

# Invariantes operatórios mobilizados por estudantes do Ensino Médio sobre circuitos em série através do laboratório virtual PhET

## RESUMO

**Deiviti Gustavo Moreira de Candia**  
[Deiviti.gmc@gmail.com](mailto:Deiviti.gmc@gmail.com)  
[orcid.org/0000-0003-3381-0037](https://orcid.org/0000-0003-3381-0037)  
Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil

**Carlos Henrique Pagel**  
[carlos.pagel@hotmail.com](mailto:carlos.pagel@hotmail.com)  
[orcid.org/0000-0002-0001-8361](https://orcid.org/0000-0002-0001-8361)  
Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil

**Vinicius Carvalho Beck**  
[viniciusbeck@ifsul.edu.br](mailto:viniciusbeck@ifsul.edu.br)  
[orcid.org/0000-0003-3381-0037](https://orcid.org/0000-0003-3381-0037)  
Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul) Câmpus Pelotas - Visconde da Graça (CaVG), Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil

Este trabalho tem como objetivo geral analisar as compreensões de estudantes do Ensino Médio sobre algumas propriedades dos circuitos elétricos com ligação em série, por meio da aprendizagem por simulação digital. O referencial teórico adotado neste trabalho é a teoria dos campos conceituais, elaborada pelo psicólogo francês Gérard Vergnaud. Este estudo adotou uma abordagem metodológica qualitativa. Na coleta e análise dos resultados utilizamos o Método Clínico de Manipulação-Formalização, desenvolvido pelo grupo de Jean Piaget e amplamente utilizado em pesquisas sobre aprendizagem e desenvolvimento cognitivo. Conforme os resultados obtidos, constatamos que estudantes do 3º do Ensino Médio possuem diferentes níveis de compreensão sobre circuitos elétricos com ligação em série, sendo que alguns participantes conseguiram produzir modelos mentais totalmente alinhados com conhecimento científico, com teoremas-em-ação muito próximos das leis da Física envolvendo circuitos elétricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aprendizagem; Simulações; Circuitos elétricos.

## INTRODUÇÃO

A aprendizagem por simulação se constitui como uma forma de assimilação de conceitos que traz oxigenação epistemológica para o debate sobre como aprendemos e como podemos ensinar estudantes na era das grandes transformações digitais, sobretudo com advento da internet e da computação de alta performance (LÉVY, 2010). A imaginação, agora provocada por ferramentas digitais, ganha um espaço, além da razão e o empirismo sensorial tradicionais. Deste modo, novas ferramentas digitais passam a ser consideradas como recursos para o ensino (BRUNO; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2021).

Estamos passando por um período de grandes inovações técnicas, desenvolvidas por organizações que se apresentam como verdadeiros impérios (LÉVY, 2010). A todo momento um novo acessório, um novo aparelho, um novo conceito tecnológico. No entanto, a este avanço desenfreado das inovações técnicas pouco tem se discutido e executado mudanças no sentido de articular o ensino às novas formas de aprendizagem digital que surgem (BERALDO; OLIVEIRA; STRINGHINI, 2021).

Segundo o filósofo Pierre Lévy (2010), a aprendizagem por simulação é uma das novas formas de nos relacionarmos com o conhecimento, e esta tem sido muito pouco discutida e aproveitada na prática, no sentido de que não há uma cultura de ensino por simulação e uso das tecnologias digitais, inclusive no Brasil (BERALDO; OLIVEIRA; STRINGHINI, 2020). Daí a importância da pesquisa sobre este novo fenômeno.

Este trabalho tem como objetivo geral analisar as compreensões de estudantes do Ensino Médio sobre algumas propriedades dos circuitos elétricos com ligação em série, por meio da aprendizagem por simulação digital. A este objetivo geral estão associados dois objetivos específicos, que são os seguintes: descrever, analisar e categorizar os procedimentos utilizados pelos participantes; discutir os procedimentos utilizados pelos estudantes para compreender mais sobre as estratégias de pensamento adotadas por eles; definir níveis de complexidade das respostas obtidas.

## REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção trazemos uma revisão de literatura que pretende apresentar ao leitor alguns trabalhos publicados na Revista Novas Tecnologias na Educação (RENTE) nos anos de 2020 e 2021, referentes ao uso educacional de laboratórios virtuais, que apresentam relação com o presente trabalho. Esta revista foi escolhida por apresentar, nos últimos anos, publicações que abordam pesquisas bibliográficas e empíricas sobre o uso de simulações envolvendo circuitos elétricos no ensino.

Beraldo, Oliveira e Stringhini (2020) apresentam uma revisão sistemática de literatura sobre a utilização de laboratórios computacionais remotos que de alguma forma são utilizados para o ensino do funcionamento de circuitos elétricos, mais especificamente, os do tipo *Field Programmable Gate Array* (FPGA). Os autores concluem que a maioria dos projetos de desenvolvimento e pesquisa de laboratórios remotos de FPGA estão localizados na Europa, que estudantes participantes de alguns estudos revisados sentiram-se motivados em continuar utilizando os laboratórios digitais e que o uso desses laboratórios para FPGA não

encontra um cenário favorável para uso compartilhado entre instituições de ensino, devido ao fato de a maioria ser de uso bastante restrito e não disponível para download.

Beraldo, Oliveira e Stringhini (2021) realizaram uma revisão sistemática de literatura buscando compreender o estado da arte do uso de laboratório digitais na educação brasileira, ampliando, desta forma, o escopo de análise do estudo anterior dos mesmos autores. Segundo Beraldo, Oliveira e Stringhini (2021), a maioria dos laboratórios digitais são dedicados para o ensino de conceitos ligados às Ciências Exatas e a maioria dos estudos não aprofunda a discussão sobre aprendizagem dos estudantes, focando mais a análise no desenvolvimento técnico das ferramentas digitais utilizados ou na aceitação/motivação dos alunos que tiveram contato com as ferramentas propostas.

Bruno, Oliveira e Oliveira (2021) desenvolveram um laboratório remoto híbrido de FPGA direcionado ao processo de ensino-aprendizagem de circuitos elétricos. O termo híbrido utilizado pelos autores se refere ao fato de o laboratório combinar dispositivos simulados no computador com equipamentos físicos. Através de um questionário da aceitação do laboratório híbrido pelos estudantes participantes, os autores concluem que a solução apresentada por eles foram validada e supre a necessidade de se ter laboratórios remotos brasileiros para ensino de circuitos elétricos, problema este apontado por Beraldo, Oliveira e Stringhini (2020).

Cestari *et al.* (2021) realizaram um estudo com o objetivo de identificar, a partir da percepção de professores de Física, os fatores principais que influenciam na aprendizagem de conceitos através de experimentos simulados digitalmente. Como resultado, os 116 docentes entrevistados apontaram a consistência das simulações com a realidade como principal fator de relevância para que ocorra aprendizagem. Outros fatores também escolhidos como relevantes foram (ordenados de forma decrescente pela frequência de repostas): orientação do professor, manipulação de variáveis, potencialização da curiosidade, atração visual, facilidade de entendimento, pré-requisitos, visualização do fenômeno.

Reis, Geller e Serrano (2021) analisaram o uso de simuladores virtuais para simular o efeito fotoelétrico da luz. Atividades envolvendo quatro simulares foram realizadas com uma turma do segundo ano de um curso de Engenharia. Os resultados indicaram a eficácia no uso das simulações, destacando que tais recursos digitais tiveram grande importância para o desenvolvimento de modelos mentais referentes ao fenômeno do efeito fotoelétrico, que é microscópico.

Em síntese, podemos dizer que: 1) existem trabalhos na literatura pesquisada que apontam eficácia no uso de simuladores digitais nas áreas de Física, Engenharia e Ciências Exatas; 2) há necessidade de desenvolvimento de laboratórios virtuais brasileiros; 3) fatores como consistência com a realidade, orientação do professor e manipulação de variáveis são muito importantes na avaliação de professores sobre o uso de simulações; 4) o uso de simulações digitais pode ser importante para a visualização de fenômenos microscópicos; 5) há uma lacuna no que se refere ao entendimento dos processos de aprendizagem, tendo em vista que muitos resultados de estudos sobre simulações computacionais estão mais centralizados na aceitação/motivação de estudantes e pouco têm discutido com mais profundidade as características da aprendizagem por simulação.

## REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico adotado neste trabalho é a teoria dos campos conceituais, elaborada pelo psicólogo francês Gérard Vergnaud (1990, 1997, 2009). Inicialmente, o foco desta teoria esteve na aprendizagem de conceitos aritméticos iniciais (adição, subtração, multiplicação e divisão), assumindo posteriormente uma dimensão mais generalizada como teoria que explica os processos de aprendizagem em geral.

Segundo Vergnaud (2009), operações aritméticas “inversas”, como adição/subtração ou multiplicação/divisão precisam ser desenvolvidas em conjunto para a efetiva consolidação da aprendizagem. Por exemplo, o conceito de adição só é, de fato, construído quando o sujeito é exposto a determinadas situações de subtração, as quais completam o sentido do conceito de adição. Por isso, Vergnaud propõe o termo campo conceitual aditivo para nomear processos relacionados tanto com a adição, quanto com a subtração. Da mesma forma, Vergnaud (2009) também descreve e analisa o campo conceitual multiplicativo, abrangendo conceitos ligados à multiplicação e divisão. Embora Gérard Vergnaud tenha se dedicado em detalhar e aprofundar seus estudos nas operações aritméticas elementares, posteriormente os princípios teóricos elaborados por ele puderam servir como base para estudos de outros campos conceituais.

Gérard Vergnaud realizou seu doutorado sob orientação do psicólogo e epistemólogo Jean Piaget, e por isso, a teoria dos campos conceituais possui um forte viés construtivista, herdando, inclusive, alguns conceitos da epistemologia genética (ainda que se distancie de alguns princípios clássicos piagetianos, como o dos estágios de desenvolvimento, por exemplo).

Na teoria dos campos conceituais, três ideias são muito importantes: situações, invariantes operatórios e representações. Para Vergnaud (1990), a construção de um conceito se dá pela síntese desses três componentes. As situações periféricas a um conceito são importantes para determinar o repertório de experiências do sujeito que aprende, constituindo, na verdade, seu histórico de possibilidades de abordagem conceitual. Os invariantes operatórios são os diversos significados que o sujeito consegue atribuir ao conceito, sendo esta uma ideia já desenvolvida anteriormente pela epistemologia genética (PIAGET, 1971, 2003). As representações são as formas de uso da linguagem no sentido de expressar o conceito e seus invariantes operatórios pelo sujeito, ideia também presente na epistemologia genética (PIAGET; INHELDER, 1975a; PIAGET; INHELDER, 1975b; PIAGET; INHELDER, 1979).

Ao adotar os invariantes operatórios como forma de atribuição de significados aos conceitos pelo sujeito epistemológico, Vergnaud (1990, 2009) desenvolve uma classificação, que considera a existência de dois tipos de invariantes operatórios: ele chama de teoremas-em-ação as proposições elaboradas e considerada verdadeiras pelo sujeito; e conceitos-em-ação as informações que sustentam os teoremas-em-ação.

Nesta pesquisa, os invariantes operatórios constituem-se pelas compreensões dos estudantes sobre o funcionamento dos circuitos em série, a partir das situações propostas pelos pesquisadores. Mais especificamente, a partir dos dados da pesquisa, as representações serviram como um parâmetro para a descoberta dos teoremas-em-ação e conceitos-em-ação que os estudantes utilizam para agir

na situação proposta. Por isso, a tríade situações-invariantes-representações é de grande valia como base teórica adotada.

### **CIBERCULTURA E APRENDIZAGEM POR SIMULAÇÃO**

A cibercultura é a cultura que surge a partir do uso da internet e do hipertexto digital, que se difundiu sobretudo a partir da década de 1990. Os desdobramentos culturais da disseminação dessas duas tecnologias intelectuais foram estudados pelo filósofo e sociólogo tunisiano Pierre Lévy (2010).

Outro conceito também analisado por Lévy (2010) é o de ciberespaço, que vem a ser o espaço não territorializado no qual acontecem as trocas de informação hipertextuais pela grande rede de computadores. Com a expansão generalizada de programas de simulação compartilhada na internet (nem sempre de forma aberta), surge um novo estilo de aprendizagem, que é a aprendizagem por simulação, definida como “[...] uma tecnologia intelectual que amplifica a imaginação individual (aumento da inteligência) e permite aos grupos que compartilhem, negociem e refinem modelos mentais comuns” (LÉVY, 2010, p. 167).

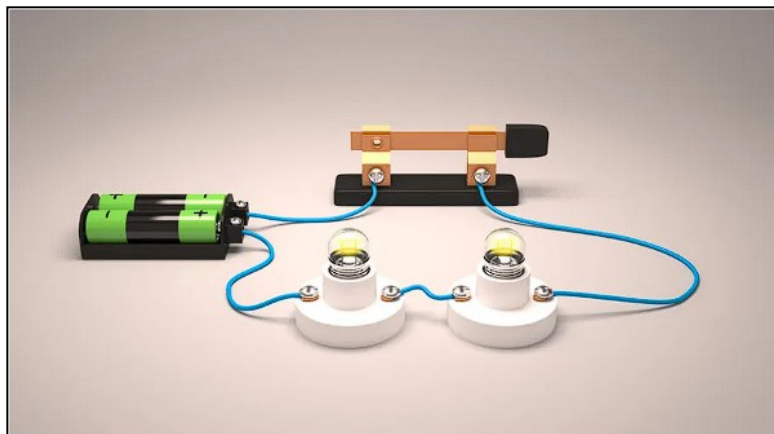
A plataforma PhET (UNIVERSITY OF COLORADO, 2022) apresenta um grande número de simulações nas áreas de fenômenos das Geociências, da Física, da Química, da Biologia e da Matemática, constituindo-se como uma ferramenta de apoio para professores que pretendam utilizar a aprendizagem por simulação como metodologia de ensino. Na presente pesquisa utilizamos o simulador Kit para Montar Circuito DC da plataforma PhET, para analisar as compreensões dos estudantes sobre algumas propriedades dos circuitos elétricos com ligação em série através da aprendizagem por simulação.

### **CIRCUITO EM SÉRIE**

Um circuito elétrico funcional é composto por uma fonte de tensão (podendo ser uma bateria, uma tomada ou qualquer outro material no qual haja uma diferença de potencial elétrico), um resistor, que irá consumir a energia elétrica (utilizando a energia de outra maneira, podendo ser um motor, uma lâmpada, etc.), e também por condutores (cabos, fios) movimentando a corrente elétrica da fonte que a produz até o resistor que a consome (SILVA; BARRETO, 2012; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Chama-se de circuito em série aquele em que dois ou mais resistores são ligadas em sequência, no qual há um único caminho para a passagem da corrente elétrica. Nesse contexto, corrente e tensão agem de formas diferentes sobre os resistores do circuito. A tensão, que é máxima na fonte, se divide proporcionalmente entre os resistores. O fluxo de elétrons no circuito será o mesmo sobre os resistores, devido ao único caminho possível (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016), e por isso a corrente é a mesma em todos os pontos do circuito em série. A Figura 1 ilustra um circuito em série.

**Figura 1** – Circuito em série com dois resistores



**Fonte:** Brasil Escola (2022).

Na ilustração apresentada na Figura 1, a fonte é composta por duas pilhas, duas lâmpadas (com resistores internos) e uma chave que é utilizada para interromper ou deixar fluir a corrente elétrica. É possível medir a tensão na fonte, ou em cada um dos resistores associados às lâmpadas, utilizando um voltímetro (instrumento medidor de tensão elétrica, que verifica a diferença de potencial entre dois pontos). E da mesma forma, também é possível medir a corrente elétrica utilizando um amperímetro (instrumento que mede a corrente em determinado ponto de um circuito elétrico). Com estes equipamentos e componentes pode-se realizar diversos experimentos sobre circuitos elétricos e fluxos de corrente.

### **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Este estudo adotou uma abordagem metodológica qualitativa. Na coleta e análise dos resultados utilizamos o Método Clínico de Manipulação-Formalização (DELVAL, 2002), desenvolvido pelo grupo de Jean Piaget e amplamente utilizado em pesquisas sobre aprendizagem e desenvolvimento cognitivo. Delval (2002), que foi aluno de Piaget, dedica seu livro a descrever, mas também explicar e interpretar os detalhes do Método Clínico como forma de coleta e análise de dados, sistematizando muitas ideias que não estavam explicitamente ou formalmente abordadas nos livros de Piaget. Isto é, vamos aqui nos referir ao livro de Delval (2002), que é uma produção original e independente do autor, mas, tendo em mente que, conforme o próprio autor esclarece, não há injustiça em creditá-lo à Jean Piaget e seu grupo, pois foi a partir do trabalho destes que o método nasceu e se desenvolveu, culminando em uma forma mais sistematizada, que Delval (2002) nos apresenta.

Ao longo das várias décadas de aplicação, o Método Clínico de Piaget passou por modificações, por isso ressaltamos que o método utilizado nesta pesquisa está ligado com os estudos piagetianos em que a análise era realizada a partir das explicações que os participantes faziam sobre atividades com materiais concretos propostas pelos pesquisadores. A coleta de dados, nesse caso, acontece por meio de entrevista clínica, conforme a caracterização apresentada por Delval (2002, p. 70):

Entrevista-se o sujeito sobre transformações que se produzem nos objetos que tem diante de si. As ações que o sujeito realiza e suas explicações nos

informam sobre suas ideias. A conversa com o sujeito serve para dar-lhe instruções e nos ajuda a interpretar o sentido que ele faz.

As seguintes etapas foram realizadas na fase de análise dos dados (preservando, desse modo, a coerência em relação aos objetivos específicos desta pesquisa): 1) descrição, análise e categorização dos procedimentos; 2) discussão dos procedimentos à luz das estratégias mobilizadas pelos participantes; 3) definição dos níveis de respostas e invariantes operatórios. Esta forma de análise de dados apresenta similaridade à forma realizada por Beck e Silva (2020) no estudo de estratégias mobilizadas por estudantes em atividades relacionadas ao conceito algébrico de comutatividade dos números naturais. Seguimos metodologicamente na mesma direção, com as devidas adaptações.

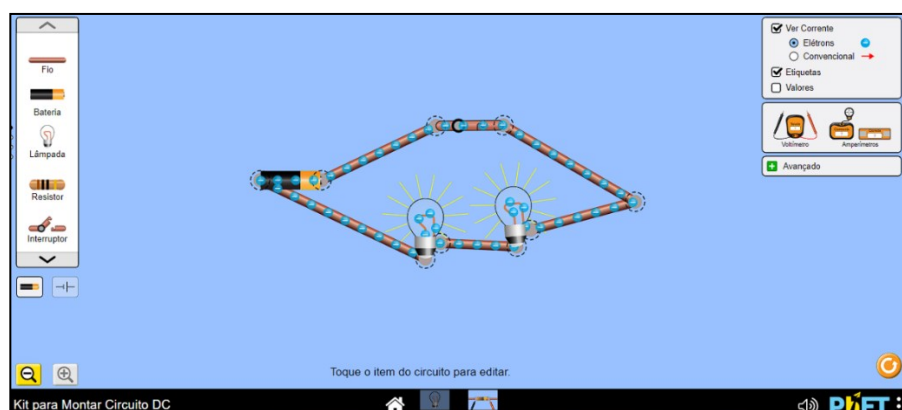
Foram registrados procedimentos dos estudantes de duas turmas de 3º ano do Ensino Médio de cursos técnicos da modalidade Integrado, enquanto estes realizavam atividades com o simulador Kit para Montar Circuito DC da plataforma PhET. Participaram da pesquisa um total de 27 estudantes.

A pesquisa aqui apresentada não possui registro em comitê de ética pelo fato de utilizar respostas de banco de dados agrupados sem possibilidade de identificação individual, conforme exposto no inciso V do parágrafo único do Art. 1 da resolução 510 de 2016 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), publicada pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2016).

### Estratégia Didática

Um circuito em série com as mesmas características do apresentado na Figura 1 pode ser simulado computacionalmente através do laboratório virtual Kit para Montar Circuito DC, disponível na plataforma PhET (UNIVERSITY OF COLORADO, 2022), o qual pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 – Circuito em série simulado na plataforma PhET



Fonte: simulação realizada pelos pesquisadores na plataforma PhET.

Os sujeitos das duas turmas participantes desta pesquisa foram encaminhados a um laboratório de Informática, em dias diferentes, e se organizaram para realizar a atividade proposta em duplas e trios. Nenhum dos grupos relatou dificuldades excessivas em realizar as tarefas propostas, que foram entregues em poucos minutos pelos grupos.

A simulação da Figura 2 foi apresentada aos estudantes, que puderam manipular os componentes (virtualmente), e em seguida, foram desafiados a

construírem um circuito em série no simulador. Depois de construírem o circuito, algumas explicações sobre medição de tensão e corrente foram feitas, e as seguintes questões foram propostas a eles (ao mesmo tempo em que uma folha em branco era entregue para cada estudante): “O que você percebe sobre a forma de distribuição da tensão em diferentes pontos do circuito? Através de medições, o que você pode dizer sobre a corrente? Escreva tudo o que você achar importante nesta folha que lhe foi entregue”.

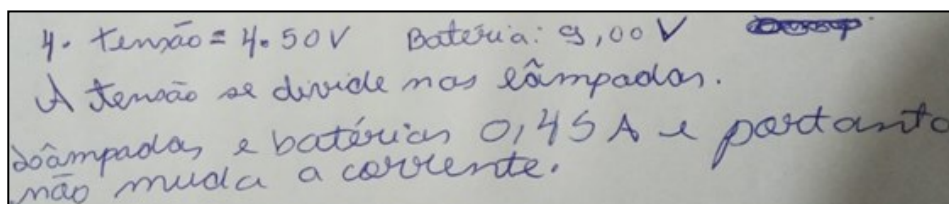
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os dados da pesquisa, inicialmente categorizamos os procedimentos adotados pelos estudantes, os quais foram anotados por eles na folha que foi disponibilizada para anotações referentes à realização da simulação.

Ressalta-se que todos os grupos realizaram corretamente as medições, com os equipamentos corretos e identificando as unidades de medida de forma adequada, talvez por já terem estudado o conteúdo de circuitos elétricos, teoricamente, em sala de aula, na disciplina de Física. A grande maioria dos grupos optou por anotar as medições, e inclusive, alguns perguntaram se era apenas esta a atividade, evidenciando uma falta de familiaridade em atividades descritivas no ensino de Ciências.

Identificamos quatro categorias de procedimentos: 1) descrição pouco detalhada; 2) boa descrição da tensão com valores específicos; 3) boa descrição da corrente; 4) boa descrição da tensão e da corrente. Nas Figuras 3, 4, 5 e 6, a seguir, apresentamos um representante de cada categoria.

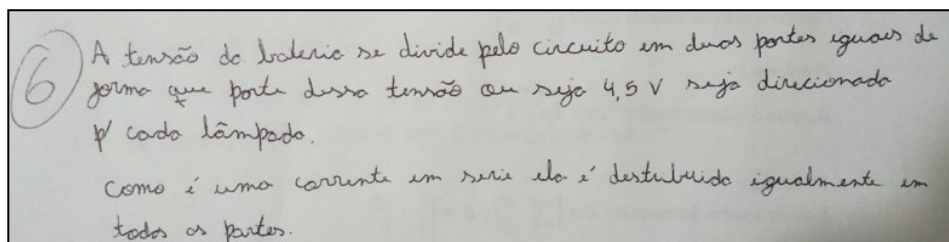
Figura 3 – Descrição pouco detalhada



4. tensão = 4,50V Bateria: 9,00V  
A tensão se divide nas lâmpadas.  
As lâmpadas e baterias 0,45A e portanto  
não muda a corrente.

Fonte: Próprios autores.

Figura 4 – Boa descrição da tensão com valores específicos



6) A tensão da bateria se divide pelo circuito em duas partes iguais de forma que parte dessa tensão ou seja 4,5V seja direcionada p/ cada lâmpada.  
Como é uma corrente em série ela é distribuída igualmente em todas as partes.

Fonte: Próprios autores.



Figura 5 – Boa descrição da corrente

1. corrente = 0,45 A  
 Tensão = 4,50 V

Para medir a tensão é preciso conectar o voltímetro  
 O total da bateria se divide nas lâmpadas.  
 A corrente permanece a mesma independentemente do ponto que for medido.

Fonte: Próprios autores.

Figura 6 – Boa descrição da tensão e da corrente

Tensão:  $B = 9,00 \text{ V}$   
 $b_1 = 4,50 \text{ V}$   
 $b_2 = 4,50 \text{ V}$

A tensão:  
 se divide de acordo com o número  
 de lâmpadas

Corrente:  $C_B = 0,45 \text{ A}$   
 $C_{b_1} = 0,45 \text{ A}$   
 $C_{b_2} = 0,45 \text{ A}$

E a corrente:  
 é igual para todos os circuitos se for  
 em série.

Fonte: Próprios autores.

Partindo da ideia de que as representações apresentadas nas descrições das medições realizadas são representativas dos invariantes operatórios mobilizados pelos estudantes, entendemos que os estudantes com "descrição pouco detalhada" não trazem para um nível de representação as relações numéricas da tensão e explicam o fato de as medições para corrente apresentarem o mesmo valor, por um fato que não corresponde ao comportamento real do circuito. No extrato da Figura 3, por exemplo, a invariância da corrente é atribuída estritamente à medição, ou seja, o motivo da invariância está sendo atribuído apenas à observação, como se não pudéssemos ter uma ideia do que acontece com o circuito antes da medição.

Os extratos das Figuras 4 e 5 apresentam boa descrição para apenas uma das grandezas, corrente ou tensão, com forte dependência dos valores observados nas medições, ainda que já se tenha um movimento de estabelecer algumas relações, como na escrita "a corrente permanece a mesma independentemente do ponto que for medida". Por isso, entendemos que esses procedimentos são de mesmo nível operatório, isto é, mais ligados à situação concreta, com alguma generalização que permite uma boa descrição de pelo menos uma das duas grandezas.

A Figura 6 representa o pensamento daqueles que conseguem não apenas formular uma sentença que represente o que está acontecendo na simulação, mas também anunciar uma regra que pode, indutivamente, abranger casos mais gerais. No Quadro 1 sintetizamos esta análise em três níveis de respostas.

**Quadro 1** – Níveis de Respostas

Categoria	Descrição
Nível I	Não trazem para um nível de representação as relações numéricas da tensão e explicam o fato de as medições para corrente apresentarem o mesmo valor por um fato que não corresponde ao comportamento real do circuito.
Nível IIA	Mais ligados à situação concreta, com alguma generalização que permite uma boa descrição de pelo menos uma das duas grandezas (tensão).
Nível IIB	Mais ligados à situação concreta, com alguma generalização que permite uma boa descrição de pelo menos uma das duas grandezas (corrente).
Nível III	Conseguem não apenas formular uma sentença que represente o que está acontecendo na simulação, mas também anunciar uma regra que pode, indutivamente, abranger casos mais gerais.

**Fonte:** autoria própria.

Considerando os estudos de Beraldo, Oliveira e Stringhini (2020, 2021), que ressaltam a ênfase na motivação nas pesquisas sobre simulações no ensino, entendemos que, ao constatar que existem níveis progressivos de descrição do comportamento da tensão e da corrente no circuito em série, e quando apresentamos uma caracterização desses níveis no Quadro 1, contribuímos para explorar um campo mais voltado para análises cognitivas, se distanciando das análises sobre a motivação para aprender com o uso de simuladores, já estabelecida e consolidada na literatura. Nesse sentido, observamos o potencial de avaliação qualitativa da aprendizagem, ou, o quanto se pode aprofundar na explicação do fenômeno, através do uso de simuladores.

Também constatamos que nada impede que o simulador seja usado com o apoio de circuitos físicos, principalmente para verificar rapidamente algumas hipóteses (LÉVY, 2010), de modo a ser utilizado em um método pedagógico híbrido, tal como apresentado por Bruno, Oliveira e Oliveira (2021).

Também se verificou que os próprios estudantes associaram as medições e o comportamento da tensão e corrente do circuito com o que já haviam estudado anteriormente, ou seja, constatando a coerência com o comportamento real de circuitos em série. Isto corrobora com os apontamentos dos professores participantes da pesquisa de Cestari *et al.* (2021), em relação à articulação entre experimentação física e validação por meios digitais.

Tendo em vista os resultados, podemos afirmar a eficácia do simulador do Kit para Montar Circuito DC da plataforma PhET, no que se refere à consolidação de modelos mentais do comportamento das grandezas tensão e corrente no circuito em série, concordando, deste modo, com Reis, Geller e Serrano (2021), que também constataram bons resultados no que diz respeito à construção de modelos mentais com o uso de simuladores digitais, porém, para outros conceitos de Física.

A situação apresentada aos estudantes gerou pelo menos quatro tipos de representações dos procedimentos realizados, as quais foram agrupadas em três níveis de invariantes operatórios. A partir desses níveis, podemos ensaiar alguns conceitos-em-ação e teoremas-em-ação possíveis (Quadro 2).

**Quadro 2 – Conceitos-em-Ação e Teoremas-em-Ação para o Circuito em Série**

Categoria	Descrição
Nível I	Conceito-em-Ação: Circuito em série determinado por medições. Teorema-em-Ação: Tensão se divide nas lâmpadas e corrente é a mesma por causa das medições.
Nível IIA	Conceito-em-Ação: Circuito em série com dois resistores, com corrente distribuída. Teorema-em-Ação: Tensão se divide na metade e corrente "se distribui" igualmente.
Nível IIB	Conceito-em-Ação: Circuito em série com dois resistores, com corrente constante. Teorema-em-Ação: Tensão se divide na metade e corrente permanece a mesma.
Nível III	Conceito-em-Ação: Circuito em série como associação de vários resistores. Teorema-em-Ação: Tensão se divide de acordo com o número de lâmpadas e corrente constante.

**Fonte:** autoria própria.

No Nível I, o sujeito não tenta organizar um esquema sobre o comportamento elétrico do circuito e confia inteiramente sua análise ao que está medindo, de modo que se um outro circuito em série for proposto, com outros valores, nesse nível, apenas as medições darão algum suporte. Por isso os invariantes operatórios gerados não assumem uma abstração maior, estando em um nível bastante inicial, em termos de representação, sem muitos esquemas, no sentido proposto por Vergnaud (2009).

No Nível II, pelo menos há alguma regra para uma das variáveis. Por exemplo, a tensão se divide na metade, porque numericamente, é o que aparece nas medições, já que o mesmo valor é medido nos dois resistores (que tem mesma resistência). Não há, nesse nível, a formulação da hipótese de se ter mais resistores ou dois resistores com resistências diferentes. São esquemas ainda intermediários, teoremas-em-ação que não resolvem o problema, e que não estão bem alinhados com conhecimento científico. Segundo Vergnaud (1990) este caminho intermediário é possível, e não é errado, é apenas uma parte do processo.

No nível III, a atenção do sujeito está na invariância da corrente, sem atribuir importância maior aos valores obtidos ou a relação numérica imediata, isto é, há uma tentativa na formulação de uma regra mais geral (ainda que não fosse o propósito do experimento), gerando um teorema-em-ação mais sofisticado que os demais. Não podemos ignorar o fato de que apenas dois resistores de mesmo valor não dão suporte para que esta generalização seja feita aqui, experimentalmente (ainda que a constatação seja correta neste caso, provavelmente advinda de conceituações anteriores, em estudos precedentes na disciplina de Física), mas, ainda assim, no Nível III a representação das ideias, a partir da experimentação realizada, é de uma natureza mais abstrata e que se utiliza mais da capacidade do sujeito em formular hipóteses, com teoremas-em-ação mais alinhados com o conhecimento científico.

Através dos níveis apresentados no Quadro 2, é interessante notar que nos níveis 1 e 2, o pensamento dos estudantes apresenta grande dependência do caso concreto apresentado, com duas lâmpadas e também o ponto no qual a corrente medida tem grande importância. Já no nível 3, os invariantes operatórios estão mais ligados a uma ideia mais abstrata de circuito em série, que prioriza o comportamento das grandezas, em detrimento dos valores.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que o objetivo geral do trabalho foi analisar as compreensões dos estudantes do Ensino Médio sobre algumas propriedades dos circuitos elétricos com ligação em série, por meio da aprendizagem por simulação virtual, acreditamos que este foi alcançado, já que foi possível apontar alguns conceitos-em-ação e teorema-em-ação dos estudantes.

Constatamos que os estudantes, ao descreverem as medições decorrentes da simulação envolvendo o circuito em série, elaboram teoremas-em-ação que vão do concreto ao abstrato, partindo de conceitos-em-ação muito focados nas medições e no número de resistores, que se complexificam na medida em que partem para ideias mais gerais, ou seja, aquelas nas quais a descrição não está mais focada no número de resistores e nos valores medidos, mas no comportamento geral das grandezas analisadas.

Conforme os resultados obtidos, constatamos que estudantes do 3º do Ensino Médio possuem diferentes níveis de compreensão sobre circuitos elétricos com ligação em série, sendo que alguns participantes conseguiram produzir modelos mentais totalmente alinhados com conhecimento científico, com teoremas-em-ação muito próximos das leis da Física envolvendo circuitos elétricos.

# Learning by Simulation of Electrical Phenomena: understanding of adolescents about serial circuits through the PhET digital laboratory

## ABSTRACT

This paper has as general aim to analyze the understandings of adolescents about some properties of electrical circuits with serial connection, through learning by digital simulation. The theoretical framework adopted in this paper is the theory of conceptual fields, elaborated by the French psychologist Gérard Vergnaud. This study adopted a qualitative methodological approach. In the collection and analysis of the results we used the Clinical Method of Manipulation-Formalization, developed by the group of Jean Piaget and widely used in research on learning and cognitive development. According to the results obtained, we found that students of the 3rd year of High School have different levels of understanding about electrical circuits with serial connection, and some participants were able to produce mental models fully aligned with scientific knowledge, with theorems-in-action very close to the laws of Physics involving electrical circuits.

**KEYWORDS:** Learning; Simulations; Electric circuits.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos às agências de fomento CNPQ e FAPERGS, que tornaram possível a realização da nossa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- BECK, V. C.; SILVA, J. A. Invariantes operatórios de generalização algébrica mobilizados por crianças em uma situação de comutatividade na adição de números naturais. **Vydia**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 299-314, 2020.
- BERALDO, A. L. S.; OLIVEIRA, T.; STRINGHINI, D. Laboratórios remotos de FPGA com foco no ensino: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 1-11, 2020.
- BERALDO, A. L. S.; OLIVEIRA, T.; STRINGHINI, D. Laboratórios remotos e virtuais no Brasil com foco no ensino: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 330-340, 2021.
- BRASIL ESCOLA. Associação de geradores em série. Disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/geradores-serie.htm>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Disponível em: [https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510\\_07\\_04\\_2016.htm](https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510_07_04_2016.htm). Acesso em: 18 abr. 2023.
- BRUNO, J. P. B.; OLIVEIRA, T.; OLIVEIRA, A. M. Desenvolvimento de um laboratório remoto de FPGA: indo em direção a um laboratório híbrido. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 309-319, 2021.
- CESTARI, T. N.; SILVA, P. F.; SANTOS, M. G.; PERES, M. C.; TAROUÇO, L. M. R. Experimentos virtuais no ensino de Física: uma pesquisa sobre a percepção dos docentes. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 320-329, 2021.
- DELVAL, J. **Introdução à Prática do Método Clínico**: descobrindo o pensamento das crianças. Tradução de Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, 2002.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**: eletromagnetismo. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi. 10. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2016. v. 3.
- LÉVY, P. **Cibercultura**. Tradução de Carlos Irineu da Costa. 3. ed. São Paulo, SP: Editora 34, 2010.
- PIAGET, J. **Biologia e Conhecimento**. Petrópolis, RJ: Editora Vozes, 2003.
- PIAGET, J. **A Epistemologia Genética**. Tradução de Álvaro Cabral. 4. ed. São Paulo, SP: Editora WMF Martins Fontes, 2012.
- PIAGET, J.; INHELDER, B. **Gênese das Estruturas Lógicas Elementares**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Zahar, 1975a.
- PIAGET, J.; INHELDER, B. **O Desenvolvimento das Quantidades Físicas na Criança**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Zahar, 1975b.
- PIAGET, J.; INHELDER, B. **Memória e Inteligência**. Brasília, DF: Editora Artenova, 1979.

REIS, M. A. F.; GELLER, M.; SERRANO, A. Computer simulations for the teaching of photoelectric effect. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 298-308, 2021.

SILVA, C. X.; BARRETO, B. F. **Física aula por aula**: eletromagnetismo, ondulatória, Física moderna. São Paulo, SP: FTD, 2010.

UNIVERSITY OF COLORADO. PhET Interactive Simulations. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/). Acesso em: 18 abr. 2023.

VERGNAUD, G. **A criança, a matemática e a realidade**: problemas do ensino da matemática na escola elementar. Tradução de Maria Lucia Faria Moro. 3. ed. Curitiba: Editora da UFPR, 2009.

VERGNAUD, G. La théorie dès champs conceptuels. **Recherches em Didactique dès Mathématiques**, v. 10, n. 2-3, p. 133-170, 1990.

VERGNAUD, G. The nature of mathematical concepts. In: NUNES, T.; BRYNT, P. (Eds.) **Learning and teaching mathematics, an international perspective**. Hove (East Sussex), 1997.

**Recebido:** 03 janeiro 2023.

**Aprovado:** 01 maio 2024.

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.3895/etr.v8n1.16284>.

**Como citar:**

CANDIA, D. G. M. de; PAGEL, C. H.; BECK, V. C. Invariantes operatórios mobilizados por estudantes do Ensino Médio sobre circuitos em série através do laboratório virtual PhET. **Ens. Tecnol. R.**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 52-66, jan./jun. 2024. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/etr/article/view/16284>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Deiviti Gustavo Moreira de Candia

Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Programa de Pós-Graduação Educação em Ciências. Avenida Itália, km 08, s/n, Campus Carreiros. Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil.

**Direito autoral:**

Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

