não puderam ser determinados, 24% (5 alunos), o termo “vibração das moléculas” aparece, o que remete a uma tentativa de compreensão microscópica do fenômeno, porém não há nenhuma informação quanto à causalidade do processo, já em 9% (2 alunos) é possível perceber uma compreensão microscópica do fenômeno apesar de ainda apresentarem os termos “transferir calor” e remeter-se a diminuição de temperatura devido a essa transferência. Mesmo assim, em relação as concepções iniciais estas respostas indicam que as atividades potencializaram novas apropriações conceituais por meio de teoremas e conceitos-em-ação, enriquecendo o campo conceitual do calor e que mais tarde possibilitarão a apropriação da compreensão de calor como o nome convencional de um processo.

No entanto, 19% (4 alunos) voltaram a utilizar os invariantes operatórios relacionados com a compreensão do calor como um fluido. Apesar desse resultado, consideramos importante reavaliar todo o processo levando em consideração o envolvimento, diálogos e reflexões desses estudantes ao longo das atividades, no qual utilizamos das estratégias de ensino metacognitivas, também, concordamos com Grings, Caballero e Moreira (2006) de que a identificação dos invariantes operatórios não é algo simples, e por isso é necessário analisar um conjunto muito mais amplo de situações da mesma classe, para então ser possível definir uma regularidade nas respostas e se obter afirmações conclusivas.

Nos áudios analisados por exemplo, A32 apresentava bastante dificuldade de interação e expor sua opinião, assim como os demais estudantes do grupo, ao longo das atividades foi possível notar um diálogo mais extenso, exemplos do cotidiano, além de um maior vocabulário

conceitual sobre o calor. Ao ser questionada porque não se utiliza os termos “perder calor” “ceder calor” ao se referir ao calor como o nome convencional de um processo A32 menciona aos integrantes do grupo que “no processo existe a vibração das moléculas”, e complementa junto a resposta de A29 que “as moléculas interagem e realizam um conjunto de microtrabalho”, em resposta a outra questão aparece a interpretação de que ocorre uma interação entre as moléculas, no entanto ainda utiliza o termo “absorve mais a temperatura”. Isso mostra que ao mesmo tempo em que se constrói novos conceitos e enriquece seu campo conceitual possui dificuldade em organizar os conhecimentos já existentes e classificá-los em concepções diferentes.

Considerações finais

Ao término de nossa escrita, não temos a pretensão de apresentar resoluções definitivas, fechar questões. Contudo, há algumas reflexões que a pesquisa nos proporcionou que gostaríamos de compartilhar.

Com relação à resposta ao problema de pesquisa, que norteou nosso trabalho e o objetivo esperado por este estudo (apresentar por meio de alguns invariantes operatórios mobilizados pelos alunos da segunda série do Ensino Médio as contribuições originadas pela aplicação de Estratégias de Ensino Metacognitivas), podemos elencar quatro contribuições que se destacaram na utilização das estratégias de ensino metacognitivas para trabalhar com os invariantes operatórios sobre o conceito de calor, de alunos da segunda série do Ensino Médio, a saber: 1) possibilitar a tomada de consciência de cada aluno sobre qual era a sua compreensão do conceito de calor; 2) possibilitar que cada aluno verificasse sobre quais aspectos a sua concepção se diferenciava dos demais colegas; da professora e das outras formas de compreender o calor que foram apresentadas; 3) dar oportunidade para cada aluno verificar o que precisava ser modificado na sua concepção para conseguir analisar determinado fenômeno térmico e expressar o que estava acontecendo de outras formas; 4) criar condições para cada aluno ter ciência de seus principais equívocos e obstáculos quando era solicitado a analisar determinado fenômeno térmico de acordo com determinada compreensão do calor.

Não foi o nosso objetivo realizar uma análise pormenorizada e sistemática dos três principais componentes da metacognição (conhecimentos metacognitivos; controle executivo e autorregulador; autopoiese), mas, pelas atividades executadas e pelos resultados encontrados, podemos dizer que as estratégias de ensino metacognitivas empregadas potencializaram o uso desses componentes pelo aluno auxiliando-o a enriquecer (ampliar) o seu campo conceitual do calor.

Uma das principais dificuldades para se ensinar o conceito de calor no Ensino Médio é encontrar exemplos de situações, no cotidiano e nos livros didáticos, para as quais foram realizadas análises que contemplem a compreensão do calor como o nome convencional de um processo. Desse modo, a alternativa que encontramos foi aproveitar as situações que alguns fenômenos térmicos já são apresentados tradicionalmente, mostrando aos alunos como compreendê-los de três diferentes formas.

Assim, iniciamos com os alunos, por meio das estratégias de ensino metacognitivas, a construção de novos invariantes operatórios necessários para a compreensão dos processos microscópicos envolvidos nos fenômenos físicos associados com o calor. Concordamos com Zemansky (1970), quando ele afirma que a análise dos fenômenos térmicos, sem citar os conceitos de energia interna, interação e trabalho, por serem considerados difíceis de serem explicados, é incompleta e não contribui para uma compreensão científica adequada dos mesmos. Seguindo o mesmo raciocínio do autor, uma das sugestões para se pensar em trabalhos futuros sobre o estudo da termodinâmica, é dar mais ênfase aos conceitos de energia interna, calor e trabalho, focando a atenção dos alunos às análises moleculares.

Portanto, esperamos ter fornecido novos elementos para contribuir com as pesquisas que tenham a temática do calor como seu objeto de estudo, acreditando que estes ensaios possam possibilitar uma transição mais adequada e frutífera entre a Física do cotidiano e os conhecimentos térmicos científicos a qual se insere a Física térmica elementar. Principalmente com os estudos desta temática e às relacionadas com a metacognição e a Teoria dos Campos Conceituais.

REFERÊNCIAS

AGUIAR JÚNIOR, O. Mudanças conceituais (ou cognitivas) na educação em ciências: revisão crítica e novas direções para a pesquisa. **Ensaio**, v.3, n.1, 2001.

AMARAL, E. M. R. do; MORTIMER, E. F.. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências**, v.1, n.3, 2001. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4154>>. Acesso em: 15 set. 2022.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Tradução: Maria João Alvarez, Sara Bahia dos Santos e Telmo Mourinho Baptista. Portugal: Porto Editora, 1994.

BROUSSEAU, G.. **Introdução ao Estudo das Situações Didáticas**: Conteúdos e métodos de ensino. São Paulo: Ática, 2008. 128p.

CERVANTES, A. “Los conceptos de Calor y Temperatura: una revisión bibliográfica”. **Enseñanza de las Ciencias**, v.5, n.1, p.66-70, 1987.

DORAN, B.G. Misconception of Selected Science Concepts Held by Elementary School Students. **Journal of Research in Science Teaching**, v.9, n., p.127-137, 1972.

DRIVER, R.; EASLEY, J. Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, **Leeds**, v. 5, n. 1, p. 61-84, 1978.

DRIVER, R. **The Pupil as a Scientist?**. Philadelphia. Open University Press, p.113, 1985.

FLAVELL, J.H. Metacognitive aspects of problem solving. In: RESNICK, L.B.(Ed.) **The nature of intelligence**. New Jersey: LEA, 1976, p. 231-236.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Tradução: Joice Elias Costa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GARCIA HOUCARDE, J. L.; RODRIGUES DE AVILA, C. Preconcepciones sobre el calor en 2º de B.U.P.. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 3, n. 3, p. 188-193, 1985.

GASPAR, A. **Física: Ondas, Óptica, Termodinâmica**. 1. ed., v. 1. São Paulo: Ática, 2000

GOMES, L. C. **Representação social dos autores dos livros didáticos de física sobre o conceito de calor**. 2012. 199f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

GRINGS, E. T. O; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da Termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 463-471, 2006. Acesso em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n4/a09v28n4.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2022.

KÖHNLEIN, J. F. K; PEDUZZI, S. S. Um estudo das concepções alternativas sobre calor e temperatura. **Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências**, v.2, n.3, p.84-96, 2002.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MINAYO, M. C. de S.(Org). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**.2.ed. Petrópolis: Vozes, 1994. 80 p.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o Ensino de Ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 7-29, 2002. Disponível em: < <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/569/361>>. Acesso em: 22 set.2021.

NARDI, R.; GATTI, S. R. T. Uma revisão sobre as investigações construtivistas nas últimas décadas: concepções espontâneas, mudança conceitual e ensino de ciências. **Ensaio**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 145-166, 2005.

OLIVEIRA, V. V., et al. Análise de Situação: Apropriação de Conceitos Científicos. In: VIII Encontro Nacional de pesquisa em Educação em ciências - **VIII ENPEC**, 2011.

PORTILHO, E. M. L. As estratégias metacognitivas de quem aprende e de quem ensina. In: SCOZ, B. et al. **Aprendizagem: tramas do conhecimento, do saber e da subjetividade**. São Paulo: Vozes, 2006. p. 47-59.

PORTILHO, E. M. L. **Como se aprende?** Estratégias, estilos e metacognição. Rio de Janeiro: Wak, 2009.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os fundamentos da Física 2: Termologia, Óptica, Ondas**. 9. ed., v. 2. São Paulo: Moderna, 2007.

STAKE, R.E. **Qualitative case studies**. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Eds.). *The Sage Handbook of qualitative research*. 4.ed. Thousand Oaks: Sage, 2005, p. 443 – 466.

STAKE, R.E. **Pesquisa qualitativa: estudando como as coisas funcionam**. Porto Alegre: Penso, 2011.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987

VERGNAUD, G. A. Teoria dos Campos Conceituais. In: Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. **Anais...**,p.1-26, 1993.

VERGNAUD, G. A. Piaget visité par la didactique. **Intellectica**, n. 33, p. 107-123, 2001.

VERGNAUD, G. A. De la didactique des disciplines à la didactique professionnelle, il n’y a qu’un pas. **Travail et Apprentissages**, n. 1, p. 51-57, 2008.

VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205-222, 1979.

WATTS, D.M.; ZYLBERSTAJN, A. A Survey of Some Children's Ideas About Forces. **Physics Education**, v.15, p.360-365, 1981.

YIN, R. K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Tradução: Daniela Bueno. Porto Alegre: Penso, 2016.

ZEMANSKY, M. The use and misuse of the word “heat” in physics teaching. **The Physics Teacher**, v. 8, p. 295-300, 1970.

Submissão: 27/10/2022. Aprovação: 30/11/2022. Publicação: 20/08/2023.