



## TRADUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM QUESTIONÁRIO DE DUAS CAMADAS SOBRE CIRCUITOS ELÉTRICOS SIMPLES

*Translation and validation of a two-tier instrument on simple electric circuits*

**Ana Rita Mota** [ana.mota@fc.up.pt]

*CF-UM-UP, Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências  
Universidade do Porto  
Rua do Campo Alegre 687, Porto, Portugal*

**Patrícia Costa** [patricia.dinis.costa@iscte-iul.pt]

*ISTAR, ISCTE-SINTRA  
Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL)  
Avenida Heliodoro Salgado, n.º 3, Sintra, Portugal*

### Resumo

A investigação sobre o ensino de circuitos elétricos tem evidenciado as dificuldades dos alunos em construir um modelo mental sólido e cientificamente consistente. O questionário de duas camadas 2T-SEC, destinado a avaliar conhecimentos sobre circuitos elétricos simples, foi traduzido e administrado a 223 alunos do 9.º e 10.º anos de uma escola portuguesa, com o objetivo de proceder à sua validação para português. Na validação, usou-se o modelo da Teoria da Resposta ao Item (logístico de dois parâmetros). A consistência interna do teste para o 9.º e 10.º anos, avaliada pelo alfa de Cronbach, com valores de 0,88 e 0,86 respetivamente, e as estimativas dos parâmetros dos itens (discriminação e dificuldade) mostram que o questionário é um instrumento de diagnóstico fiável e válido, adequado para ser usado como pós-teste para alunos portugueses do ensino fundamental/médio. Os resultados indicam, ainda, que o questionário tem maior poder informativo para alunos com nível de desempenho intermédio e reforçam algumas das conclusões da literatura atual: o conceito de diferença de potencial elétrico (d.d.p.) é delicado e complexo e a maioria dos alunos demora tempo a construir um modelo mental sólido e consistente sobre circuitos elétricos.

**Palavras-Chave:** Circuitos elétricos; Corrente elétrica; Diferença de potencial elétrico; Teoria da Resposta ao Item.

### Abstract

Research on teaching electric circuits has highlighted students' difficulties in the construction of a solid and scientifically consistent mental model. A two-tier simple electric circuits test (2T-SEC Test), designed to assess knowledge about simple electric circuits, was translated and administered to 223 students in the 9th and 10th grades of a Portuguese school, with the aim of validating a Portuguese language version of the questionnaire. An Item Response Theory analysis (two-parameter logistic model) was used in the validation. The internal consistency of the test for the 9th and 10th grades (Cronbach's alpha of 0,88 and 0,86, respectively) and the estimates of the item parameters (discrimination and difficulty) show that the test is reliable, valid, and suitable as a post-test for middle/high school Portuguese students. The results indicate that the questionnaire has greater information for students with an intermediate level of performance and confirm the existing literature: the concept of electrical voltage is delicate and complex, and most students take time to develop a solid and consistent mental model of electric circuits.

**Keywords:** Electric circuits; Current; Voltage; Item Response Theory

## **INTRODUÇÃO**

Apesar da existência de estudos anteriores (Cohen, Eylon, & Ganiel, 1983), é em 1992 que McDermott e Shaffer, em consequência de uma extensa pesquisa, publicam dois artigos que mostram que a compreensão de circuitos elétricos simples e, em particular, o conceito de diferença de potencial elétrico (d.d.p. ou tensão elétrica) são difíceis e extremamente desafiantes para a maioria dos alunos (McDermott & Shaffer, 1992; Shaffer & McDermott, 1992). Desde então, vários pesquisadores têm proposto materiais e sequências didáticas pensadas para melhorar a compreensão conceptual dos alunos sobre este tema (Viennot, 2001; McDermott & Shaffer, 2002; Dorneles, Araújo, & Veit, 2006; Stetzer, Van Kampen, Shaffer, & McDermott, 2013; Araújo, Silva, Jesus, & Oliveira, 2017; Burde & Wilhelm, 2020).

Contudo, apesar destes esforços, investigações recentes concluem que só uma pequena percentagem dos alunos do ensino médio (e universitário) desenvolve uma compreensão profunda do tema e consegue construir um modelo conceptual capaz de prever e explicar o comportamento de circuitos elétricos simples (Ivanjek *et al.*, 2021). As dificuldades dos alunos são especialmente evidentes quando são solicitadas tarefas que, em vez de uma aplicação algorítmica de fórmulas, requerem a aplicação dos conceitos à análise qualitativa de certas situações (tarefas de comparação ou seriação, de previsão do efeito de certas alterações, etc.). Este cenário, comum a muitos tópicos de Física, motivou os investigadores a elaborar questionários conceptuais, geralmente constituídos por questões de múltipla escolha com a utilização de distratores, baseados nos pensamentos espontâneos dos alunos, incluindo as suas próprias palavras. Estes instrumentos permitem avaliar o nível de compreensão conceptual alcançado e a eficácia de ambientes de aprendizagem através do cálculo de indicadores como o ganho normalizado (Hake, 1998). O questionário conceptual mais conhecido em Física é o FCI - Force Concept Inventory (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992), mas existem atualmente mais de 60 questionários validados para diversos conteúdos da área da Física (incluindo Astronomia).

O presente estudo tem como principal objetivo validar a versão portuguesa do questionário 2T-SEC<sup>1</sup> (circuitos elétricos simples com baterias ideais). Ademais, pretende-se identificar diferentes conceções e raciocínios dos alunos sobre conceitos básicos relacionados com circuitos elétricos simples, que constituem obstáculos para a aprendizagem e, com base nesta análise, tecer um conjunto de recomendações para a prática letiva.

## **CIRCUITOS ELÉTRICOS SIMPLES: 40 ANOS DE INVESTIGAÇÃO**

Quatro décadas de investigação mostram que desenvolver uma sólida compreensão de circuitos elétricos simples representa um grande desafio para a maioria dos alunos do ensino médio (Burde & Wilhelm; 2020; Ivanjek *et al.*, 2021). Nesta faixa etária, os alunos são expostos a um conjunto de conceitos (corrente elétrica, resistência elétrica, diferença de potencial elétrico, pilhas sem resistência interna, cabos de resistência elétrica nula, etc.) num contexto altamente idealizado. Uma compreensão conceptual sólida e estruturada sobre circuitos elétricos revela-se quando os alunos têm a capacidade de responder a questões que, sem sair deste contexto ideal, não se resolvem por aplicação de algoritmos decorados. Exemplos são a previsão qualitativa do que acontece com a introdução ou remoção de um elemento no circuito, ou quando se abrem ou fecham ramos do circuito, seriação de lâmpadas por brilho em configurações variadas, etc. Ao contrário da mera aplicação de procedimentos algorítmicos memorizados, a correta realização destas tarefas requer uma compreensão clara e estruturada dos conceitos e da sua operacionalização na análise de circuitos.

O Quadro 1 mostra dificuldades específicas e ideias erradas comuns, geralmente adquiridas durante e após a instrução deste tópico (McDermott & Shaffer, 1992; Stetzer *et al.*, 2013; Ivanjek *et al.*, 2021; Mota *et al.*, 2023).

---

<sup>1</sup> A designação 2T-SEC foi atribuída pelos autores da versão inicialmente validada (Ivanjek *et al.*, 2021).

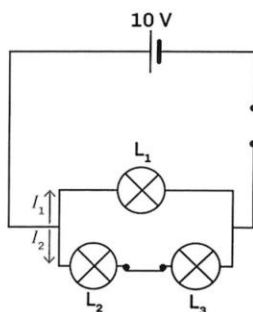
**Quadro 1** – Ideias erradas frequentes (durante/após a leção de circuitos elétricos simples)

- Uma bateria é uma fonte constante de corrente elétrica, isto é, o valor da corrente elétrica no circuito principal é sempre o mesmo, independentemente da quantidade de receptores ou da forma como são colocados.
- A corrente elétrica e/ou a d.d.p. é consumida ao longo do circuito.
- Como uma pilha é uma fonte de corrente elétrica constante, as lâmpadas intercaladas no circuito “compartilham” a corrente, independentemente da sua posição no circuito elétrico.
- O valor da corrente elétrica aumenta se a resistência elétrica aumentar.
- O valor da corrente elétrica no circuito principal varia, consoante o amperímetro é colocado antes ou depois de uma lâmpada.
- O sentido da corrente elétrica e a ordem com que as lâmpadas (receptores) se encontram posicionadas influenciam o valor da corrente elétrica e o brilho das lâmpadas.
- A d.d.p. nos terminais de um receptor depende da distância à bateria.
- Só existe d.d.p. num circuito se existir corrente elétrica.
- A resistência externa total de um circuito elétrico depende apenas do número de receptores e não na forma como estão dispostos (série/paralelo).

Uma das ideias (incorretas) mais discutidas na literatura (Engelhardt & Beichner, 2004) é a de que uma bateria é uma fonte de corrente elétrica constante. Muitos alunos não reconhecem que o valor da corrente elétrica num circuito depende das características da fonte, mas também da resistência (externa) equivalente do circuito. Veja-se o exemplo apresentado na Figura 1:

Considere o circuito elétrico seguinte, constituído por uma pilha e três lâmpadas iguais.

Despreze a resistência interna da pilha.



Conclua, justificando, se o valor da corrente elétrica, que passa na lâmpada 1 irá aumentar, diminuir ou manter-se constante se uma nova lâmpada for instalada em paralelo com a lâmpada 1.

**Figura 1** – Exemplo de um exercício relacionado com a variação do valor da corrente elétrica, se for adicionado um receptor em paralelo com outro receptor

Uma resposta dada com frequência é que a colocação de uma lâmpada em paralelo com a lâmpada 1 introduz um novo caminho e a corrente  $I_1$  divide-se pela lâmpada 1 e a nova lâmpada, diminuindo, portanto, o valor da corrente elétrica na lâmpada 1. Esta resposta evidencia que o aluno considera, incorretamente, que a corrente elétrica é uma propriedade da fonte.

Em 2021, Lana Ivanjek e colaboradores realizaram nove entrevistas a alunos entre 14-15 anos que, no ano anterior, já tinham aprendido circuitos elétricos simples e com um largo espectro de competências neste tema, segundo as suas autoavaliações. Estas entrevistas corroboraram os resultados de investigações anteriores, nomeadamente, que a d.d.p. entre dois pontos ou nos terminais de um receptor diminui com o afastamento à bateria e que a d.d.p. é consumida pelas lâmpadas. Alguns alunos confundiram os conceitos de corrente elétrica e d.d.p. e, surpreendentemente, vários tiveram dificuldades em reconhecer se os

receptores estavam em série ou em paralelo (entre si ou com a fonte), o que sugere que a distinção entre circuitos em série/paralelo, muitas vezes assumido pelos professores como de fácil aquisição, se pode constituir como um obstáculo. Em 1992, McDermott & Shaffer tinham chegado a conclusões semelhantes, identificando ainda mais fragilidades. Por exemplo, ao analisarem as respostas dos alunos que comparavam os brilhos de lâmpadas (em série e em paralelo) puderam verificar que os alunos usavam o conceito de resistência equivalente para explicar os diferentes brilhos, pensando na resistência equivalente como se fosse uma propriedade de cada lâmpada individual no circuito. Assim, já na década de 90, existiam indicadores que referiam a resistência equivalente como uma abstração complexa para alguns alunos, por confundirem o valor da corrente elétrica  $e/ou$  a d.d.p. de um elemento individual com o valor da corrente elétrica  $e/ou$  a d.d.p. da resistência equivalente. Estas dificuldades condicionam a capacidade de um aluno prever o que se altera (em termos de d.d.p e valores de corrente elétrica) quando se colocam/removem receptores/baterias em série  $e/ou$  em paralelo e, em consequência, a utilidade da resistência equivalente passa despercebida para a maioria dos alunos.

Muitas das dificuldades referidas anteriormente surgem em virtude de os alunos focarem a sua atenção em um ponto do circuito, ignorando o que se passa noutras partes; desenvolvem um raciocínio local (e muitas vezes sequencial) em vez de um pensamento holístico. Por outro lado, como o mesmo circuito elétrico pode ser apresentado de maneiras diferentes, surge uma dificuldade adicional: reconhecer que é a tipologia de ligações e nodos que define um circuito, não a geometria da sua representação (Ivanjek *et al.*, 2021; Mota *et al.*, 2023). Em consequência, é comum que os alunos resolvam com sucesso problemas complicados usando a lei de Ohm (e as leis de Kirchoff), sem serem capazes de tirar conclusões qualitativas em problemas simples.

Nos últimos anos, a investigação nesta área tem-se focado na grandeza física d.d.p., por se considerar que uma aprendizagem robusta e consistente de circuitos elétricos não é possível sem a total compreensão desta grandeza. Os alunos veem a d.d.p. como uma propriedade da corrente elétrica e não uma quantidade física independente (Burde & Wilhelm, 2020) e têm dificuldade em perceber que este conceito se refere à diferença de energia (potencial) de cada eletrão entre dois pontos distintos num circuito elétrico. Por exemplo, numa associação de duas lâmpadas em paralelo conectadas diretamente a uma pilha ideal, a alteração de um dos ramos não afeta o outro, pois a pilha estabelece a mesma d.d.p. entre as junções desses ramos. O conceito de d.d.p deve, pois, ser introduzido e explorado de forma atenta e as sequências didáticas devem ser desenvolvidas à volta deste conceito (Psillos, Tiberghien, & Koumaras, 1988; Burde & Wilhelm; 2020; Ivanjek *et al.*, 2021). Ao longo dos anos, surgiram várias abordagens que tentaram fazer uso de analogias para facilitar a compreensão de circuitos elétricos simples e, em particular da d.d.p. (Schweddes & Dudeck, 1996; Almeida, Salvador, & Costa, 2014; Burde & Wilhelm; 2020). Apesar das vantagens conhecidas do uso de analogias, a maioria requer demasiado tempo de adaptação e algumas podem até reforçar ideias erradas e difíceis de “desmontar”.

A complexidade na aprendizagem de circuitos elétricos levou à necessidade de produzir materiais que ajudem o aluno a desenvolver quer a capacidade de raciocínio, quer a clareza conceptual, tendo em vista o desenvolvimento de uma perspectiva holística, essencial à análise de circuitos elétricos (McDermott, Shaffer, & Rosenquist, 1996; McDermott & Shaffer, 2002). Como a resolução de problemas através de expressões/algoritmos não é uma medida fiável da compreensão conceptual de um tema, tem-se procurado desenvolver ambientes para criar conflitos conceptuais (Shaffer & McDermott, 1992; Mota, Santos, & Rosa, 2023) e adotar estratégias de exposição deliberada da tendência de um aluno cometer um determinado erro. Por outro lado, a variação dos contextos de aplicação dos mesmos conceitos, de forma a estimular a reflexão crítica e a capacidade de operacionalizar os conceitos em múltiplos cenários, tem sido uma preocupação dos professores e investigadores (Mota *et al.*, 2023).

## **QUESTIONÁRIO 2T-SEC**

Encontram-se na literatura vários questionários de escolha múltipla para o ensino fundamental/médio, desenvolvidos para identificar dificuldades dos alunos em circuitos elétricos ou para comparar diferentes abordagens de ensino (Sokoloff, 1996; Engelhardt & Beichner, 2004; Halloun, 2007; Peşman & Eryilmaz, 2010). Em 2021, Lana Ivanjek e seus colaboradores construíram e validaram um questionário de escolha múltipla por camadas (two tier), para alunos de 13-14 anos. Desenvolvido por seis grupos de investigação na área, distribuídos pela Alemanha e Áustria, este estudo é baseado no trabalho de Urban-Woldron (2012) e, na opinião dos autores, veio colmatar uma falha nos questionários previamente existentes: pouca atenção ao conceito de tensão elétrica. Neste sentido, este questionário apresenta um número significativo de itens

relativos à d.d.p (um conceito aparentemente subestimado em questionários anteriores), bem como um número equilibrado de itens distribuídos por cinco domínios:

- Circuitos elétricos abertos e fechados;
- Corrente elétrica;
- Resistência elétrica;
- Circuitos elétricos em série e em paralelo;
- Diferença de potencial elétrico.

A construção do questionário teve três etapas: 1) foram feitas nove entrevistas semiestruturadas, a alunos de 14-15 anos, de uma escola austríaca, posteriormente transcritas e analisadas; 2) foi desenvolvido um questionário com 25 itens de escolha múltipla com base nessas entrevistas e em estudos anteriores, posteriormente administrado a 1568 alunos de 38 escolas dos dois países; 3) os dados foram recolhidos e avaliados através do modelo de Rasch da Teoria da Resposta ao Item. Todas as questões incluem baterias ideais, isto é, assumem que a d.d.p. de uma bateria é constante e que, portanto, a resistência interna da pilha é desprezável.

A realização das entrevistas teve um duplo objetivo. Primeiro, identificar as principais dificuldades dos alunos com o conceito de d.d.p. para desenvolver novas questões de escolha múltipla e complementar o questionário já existente de Urban-Woldron (2012). Segundo, a análise das entrevistas possibilitou encontrar novos distratores para alguns dos itens existentes do questionário.

O questionário final é constituído por 25 itens e cada item tem duas partes (camadas). Na primeira parte (camada 1), é feita uma pergunta e na segunda parte (camada 2) é solicitado ao aluno que escolha a alternativa que explica a razão da sua resposta à pergunta da primeira camada. As opções de justificação da segunda camada foram construídas com base em concepções intuitivas já registadas na literatura, às quais foram adicionados/substituídos novos distratores decorrentes da análise das entrevistas. Cada item foi atribuído a um dos cinco conceitos básicos sobre eletricidade introdutória, com uma distribuição equilibrada por esses cinco conceitos (Quadro 2). Ivanjek e seus colaboradores (2021) também validaram um questionário apenas constituído pelos 11 itens iniciais (que não exploram tão aprofundadamente os conceitos de d.d.p. e circuitos elétricos em série/paralelo). Esta versão reduzida revelou-se particularmente bem dirigida aos alunos da população deste estudo. Assim, o questionário pode ser implementado com os 25 itens, mas também num formato mais reduzido (com os 11 itens iniciais).

**Quadro 2 – Itens distribuídos pelos domínios respetivos**

<b>Conceitos</b>	<b>Itens</b>
Circuitos elétricos abertos e fechados	1, 2, 11
Corrente elétrica	9, 15, 18, 22, 23
Resistência elétrica	4, 5, 16, 24
Circuitos elétricos em série e em paralelo	6, 10, 13, 20
Diferença de potencial elétrico	3, 7, 8, 12, 14, 17, 19, 21, 25

## **AMOSTRA E PROCESSO DE VALIDAÇÃO DO QUESTIONÁRIO PARA LÍNGUA PORTUGUESA**

A tradução do questionário foi feita por uma professora/investigadora do ensino fundamental/médio e, posteriormente, validada por três professores de Física e Química do ensino fundamental/médio e dois professores de Física do ensino superior. As versões foram sendo melhoradas e alteradas originando cinco versões. Depois de feita a primeira versão da tradução pela professora/investigadora do ensino fundamental/médio, um professor de Física do ensino superior comparou-a com a versão original (em inglês) e ambos discutiram melhorias para a segunda versão. A segunda versão foi recebida, em simultâneo, por dois professores de Física e Química do ensino fundamental/médio que voltaram a comentar a tradução de cada um dos itens das diferentes questões. As propostas de alteração foram cuidadosamente analisadas e deram lugar a uma terceira versão. Este processo foi repetido com o terceiro professor de Física e Química do ensino fundamental/médio, originando a quarta versão. Por fim, uma professora de Física do ensino superior analisou a quarta versão e procedeu à validação da tradução. Os seus comentários e propostas de alteração deram lugar, depois de analisados, à quinta versão. A quinta (e última) versão foi administrada aos

alunos e pode ser visualizada no apêndice A. Durante o processo de validação, foram esclarecidas algumas gralhas junto dos autores do questionário inicial (verificadas sobretudo na questão 10).

O questionário foi administrado a 133 alunos do 9.º ano de escolaridade (14 anos) e a 90 alunos do 10.º ano de escolaridade (15 anos), numa escola privada portuguesa. Os alunos de 9.º ano realizaram o questionário com um intervalo de dois meses após a última avaliação sobre o tema, enquanto, para os alunos de 10.º ano, o intervalo foi apenas de duas semanas. Em Portugal, os circuitos elétricos simples (DC) são introduzidos no 9.º ano de escolaridade, envolvendo apenas pilhas ideais. Pilhas reais, com resistência interna não desprezável, são discutidas no 10.º ano de escolaridade.

Na validação original (Ivanjek *et al.*, 2021), os autores optaram por apresentar dois tipos de resultados;

- *Separate scoring*: os 25 itens com as duas camadas (alíneas a) e b)) independentes, o que perfaz 50 questões na totalidade;
- *Paired scoring*: os 25 itens com as duas camadas (alíneas a) e b)) dependentes, isto é, cada pergunta só era contada como certa se os alunos selecionassem corretamente ambas as camadas, perfazendo 25 perguntas.

Na validação para língua portuguesa, considerou-se apenas a segunda opção (*paired scoring*), isto é, cada um dos 25 itens apenas foi considerado certo na situação em que as duas camadas eram consistentes e certas. O objetivo de um questionário em que se solicita uma explicação para uma opção de resposta a uma pergunta é verificar se o aluno raciocina e aplica os conceitos corretamente para chegar à sua conclusão. Por esta razão, não se considera adequado valorizar uma resposta certa (camada 1) com uma justificação errada (camada 2) ou uma justificação certa (camada 2) com uma opção de resposta inconsistente (camada 1).

Por outro lado, neste artigo, optou-se por apresentar com maior detalhe as propriedades psicométricas do questionário realizado por alunos do 9.º ano, uma vez que, em Portugal, é neste ano de escolaridade que os conteúdos abordados no questionário são inicialmente lecionados.

## **MÉTODOS**

O processo de validação foi realizado com base na Teoria Clássica dos Testes (TCT) (Allen & Yen, 2001) e na Teoria da Resposta ao Item (TRI). A fiabilidade dos questionários foi quantificada através do estimador de consistência interna das escalas, em particular pelo coeficiente  $\alpha$  de Cronbach (Cronbach, 1951), baseado na TCT (Guilford, 1978), através do Software IBM SPSS (versão 28).

Os modelos da TRI consistem em modelos estatísticos paramétricos para itens de testes, que associam a probabilidade de uma dada resposta (neste caso, certa ou errada) a um fator latente (não observado), interpretado como sendo a habilidade ou desempenho dos participantes/alunos num instrumento de medida (e.g. teste ou questionário) (Hambleton, Swaminathan, & Rogers, 1991). A TRI permite a análise de cada item que constitui o instrumento, tendo em consideração as suas características na produção das habilidades/desempenho, facilitando, também, a interpretação da escala de desempenho produzida. A representação gráfica que expressa a relação entre a probabilidade de acerto num item e o desempenho no teste, considerando as propriedades dos parâmetros dos itens, denomina-se por curva característica do item (CCI).

No artigo de Ivanjek *et al.* (2021), a análise foi realizada com um modelo de Rasch, unidimensional (um só fator latente de competência - neste caso, desempenho em Circuitos Elétricos). Neste estudo, com vista a verificar o pressuposto da unidimensionalidade do modelo, calculou-se o quociente entre a variância explicada pelo primeiro fator e a explicada pelo segundo fator (quociente\_9.º ano = 3,6 e quociente\_10.º ano = 3,3) mostrando que a variância explicada pelo primeiro fator é superior à explicada pelo segundo fator, sugerindo a unidimensionalidade (Muñiz, 1990; Embretson & Reise, 2000).

Posteriormente, modelaram-se os dados dos questionários 2T-SEC utilizando o modelo logístico de 2 parâmetros (ML2) (Birnbaum, 1968; Hambleton *et al.*, 1991), um modelo unidimensional, teoricamente adequado para itens dicotómicos (do tipo, certo ou errado), que acomoda a possibilidade de itens que, além do fator de dificuldade, diferem na capacidade de discriminar os alunos. No ML2, os parâmetros dos itens que influenciam o desempenho dos alunos no questionário são a dificuldade e a discriminação. O parâmetro de dificuldade do item corresponde ao ponto da escala de desempenho onde a probabilidade de resposta é 50%.

Quanto maior o índice de dificuldade do item, maior deve ser o nível do fator latente/desempenho exigido para que o aluno tenha a probabilidade de 50% de acertar no item. Considerando a escala de desempenho padronizada, com média 0 e desvio padrão 1, os valores do parâmetro de dificuldade variam, em geral, entre -3 (itens fáceis) e 3 (itens difíceis). A característica mais importante desse parâmetro é que está na mesma escala do fator latente, permitindo que a dificuldade dos itens possa ser interpretada em termos do desempenho dos alunos. O parâmetro de discriminação é dado pela inclinação da CCI em relação ao eixo das abscissas e pode variar de 0 a  $\infty$ , mas tipicamente varia entre 0 e 2. Valores negativos do parâmetro de discriminação indicariam que a probabilidade de acertar um item estaria inversamente relacionada com o desempenho, isto é, o item era acertado por alunos com menor desempenho e errado pelos alunos com maior desempenho, o que não é de esperar.

A escolha do modelo logístico de dois parâmetros (ML2) resultou de uma análise da qualidade do ajuste aos dados, pelo critério de informação de Akaike (AIC) (Akaike, 1981). O valor do AIC para o 9.º e 10.º anos foi menor para o modelo 2PL mostrando a superioridade deste modelo, comparativamente com o modelo de Rasch (AIC\_9.º ano\_Rasch = - 2216,08; AIC\_9.º ano\_2PL= - 2120,71; AIC\_10.º ano\_Rasch = - 3438,89 e AIC\_10.º ano\_2PL = -3350,55).

Para validar a metodologia de análise avaliou-se, ainda, a qualidade do ajuste do modelo teórico aos dados e recorreu-se à função de informação do teste para averiguar a capacidade informativa do instrumento relativamente ao fator latente (desempenho em Circuitos Elétricos). Paralelamente, indicaram-se os níveis de desempenho onde o questionário é mais ou menos discriminativo e a medida global do erro da medida. A função de informação do item permite analisar quanto um item contribui com informação para a medida do desempenho. A função de informação do teste é dada pela soma das funções de informação dos itens do questionário e é um indicador da precisão do questionário. O Erro Padrão de Medida (EPM) é inversamente proporcional à função de informação do teste.

As estimativas dos parâmetros dos itens e do fator latente de desempenho (ability) de cada aluno em Circuitos Elétricos foram obtidas pela aplicação do procedimento de estimação de Máxima Verosimilhança Marginal (MVM). Os cálculos foram feitos no software R.

## **RESULTADOS**

Esta secção encontra-se dividida em duas partes: na primeira discute-se o processo de validação com a apresentação dos resultados do estudo das propriedades psicométricas do questionário; na segunda analisam-se as respostas dos alunos do 9.º e 10.º anos, por domínios.

### **Estudo das propriedades psicométricas do questionário**

A consistência interna do questionário 2T-SEC, aplicado ao 9.º ano e quantificada pelo coeficiente  $\alpha$  Cronbach é 0,875, um valor aceitável (fiabilidade moderada a elevada) de acordo com a literatura (Murphy & Davidshofer, 1988).

No apêndice B é possível encontrar as estimativas dos parâmetros dos 25 itens (discriminação e dificuldade), obtidos pela TRI. Esta informação encontra-se organizada na Tabela 1, onde se apresenta a classificação dos itens segundo as estimativas dos parâmetros de discriminação e dificuldade (Hambleton & Rogers, 1991).

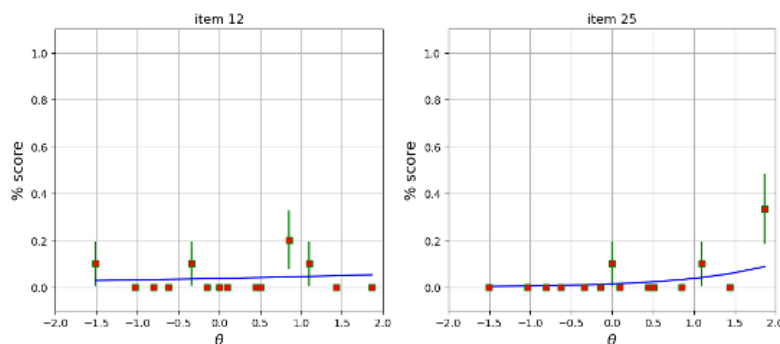
A estimativa do parâmetro de discriminação ( $\hat{a}$ , obtida através do modelo logístico de 2 parâmetros da TRI) indica que o questionário apresenta itens muito discriminativos (68% dos itens), itens de discriminação média (28%) e que apenas um item não é discriminativo (item 12). Usualmente, valores do parâmetro de discriminação inferiores a 0,5 recomendam que os itens sejam revistos ou retirados, como é o caso do item 12. No que se refere ao parâmetro de dificuldade ( $\hat{b}$ ) dos itens, verifica-se que o questionário apresenta itens de todos os níveis de dificuldade (fácil, médio e difícil). Os itens são, maioritariamente, de dificuldade média e apenas um item é fácil (item 1).

**Tabela 1** – Classificação dos itens do questionário 2T-SEC face às estimativas dos parâmetros de discriminação e dificuldade, calculados via TRI

Discriminação	Limites	Itens	Nº de Itens	Fr (%)
Pouco discriminativos (PD)	<0,5	12	1	4
Discriminativos (D)	[0,5; 1[	2,3,6,7,14,15,20	7	28
Muito discriminativos (MD)	≥1	1,4,5,8,9,10,11,13,16,17,18,19,21,22,23,24,25	17	68
Dificuldade	Limites	Itens	Nº de Itens	Fr (%)
Fácil (F)	[-3; -1[	1	1	4
Médio (M)	[-1; 1[	2,3,4,5,6,8,9,10,11,13,15,16,17,18,19,21,22,23,24	19	76
Difícil (D)	[1; 3]	7, 12*, 14, 20, 25*	5	20

\*Estimativa do parâmetro de dificuldade não pertencente ao intervalo esperado

Nos itens 12 e 25 o número de respostas corretas é residual, uma vez que o grau de dificuldade destes itens é superior ao valor máximo do fator latente observado nesta amostra. Dividindo os alunos em grupos de 10, ordenados por ordem crescente do fator latente de desempenho, é possível comparar o ajuste às frequências relativas de respostas corretas observadas (Figura 2); a maioria dos grupos não tem qualquer resposta correta. Isto significa que em toda a gama de valores de habilidades, só é possível encontrar a cauda inferior da função logística. Neste sentido, estes dois itens não dão informação significativa sobre alunos deste grau de escolaridade, devido ao grau excessivo de dificuldade.



**Figura 2** – Linha azul: ajuste do modelo. Os dados, representados pelos pontos a vermelho, foram obtidos ordenando os alunos pelo fator latente e representando cada grupo de 10, com fatores latentes próximos, por um ponto com abscissa igual à mediana dos fatores latentes do grupo e ordenada igual à frequência relativa de respostas certas no grupo.

Os itens 2, 3, 6 e 15 são discriminativos e de dificuldade média. Os itens 7, 14 e 20 são discriminativos e muito difíceis. Todos os outros itens que compõem o questionário são muito discriminativos e de dificuldade média.

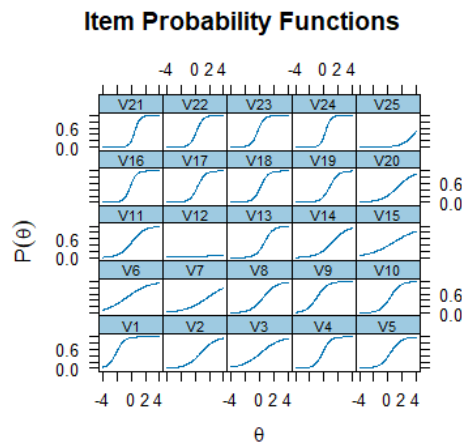
As estatísticas descritivas das estimativas dos parâmetros dos itens (Tabela 2) mostram que a distribuição da estimativa do parâmetro de discriminação dos itens é assimétrica positiva, com média 1,42 e mediana 1,34, coeficiente de assimetria 0,37 e erro padrão associado 0,46. No que se refere à estimativa do parâmetro de dificuldade, a distribuição tem média 1,01, mediana 0,32 e coeficiente de assimetria 4,05, com um erro padrão associado 0,46, pelo que é assimétrica positiva. O 1.º quartil da distribuição é -0,03, o que quer dizer que 25% dos itens têm dificuldade inferior a -0,03 e o 3º quartil é 0,88. A amplitude interquartil é, assim, de 0,91.



**Tabela 2** – Estatísticas descritivas das estimativas dos parâmetros dos itens (calculados via TRI)

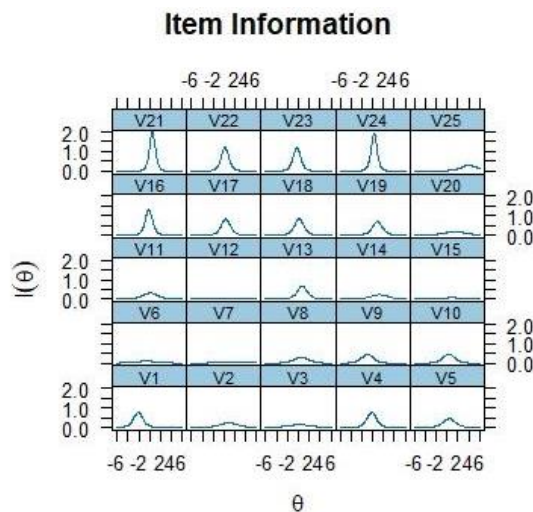
	Discriminação		Dificuldade	
		$\hat{a}$		$\hat{b}$
N		25		25
Média		1,4238		1,0079
Mediana		1,3410		0,3260
Desvio Padrão		0,68779		3,05535
Coefficiente de Assimetria		0,368		4,054
Erro Padrão da Assimetria		0,464		0,464
Mínimo		0,22		-2,13
Máximo		2,81		14,72
Percentis	25	0,9100		-,0265
	75	1,8285		,8820

Na Figura 3 apresenta-se a curva característica de cada item do questionário. Estes resultados confirmam que os itens 12 e 25 são os que apresentam piores propriedades psicométricas, uma vez que os dados correspondentes a estas questões apresentam índices de dificuldade muito superiores aos valores do fator latente. Por esse motivo, nestes itens da Figura 3, só surge a cauda inferior da função logística.



**Figura 3** – Curva característica de cada item do questionário

A função de informação dos itens do questionário é apresentada na Figura 4, onde é possível verificar entre que intervalos de nível de desempenho cada item contribui para o questionário. Os itens 11, 21, 22, 23 e 24 são os que mais contribuem para níveis intermédios de desempenho.



**Figura 4** – Função de informação dos itens do questionário

A análise da qualidade do ajuste do modelo aos dados é feita através das seguintes estatísticas: *root mean square error of approximation* (RMSEA), *standardized root mean square residual* (SRMSR) e dos índices *comparative fit index* (CFI) e *Tucker–Lewis index* (TLI). Para os dados do 9.º ano, RMSEA = 0,044 e SRMSR = 0,079. Como RMSEA < 0,06 e SRMSR < 0,08 podemos considerar que o modelo apresenta um bom ajuste aos dados. Os valores dos índices CFI e TLI são ambos de 0,94 e, como são superiores a 0,9, considera-se que o modelo apresenta um ajuste satisfatório aos dados (Bentler & Bonett, 1980; Bentler, 1990).

A análise da qualidade do ajuste também foi feita, individualmente, em cada item ao modelo com base na estatística de teste do Qui-quadrado (Tabela 3), bem como nos valores RMSEA. Valores baseados no teste do Qui-quadrado não-significativos e RMSEA < 0,06 são geralmente considerados como evidência de ajuste adequado para um item. Os resultados mostram que apenas nos itens 6 e 16 a qualidade do ajuste do modelo aos dados não é boa ( $p$ -valor < 0,05).

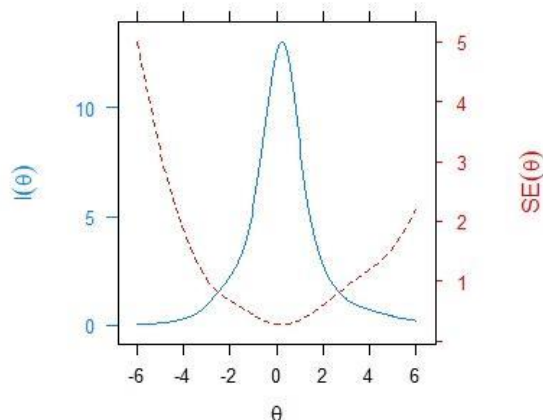
**Tabela 3** – Estatísticas de ajuste dos itens ao modelo<sup>2</sup>

Item	$\chi^2$	g.l.	RMSEA $\chi^2$	$p$ _valor
1	4,076	3	0,052	0,253
2	20,995	15	0,055	0,137
3	17,181	16	0,024	0,374
4	16,226	11	0,06	0,133
5	9,317	13	0	0,749
6	27,779	15	0,08	0,023
7	25,314	16	0,066	0,064
8	22,409	15	0,061	0,098
9	12,911	10	0,047	0,229
10	14,975	14	0,023	0,38
11	7,677	14	0	0,905
12	0,206	2	0	0,902
13	11,157	12	0	0,516
14	12,637	14	0	0,555
15	13,182	16	0	0,659
16	16,958	9	0,082	0,049
17	17,638	11	0,067	0,09
18	6,869	10	0	0,738
19	9,109	11	0	0,612
20	24,04	15	0,067	0,064
21	4,097	9	0	0,905
22	10,785	9	0,039	0,291
23	4,259	10	0	0,935
24	8,345	8	0,018	0,401

A análise da função de informação do teste, dada pela soma das funções de informação dos itens do questionário, (Figura 5) indica que os dados recolhidos através deste instrumento contêm grande poder informativo ( $I(\theta)$ ) relativamente ao fator latente ( $\theta$ ) (desempenho em Circuitos Elétricos) de alunos com nível de conhecimento compreendido entre -2 e 2. O erro padrão ( $SE(\theta)$ ) da medida mostra elevada imprecisão dos resultados obtidos no que se refere à aferição da aprendizagem de alunos, em Circuitos Elétricos, com nível de conhecimento no extremos inferior (<-2) e superior da escala (>2).

<sup>2</sup> Valores não estimados para o item 25.

**Test Information and Standard Errors**



**Figura 5** – Função de informação do teste e erro padrão do 2T-SEC

Para a amostra de 91 alunos do 10.<sup>o</sup> ano<sup>3</sup> foi feita a mesma análise via TCT e TRI. Em geral, os resultados corroboram com os apresentados para o 9.<sup>o</sup> ano. Para o 10.<sup>o</sup> ano (alfa de Cronbach = 0,86), o item 12 tem graus de dificuldade e de discriminação intermédios. O item 25 mantém um grau de dificuldade excessivo, sem poder discriminativo, não havendo relação entre o fator de desempenho e a probabilidade de resposta correta.

**Respostas dos alunos (agrupadas por domínios)**

A Tabela 4 apresenta as estimativas do parâmetro índice de dificuldade dos itens,  $\hat{b}$ , obtidos pela TRI, para o 9.<sup>o</sup> e 10.<sup>o</sup> anos. Os itens encontram-se agrupados pelos cinco domínios.

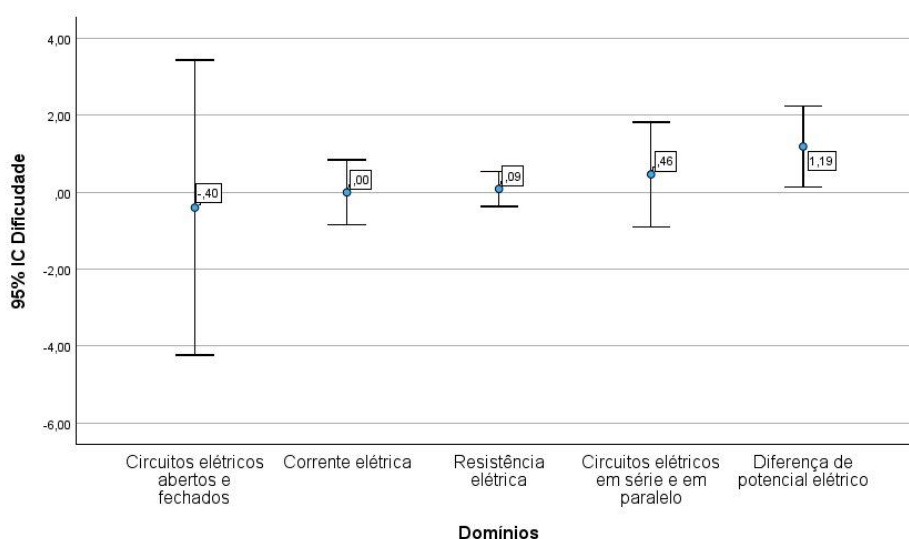
<b>Tabela 4</b> – Estimativa do índice de dificuldade, $\hat{b}$ , por ano, por item e por domínio					
<b>Corrente elétrica</b>			<b>Circuitos elétricos abertos e fechados</b>		
<b>Questão</b>	<b>9.<sup>o</sup> ano</b>	<b>10.<sup>o</sup> ano</b>	<b>Questão</b>	<b>9.<sup>o</sup> ano</b>	<b>10.<sup>o</sup> ano</b>
9	- 0,963	- 1,188	1	- 2,131	- 1,588
15	0,906	- 1,374	2	0,835	0,087
18	0,149	- 0,858	11	0,097	- 1,357
22	0,161	-1,610			
23	- 0,274	- 1,416			
<b>Resistência elétrica</b>			<b>Diferença de potencial elétrico</b>		
<b>Questão</b>	<b>9.<sup>o</sup> ano</b>	<b>10.<sup>o</sup> ano</b>	<b>Questão</b>	<b>9.<sup>o</sup> ano</b>	<b>10.<sup>o</sup> ano</b>
4	- 0,163	- 1,638	3	0,224	- 0,150
5	0,394	- 1,910	7	1,788	0,158

<sup>3</sup> As estatísticas via TCT e TRI encontram-se disponíveis no apêndice C.

16	- 0,150	- 1,430	8	0,553	- 0,616
24	0,263	- 0,733	12	14,718	- 0,357
<b>Circuitos em série e em paralelo</b>			14	1,242	- 0,222
<b>Questão</b>	<b>9.º ano</b>	<b>10.º ano</b>	17	0,308	- 0,787
6	- 0,615	- 1,175	19	0,858	- 0,101
10	0,326	- 0,263	21	0,500	- 0,779
13	0,707	0,075	25	4,024	- 2,912
20	1,440	0,791			

Todos os itens, com exceção do item 1, apresentaram estimativas do parâmetro de dificuldade inferior às estimativas obtidas para o 9.º ano, revelando-se mais fáceis no 10.º ano do que no 9.º ano.

Por outro lado, é possível verificar que o domínio Diferença de potencial elétrico foi o que reuniu, em média, itens mais difíceis. Com vista a comparar as estimativas do parâmetro de dificuldade por domínio, no 9.º ano, representa-se graficamente a barra de erro por domínio (Figura 6)<sup>4</sup>.



**Figura 6** – Barra de erro do parâmetro de dificuldade por domínio (9.º ano)<sup>5</sup>

Em média, o domínio de circuitos elétricos abertos e fechados foi o que apresentou menor dificuldade, mas com maior variação. Por sua vez, o domínio de d.d.p. foi o que registou a média mais alta para o parâmetro de dificuldade, indicando ser o domínio com os itens mais difíceis.

Foram também analisadas, para cada item, as frequências de resposta<sup>6</sup> das quatro opções alternativas, permitindo identificar as conceções alternativas mais frequentes.

<sup>4</sup> Este gráfico representa o intervalo de confiança de 95% para a média da dificuldade dos itens por domínio.

<sup>5</sup> No domínio d.d.p. não foi considerado o item 12.

<sup>6</sup> As frequências de respostas a cada um dos itens encontram-se disponíveis pelas autoras.

## DISCUSSÃO

Durante a tradução para língua portuguesa, foram esclarecidas algumas dúvidas com os autores da versão original, disponibilizada em inglês (Ivanjek *et al.*, 2021). Apenas ficou por esclarecer na questão 24 uma dúvida, que se assumiu como gralha; no questionário original, a fonte de energia é de 6 V, uma impossibilidade científica, dado o contexto da questão. Por esse motivo, na versão validada para português e que aqui se apresenta, alterou-se a corrente elétrica nas respostas de 0,4 A para 0,2 A. Por outro lado, e já após os alunos terem realizado o questionário, o item 7 b) levantou algumas dúvidas quanto à sua clareza. Neste item, 42,5 % e 47,3% dos alunos dos 9.º e 10.º anos, respetivamente, consideram que a tensão elétrica da pilha é distribuída de modo uniforme ao longo do circuito. A elevada percentagem de alunos que selecionou esta opção (incorreta), suscitou a possibilidade desta afirmação poder não ter sido interpretada devidamente pelos alunos. Considera-se que deve ser reformulada para:

**ITEM 7. b)** “A tensão elétrica nos terminais da pilha (6 V) é dividida de forma uniforme pelas duas lâmpadas (3V).

Os resultados sugerem que, no geral, o ajuste do modelo aos dados é bom, tanto no 9.º ano, como no 10.º ano de escolaridade. A análise das propriedades psicométricas do questionário pela TRI, quando se analisa exclusivamente o 9.º ano de escolaridade, permite concluir que os itens 12 e 25 são os itens que devem ser revistos.

O item 12 relaciona-se com uma ideia errada muito comum entre os alunos: a d.d.p. é sempre nula entre quaisquer dois pontos de um circuito elétrico aberto. Os resultados mostram que esta conceção alternativa é partilhada por alunos de qualquer nível de desempenho. No 9.º ano, 75,4% dos alunos consideram que não há d.d.p. num circuito elétrico aberto. No 10.º ano, esta opção foi escolhida por 20,9% dos alunos. Uma vez que, no 10.º ano, este item não apresenta qualquer problema de ajuste ao modelo da TRI, considera-se que no 9.º ano, o conceito de d.d.p. não se encontra completamente compreendido pelos alunos. Neste sentido, não se recomenda que este item seja removido e sugere-se, na sala de aula, uma exaustiva discussão sobre o que significa a d.d.p., incluindo o motivo pelo qual é diferente determiná-lo nos terminais de um receptor (num circuito aberto ou fechado) e nos terminais de uma fonte.

O item 25 envolve conteúdos (associação de pilhas em série) pouco ou nada desenvolvidos no ensino fundamental/médio. Mesmo assim, não se removeu este item inicialmente do questionário; primeiro por fazer parte do questionário original e, segundo, porque alguns autores (Engelhardt & Beichner, 2004) defendem que os alunos que tenham já adquirido uma compreensão de circuitos elétricos, deveriam estar aptos para responder a questões de múltiplas baterias (mesmo que este tópico não tenha sido explicitamente ensinado). Curiosamente, o item 19 (associação de pilhas em paralelo) encontra-se nas mesmas condições (matéria pouco ou nada desenvolvida em qualquer um destes anos), mas os resultados dos alunos foram aceitáveis.

Tal como sucedeu no questionário original (Ivanjek *et al.*, 2021), o item 1 mereceu especial atenção por ser muito fácil; ainda assim é aceitável e não se recomenda removê-lo. O índice de dificuldade de todos os itens, à exceção do item 1, diminuiu do 9.º ano para o 10.º ano, tal como esperado, uma vez que no 10.º ano os alunos estudam circuitos elétricos pela 2.ª vez (e já com baterias reais).

Na Figura 6, é possível comparar as estimativas do parâmetro de dificuldade por domínio. Estes resultados confirmam os resultados do estudo original (Ivanjek *et al.*, 2021), uma vez que os domínios se encontram pela mesma ordem de grau de dificuldade. Os itens relacionados com a d.d.p. são, portanto, aqueles que apresentam maior dificuldade para os alunos.

Ao analisar as percentagens de resposta por item, foi possível confirmar algumas das conceções alternativas já identificadas na literatura:

### **A d.d.p. é sempre nula entre quaisquer dois pontos de um circuito elétrico aberto**

No item 12, foi possível identificar alguma confusão entre a d.d.p. nos terminais de uma bateria, nos terminais de um receptor e/ou entre dois quaisquer pontos num circuito elétrico. Neste item, 77,6 % e 40,7% dos alunos dos 9.º e 10.º anos, respetivamente, consideram que não existe d.d.p. entre os pontos 1 e 2. Como referido anteriormente, esta elevada percentagem pode ser explicada pela confusão entre a d.d.p. nos terminais de uma pilha (cuja existência não é condicionada pelo circuito estar aberto ou fechado) e nos terminais de um receptor (que apresenta um valor nulo no caso do circuito elétrico se encontrar aberto). Esta dificuldade é novamente identificada nos itens 14 e 21. No item 14, 21,6% dos alunos do 9.º ano consideram que existe tensão elétrica entre dois pontos de um

circuito que não contém qualquer fonte ou receptor. Na questão **21**, há uma elevada percentagem de alunos do 9.º ano (32,8%) que considera que a tensão elétrica entre dois quaisquer pontos do circuito é sempre igual à tensão elétrica nos terminais da fonte de energia.

#### **O valor da corrente elétrica num circuito só depende da fonte de energia**

Nos itens **4**, **5** e **24**, há uma significativa percentagem de alunos do 9.º ano que considera que o valor da corrente elétrica num circuito é constante (21,6%; 38,1% e 19,4% respetivamente), desde que não se altere a fonte de energia. Para estes alunos, as fontes de energia são fontes de corrente elétrica e não de d.d.p., em consequência, ao adicionar um receptor no circuito (em paralelo ou em série), o valor da corrente elétrica no circuito principal não se altera.

#### **Confusão entre as grandezas físicas d.d.p. e corrente elétrica**

As respostas aos itens **7**, **17** e **22** sugerem que alguns alunos do 9.º ano não desenvolveram a compreensão correta das duas grandezas físicas d.d.p. e corrente elétrica; daí concluírem que a tensão elétrica nos terminais de 2 lâmpadas instaladas em paralelo é metade da tensão elétrica nos terminais da pilha, ou considerarem que a corrente elétrica é a mesma em todos os pontos de um circuito elétrico (com duas lâmpadas iguais instaladas em paralelo).

#### **A corrente elétrica (e a d.d.p.) é consumida pela lâmpada**

Nos itens **9** e **15**, 19,4% dos alunos do 9.º ano (e 15,7% dos alunos do 10.º ano) consideram que a corrente elétrica é consumida pela lâmpada. Apesar destas percentagens serem baixas, na questão **18**, 23,1% dos alunos voltaram a reforçar esta ideia. Na questão **14**, 31,3% dos alunos considera que a lâmpada consome tensão elétrica.

#### **De que depende o brilho de uma lâmpada?**

No item **8**, 43,3 % dos alunos do 9.º ano consideram que quando uma lâmpada em paralelo funde, a outra lâmpada (também instalada em paralelo) brilha mais. Na alínea b) deste item, 35,1 % dos alunos justificam dizendo que a lâmpada 2 fica com a tensão elétrica da lâmpada 1. Estas respostas podem significar o desconhecimento dos fatores que influenciam o brilho de uma lâmpada ou o facto dos alunos identificarem a d.d.p. como uma substância.

#### **Dificuldades na topologia de um circuito elétrico**

No item **15**, a forma como o circuito elétrico é apresentado (diferente das representações habituais nos manuais escolares) pode ter condicionado a interpretação da questão, levando os alunos a considerar que as lâmpadas 1 e 2 estão em série. O mesmo sucede nas questões **13** e **20**. Na questão **13**, 20,1% dos alunos consideram que nenhum componente está ligado em paralelo e na questão **20** há uma significativa percentagem de alunos que não considera que no circuito 2) uma das lâmpadas se encontra instalada no circuito principal. A problemática destes itens pode, assim, estar relacionada com a possibilidade de o mesmo circuito elétrico poder ser apresentado de maneiras diferentes.

Por fim, no item **18**, 26,9 % dos alunos do 9.º ano consideram que a instalação de um amperímetro no circuito principal faz diminuir o valor da corrente elétrica.

## **CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES**

Neste artigo procedeu-se à tradução e validação do questionário 2T-SEC, para português, usando o modelo da Teoria da Resposta ao Item (logístico de dois parâmetros) e a Teoria Clássica dos Testes. A maior vantagem deste questionário reside no facto de ter duas camadas e ser constituído por um número equilibrado de itens, distribuídos por cinco conceitos básicos relativos aos circuitos elétricos (com pilhas ideais). A opção de administrar o questionário para dois níveis de ensino (9.º ano e 10.º ano) teve como objetivo validá-lo para alunos que tenham aprendido circuitos elétricos com baterias ideais e baterias com resistência interna (baterias reais).

As estimativas dos parâmetros dos 25 itens do questionário 2T-SEC (dificuldade e discriminação) e a função de informação do teste mostram que o questionário é um instrumento de diagnóstico fiável e válido, adequado para alunos do ensino fundamental/médio. Apesar do item 12 apresentar problemas psicométricos,

não se pretende sugerir qualquer alteração/remoção, uma vez que se considera que tal resultado não é fruto de uma má construção do item (este item apresentou boas propriedades psicométricas para o 10.º ano). O problema deste item pode estar relacionado com a sua dificuldade extrema (quase não há respostas certas). O item 25 inclui matéria não lecionada nas escolas portuguesas do ensino fundamental/ médio, o que explica a sua elevada dificuldade e mau ajuste ao modelo da TRI. Considera-se que a compreensão deste item demanda que o aluno tenha desenvolvido uma profunda compreensão do conceito de d.d.p., pelo que manter esta questão no questionário faz sentido se existir uma discussão de múltiplas baterias durante as aulas.

No caso do 9.º ano, os itens são, maioritariamente, de dificuldade média. A falta de itens do teste mais fáceis não é desejável neste tipo de questionário, mas está de acordo com os resultados reportados no artigo original (Ivanjek *et al.*, 2021). Para o 10.º ano, já existe uma distribuição que inclui itens mais fáceis. Considera-se, tal como os autores originais, que os itens mais difíceis do teste se devem manter e se deve apostar num currículo que visa melhorar a compreensão dos alunos sobre circuitos elétricos simples, especialmente o conceito de diferença de potencial elétrico.

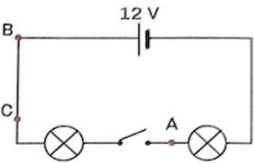
Neste estudo, os alunos de 9.º ano e 10.º anos foram considerados como amostras de duas populações distintas, devido aos diferentes graus de instrução. O mesmo teste foi calibrado para cada uma destas amostras, mas há que salientar que se trata de calibrações independentes, sendo cada uma delas aplicável apenas a amostras da população respetiva. As escalas de desempenho dos alunos não são, portanto, diretamente comparáveis. Apesar de terem sido estimadas escalas diferentes para cada ano, os níveis de dificuldade mais baixos dos itens, para o 10.º ano, sugerem que a compreensão dos circuitos elétricos é um processo que demora o seu tempo; há toda uma afinação científica que é necessário fazer para que os alunos consigam desenvolver um modelo mental sólido que lhes permita adaptar-se a diferentes situações. Por este motivo, é necessário que o professor desenvolva uma sequência didática bem estruturada e alinhada com as orientações dos estudos na área.

Este questionário pode ser aplicado como um instrumento de avaliação ou, de forma mais metódica, como pré-teste (para o professor aferir o conhecimento prévio dos alunos) e novamente, como pós-teste (para avaliar a evolução do nível de compreensão). Por outro lado, a aplicação deste questionário permite ao professor fazer comparações da eficácia do seu ensino ao longo do tempo e entre professores e instituições. Como o questionário é de escolha múltipla, é de fácil correção e, pelo facto de ter duas camadas, diminui a probabilidade dos alunos acertarem a resposta caso não tenham uma correta compreensão dos conceitos avaliados. Embora ganhos/classificações elevado(a)s não signifiquem, necessariamente, que os alunos aprenderam de forma significativa, ganhos/classificações baixo(a)s são bons indicadores de que não o fizeram. Por outro lado, questionários conceptuais, como o 2T-SEC, não medem aspectos importantes de aprendizagem, como as competências matemáticas. Como tal, não podem substituir as avaliações sumativas/formativas, mas complementam-nas, permitindo uma imagem holística da aprendizagem dos alunos e da eficácia do método de ensino.

Por fim, os resultados deste estudo sugerem um conjunto de recomendações no que respeita ao ensino de circuitos elétricos simples:

- Antes de introduzir os conceitos de d.d.p. e corrente elétrica, é necessário que os alunos identifiquem corretamente receptores em série e em paralelo. Sugere-se que os professores disponibilizem aos alunos diferentes circuitos, incluindo exemplos como os que aparecem nos itens 15 e 20 do questionário 2T-SEC, isto é, representações de circuitos elétricos distintos dos que habitualmente se encontram em manuais escolares.
- Na mesma linha de investigações anteriores (Ivanjek *et al.*, 2021; Mota *et al.*, 2023), os resultados deste estudo mostram que o conceito de d.d.p. é delicado para os alunos, o que justifica que os itens desta categoria tenham apresentado um maior índice de dificuldade. É essencial que a tensão elétrica desempenhe um papel de destaque nas aulas e que se procure desenvolver uma visão conceptual, qualitativa, mais alargada deste tópico. Por este motivo, considera-se útil uma discussão em sala de aula, abordando contextos semelhantes aos apresentados na Figura 7.

O circuito elétrico seguinte é constituído por uma pilha ideal de 12 V, duas lâmpadas iguais e um interruptor (aberto).



- 1) Determine a *d.d.p.* entre os pontos
  - a) B e C;
  - b) B e A;
  - c) C e A.
- 2) Repita o exercício anterior com o interruptor fechado.

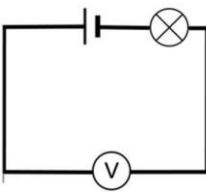
**Figura 7** – Exemplo de um exercício para explorar como varia a *d.d.p.* entre dois pontos do circuito, considerando diferentes cenários<sup>7</sup>

- O conceito de resistência equivalente é útil para compreender o comportamento da corrente elétrica e *d.d.p.* entre vários pontos de um circuito e, posteriormente, prever o brilho de uma lâmpada quando se adiciona/remove um receptor em série e/ou em paralelo. É necessário que o professor discuta com os alunos a sua importância, em termos conceptuais e que dedique algum tempo a este conceito (independentemente da aplicação da expressão matemática para o seu cálculo).
- Um voltímetro tem uma resistência interna muito elevada e um amperímetro tem uma resistência interna praticamente nula. O que acontece quando se coloca um amperímetro em paralelo ou um voltímetro em série? Sugere-se a discussão de exercícios com amperímetros e voltímetros em “posições” pouco habituais, como apresentado na Figura 8. Neste caso, a lâmpada não se encontra acesa porque a resistência elétrica do voltímetro é tão elevada que o valor da corrente elétrica é muito baixo. Contudo, a *d.d.p.* nos terminais quer da lâmpada, quer do voltímetro não é nula.

Considere um circuito elétrico constituído por uma pilha, uma lâmpada e um voltímetro instalado em série, como mostra a Figura.

A lâmpada encontra-se \_\_\_\_\_ e o voltímetro marca um valor \_\_\_\_\_.

(A) acesa ... nulo  
 (B) acesa ... não nulo  
 (C) apagada ... nulo  
 (D) apagada ... não nulo



**Figura 8** – Exemplo de um exercício com um voltímetro instalado em série<sup>8</sup>

- A aprendizagem significativa só ocorrerá se os alunos estiverem envolvidos a um nível intelectual, suficientemente profundo. Nesse sentido, o ensino experimental no campo de circuitos elétricos é essencial, não só, porque ao realizá-lo os alunos se encontram mais motivados, responsáveis e ativos, como pelo facto de poderem encontrar vários momentos de

<sup>7</sup> Com o interruptor aberto, a *d.d.p.* entre os pontos B e C é 0 V, entre os pontos B e A (ou C e A) é 12 V. Com o interruptor fechado, a *d.d.p.* entre os pontos B e C é 0 V e entre os pontos B e A (ou C e A) é 6 V.

<sup>8</sup> A opção correta é a (D).



conflito conceptual. Acresce o facto de, nestas aulas, os alunos trabalharem maioritariamente em sistema colaborativo, o que possibilita a discussão entre pares e um caminho mais célere e significativo na construção do conhecimento.

A investigação torna cada vez mais evidente que alunos que resolvem problemas académicos de alguma complexidade, muitas vezes falham em questões conceptuais simples. Questionários conceptuais, como o 2T-SEC, podem ser muito mais difíceis para os alunos do que os problemas “academicamente” mais exigentes, porque requerem uma compreensão profunda. Quantos alunos resolvem exercícios aplicando algoritmos mecanicamente, sem realmente entender o que estão a fazer? Por esse motivo, as aulas devem promover a construção de modelos e apostar na compreensão e no desenvolvimento do raciocínio. Neste tópico específico, para além das expressões matemáticas da Lei de Ohm ou da Resistência Equivalente, o ensino deve focar-se naquilo que os conceitos significam. A um nível introdutório, a previsão do que acontece ao brilho das lâmpadas quando se adiciona/remove um receptor em série e/ou em paralelo constitui um excelente momento para verificar se um aluno já conseguiu adquirir e articular um modelo sólido de circuitos elétricos.

### **Agradecimentos**

Um agradecimento aos professores de Física e Química do Ensino Básico e Secundário: Carlos Portela, Deolinda Campos e Rogério Nogueira e à professora Cleci Werner da Rosa (Universidade de Passo Fundo, Brasil) pelo seu contributo na tradução e validação do questionário para língua portuguesa. As autoras agradecem, igualmente, ao professor João Lopes dos Santos (Departamento de Física e Astronomia, FCUP, Porto) pela revisão e importantes sugestões. A primeira autora agradece ao projeto da FCT-Portugal Strategic Funding UIDB/04650/2020.

### **REFERÊNCIAS**

- Akaike, H. (1981). Likelihood of a Model and Information Criteria. *Journal of Econometrics*, 16(1), 3-14. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076\(81\)90071-3](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076(81)90071-3)
- Allen, M. J., & Yen, W. M. (2001). *Introduction to Measurement Theory*. Long Grove, United States of America: Waveland Press.
- Almeida, Maria J. BM., Salvador, Andreia & Costa, Maria M. RR. (2014). Analogy for Drude's free electron model to promote students' understanding of electric circuits in lower secondary school. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10(2), 020118. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.020118>
- Araujo, A. V. R. de, Silva, E. S., Jesus, V. L. B. de, & Oliveira, A. L. de (2017). Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(2), e2401. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0184>
- Bentler, P. M., & Bonett, D. G. (1980). Significance tests and goodness-of-fit in the analysis of covariance structures. *Psychological Bulletin*, 88(3), 588-606. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.88.3.588>
- Bentler, P. M. (1990). Comparative fit indexes in structural models. *Psychological Bulletin*, 107(2), 238-246. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.107.2.238>
- Birnbaum, A. (1968). *Statistical Theories of Mental Test Scores*. In F. M. Lord e M.R. Novick (Eds.). Reading, United States of America: Addison-Wesley.
- Burde, Jan-Philipp & Wilhelm, Thomas (2020). Teaching electric circuits with a focus on potential differences. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020153. <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020153>
- Cohen, R., Eylon, B., & Ganiel, U. (1983). Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts. *American Journal of Physics*, 51, 407-412. <https://doi.org/10.1119/1.13226>

- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, 297-334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Dorneles, Pedro F., Araujo, Ives S., & Veit, Eliane A. (2006). Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: parte I - circuitos elétricos simples. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 28(4), 487-496. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172006000400011>
- Embretson, S. E., & Reise, S.P. (2000). Item response theory for psychologists. Mahwah, New Jersey, London: Lawrence Erlbaum Associates
- Engelhardt, Paula, & Beichner, Robert. (2004). Students' Understanding of Direct Current Resistive Electrical Circuits. *American Journal of Physics*, 72(1), 98-115. Recuperado de [Students' understanding of direct current resistive electrical circuits](#)
- Guilford, J. P., & Fruchter B. (1978). *Fundamental statistics in psychology and education*. New York, United States of America: McGraw-Hill.
- Hake, Richard R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1) 64-74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Halloun, I. (2007) Inventory of Basic Conceptions - DC Circuits (IBDC). Recuperado de <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?l=96&A=IBDC>
- Hambleton, R. K., Swaminathan H., & Rogers, H. J. (1991). *Fundamentals of Item Response Theory*. Thousand Oaks, United States of America: Sage Publications.
- Hestenes, David, Wells, Malcolm, & Swackhamer, Gregg. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Ivanjek, Lana, Winter, Louisa, Schubatzky, Thomas, Hopf, Martin, Burde, Jan-Philipp, Haagen-Schützenhöfer, Claudia, Dopatka, Liza, Spatz, Verena & Wilhelm, Thomas. (2021). Development of a two-tier instrument on simple electric circuits. *Physical Review Physics Education Research*, 17, 1-15. Recuperado de <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020123>
- McDermott, L. C., & Shaffer P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60, 994. <https://doi.org/10.1119/1.17003>
- McDermott, L. C., Shaffer, P. S., & Rosenquist, M. L. (1996). *Physics by Inquiry. An Introduction to Physics and the Physical Sciences*. Hoboken, United States of America: Wiley.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (2002). *Tutorials in Introductory Physics* — 1 st ed. Upper Saddle River, United States of America: Prentice Hall.
- Mota, A. R. L., Santos, J. L., & Rosa, C. T. W. (2023). Aprender circuitos elétricos com estações laboratoriais para desenvolver competências metacognitivas. *A Física na Escola*, 21, 220808-1. <https://doi.org/10.59727/fne.v21i1.58>
- Muñiz, J. (1990). *Teoría de respuesta a los ítems: Un nuevo enfoque en la evolución psicológica y educativa*. Madrid, España: Pirámide, S. A.
- Murphy, K. R., & Davidshofer, C. O. (1988). *Psychological testing: Principles and applications*. Englewood Cliffs, United States of America: Prentice Hall.
- Peşman, Haki & Eryilmaz, Ali. (2010). Development of a Three-Tier Test to Assess Misconceptions About Simple Electric Circuits. *Journal of Educational Research*, 103, 208-222. <https://doi.org/10.1080/00220670903383002>

- Psillos, D., Tiberghien, A., & Koumaras P. (1988). Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on DC circuits. *International Journal of Science Education*, 10(1), 29-43.
- Schwedes, H., & Dudeck, W.-G. (1996). Teaching electricity by help of a water analogy (how to cope with the need for conceptual change). In *Research in science education in Europe* (pp. 50-63). London: Falmer.
- Shaffer P. S. & McDermott, L. C., (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies. *American Journal of Physics*, 60, 1003. <https://doi.org/10.1119/1.16979>
- Sokoloff, D. (1996) Electric Circuits Conceptual Evaluation (ECCE). Recuperado de <https://www.physport.org/assessments/assessment.cfm?l=25&A=ECCE>
- Stetzer, M. R., Van Kampen, P., Shaffer, P. S. & McDermott, L. C. (2013). New insights into student understanding of complete circuits and the conservation of current. *American Journal of Physics*, 81,134. <https://doi.org/10.1119/1.4773293>
- Urban-Woldron, H. & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Testinstruments zum Verständnis in der Elektrizitätslehre [Developing a multiple choice test for understanding basic electricity]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 201–227. Recuperado de [https://www.pedocs.de/volltexte/2024/31741/pdf/ZfDN\\_2012\\_UrbanWoldron\\_Hopf\\_Entwicklung\\_eines\\_Testinstruments\\_zum\\_Verstaendnis.pdf](https://www.pedocs.de/volltexte/2024/31741/pdf/ZfDN_2012_UrbanWoldron_Hopf_Entwicklung_eines_Testinstruments_zum_Verstaendnis.pdf)
- Viennot, L. (2001). *Reasoning in Physics: the part of common sense*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

**Recebido em:** 12.02.2024

**Aceito em:** 14.11.2024