

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA

INSTITUTO DE QUÍMICA

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Pablo Micael Araújo Castro

**VALIDAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE UM TESTE PARA AVALIAR O PCK DE
PILHA DE PROFESSORES DO ENSINO MÉDIO DE SÃO PAULO**

São Paulo – SP

2022

Pablo Micael Araújo Castro

**VALIDAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE UM TESTE PARA AVALIAR O PCK DE
PILHA DE PROFESSORES DO ENSINO MÉDIO DE SÃO PAULO**

Versão Original

Tese submetida ao Instituto de Química, ao Instituto de Física, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de doutor em Ciências.

Área de concentração: Ensino de Química

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Fernandez

São Paulo – SP

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Castro, Pablo Micael Araujo

Validação e utilização de um teste para avaliar o PCK de pilhas de professores do ensino médio de São Paulo. São Paulo, 2022.

Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profa. Dra. Carmen Fernandez

Área de Concentração: Ensino de Química

Unitermos: 1. Química – Estudo e Ensino; 2. Conhecimento; 3. Formação de professores; 4. Validade do teste; 5. Psicometria.

USP/IF/SBI-047/2022

Mandacaru

*Dedico este trabalho
à Teresina, ao Piauí e ao Nordeste, as raízes que nutrem meu senso de pertencimento,
aos meus pais e aos meus irmãos, o caule que me sustém e enseja meu crescimento,
a São Jorge e a Ogum, os espinhos que sempre me protegem quando necessário,
a Thaís, a flor que brota no semiárido e me traz beleza, cor e continuidade.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rômulo e Mary, pelo amor incondicional e por dedicarem suas vidas a oferecer inúmeras oportunidades para mim e meus irmãos. Agradeço-os por me incentivarem a nunca desistir de meus sonhos e sempre me esforçar para alcançá-los. Sobretudo, obrigado, pai, pois sei que o senhor está olhando por mim. Esta tese é para você!

Ao meu amor, Thaís, por compartilhar comigo não somente alguns momentos, mas toda uma vida. Obrigado por me incentivar e pelos puxões de orelha para que eu não desistisse e tentasse alcançar meus objetivos. Obrigado, apesar de toda a dificuldade, por produzir o combustível que me mantém vivo: cookies, brownies e pipoca doce. Sobretudo, um imenso obrigado por ter ficado ao meu lado durante os momentos difíceis pelos quais passei, sendo meu porto seguro.

Aos meus irmãos, Pâmalla e Patrick, pelos momentos de diversão e descontração e por sempre estarem a meu lado, me apoiando. À minha irmã, agradeço por me defender desde pequeno (e me desculpe por pegar suas caixinhas de Nescau escondido, mas eram essenciais para minha formação). Ao meu irmão, agradeço por nunca me deixar esquecer da criança dentro de mim (e peço desculpas por nem sempre ter paciência de ouvir o nome de todos os trocentilhões Pokémons e Digimons).

Aos melhores amigos que alguém poderia pedir ~~mas troco por amigos ricos~~, Fabrício, Jenifer e Xicão. Obrigado por compartilharem comigo momentos de alegrias e tristezas: noites de jogatina; conversas sobre política e sobre a vida; ombro para chorar; quarto na Alemanha; fotos da Marina Sena; e, claro, crises existenciais conjuntas.

À minha orientadora, Profa. Carmen Fernandez. Eu devo chamar a senhora de mãe ou avó científica? Rs Obrigado por aceitar me orientar nesta ~~longa~~ pesquisa de doutorado e confiar em mim para conduzir uma pesquisa quantitativa! Sou muito grato pela paciência, compreensão e acolhimento, sobretudo nos momentos difíceis.

Ao Prof. Knut Neumann, da Universidade de Kiel. Obrigado por aceitar me coorientar em parte desta pesquisa e me receber em seu grupo de pesquisa, sendo sempre muito atento e prestativo.

Aos amigos do PEQuim, em especial à Luciane, Keysy, Anike e Andreia. Obrigado pelas conversas, pelos almoços e, por que não, pelas discussões sobre metodologia. Vocês podem ter a certeza de que nossas reflexões conjuntas engradeceram este trabalho.

Aos amigos que o PIEC me trouxe. Obrigado, Thaiara, pelos momentos de descontração e pelos cafezinhos. Obrigado, Raquel, por compartilhar comigo os estudos para concursos e as crises existenciais.

Aos amigos que a Kiel me trouxe. Obrigado, Caro, pela ajuda no meio de crises ansiosas e por se abrir a conhecer um pouquinho do meu Brasil. Obrigado, Katie, por me tirar do sedentarismo e me fazer pedalar quilômetros e quilômetros para colher morango no pé; eu não teria escolhido uma colega de bancada melhor! Obrigado, Ianna, pelas danças de forró e por ser meu refúgio de brasilidade no meio da Alemanha. Com certeza minha estadia em Kiel não teria sido a mesma sem vocês!

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro concedido através dos processos 2016/14138-2 e 2013/07937-8.

*Hoje faço minha estrada.
Não tem mais volta.
Eu sou capaz e sigo em paz.*

*Toda conquista tem seu preço.
Nas cicatrizes, reconheço:
Eu chego lá. E não vou só*

*Mil obstáculos, tropeços.
Depois da queda, o recomeço.
Levantar e ser maior*

*Quando encaro essa jornada, agradeço.
Eu nunca duvidei.*

*Minha sorte está em cada gota de suor.
Sei como aqui cheguei.*

O caminho tem a força que me faz melhor

Minha sorte, Validuaté

RESUMO

CASTRO, P. M. A. **Validação e utilização de um teste para avaliar o PCK de Pilha de professores do ensino médio de São Paulo**. 2022. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Química, Instituto de Física, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Na perspectiva da profissionalização docente, defende-se que o professor possui um corpo de conhecimentos próprio para o ensino. Dentre esses conhecimentos, aquele que é específico ao professor de uma disciplina é o conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK), que pode ser entendido como o conhecimento para transformar o conteúdo em um conteúdo ensinável. Dentre os modelos propostos para o PCK, utilizamos o modelo do PCK de tópico específico. Com base nesse modelo, nosso objetivo foi desenvolver e apresentar evidências de validade de um teste para avaliar o PCK de Pilhas de professores de Química do ensino médio de São Paulo. Para alcançar esse objetivo, adotamos uma metodologia de métodos mistos predominantemente quantitativa, que compreende as seguintes etapas: primeiro, desenvolvemos um teste de PCK de Pilha e elaboramos uma rubrica de pontuação para tal teste, por meio de uma análise textual qualitativa; segundo, conferimos as características psicométricas do teste de PCK de Pilhas, por meio de modelagem Rasch, para coletar evidências da estrutura interna do teste; terceiro, investigamos a dimensionalidade de uma escala de autoconceito em Química e em Ensinar Química, por meio de uma análise fatorial confirmatória, para coletar evidências de associação do teste de PCK em Pilhas; quarto, analisamos o conteúdo de Pilha presente em livros didáticos de Química, por meio de uma classificação hierárquica descendente para coletar evidências do conteúdo do teste de PCK de Pilhas. Os resultados apontam que o PCK de Pilha dos professores de Química do ensino médio de São Paulo investigados está em um nível básico; a estrutura dimensional do autoconceito em Química e em Ensinar Química assume uma estrutura bifatorial; apesar de estarem na faixa básica de PCK de Pilha, os professores possuem um autoconceito positivo com relação a seus conhecimentos em Química e em Ensinar Química; e o teste de PCK de Pilha contempla as ideias de Pilhas que emergiram na análise dos livros didáticos. Assim, concluímos que o teste de PCK de Pilha apresentou boas evidências de validade e está apto a ser utilizado para fins de pesquisa ou didáticos.

Palavras-chave: Conhecimento pedagógico do conteúdo. Autoconceito. Ensino de Eletroquímica. Análise Rasch. Análise fatorial confirmatória.

ABSTRACT

CASTRO, P. M. A. Test validation and use to evaluate São Paulo high school Chemistry teachers' PCK of Galvanic Cells. 2022. Dissertation (doctor degree) – Institute of Chemistry, Institute of Physics, Institute of Biosciences and Faculty of Education, University of São Paulo, São Paulo, 2022.

From the teacher professionalization perspective, it is argued that teachers have their own set of knowledge for teaching. One of this knowledge is specific for teaching a subject: the pedagogical content knowledge (PCK), which can be understood as the knowledge to transform the content of a subject into a teachable form. Among the models proposed for the PCK, we used the topic specific PCK model. Based on this model, our aim was to develop and to present validity evidence of a test to evaluate São Paulo high school Chemistry teachers' PCK of Galvanic Cells. To achieve this objective, we adopted a predominantly quantitative mixed methods methodology, which comprises the following steps: first, we developed a PCK of Galvanic Cells test and developed a scoring rubric for such a test, through a qualitative text analysis; second, we evaluated the psychometric characteristics of the PCK of Galvanic Cells test, through Rasch modeling, to collect test internal structure evidence; third, we investigated the dimensionality of a self-concept scale in Chemistry and in Teaching Chemistry, through a confirmatory factor analysis, to collect evidence of association from the PCK of Galvanic Cells test; fourth, we analyzed the Galvanic Cells content present in high school Chemistry textbooks, through a descending hierarchical classification, to collect evidence of the PCK Galvanic Cells test content. The results show that the investigated São Paulo high school Chemistry teachers' PCK of Galvanic Cells are at a basic level; the dimensional structure of the self-concept in Chemistry and in Teaching Chemistry assumes a bifactorial structure; despite being in the basic level of PCK of Galvanic Cells, teachers have a positive self-concept in knowledge of Chemistry and Teaching Chemistry; and the PCK of Galvanic Cells test contemplates the Galvanic Cells ideas that emerged in the analysis of the high school Chemistry textbooks. Thus, we concluded that the PCK of Galvanic Cells test presented good evidence of validity and can be used for research or didactic purposes.

Keywords: Pedagogical content knowledge. Self-concept. Electrochemistry teaching. Rasch analysis. Confirmatory factor analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Conhecimentos do professor proposto por Grossman (1990).....	24
Figura 2: Modelo do conhecimento pedagógico do conteúdo de tópico específico proposto por Mavhunga e Rollnick.....	26
Figura 3: Representação hierárquica do autoconceito.....	32
Figura 4: Dimensões do autoconceito de professores de Química.....	32
Figura 5: Proposição de autoconceitos tópico-específicos.....	33
Figura 6: Exemplo de um mapa de Wright com dados fictícios.....	37
Figura 7: Delineamento geral do projeto.....	43
Figura 8: Mapa de Wright do segundo teste adaptado.....	77
Figura 9: Mapa de Wright da terceira adaptação do teste.....	85
Figura 10: Mapa de Wright explicitando a formação dos professores.....	87
Figura 11: Mapa de Wright explicitando os professores que participaram do curso de formação continuada oferecido pelo PEQuim/USP.....	88
Figura 12: Análise dos componentes principais dos resíduos.....	90
Figura 13: Curva característica da escala de TSPCK de Pilhas.....	91
Figura 14: Curva característica da escala com os pontos de corte.....	92
Figura 15: Distribuição das respostas na subescala sobre SMK de Química.....	94
Figura 16: Distribuição das respostas na subescala sobre SMK de Eletroquímica.....	95
Figura 17: Distribuição das respostas na subescala sobre SMK do Tópico Favorito.....	96
Figura 18: Distribuição das respostas por subescala do conhecimento do conteúdo.....	96
Figura 19: Distribuição das respostas na subescala sobre PCK de Química.....	98
Figura 20: Distribuição das respostas na subescala sobre conhecimento do conteúdo de Eletroquímica.....	99
Figura 21: Distribuição das respostas na subescala sobre conhecimento do conteúdo do Tópico Favorito.....	99
Figura 22: Distribuição das respostas por subescala do conhecimento do conteúdo.....	100
Figura 23: Distribuição das respostas às subescalas SMK e PCK de Química. ensinar Química.....	101
Figura 24: Distribuição das respostas às subescalas SMK e PCK de Eletroquímica.....	102
Figura 25: Distribuição das respostas às subescalas de SMK e PCK do tópico favorito.....	103
Figura 26: Modelos unidimensional e tridimensional com correlações fixas do autoconceito do conhecimento do conteúdo de Química.....	104

Figura 27: Modelos tridimensional com correlações livres e bifatorial do autoconceito do conhecimento do conteúdo de Química.....	105
Figura 28: Modelo bifatorial do autoconceito do conhecimento de Química de professores, incluindo os parâmetros padronizados.....	107
Figura 29: Modelos unidimensional e tridimensional com correlações fixas do autoconceito do conhecimento pedagógico do conteúdo de Química.....	109
Figura 30: Modelos tridimensional com correlações livres e bifatorial do autoconceito do conhecimento pedagógico do conteúdo de Química.....	110
Figura 31: Modelo bifatorial do autoconceito do conhecimento de Química de professores, incluindo os parâmetros padronizados.....	112
Figura 32: Dendrograma da distribuição das classes.....	113
Figura 33: Organograma do subcorpus A.....	114
Figura 34: Organograma do subcorpus B.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Confiabilidade e taxa de separação dos respondentes e das questões para a primeira adaptação do teste.....	74
Tabela 2: Confiabilidade e taxa de separação dos respondentes e das questões para a segunda adaptação do teste.....	75
Tabela 3: Dificuldade e índices de ajuste das questões.....	76
Tabela 4: Caracterização dos professores.....	80
Tabela 5: Idade e tempo de atuação dos professores.....	81
Tabela 6: Excerto dos escores convertidos em escala intervalares, representando o nível do TSPCK dos participantes.....	82
Tabela 7: Dificuldade e índices outfit das questões.....	83
Tabela 8: Confiabilidade e taxa de separação dos respondentes e das questões para a terceira adaptação do teste.....	84
Tabela 9: Estatística dos três modelos de autoconceito do conhecimento do conteúdo de Química.....	106
Tabela 10: Estatística dos três modelos de autoconceito do PCK de Química.....	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais concepções alternativas relacionadas ao conteúdo de Pilha.....	29
Quadro 2: Definição das categorias avaliativas utilizadas na construção da rubrica.....	45
Quadro 3: Coleções aprovadas no PNLD 2018.....	50
Quadro 4: Procedimentos de adaptação do teste original.....	54
Quadro 5: Segundo procedimento de adaptação do teste original.....	56
Quadro 6: Terceiro procedimento de adaptação do teste original.....	58
Quadro 7: Rubrica para a primeira questão (SLC1).....	60
Quadro 8: Rubrica para a segunda questão (SLC2).....	62
Quadro 9: Rubrica da terceira questão (DFE1).....	63
Quadro 10: Rubrica para a quarta questão (REP1).....	65
Quadro 11: Rubrica para a quinta e sexta questão (CPE1 e CPE2).....	67
Quadro 12: Rubrica da sétima questão (ECE1).....	68
Quadro 13: Distribuição de nota de três professores hipotéticos.....	70
Quadro 14: Estratificação dos professores.....	92

SUMÁRIO

1. Introdução.....	20
2. Fundamentação Teórica.....	23
2.1 Conhecimento Pedagógico do Conteúdo.....	23
2.1.1 Acesso ao PCK e instrumentos quantitativos.....	26
2.2 Ensino de Eletroquímica.....	27
2.3 Autoconceito e conhecimento docente.....	30
2.4 Escalas de Mensuração.....	33
2.5 Modelo Rasch.....	35
3. Objetivos.....	40
4. Metodologia.....	41
4.1 Paradigma de Pesquisa.....	41
4.2 Delineamento da Pesquisa.....	42
4.3 Fase um: Desenvolvimento do teste de PCK de Pilhas e da rubrica.....	44
4.3.1 Coleta dos dados.....	44
4.3.2 Desenvolvimento da rubrica.....	45
4.4 Fase dois: Análise das respostas do teste de PCK de Pilhas.....	46
4.4.1 Análise dos dados – Modelagem Rasch.....	46
4.5 Fase três: Análise das respostas dos questionários de autoconceito.....	47
4.5.1 Coleta dos dados.....	47
4.5.2 Análise dos dados.....	48
4.6 Fase quatro: Análise dos livros didáticos.....	49
4.6.1 Descrição do <i>corpus</i>	49
4.6.2 Preparação do <i>corpus</i>	50
4.6.3 Análise dos dados.....	51
5. Desenvolvimento do teste de PCK de Pilhas e da rubrica.....	52
5.1 Teste original: PCK de Eletroquímica.....	52
5.2. Adaptações do teste.....	54

5.2.1. Primeira adaptação.....	54
5.2.2 Segunda adaptação.....	55
5.2.3 Terceira adaptação.....	58
5.3 Elaboração da rubrica.....	59
5.3.1 Primeira questão: Saliência Curricular 1 (SCL1).....	60
5.3.2 Segunda questão: Saliência Curricular 2 (SLC2).....	61
5.3.3 Terceira questão: Dificuldades de Ensino 1 (DFE1).....	63
5.3.4 Quarta questão: Representações 1 (REP1).....	64
5.3.5 Quinta e sexta questão: Concepções dos estudantes 1 e 2 (CPE1 e CPE2).....	66
5.3.6 Sétima questão: Estratégia de ensino conceitual 1 (ECE1).....	68
6. Análise do teste de PCK de Pilha.....	70
6.1 Escala do teste de PCK de Pilha.....	70
6.2 Construção do argumento de validade.....	71
6.2.1 Validade construtiva.....	72
6.2.2 Validade preditiva.....	73
6.3 Validação do teste.....	73
6.3.1 Primeira adaptação.....	74
6.3.2 Segunda adaptação.....	75
6.3.3 Terceira adaptação – Teste final.....	80
7. Análise do autoconceito de Professores de Química.....	93
7.1 Subescalas do conhecimento do conteúdo de Química.....	93
7.2 Subescalas do conhecimento pedagógico do conteúdo de Química.....	97
7.3 Conhecimento do conteúdo × Conhecimento pedagógico do conteúdo.....	101
7.4 Estrutura dimensional do autoconceito em SMK.....	103
7.5 Estrutura dimensional do autoconceito em PCK.....	108
8. Análise dos livros didáticos.....	113
8.1 Classe 1: Diferença de potencial padrão.....	115
8.2 Classe 2: Reações redox e potencial de redução e oxidação.....	116

8.3 Classe 3: Componentes das células galvânicas.....	117
8.4 Classe 4: Espécies químicas dos eletrodos.....	119
9. Conclusão.....	120
10. Referências.....	122
Apêndice.....	129
Apêndice A –Versão original do teste.....	129
Apêndice C – Segunda Versão do Teste.....	149
Apêndice D – Terceira versão do Teste.....	157
Apêndice E – Rubrica para a terceira versão do Teste.....	164
Apêndice F – Escores dos respondentes transformados pela análise Rasch.....	167
Apêndice G – Questionário de autoconceito em SMK de Química, Pilha e Tópico Favorito.....	169

*Lá é onde dois raios caem no mesmo lugar.
Lá é onde tem um cajueiro de frente pro mar.
Lá é onde Deus deixou furar uma pedra gigante.
Lá é onde o chão dá pedra rara feito diamante.*

*E nesse chão de pé descalço eu faço o meu caminho.
Eu corro contra o tempo parecendo sem futuro.
Mãe me disse: “filho, você vai mudar o mundo,
mas nunca se esqueça de que o sol é seu abrigo”.*

Dois filhos, Florais da Terra Quente.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas têm apontado que o conteúdo a ser ensinado, específico de uma disciplina, exerce um papel fundamental no processo de ensino e aprendizagem, uma vez que um professor não somente ensina, mas ensina um determinado conteúdo (FERNANDEZ, 2014, 2015, SHULMAN, 1986, 1987). Pressupõe-se, portanto, que ensinar química é diferente de ensinar biologia ou qualquer outra área. Logo, é importante que um professor de química conheça as particularidades do processo de ensino e aprendizagem de conceitos químicos.

Tal processo possui, portanto, dificuldades intrínsecas à própria química, tais como a natureza microscópica e abstrata de conceitos químicos, característica comum à maioria dos conhecimentos químicos. Somado a isso existe o fato de a linguagem química ser essencialmente simbólica, o que pressupõe a necessidade de uma grande capacidade de abstração e generalização (COSTA; PASSERINO; ZARO, 2012)

Dentre os conceitos tidos como abstratos, os conceitos envolvidos no conteúdo de eletroquímica são de grande relevância, uma vez que têm dimensão interdisciplinar e abordam tópicos que são inerentes ao cotidiano dos alunos (FREIRE; FERNANDEZ, 2014; ROLLNICK; MAVHUNGA, 2014): reações de geração de energia, como a queima de combustíveis fósseis e produção de ATP pelos organismos; os processos que ocorrem em uma pilha, bem como a corrosão e galvanização de metais; e reações em sistemas biológicos, tais como o envelhecimento e algumas doenças. Além disso, a eletroquímica também se relaciona diretamente com outros conteúdos dentro da química, como termodinâmica e equilíbrio químico.

Apesar de estar presente no cotidiano dos alunos, a eletroquímica é um conteúdo no qual os estudantes têm problemas em associar os conceitos com o seu próprio contexto (SOUDANI et al., 2000). Esta dificuldade por parte dos alunos é compreensível, uma vez que estudos mostram que este tópico é considerado difícil também por parte dos professores (AHTEE; ASUNTA; PALM, 2002), sendo que alguns optam, inclusive, por deixá-lo para o final do ano letivo, sabendo que há a possibilidade de não haver tempo hábil para ser trabalhado (SANJUAN et al., 2009). Percebe-se, então, que além das dificuldades pertencentes ao próprio conteúdo e como ele é visto pelos estudantes, dificuldades do ponto de vista docente o torna ainda mais difícil.

Visando elucidar os problemas próprios ao ensino de eletroquímica do ponto de vista da formação docente, trabalhos têm sido desenvolvidos utilizando o constructo do conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK, da sigla em inglês *Pedagogical Content Knowledge*) (AYDIN et al., 2015; AYDIN; BOZ, 2013; FERNANDEZ, 2011, 2014, 2015; FREIRE; FERNANDEZ, 2014; NOGUEIRA; FERNANDEZ, 2017; ROLLNICK; MAVHUNGA, 2014). Proposto inicialmente por Shulman (1986, 1987), o PCK tem-se destacado na área de formação de professores por ressaltar a importância do conteúdo para o processo de ensino e aprendizado. Segundo Shulman (1986), o PCK emerge e se desenvolve quando professores transformam o conhecimento da matéria específica em conhecimento a ser ensinado. O autor inclui no PCK “as formas mais úteis de representação do conteúdo, analogias, ilustrações, exemplos, explicações, demonstrações e estratégias específicas que tornam o conteúdo compreensível aos outros” (SHULMAN, 1986, p.9, tradução nossa). Outro ponto levantado pelo autor é que tal conhecimento é específico do professor, sendo, portanto, um dos aspectos que diferencia um especialista em determinada área de um professor (um químico de um professor de química, em nosso caso).

Rollnick e colaboradores (2008) acreditam que o PCK possa ser considerado o Santo Graal da formação de professores, pois se for possível descrevê-lo e modelá-lo, a experiência poderá ser acessada e retratada. Com isso, essa experiência poderá, então, ser passada para professores inexperientes e, assim, ajudá-los no seu progresso em direção à competência no ensino. Podemos dizer, de forma simplista, que esta afirmação exemplifica dois tipos de pesquisa em PCK: uma que tem como sujeito de estudo professores experientes, com o intuito de estudar como está estruturado o seu PCK e como os componentes dele se integram; outra que tem como sujeito de estudo

professores em formação inicial, com o intuito de propor intervenções ou analisar programas de formação visando o desenvolvimento do PCK. Dentre estas perspectivas, este trabalho posiciona-se na primeira, uma vez que o objetivo desta pesquisa é desenvolver um teste para avaliar o PCK de Pilha de professores experientes.

*O sol que aqui ferve me faz acreditar que eu vou além.
E acordo cedo.
Terra do Sol é para quem não tem medo.*

*No corre do sonho eu acelero e vou primeiro.
A vida dá as cartas no jogo.
Eu sou guerreiro.*

Terra do Sol, Tupi Machine.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONHECIMENTO PEDAGÓGICO DO CONTEÚDO

Em uma tentativa de juntar o conteúdo com a pedagogia, Shulman (1986, 1987) propõe um programa de pesquisa relativo aos conhecimentos necessários para exercer a profissão docente, conhecido como base de conhecimentos para o ensino (*knowledge base for teaching*), do qual fariam parte: conhecimento específico do conteúdo, conhecimento pedagógico geral, conhecimento curricular, conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK), conhecimento dos alunos e suas características, conhecimento do contexto educacional e conhecimento dos fins, propósitos e valores educacionais. Dentre os sete conhecimentos propostos, Shulman (1987) ressalta o PCK, uma vez que esse representa o elo entre o conteúdo e a pedagogia dentro do entendimento de como tópicos particulares, problemas ou questões são organizados, representados e adaptados aos diversos interesses e habilidades dos estudantes. Por fim, o PCK vai além do conhecimento do conteúdo disciplinar, e se relaciona à dimensão do conhecimento do conteúdo para o ensino. Neste conhecimento Shulman (1986, p. 09, tradução nossa) inclui “os tópicos de uma disciplina mais comumente ensinados, as formas de representação mais úteis, as analogias, ilustrações, exemplos, explicações e demonstrações mais poderosas [...]. Também inclui o entendimento do que faz o aprendizado de um tópico em específico ser fácil ou difícil: as concepções e preconceções que os estudantes de diferentes idades e contextos trazem com eles para o aprendizado [...]”.

A partir dos trabalhos de Shulman, Grossman (1990) sintetiza a base de conhecimentos necessários, apontando quatro conhecimentos que podem ser vistos como pilares para o ensino (Figura 1): conhecimento pedagógico geral, conhecimento

do tema (SMK, da sigla em inglês *subject matter knowledge*) (FERNANDEZ, 2015), conhecimento do contexto e conhecimento pedagógico do conteúdo.

Como é possível perceber na Figura 1, o PCK ocupa uma posição central dentre os conhecimentos de professores, sendo influenciado e influenciando os demais conhecimentos necessários ao professor. Dentre as principais contribuições do modelo de Grossman para a pesquisa em PCK, salienta-se: primeiro, a sistematização da base de conhecimentos para o ensino a partir dos conhecimentos elencados por Shulman; segundo, a centralidade do PCK e sua relação com os outros conhecimentos; terceiro, a sistematização do próprio PCK, organizando os componentes que o compõe em categorias (concepção dos propósitos para ensinar um conteúdo específico, conhecimento da compreensão dos estudantes, conhecimento do currículo e conhecimento de estratégias instrucionais).

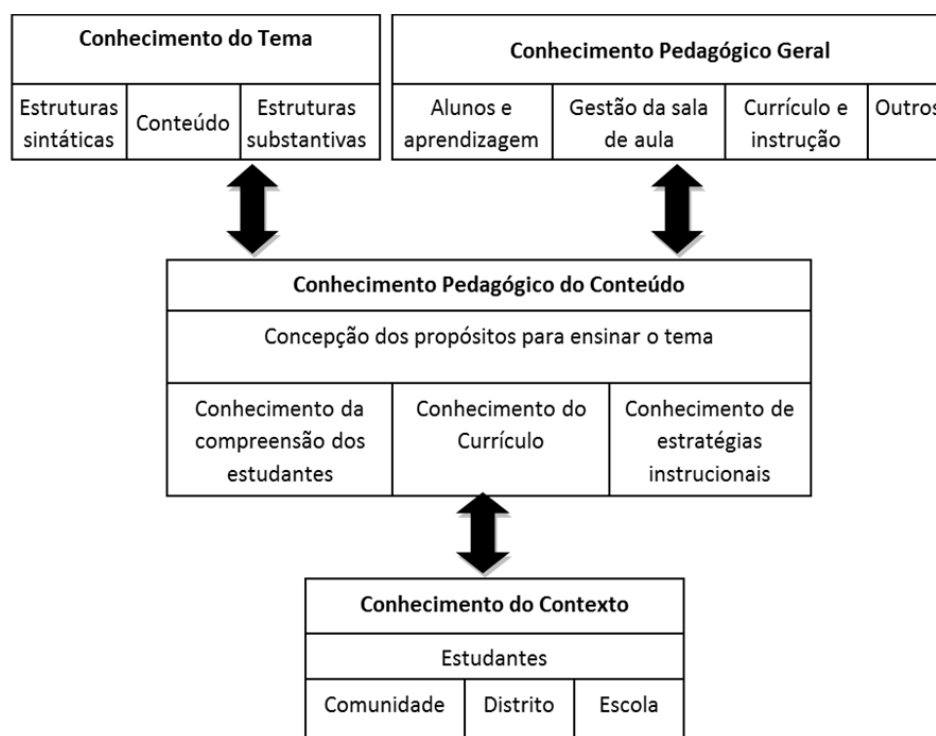


Figura 1: Conhecimentos do professor proposto por Grossman (1990).

Fonte: Fernandez (2015).

Baseando-se nos trabalhos supracitados, diversos pesquisadores propuseram outros modelos (e.g MAGNUSSON; KRAJCIK; BORKO, 1999; ROLLNICK et al., 2008). Dentre tais modelos, Mavhunga (2012), também fundamentada no trabalho de Veal e MaKinster (1999) defende que o PCK apresentado nestes outros modelos pode ser aplicado para conteúdos gerais (i. e. Química), assumindo uma característica mais

ampla, sendo chamado de PCK geral (i. e. PCK de Química). Seria necessário, então, focar mais na transformação do conhecimento do tema para o ensino de tópicos específicos, o que a autora chama de conhecimento pedagógico do conteúdo de tópico específico (TSPCK¹, da sigla em inglês *topic specific pedagogical content knowledge*).

A autora considera o TSPCK como o conhecimento necessário para a transformação de um tópico particular para o ensino (MAVHUNGA, 2012). Esse conhecimento é composto por 5 categorias:

- (i) **Concepções prévias dos estudantes** (CPE), o qual se refere ao conhecimento que o professor tem sobre as concepções prévias ou concepções alternativas de estudantes sobre um tópico em particular, bem como confrontar tais concepções.
- (ii) **Saliência curricular** (SLC), a qual seria o entendimento de quatro aspectos curriculares: *ênfase curricular*, isto é, quais tópicos são mais centrais e quais são periféricos dentro do conteúdo; *sequência de ensino*, que seria como organizar o conteúdo para ser ensinado; *currículo vertical*, ou seja, como o professor relaciona o conteúdo ensinado com os conteúdos prévios e os posteriores e; *importância e motivação*, que envolve a importância do conteúdo e características do mesmo que podem motivar os alunos.
- (iii) **Dificuldades de ensino** (DFE), que seria a habilidade de identificar quais conceitos são difíceis de ensinar, seja porque necessitam de conhecimentos de outras áreas ou porque necessitam de um conceito-chave para ser entendido.
- (iv) **Representações** (REP), o qual se refere ao conhecimento sobre quais representações, analogias, ilustrações e modelos podem ser utilizados para ensinar determinado conteúdo, e como tais representações podem ser utilizadas.
- (v) **Estratégias conceituais de ensino** (ECE), que seria o modo como o professor utiliza os componentes supracitados para elaborar estratégias de ensino para um determinado conceito.

O modelo proposto pelas autoras pode ser visto na Figura 2.

¹ A sigla “TSPCK” será utilizada apenas para referenciar o modelo proposto por Mavhunga. Para referenciar o conhecimento pedagógico do conteúdo dos professores para ensinar Pilha, será utilizado apenas o termo “PCK de Pilha”, pois, por especificar o tópico a ser ensinado, entende-se que este PCK já é tópico específico, tornando os termos “PCK de tópico específico de Pilha” ou “TSPCK de Pilha” redundantes.

No presente trabalho, optamos por este modelo, pois nosso interesse é estudar predominantemente o PCK em um nível mais específico – sendo este o mesmo motivo que levou as autoras a proporem tal modelo. Apesar do modelo de tópico específico mostrar o PCK dividido em diversos componentes, ressaltamos que ele é mais do que a soma dos mesmos, pois estes componentes se integram de maneira sinérgica (ABELL, 2008).

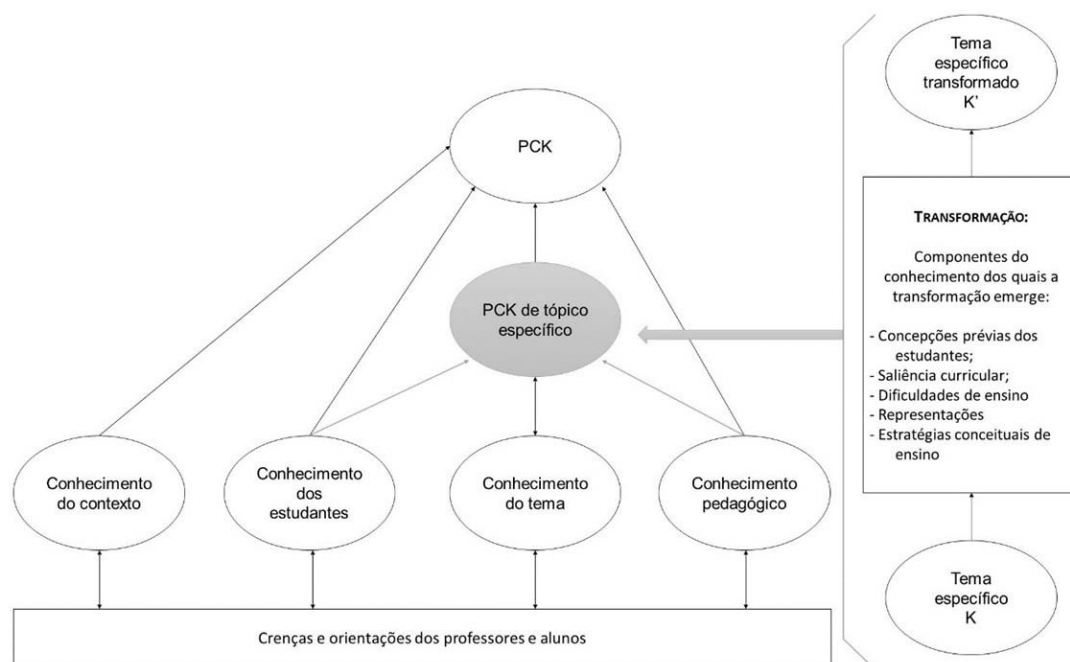


Figura 2: Modelo do conhecimento pedagógico do conteúdo de tópico específico proposto por Mavhunga e Rollnick.

Fonte: Mavhunga (2012). Tradução: Tradução nossa.

2.1.1 Acesso ao PCK e instrumentos quantitativos

Haja vista que o PCK é um conhecimento tácito e com uma complexa natureza (FERNANDEZ, 2011, 2014, 2015), os pesquisadores da área optam por utilizar uma abordagem multimétodos para poder acessar o conhecimento de um professor (BAXTER; LEDERMAN, 1999). Tais abordagens normalmente favorecem a coleta de dados qualitativos, utilizando procedimentos como entrevistas, análise documental e registros audiovisuais (CASTRO; LEAL, 2017; FREIRE; FERNANDEZ, 2014; 2015; LEAL; NOVAIS; FERNANDEZ, 2015; MONTENEGRO; FERNANDEZ, 2015; NOVAIS; FERNANDEZ, 2014; PEREIRA; FERNANDEZ, 2013; TACOSHI; FERNANDEZ, 2014).

Uma vez que tais métodos conseguem coletar com profundidade e em grande quantidade dados relacionados aos conhecimentos dos professores, é possível investigar

vários aspectos acerca do PCK, tais como a influência do conhecimento do conteúdo (ROLLNICK et al., 2008; SALES, 2010) e do contexto (SILVA, 2012; SILVA, FERNANDEZ, 2021) no PCK. Entretanto, estes métodos são mais adequados para amostras pequenas, uma vez que demandaria muito tempo para analisar uma grande amostra em tal profundidade (SCHMELZING et al., 2013).

Uma alternativa para se analisar o PCK de uma amostra grande de professores, a qual é bastante utilizada no ensino de matemática, mas que somente no início da década de 2010 tem ganhado ênfase no ensino de ciências, são os testes (e.g. NOGUEIRA; FERNANDEZ, 2018; ROLLNICK; MAVHUNGA, 2014; SCHMELZING et al., 2013). Ressaltamos que não há um método mais eficiente do que outro, mas sim objetivos diferentes: os instrumentos qualitativos fornecem mais detalhes, mas não permitem acessar uma grande quantidade de professores; ao passo que instrumentos quantitativos, como os testes, permitem alcançar muitos professores, mas não fornecem tantos detalhes quanto o qualitativo.

Dentre as possíveis abordagens psicométricas para a construção, validação e análise de testes, a modelagem Rasch tem se tornado popular na área de PCK de ciências, sendo utilizada no ensino de física (e.g. KIRSCHNER et al., 2016), no ensino de química (e.g. DAVIDOWITZ; POTGIETER, 2016) e no ensino de biologia (e.g. JÜTTNER et al., 2013).

2.2 ENSINO DE ELETROQUÍMICA

Ao se estudar sobre o PCK, este precisa ser associado a uma disciplina ou a um tópico em específico (CARLSON; DAEHLER, 2019). Levando-se em conta as dificuldades no ensino de eletroquímica que serão discutidas a seguir, bem como o fato dos conceitos de eletroquímica serem bastante presentes no cotidiano, escolhemos o conteúdo de Pilha como aquele que será abordado na presente pesquisa.

Estudos têm sido feitos para compreender a complexidade dos conceitos inerentes ao conteúdo de eletroquímica, tanto do ponto de vista dos alunos, como no dos professores e livros didáticos. Dentre tais conceitos estudados, exemplifico: corrente elétrica, condutibilidade elétrica em soluções, representação de reações redox, potencial de redução, transferência de elétrons, o significado do número de oxidação, identificação de redutores e oxidantes e balanceamento e reações redox (de JONG; ACAMPO; VERDONK, 2002; LIMA; MARCONDES, 2005).

Nogueira, Goes e Fernandez (2017), em um estudo do tipo estado da arte, analisaram publicações de eventos científicos brasileiros que tinham como objeto de pesquisa o conteúdo redox. As autoras identificaram que as publicações mapeadas relataram dificuldades, por parte de estudantes, professores e livros didáticos, na compreensão da simultaneidade das reações redox, diferenciação dos processos de Pilha e Eletrólise, e transposição dos conceitos redox para outros temas.

Especificamente quanto aos estudantes, as pesquisas visam compreender e relatar as concepções prévias e dificuldades conceituais que cercam a eletroquímica. Ogude e Bradley (1994), por exemplo, classificam as quatro maiores áreas de dificuldades na eletroquímica dos alunos em: (i) condução no eletrólito; (ii) neutralidade elétrica; (iii) processos e terminologias dos eletrodos; e (iv) aspectos relacionados aos componentes, corrente e força eletromotriz. Os autores também ressaltam que tais dificuldades estão presentes também em alunos do ensino superior.

No tocante aos livros didáticos, pesquisas têm indicado que eles influenciam na dificuldade dos conteúdos de eletroquímica. Österlund, Berg e Ekborg (2010) estudaram o uso de modelos no conteúdo de reações redox que estão presentes nos livros didáticos, e concluem que eles não promovem e nem discutem o uso de modelos, não explicando o porquê determinado modelo funciona melhor em um determinado contexto. Goes, Nogueira e Fernandez (2018) analisaram o uso de recursos visuais utilizados no conteúdo de reações redox em livros didáticos de Química, concluindo que, apesar dos mesmos abordarem tal conteúdo de forma contextualizada, há uma priorização do uso dos níveis simbólicos e macroscópicos em detrimento do submicroscópico, além de os livros não estabelecerem relações entre os diferentes níveis.

Do ponto de vista dos docentes, são realizadas pesquisas sobre as suas dificuldades no processo de ensino de eletroquímica. Ahtee, Asunta e Palm (2002), ao investigarem as concepções de professores em formação sobre o ensino do tópico de eletrólise e as dificuldades inerentes a tal ensino, concluem que apenas dois entre oito professores participantes tiveram uma clara visão de que a eletrólise é um processo em que uma corrente elétrica direciona a reação em uma direção não espontânea; além disso, os professores têm dificuldades de conectar conceitos anteriormente ensinados de eletrólise para formar um todo. De Jong e Treagust (2002), por sua vez, sugerem que os professores, ao ensinar eletroquímica, deveriam desenvolver os seus conhecimentos

sobre concepções alternativas dos fenômenos eletroquímicos dos alunos e as dificuldades na compreensão desses fenômenos.

A seguir sintetizamos as principais concepções alternativas apresentadas por estudantes, professores e livros didáticos no conteúdo de Pilha e correlatos.

Quadro 1: Principais concepções alternativas relacionadas ao conteúdo de Pilha.

Concepções alternativas	Referência
<p>A carga de um íon poliatômico indica o seu estado de oxidação. Por exemplo, achar que a carga do íon sulfato (SO_4^{2-}) é o seu número de oxidação.</p> <p>Não reconhecimento da simultaneidade das reações redox, ou seja, elas podem ocorrer de forma independente.</p>	Garnett e Treagust, (1992a) Schmidt e Volke (2003)
<p>As reações redox somente ocorrem se tiver transferência de oxigênio, bem como toda reação envolvendo oxigênio é uma reação redox.</p>	Garnett e Treagust, (1992a) Schmidt, (1997)
<p>Não reconhecimento de reações redox em fenômenos que não as células eletroquímicas. Isto é, não identificam reações como fotossíntese e respiração como reações redox.</p>	Ogude e Bradley (1996)
<p>Os elétrons passam pelo circuito interno. Tal concepção se manifesta de diversas formas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Os elétrons se movem através da solução sem o auxílio de íons. - Os elétrons se movem na solução eletrolítica por atração com íons positivos. - Os elétrons entram no eletrólito do cátodo, movem-se pela ponte salina e emergem no ânodo para fechar o circuito. - A ponte salina não permite a passagem de íons, mas sim de elétrons. 	Garnett e Treagust, (1992a) Garnett e Treagust, (1992b) Ogude e Bradley (1994) Ogude e Bradley (1996) Sanger e Greenbowe (1997) Schmidt, Marohn e Harrison (2007)
<p>A corrente elétrica originada na solução eletrolítica é constituída apenas por ânions. Isto é, não há o reconhecimento de que cargas positivas (os cátions) em movimento também produzem corrente elétrica.</p> <p>O que define um eletrodo como cátodo ou ânodo é a posição física do mesmo: o eletrodo esquerdo sempre será o ânodo e o direito sempre será o cátodo.</p>	Sanger e Greenbowe (1997)
<p>Somente o movimento de elétrons produz corrente elétrica, ou seja, o movimento dos íons não constitui.</p> <p>A perda de elétrons provoca a diminuição da carga da espécie química envolvida</p>	Caramel e Pacca (2011)

Fonte: Elaborado pelos autores a partir das referências da tabela.

2.3 AUTOCONCEITO E CONHECIMENTO DOCENTE

Apesar da pesquisa em PCK ter como enfoque os diferentes tipos de conhecimento que os professores possuem ou deveriam possuir, desde os primeiros modelos há componentes não-cognitivos representados nos modelos de PCK, como as orientações para o ensino de ciências (MAGNUSSON; KRAJCIK; BORKO, 1999) e a eficácia (PARK; OLIVER, 2008). Estes componentes não-cognitivos podem ser entendidos como *amplificadores* e *filtros* para o desenvolvimento do PCK dos professores, bem como na mobilização do mesmo em sala de aula (GESS-NEWSOME, 2015).

Nos últimos anos um domínio não-cognitivo tem ganhado destaque como um precursor para a motivação dos professores e, conseqüentemente, o desenvolvimento do PCK: o autoconceito (PAULICK; GROßSCHEDL; HARMS; MÖLLER, 2017; SORGE; KELLER; NEUMANN; MÖLLER, 2019). O autoconceito é a percepção que uma pessoa tem sobre si mesma em um determinado aspecto; tal percepção é formada por meio de experiências com o ambiente e influencia como a pessoa age (SHAVELSON; HUBNER; STANTON, 1976).

O autoconceito é um constructo multidimensional (SHAVELSON; HUBNER; STANTON, 1976) e pode ser compreendido como específico para determinados domínios (Figura 3). Dentre estes domínios temos o autoconceito não-acadêmico – a autopercepção do sujeito sobre seus aspectos sociais, emocionais e físicos – e o acadêmico – a autopercepção do sujeito sobre seus conhecimentos e habilidades em diferentes subáreas, as quais seriam as diferentes disciplinas acadêmicas (MARSH; SHAVELSON, 1985).

O autoconceito acadêmico é um constructo bastante explorado na psicologia educacional, uma vez que é um importante preditor de vários resultados educacionais, como: motivação, realização, ansiedade e seleção de cursos (WOLFF; HELM; MÖLLER, 2019). Especificamente em formação de professores, pesquisas apontam que o autoconceito acadêmico dos professores se correlaciona positivamente com a efetividade de ensino (YEUNG; CRAVEN; KAUR, 2014) e a motivação para o ensino (SORGE; KELLER; NEUMANN; MÖLLER, 2019).

A estrutura hierárquica do autoconceito permite múltiplas interpretações do autoconceito acadêmico. Deste modo, algumas pesquisas abordam o autoconceito acadêmico como um constructo unidimensional, considerando, por exemplo, o

rendimento geral de um aluno na escola; enquanto outras pesquisas o abordam como um constructo multidimensional, considerando diretamente as subáreas do autoconceito acadêmico. Considerando esta última perspectiva, as pesquisas em Educação em Ciências geralmente compreendem o autoconceito em Ciências como unidimensional e pertencente ao autoconceito acadêmico, o qual, por sua vez, seria multidimensional.

Entretanto, pesquisas recentes sugerem que o autoconceito em Ciências também pode ser compreendido como multidimensional, sendo dividido nas disciplinas específicas, como Biologia, Física e Química (JANSEN; SCHROEDERS; LÜDTKE, 2014). Assim, um estudante teria, por exemplo, um autoconceito em química que seria distinto do autoconceito em biologia. Ao considerar o autoconceito em Ciências também como multidimensional, Jansen e colaboradores (2014) encontraram uma correlação positiva entre as dimensões específicas do autoconceito em Ciências (Biologia, Física e Química) de estudantes de ensino médio alemão com os desempenhos desses alunos nas respectivas disciplinas. Além disso, os resultados desse estudo também sugerem que as alunas possuem um menor autoconceito em Física e Química do que os alunos.

Sob a ótica da profissionalização docente, Paulick e colaboradores (2016) e Sorge e colaboradores (2019) argumentam que o autoconceito acadêmico também poderia ser dividido em um autoconceito na disciplina específica e em um autoconceito no ensino da disciplina específica (Figura 4). Portanto, os professores de Química, por exemplo, possuiriam um autoconceito em Química (SMK) e outro em Ensinar Química (PCK). O autoconceito em PCK pode ser entendido como a autopercepção dos professores sobre seus conhecimentos e habilidades para *ensinar* uma determinada disciplina. Deste modo, as pesquisas em autoconceito de professores têm considerado a relação entre o autoconceito no domínio específico, o autoconceito no ensino deste domínio, o real conhecimento do professor no domínio específico e o real conhecimento do professor no ensino deste domínio (SORGE; KELLER; NEUMANN; MÖLLER, 2019).

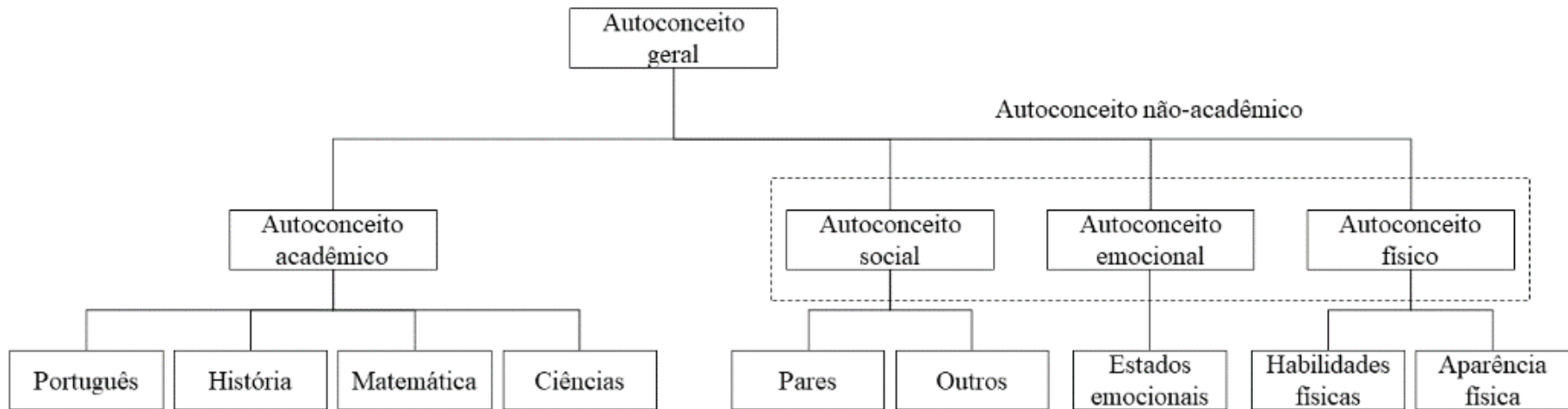


Figura 3: Representação hierárquica do autoconceito.
 Fonte: Shavelson, Hubner e Stanton (1986). Tradução: tradução nossa.

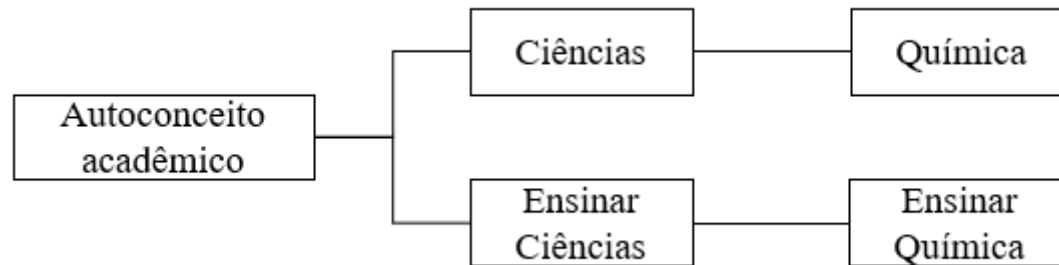


Figura 4: Dimensões do autoconceito de professores de Química.
 Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Paulick e colaboradores (2016) e Sorge e colaboradores (2019).

Todavia, o fato de o PCK possuir não somente uma dimensão disciplinar-específica (e.g. química), mas também uma dimensão tópico-específica (e.g. eletroquímica; CARLSON; DAEHLER, 2019), possibilita a existência, para professores, de o autoconceito na disciplina e o autoconceito no ensino da disciplina também serem multidimensionais e tópico-específicos, conforme apresentado na Figura 5.

Considerando a importância do autoconceito para o desenvolvimento do PCK, também temos como objetivo de pesquisa avaliar a relação desse constructo com o PCK. Além disso, esta relação contribuiu para a coleta de evidências de validade do teste de PCK.

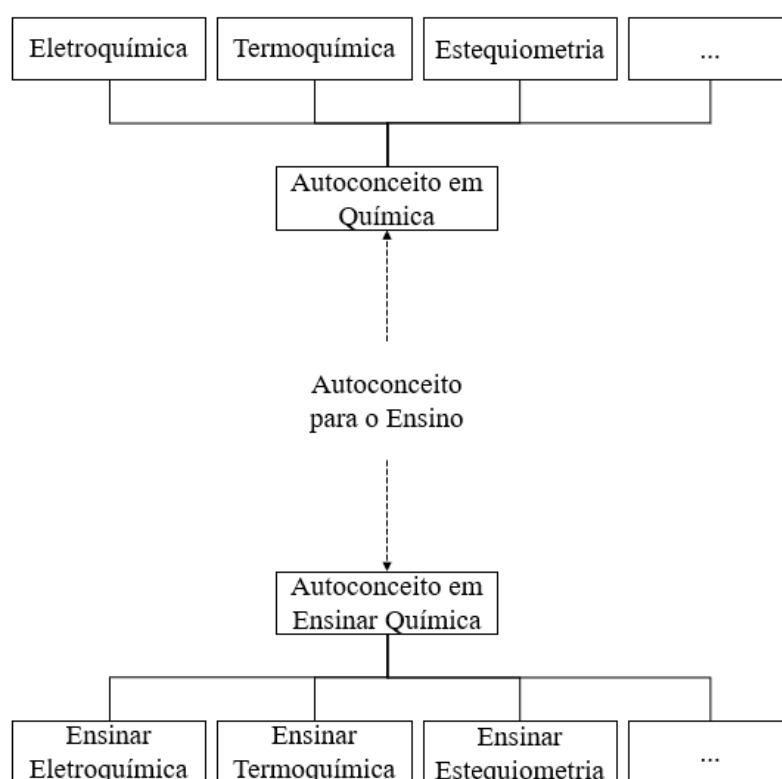


Figura 5: Proposição de autoconceitos tópico-específicos.
Fonte: Elaborada pelos autores.

2.4 ESCALAS DE MENSURAÇÃO

Conhecer as escalas de mensuração que são utilizadas em um teste ou questionário é de fundamental importância no planejamento de uma pesquisa, pois cada tipo de escala possui propriedades próprias, e tais propriedades influenciam como serão feitas as análises estatísticas, tanto a estatística descritiva como a estatística inferencial. Existem dois tipos gerais de escalas: as categoriais e as contínuas. As variáveis

categoriais ainda podem ser divididas em nominais e ordinais, enquanto as contínuas se dividem em intervalares e de razão (CRESWELL, 2012).

As escalas nominais denotam apenas categorias, as quais são mutuamente exclusivas e não possuem significados numéricos (COHEN; MANION; MORRISON, 2007). Exemplos de escalas nominais são sexo e disciplina: poderíamos representar professores do sexo masculino como 1 e do sexo feminino como 2, e química como 1 e física como 2; o que não significaria que o sexo feminino é duas vezes “mais sexo” do que o masculino, e que física é duas vezes “mais disciplina” do que química, mas sim que são apenas categorias diferentes.

As escalas ordinais não somente categorizam, como também conseguem ordenar os dados (COHEN; MANION; MORRISON, 2007), diferenciando um nível que seja “mais” de algo que seja “menos”. Podemos exemplificar tal tipo com opiniões: alguém pode concordar com uma afirmação, enquanto uma segunda pessoa discorda e uma terceira não tem opinião sobre a afirmação. Neste cenário, é possível ordenar as pessoas em “1 – discorda”, “2 – tanto faz” e “3 – concorda”. Deste modo, o 3 representa uma inclinação maior para a concordância do que o 2, que por sua vez é maior do que o 1. Porém, sabemos apenas a ordem de concordância, e não o quanto maior ela é.

O terceiro tipo, as escalas intervalares, além de manter as características das duas escalas supracitadas, introduz outra característica: os intervalos entre os pontos são iguais e regulares (COHEN; MANION; MORRISON, 2007). Um exemplo é a escala Celsius de temperatura: uma temperatura de 40 °C é maior do que uma de 35 °C, que é maior do que uma de 30 °C. Além de estabelecer uma ordem ($40 > 35 > 30$), é possível estabelecer uma distância entre elas, pois os espaços são equidistantes.

O último tipo, a escala de razão, além de categorizar, ordenar e possuir intervalos equidistantes, possui uma quarta característica: o zero absoluto (COHEN; MANION; MORRISON, 2007). Isto significa que além de estabelecer uma distância entre dois pontos, pode-se estabelecer uma proporção. Exemplos desta escala são altura, salário e temperatura na escala Kelvin. Comparando-se a escala Kelvin e a escala Celsius percebe-se que 40 °C não significa o dobro de energia térmica de 20 °C, mas 200 K é o dobro de energia térmica de 100 K, uma vez que a escala Kelvin possui um zero absoluto.

2.5 MODELO RASCH

O Modelo Rasch é um modelo psicométrico que, a partir dos escores brutos de um teste, elabora uma escala intervalar que representa a probabilidade de acertos do teste, a qual depende da habilidade do respondente e da dificuldade do item (BOND; FOX, 2007; BOONE; STAVER; YALE, 2014). A primeira vantagem de se utilizar o Modelo Rasch, portanto, é o fato dele elaborar uma escala intervalar a partir de variáveis ordinais, o que permite utilizar análises estatísticas paramétricas.

Uma segunda vantagem seria uma gama de tipos diferentes de modelo, o que permite escolher aquele que mais se adequa às necessidades de diferentes questões de pesquisa. Há, basicamente, três tipos de modelo Rasch: dicotômico, utilizado para testes nos quais as escalas são dicotômicas (sim e não, falso e verdadeiro); escala de classificação, utilizado para testes do tipo Likert e; créditos parciais, utilizado quando as questões são avaliadas a partir de um sistema de rubricas. Uma vez que o teste que elaboramos para avaliar o PCK de Pilhas dos professores do ensino médio utiliza um sistema de rubricas, conforme será explicitado nos capítulos posteriores, o modelo de créditos parciais é o que mais se adequa ao nosso teste. Segundo Linacre (2012), tal modelo

especifica a probabilidade, P_{nij} , da pessoa n de habilidade B_n marcar a categoria j em uma escala específica para o item i de dificuldade D_i em oposição à probabilidade $P_{ni(j-1)}$ de marcar a categoria $(j-1)$ da mesma questão (p. 1, tradução nossa).

Esta afirmação pode ser equacionada da seguinte forma:

$$\log_e \left(\frac{P_{nij}}{P_{ni(j-1)}} \right) = C_n - D_i - F_{ij} \quad (1)$$

Na qual:

\log_e é o logaritmo natural.

P_{nij} é a probabilidade da pessoa n marcar a categoria j da questão i ;

$P_{ni(j-1)}$ é a probabilidade da pessoa n marcar a categoria $j-1$ da questão i

C_n é a habilidade de uma pessoa n ;

D_i é a dificuldade de uma questão i ;

F_{ij} é o limite de Rasch-Andrich² de uma categoria j de uma questão i ;

2 Para mais detalhes sobre o Limite de Rasch-Andrich ver Linacre (2012b)

O logaritmo da probabilidade P_{nij} dividido pela probabilidade $P_{ni(j-1)}$ pode ser entendido em termos de logit (do inglês, *log odd units*), como mostra a equação a seguir:

$$\log_e \left(\frac{P_{nij}}{P_{ni(j-1)}} \right) = \text{logit}(P_{nij}) \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1), obtemos a seguinte equação:

$$C_n - D_i - F_{ij} = \text{logit}(P_{nij}) \quad (3)$$

Percebe-se que as habilidades dos sujeitos (C_n) e a dificuldade dos itens (D_i) podem, ambas, serem expressas em termos de logits (WRIGHT, 1993), a qual seria a terceira vantagem de se utilizar o Modelo Rasch: como habilidade e dificuldade são expressos em uma mesma escala, os dois podem ser diretamente comparados (BOONE; ROGAN, 2005). Para auxiliar nesta comparação, é comum os pesquisadores da área elaborarem um esquema no qual representam as duas variáveis juntas: o mapa de Wright (do inglês, *Wright map*), o qual é exemplificado na Figura 6.

O mapa de Wright foi feito simulando onze sujeitos respondendo a quatro questões. O lado esquerdo do mapa representa os onze sujeitos (abaixo do nome *person*), e o lado direito representa as quatro questões (abaixo do nome *item*). A linha na vertical, abaixo do nome *map* representa a escala de medida, as quais têm os valores, em logits, representados no extremo do lado esquerdo, abaixo do nome *measure*.

Quanto maior o valor, maior é a habilidade do respondente e maior é a dificuldade da questão; em contrapartida, quanto menor o valor na medida, menor a habilidade do respondente e menor a dificuldade (ou seja, maior facilidade) de se responder uma questão. Assim, a partir do exemplo dado na Figura 6, Denis é o sujeito com a maior habilidade, enquanto João é o sujeito com menor; e o item I4 é o mais difícil, ao passo que o item I1 é o mais fácil. Ressaltamos que na presente pesquisa, “maior habilidade” significa “maior manifestação do PCK de Pilhas”.

A letra M no mapa representa a média das notas. Portanto o M do lado esquerdo aponta a média da nota dos respondentes e o do lado direito aponta a média de dificuldade dos itens – o qual é fixado como zero. A letra S é o valor do primeiro desvio

padrão, enquanto a letra T é o valor do segundo; tais letras também seguem o mesmo raciocínio do M: lado esquerdo representa o dos respondentes e lado direito, o das questões.

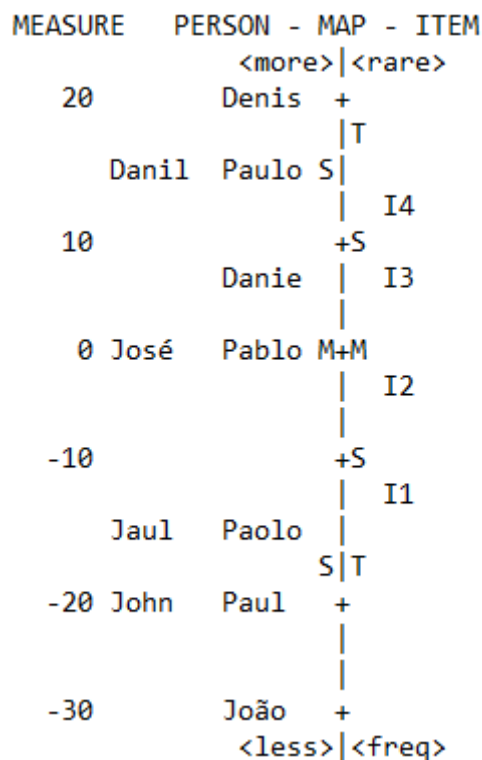


Figura 6: Exemplo de um mapa de Wright com dados fictícios.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Além da comparação entre os respondentes e as questões, o mapa de Wright auxilia na análise da validade construtiva e preditiva do teste (BOONE, 2016). A validade construtiva indica se o teste mensura aquilo o qual se propõe mensurar (CRESWELL; CLARK, 2013; LINACRE, 2017) e a validade preditiva indica se o teste fornece medidas congruentes com o que se sabe sobre os respondentes (LINACRE, 2017). Como a ordem de dificuldade das questões dá indícios sobre a validade construtiva e a ordem de habilidade dos respondentes dá indícios sobre a validade preditiva, o mapa de Wright pode ser utilizado para facilmente visualizar tais ordens.

Outro indicador de validade são os índices outfit MNSQ (sigla para o inglês *mean-square*) e o *outfit ZSTD* (sigla para o inglês *z standardized*), os quais são calculados para todos os respondentes e todas as questões. Estes índices indicam o quão adequados os respondentes e as questões estão ao modelo Rasch, isto é, se o comportamento deles é típico ou atípico (BOONE; STAVER; YALE, 2014; LINACRE,

2017). No modelo Rasch, um comportamento típico é um comportamento esperado, ou seja, questões de alta dificuldade devem ser respondidas por participantes de alta habilidade, enquanto questões de baixa dificuldade devem ser respondidas pela maioria (LINACRE, 2012b). Isto posto, um respondente com comportamento atípico é um respondente de baixa habilidade que atinge uma boa nota em uma questão difícil ou um de alta habilidade que atinge uma baixa nota em uma questão fácil. Do mesmo modo, uma questão com comportamento atípico é uma questão de alta dificuldade que é acertada por respondentes de baixa habilidade ou uma de baixa dificuldade que não é respondida por um sujeito de alta habilidade. Tais índices suportam a validade do teste pois, se os comportamentos são adequados, significam que o teste está mesurando aquilo a que se propõe analisar.

O outfit MNSQ é obtido após uma análise estatística utilizando um teste qui-quadrado e analisa se os valores são produtivos ou não para a conversão (LINACRE, 2017). O outfit ZSTD é obtido após uma análise estatística utilizando um teste t para verificar a hipótese de se os dados se ajustam ao modelo perfeitamente (LINACRE, 2017). Caso o outfit MNSQ apresente valores de 0,5 a 1,5 **ou** o outfit ZSTD apresente valores de -2,0 a 2,0, considera-se que os participantes e as questões se adequam ao modelo (BOONE; STAVER; YALE, 2014; KIRSCHNER et al., 2016).

Entretanto, frisamos que esta adequação é mais importante para as questões, conforme pontuado por Linacre (BOONE; STAVER; YALE, 2014, p.181, tradução nossa):

De uma perspectiva estatística, pessoas e questões são exatamente o mesmo. Eles são apenas parâmetros do modelo Rasch. Portanto, os critérios de adequação devem ser exatamente os mesmos. Mas, de uma perspectiva substantiva, pessoas e questões são diferentes. Nós esperamos que as questões sejam mais comportadas do que as pessoas. [...] Consequentemente, nós geralmente somos mais rigorosos em nossas análises dos índices *fit* para as questões do que para as pessoas. Poucos respondentes atípicos em um conjunto de dados não nos preocupam [...]. Mas, poucas questões atípicas levantam questões sobre a administração do teste, acurácia de entrada dos dados, a definição da variável latente etc.

Por fim, o Modelo Rasch também viabiliza dois parâmetros de confiabilidade: a confiabilidade dos respondentes e das questões. A confiabilidade dos respondentes é similar aos índices do alpha de Cronbach (BOONE; ROGAN, 2005; BOONE; STAVER; YALE, 2014) e representa a consistência interna do teste, isto é, a reprodutibilidade do ordenamento dos respondentes caso os mesmos venham a

responder outro teste com dificuldade similar. Quanto à confiabilidade das questões, a mesma não possui nenhum similar dentre as confiabilidades tradicionais, mas é basicamente o mesmo conceito que a outra: indica a reprodutibilidade da ordem das questões caso as mesmas fossem respondidas por outros sujeitos com o nível da habilidade similar (BOONE; STAVELAND; YALE, 2014).

Em suma, utilizar o Modelo Rasch concede as seguintes vantagens: (i) obtenção de uma escala intervalar, a qual permite utilizar estatística paramétrica; (ii) recurso visual, o mapa de Wright, no qual podemos analisar tanto a dificuldade das questões, como o TSPCK dos respondentes e; (iii) subsídio para análise da qualidade do teste, facilitando a análise da validade e fornecendo parâmetros de confiabilidade.

O que compõe o homem nascido ao Sol do chão? [...] Um cara no espaço desse não é de carne e nem de osso. O semiárido no peito e a vida é seu pescoço.

Homem todo solo, Validuaté

3. OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo geral adaptar e apresentar evidências de validade de um teste para avaliar o conhecimento pedagógico do conteúdo acerca de Pilhas de professores de Química do ensino médio de São Paulo.

Para tanto, foi necessário desenvolver os seguintes objetivos específicos:

- i. adaptar o teste de Ndlovu (2014) e elaborar uma rubrica para o teste adaptado;
- ii. conferir as características psicométricas do teste adaptado sob a perspectiva da Modelagem Rasch para coletar evidências da estrutura interna do teste adaptado;
- iii. utilizar o teste adaptado para mensurar o PCK de Pilha dos professores voluntários;
- iv. estratificar os professores de acordo com o seu nível de PCK de Pilhas;
- v. analisar a estrutura interna do autoconceito em Química e em Ensinar Química dos professores;
- vi. analisar a relação entre o PCK de Pilhas com os autoconceitos em Química e em Ensinar Química para coletar evidências de associação;
- vii. analisar o conteúdo de Pilha presente em livros didáticos de Química do ensino médio aprovados no PNLD 2018 para coletar evidências do conteúdo do teste adaptado.

Dito isto, a presente pesquisa busca responder a seguinte questão de pesquisa:

É possível desenvolver um teste para mensurar o PCK de Pilha dos professores do ensino médio, sobretudo aqueles do Estado de São Paulo?

*Eles 'tão maluco tentando entender,
A fórmula mágica pra enriquecer.
Quer saber? Nasce no Piauí pra tu ver.
Mais cedo ou mais tarde vai acontecer.*

*Quer o ouro e a prata, mas não quer sofrer.
Tu quer ir pro céu mas tu não quer morrer.
Pra mim que já vim morto é fácil vencer.*

Piauí, Lil Whind.

4. METODOLOGIA

4.1 PARADIGMA DE PESQUISA

Toda pesquisa possui aspectos filosóficos subjacentes, os quais, normalmente, abordam questões metafísicas, tais como ontologia, epistemologia, metodologia e axiologia (CRESWELL; CLARK, 2013). A ontologia questiona sobre a natureza da realidade (se existe uma realidade ou não, se a mesma é plural ou singular); a epistemologia questiona a natureza do conhecimento e a relação entre o conhecedor e o que se deseja conhecer; a metodologia questiona como o conhecedor pode obter o conhecimento desejado e; a axiologia questiona a natureza dos valores e sua influência na pesquisa (MERTENS, 2010).

Tais aspectos filosóficos podem ser entendidos como paradigmas de pesquisa (MORGAN, 2007) e, conseqüentemente, guiam as escolhas práticas dos pesquisadores, mesmo que estes não tenham consciência disso. Portanto, acreditamos que se faz necessário explicar qual paradigma de pesquisa apoia a presente pesquisa e como ele influenciou os procedimentos utilizados.

Optamos por escolher o pragmatismo como paradigma de pesquisa por compartilharmos com as ideias filosóficas defendidas pelo mesmo e por acreditarmos que seja o mais adequado para conduzir uma pesquisa que combina métodos quantitativos e qualitativos. O pragmatismo não tem como preocupação primária responder aos questionamentos metafísicos, pois defende que a ênfase deva ser dada à prática de pesquisa (MORGAN, 2014). A filosofia subjacente a este paradigma defende que todas as ações são reflexos das crenças, bem como as crenças são reflexos das ações, isto é, há uma relação dialógica entre a experiência do indivíduo e as crenças que ele possui (MORGAN, 2014).

Tendo em vista que este foco na prática em detrimento dos aspectos metafísicos tem sido questionado (LINCOLN, 2010), optamos por compartilhar da visão de alguns metodologistas que conseguem explicar os aspectos metafísicos de um ponto de vista da prática (CRESWELL; CLARK, 2013; MERTENS, 2010). Deste modo, a crença ontológica adotada acredita que há somente uma realidade, mas esta é interpretada de modo diferente por cada indivíduo, uma vez que os mesmos possuem experiências diferentes; a crença epistemológica que se defende preza pela praticidade, isto é, a relação com o conhecimento se dá do modo que cada um acha ser mais adequado para determinado propósito; a crença metodológica possibilita escolher os métodos de acordo com o propósito de pesquisa (o que nos permite utilizar os métodos mistos); por fim, a partir da postura axiológica adotada, acredita-se que os objetivos éticos sejam influenciados pelo fim desejado na pesquisa como um todo (MERTENS, 2010).

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Aportados num paradigma de pesquisa pragmática, optamos por uma abordagem de métodos mistos – predominantemente quantitativa –, a qual pode ser entendida como uma abordagem que “apresenta dados qualitativos e quantitativos claramente identificáveis (ou um transformado no outro), os quais são analisados e apresentados separadamente” (TEDDLIE; YU, 2007, p. 77, tradução nossa). Ainda segundo os autores, é importante que uma pesquisa de método misto demonstre a necessidade de dados qualitativos e quantitativos para responder à questão de pesquisa. Julgamos que nossa questão de pesquisa atende a este requerimento, como será explicado a seguir.

Para que as respostas permitam a manifestação, de forma mais detalhada possível, do PCK de Pilhas dos professores, optamos por compor o teste apenas de questões abertas, em vez de questões fechadas. Embora dificulte a análise do teste, devido à necessidade de elaboração de uma rubrica e a um maior tempo de análise das respostas, defendemos ser a opção que torna as respostas mais confiáveis e válidas.

Frente à necessidade de elaboração da rubrica, decidimos elaborá-la a partir da análise textual qualitativa (KUCKARTZ, 2014) das respostas dos professores em todas as etapas de aplicação e refinamento do teste. Ao final das análises, as respostas dos professores eram quantizadas e compunham os dados para os procedimentos de validação do teste adaptado (FURR, 2018). Os procedimentos de validação escolhidos neste trabalho envolvem a utilização de análises estatísticas e psicométricas, como será

descrito em detalhes posteriormente.

Além da adaptação do teste e elaboração da rubrica, o presente trabalho também contou com as seguintes análises estatísticas: classificação hierárquica descendente dos livros didáticos de Química do ensino médio aprovados no PNLD 2018; análise fatorial confirmatória dos questionários de autoconceito em Química e em Ensino de Química; modelagem de equações estruturais com o teste de PCK de Pilha e os questionários de autoconceito.

Uma visão geral da pesquisa pode ser vista na Figura 7. A seguir apresentaremos cada uma das etapas de forma detalhada.

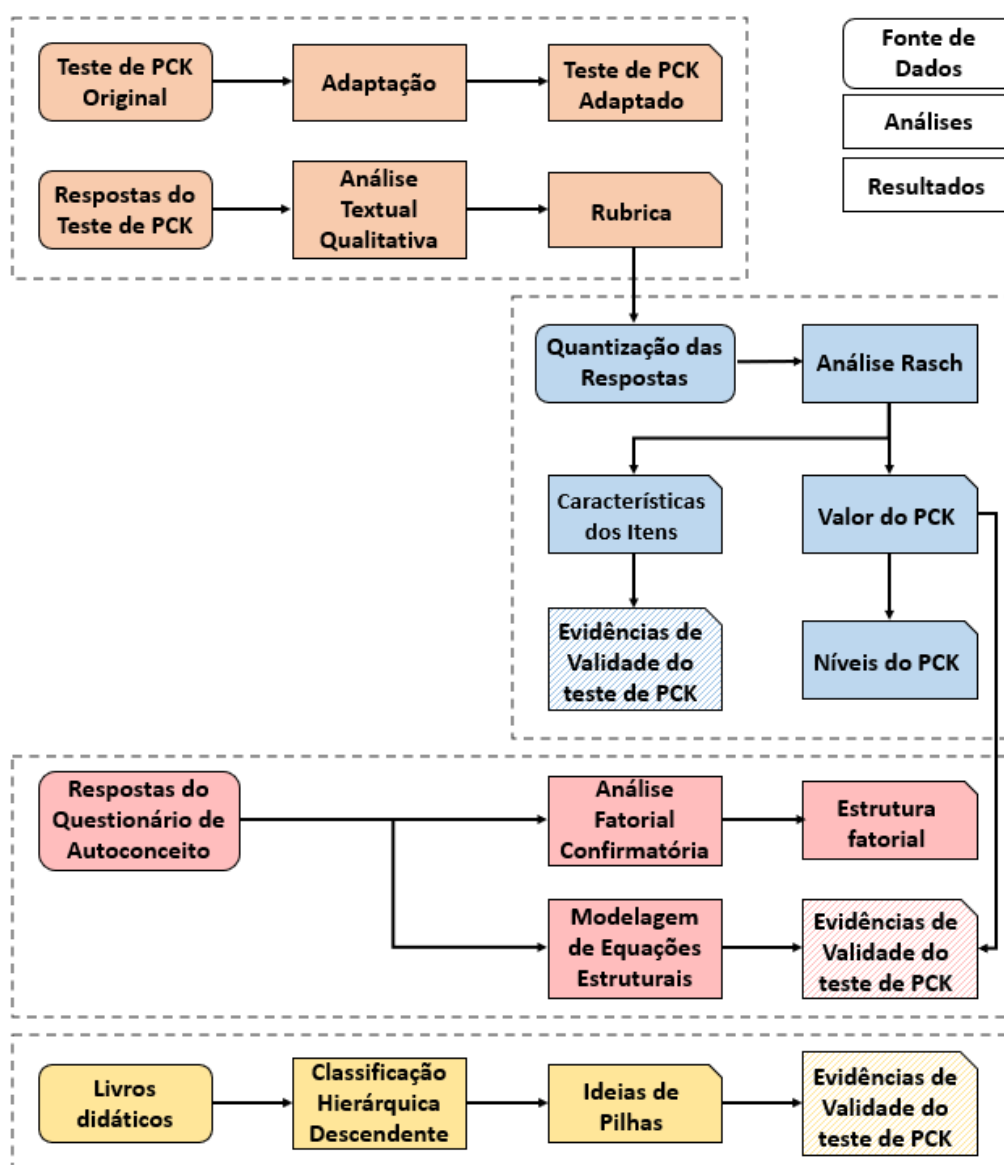


Figura 7: Delineamento geral do projeto.

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.3 FASE UM: DESENVOLVIMENTO DO TESTE DE PCK DE PILHAS E DA RUBRICA

4.3.1 Coleta dos dados

É importante frisar que, antes da coleta de dados, foram considerados os princípios éticos da pesquisa envolvendo seres humanos, no qual todos os participantes da pesquisa – tanto do estudo piloto como do estudo principal – foram convidados a assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). No texto completo do TCLE foi devidamente expresso os princípios da confidencialidade, privacidade, voluntariedade, uso de imagem e, principalmente, preservação dos participantes contra danos decorrentes da execução e divulgação da pesquisa.

Realizamos dois estudos pilotos para o processo de validação do teste. Apesar do foco da pesquisa ser em professores do ensino médio, como o intuito do estudo piloto era validar o instrumento, optamos por também coletar os dados com alunos de graduação ou pós-graduação e professores do ensino superior. Nos dois estudos, a amostragem foi feita tanto por conveniência, como por bola de neve (CRESWELL, 2012). No primeiro tipo de amostragem, alguns professores do ensino médio e do ensino superior foram convidados a responder ao teste. No segundo, solicitamos a alguns professores do ensino superior que disponibilizassem um horário durante o período letivo para que o teste fosse aplicado com alunos de licenciatura. No primeiro piloto 36 respondentes foram selecionados, enquanto no segundo foram 58.

Participaram do estudo principal 128 professores do ensino médio do estado de São Paulo, majoritariamente da capital. A seleção destes participantes foi feita por meio de uma amostragem por conveniência (CRESWELL 2012). Os professores foram convidados a responder o teste nos seguintes momentos:

- i. durante um curso de atualização que foi oferecido pelo Grupo de Pesquisa em Ensino de Química (PEQuim) e pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo em parceria com a Secretaria de Educação do Estado de São Paulo (GOES, 2018);
- ii. durante um curso de atualização que foi oferecido pelo Grupo PEQuim em parceria com a Diretoria de Ensino Norte 2;
- iii. durante cinco orientações técnicas que estavam sendo oferecidas pelo Grupo PEQuim em parceria com cinco Diretorias de Ensino (Leste 1,

Leste 3, Leste 5, Norte 1 e Taboão da Serra);

- iv. por intermédio de endereços de e-mail, no qual integrantes do Grupo PEQuim enviaram e-mails para professores conhecidos convidando-os a participar da pesquisa.

4.3.2 Desenvolvimento da rubrica

A rubrica foi desenvolvida por meio de uma análise textual qualitativa avaliativa (do inglês *evaluative qualitative text analysis*, KUCKARTZ, 2014) das respostas dos professores ao teste de PCK de Pilhas. Nesta análise foram definidas categorias avaliativas, as quais possuem características, usualmente, ordinais. As etapas seguidas na análise foram:

- i) definição das categorias avaliativas;
- ii) identificação e codificação dos segmentos de texto relevantes para a categoria em questão;
- iii) definição dos níveis para as categorias avaliativas;
- iv) avaliação e codificação em níveis de todos os participantes;

Foram definidas, a partir dos componentes do TSPCK, seis categorias avaliativas, que podem ser vistas no :

Quadro 2: Definição das categorias avaliativas utilizadas na construção da rubrica.

Categoria	Definição
Sequência de ensino	Conhecimento do professor para selecionar ideias de ensino e organizá-las em uma sequência de ensino apropriada para ensinar Células Galvânicas
Conteúdos prévios	Conhecimento do professor sobre os conteúdos de Química que são requisitos para o ensino de Células Galvânicas
Dificuldades de ensino	Conhecimento do professor sobre as dificuldades de ensino que estão presentes no conteúdo de Células Galvânicas
Representações	Conhecimento do professor para identificar as características das representações de Células Galvânicas e o modo de utilizar tais representações
Concepções dos alunos	Conhecimento do professor sobre concepções prévias que os alunos apresentam no conteúdo de Células Galvânicas.
Estratégias conceituais	Conhecimento do professor para elaborar estratégias para o ensino de Células Galvânicas

Analisamos a resposta dos professores utilizando o programa MAXQDA Analytics Pro 2018[®] (VERBI, 2018). A fim de evitar vieses na análise, omitimos os nomes dos participantes.

4.4 FASE DOIS: ANÁLISE DAS RESPOSTAS DO TESTE DE PCK DE PILHAS

Após desenvolvermos a rubrica para analisar as respostas dos professores ao teste de PCK de Pilhas, quantificamos as respostas de 128 professores de Química. Posteriormente, as respostas quantizadas foram analisadas por meio da modelagem Rasch, a qual foi utilizada com o intuito de: i) investigar as características dos itens e; ii) atribuir uma nota para os professores. A estrutura fatorial do teste e as características dos itens foram utilizadas como evidências de validade para a estrutura interna do teste (FURR, 2018). Por fim, os professores foram estratificados de acordo com sua nota no teste de PCK de Pilhas. Os procedimentos desta fase serão descritos com detalhes a seguir.

4.4.1 Análise dos dados – Modelagem Rasch

Os escores brutos do teste foram avaliados utilizando-se o programa Winsteps[®] Rasch Measurement 4.1.0 (LINACRE, 2018) e submetidos à análise Rasch (BOND; FOX, 2007; BOONE; STAVER; YALE, 2014), na qual tiveram seus números ordinais (valores 0, 1, 2, 3 e 4) convertidos em valores contínuos em uma escala linear.

Para garantir a unidimensionalidade do teste, foram empregadas as seguintes evidências:

a) Validade construtiva, a qual compara a ordem teórica de dificuldade dos itens com a ordem empírica (LINACRE, 2017).

b) Validade preditiva, a qual compara a ordem teórica de habilidade dos participantes com a ordem empírica (BOONE, 2016; LINACRE, 2017).

c) Índices de ajuste ao modelo (*outfit* MNSQ e ZSTD), os quais indicam o quão adequados os respondentes e as questões estão ao modelo Rasch (BOONE; STAVER; YALE, 2014; LINACRE, 2017).

d) Análise de componentes principais dos resíduos da análise Rasch (BARBERA, 2013; LINACRE, 2017), a qual avalia se a variância dos itens constitui dimensões que não a avaliada.

Além da validade, também avaliamos a confiabilidade dos resultados, isto é, se

as respostas são consistentes e estáveis (CRESWELL, 2012). Uma ferramenta que pode ser utilizada para verificar a confiabilidade é a consistência interna. No caso da análise Rasch, o programa fornece dois tipos de consistências internas: a confiabilidade dos sujeitos e a confiabilidade dos itens.

4.5 FASE TRÊS: ANÁLISE DAS RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS DE AUTOCONCEITO

Esta fase da pesquisa foi realizada em parceria com o *Leibniz Institute for Science and Mathematics Education* da *Kiel University*. Os dados foram coletados no Brasil, e os procedimentos de análise foram feitos na *Kiel University*, durante um estágio de pesquisa (junho a setembro de 2019).

Para tal análise utilizamos a subescala *Processamento de conhecimento* do instrumento BEvaKomp (BRAUN; GUSY; LEIDNER; HANNOVER, 2008). Uma vez que não houve mudança na redação das questões, apenas tradução, e a ênfase da análise desse instrumento não eram os itens individualmente, mas a dimensionalidade do questionário como um todo, optou-se por não o submeter à modelagem Rasch, e sim à análise fatorial.

Este instrumento possui cinco questões tipo escala Likert, as quais os participantes devem responder se *Discordam fortemente*, *Discordam*, *Concordam* ou *Concordam fortemente* com as afirmações, todas relacionadas ao SMK e ao PCK.

Como um dos objetivos desta análise é verificar a estrutura fatorial do autoconceito dos professores de Química, o questionário contém três blocos de perguntas de SMK e PCK: um relacionado à *Química* de maneira geral; um relacionado à *Eletroquímica* e; outro relacionada ao *Tópico Favorito em Química*. Pretendemos verificar se estes três blocos compõem somente uma dimensão (isto é, o autoconceito não é tópico-específico) ou se compõem dimensões distintas (isto é, o autoconceito é tópico-específico).

4.5.1 Coleta dos dados

Similar à FASE 2, antes da coleta de dados foram considerados os princípios éticos da pesquisa e todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Contudo, este questionário foi respondido apenas por intermédio da plataforma *Google Formulários* e o TCLE constava como primeira questão do

formulário, na qual os participantes tinham a opção de responder “Concordo em participar” ou “Não concordo em participar”.

Embora a ênfase da pesquisa sejam os professores do ensino médio do estado de São Paulo, como esta fase também tinha o objetivo de investigar e propor um modelo para a estrutura do autoconceito, optamos por também coletar os dados com professores do ensino médio de outros estados da federação, a fim de aumentarmos o tamanho da amostra e obtermos resultados mais robustos.

Nesta etapa também foram realizadas duas amostragens: por conveniência e por bola de neve (CRESWELL, 2012). Na amostragem por conveniência, enviamos um e-mail para os professores que responderam ao teste de TSPCK de Pilha, convidando-os a responder o questionário de autoconceito. Na amostragem por bola de neve, solicitamos a alguns professores de Química que encaminhassem o e-mail para outros professores. Somando ambas as amostragens, 70 professores responderam ao questionário de autoconceito.

4.5.2 Análise dos dados

Para investigar a estrutura fatorial dos autoconceitos em SMK e em PCK, utilizamos uma análise fatorial confirmatória (KLINE, 2016). Para tal, os escores brutos aos dois testes foram avaliados utilizando-se o pacote estatístico lavaan (ROSSEEL, 2012).

Foram testados quatro modelos para o autoconceito em SMK. O primeiro considera que apenas um fator latente explica todas as doze questões do questionário³; tal fator seria o autoconceito em conhecimento genérico de Química. O segundo modelo considera que três fatores explicam as doze questões, tais fatores seriam o autoconceito em conhecimento: (i) genérico de Química, que explica as questões 1 a 4; (ii) específico do Tópico Favorito, que explica as questões 6 a 9; (iii) específico de Eletroquímica, que explica as questões 11 a 14. Neste segundo modelo as correlações entre os fatores foram consideradas como sendo as mesmas. O terceiro modelo é similar ao segundo, com a diferença que os parâmetros das correlações foram deixados livres. Por fim, o quarto modelo é um modelo bifatorial, no qual há uma dimensão disciplinar-específica explicando todas as 12 questões, e duas dimensões tópico-específicas explicando as questões específicas.

³ Inicialmente eram 15 questões, mas as questões 05, 10 e 15 foram retiradas da análise por não apresentarem bons resultados em uma análise exploratória prévia.

De maneira similar, os mesmos quatro modelos foram testados para o autoconceito em PCK.

A validade dos modelos foi avaliada utilizando o teste χ^2 testando a seguinte hipótese nula: os resultados obtidos pelo modelo são semelhantes aos resultados obtidos empiricamente. Assim, era esperado que o teste apresentasse uma diferença não-significativa (isto é, $p > 0,05$) para a hipótese nula ser aceita. Além desse teste, três medidas de ajuste foram utilizadas: Índice de Ajuste Comparativo (CFI, da sigla em inglês *Comparative Fit Index*), Raiz do Erro Quadrático Médio da Aproximação (RMSEA, da sigla em inglês *Root Mean Square Error of Approximation*) e Raiz Quadrática Residual Padronizada (SRMR, da sigla em inglês *Standardized Root Square Residual*). Para avaliar o ajuste dessas três medidas, seguimos a recomendação de Hu e Bentler (1999): CFI acima de 0,95; RMSEA abaixo de 0,06; SRMR abaixo de 0,08.

4.6 FASE QUATRO: ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS

Tendo em vista que os livros didáticos possuem, dentre outras, a função norteadora do currículo ou recurso de apoio (ARNAUD, 2019), considerou-se que os livros didáticos de Química do ensino médio poderiam ser utilizados como uma referência para quais conteúdos de Células Galvânicas são ensinados pelos professores. Assim, nesta fase realizou-se uma análise lexicográfica dos livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2018, a fim de verificar quais as principais ideias referentes ao conteúdo de Pilhas que emergem de tais livros. A partir de tal análise, verificou-se se o teste adaptado apresentava as ideias emergentes.

4.6.1 Descrição do *corpus*

Nesta fase foram analisados os trechos referentes ao conteúdo de Células Galvânicas nos seis livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2018. Não foram considerados, portanto, capítulos ou seções referentes aos conteúdos de Reações Redox e Eletrólise. No Quadro 3 estão listados os seis livros.

Quadro 3: Coleções aprovadas no PNLD 2018

Coleção	Autores	Editora
Vivá — Química	Vera Lúcia D. de Novais e Murilo T. Antunes	Positivo
Química	Eduardo F. Mortimer e Andréa Horta Machado	Scipione
Química — Ciscato, Pereira, Chemello e Proti	Carlos Alberto M. Ciscato, Luis Fernando Pereira, Emiliano Chermello e Patrícia Barrientos Proti	Modern a
Ser Protagonista	Lia M. Bezerra, Julio Cezar F. Lisboa, Aline Thaís Bruni, Ana Luiza P. Nery, Rodrigo M. Liegel e Vera Lúcia M. Aoki	SM
Química Cidadã	Widson Luiz P. dos Santos, Gerson de S. Mól, Siland M. F. Dib, Roseli T. Matsunaga, Sandra Maria de O. Santos, Eliane N. F. de Castro, Gentil de S. Silva e Salvia B. Farias	AJS
Química	Martha Reis	Ática

Fonte: Ficha catalográfica dos livros citados.

4.6.2 Preparação do *corpus*

Inicialmente todo o conteúdo escrito referente ao conteúdo de Células Galvânicas nos seis livros foi transcrito. No processo de transcrição foram seguidos os seguintes procedimentos:

- manter apenas o texto principal, retirando títulos, subtítulos e títulos de imagens, tabelas, quadros e afins;
- reescrever o texto de maneira a manter a fluidez (e.g. foram retirados invocativos de imagens, tabelas, quadros e afins);
- retirar datas, tais como anos de nascimento e morte de cientistas e anos nos quais os eventos ocorreram;
- retirar a explicitação de siglas e abreviaturas, mantendo apenas as siglas;
- escrever por extenso as unidades (e.g. “1 mol/L” foi mudado para “1 mol por litro”);
- transcriar a linguagem química (e.g. escrever símbolos químicos por extenso).

4.6.3 Análise dos dados

Posteriormente, o corpus tratado foi avaliado utilizando-se o programa IRAMUTEQ versão 0.7 (RATINAUD, 2020) e submetido à classificação hierárquica descendente (CAMARGO, 2005). Esta análise divide o corpus em classes que possuem um vocabulário similar, utilizando um teste χ^2 para verificar tal similaridade.

*Foram nossas mãos que levantaram os concretos, os prédios,
os tetos, os manifestos. Não quero mais intermédio. [...]*

*Escuta! A cidade só existe por que viemos antes.
Na dor desses retirantes com suor e sangue imigrante. [...]*

*Minhas irmãs, meus irmãos, se assumam como realmente são.
Não deixem que suas matrizes, que suas raízes, morram por
falta de irrigação.*

*Ser nortista e nordestino, meus conterrâneos, num é ser seco,
nem litorâneo.*

*É ter em nossas mãos um destino, nunca clandestino, para os
desfechos metropolitanos*

Norte-Nordeste me veste, Rapadura

5. DESENVOLVIMENTO DO TESTE DE PCK DE PILHAS E DA RUBRICA

Neste capítulo esclareceremos o processo seguido para adaptar o teste de PCK de Pilha. Inicialmente, não somente descrevemos os objetivos do teste de PCK de Eletroquímica utilizado como base, mas também os critérios envolvidos na escolha deste teste. Posteriormente, descrevemos os dois procedimentos de adaptação feitos no teste original, bem como os motivos para tais adaptações. Por fim, são detalhados o teste adaptado e a construção da rubrica utilizada para avaliação das respostas.

5.1 TESTE ORIGINAL: PCK DE ELETROQUÍMICA

Em uma busca na literatura, encontramos um teste para avaliar o PCK de Eletroquímica (NDLOVU, 2014). Seguindo as recomendações de Creswell (2012), realizamos uma análise prévia para avaliar a qualidade do teste. Segundo o autor, é possível utilizar vários critérios para avaliar se o instrumento é adequado para uso, dentre eles: (a) se o instrumento é recente, uma vez que instrumentos antigos podem estar desatualizados; (b) se o instrumento foi citado por outros autores; (c) existência de informações sobre confiabilidade e validade do teste e; (d) se a escala de mensuração utilizada é adequada para o instrumento.

Avaliando-se o teste foi possível constatar que: (a) o instrumento é recente, uma vez que foi publicado no ano de 2014; (b) o instrumento foi citado apenas por pesquisadores do mesmo grupo de pesquisa do elaborador do teste; (c) em todas as

aplicações do teste, o mesmo mostrou bons resultados de confiabilidade e validade (e.g. ROLLNICK; MAVHUNGA, 2014); (d) não somente a escala foi adequada, como também os procedimentos estatísticos, uma vez que os dados coletados eram ordinais e foram tratados por uma análise Rasch. Visto que o teste atendeu três dos quatro critérios elencados, ele foi considerado apto para utilização. A seguir faremos uma breve explicação sobre as questões contidas no teste, o qual pode ser visto completo no Apêndice A.

As duas primeiras questões têm por objetivo avaliar as CPE, sendo que: a primeira trata sobre a concepção de que pela ponte salina fluem os elétrons e não os íons resultantes da dissociação do sal e a segunda trata sobre a diferença entre os eletrodos de uma célula galvânica e de uma eletrolítica. Ambas as questões são de múltipla-escolha e com possibilidade de justificativa. Todas as opções de respostas estão corretas, portanto, o foco da avaliação é na justificativa dada pelo professor ao marcar uma determinada resposta. A terceira questão também é sobre CPE, mas em vez de pedir que o professor reconheça e responda a uma concepção, a questão pede que o professor elenque o maior número possível de concepções que ele conheça a partir de sua experiência como professor.

A quarta questão, dividida em quatro subitens, tem a intenção de avaliar a SLC do professor. No primeiro subitem a questão pede que, a partir de um quadro com diversas ideias, o professor selecione três ideias que ele considere como centrais para ensinar eletroquímica e as sequencie de acordo com a melhor ordem de ensino. No segundo subitem é pedido que o professor elabore um mapa conceitual mostrando a relação destas ideias com ideias subordinadas. Estes dois primeiros subitens focam no aspecto *sequência de ensino e ênfase curricular* da SLC. O terceiro subitem pede que o professor escolha os principais tópicos a serem ensinados antes de eletroquímica, isto é, busca avaliar o aspecto *currículo vertical*, em específico, os conteúdos anteriores à eletroquímica. No último subitem o professor deve fornecer razões para o ensino de eletroquímica, as quais podem ser relacionadas com o aspecto *importância e motivação ou currículo vertical*, este último sendo específico para conteúdos posteriores.

A quinta questão tem o propósito de avaliar o componente DFE, sendo a única com o objetivo de avaliar tal componente. As ideias trazidas na primeira coluna da tabela da questão possuem dificuldades relacionadas a diversos aspectos, tais como conhecimentos prévios dos alunos em química e dificuldades com matemática.

A sexta questão, dividida em três subitens, tem o intuito de avaliar o componente REP. A questão traz três representações de células galvânicas, mas com abordagens diferentes. No primeiro subitem, o professor deve descrever os aspectos que ele gostou e os que ele não gostou sobre as representações. No segundo subitem, o professor seleciona sua representação favorita e, no último subitem, explica como a utilizaria em sala de aula. Percebe-se, portanto, que a questão avalia se o professor conhece sobre níveis representacionais em química e estratégias de uso de representações.

A sétima e última questão tem o objetivo de avaliar o componente ECE. A questão traz o excerto de quatro respostas de alunos a uma determinada questão de eletrólise, e o professor deve corrigir tais respostas. É esperado que o professor reconheça concepções prévias, use representações e contorne possíveis causas para os erros.

5.2. ADAPTAÇÕES DO TESTE

5.2.1. Primeira adaptação

Apesar do teste ter satisfeito os critérios de seleção citados por Creswell (2012), julgamos necessário realizar algumas adaptações, de modo a adequar melhor o teste para o contexto no qual seria aplicado. Esta adaptação pode ser vista no Apêndice B. Os procedimentos de adaptação são mostrados no Quadro 4, sendo posteriormente detalhados.

Quadro 4: Procedimentos de adaptação do teste original.

Numeração original	Numeração na 1ª adaptação	Componente do TSPCK	Adaptação
1	1	CPE	Traduzida
2	2	CPE	Traduzida
3	3	CPE	Retirada de um trecho que poderia enviesar as respostas
4.1	4	SLC	Aumento no número de ideias e foco no sequenciamento.
4.2	-	SLC	Excluída
4.3	5	SLC	Traduzida
4.4	6	SLC	Traduzida
5	7	SLC	Traduzida
6.1	8	DFE	Traduzida
6.2	-	REP	Condensada com a questão seguinte
6.3	9	REP	Condensada com a questão anterior
7	10	ECE	Traduzida

Fonte: Elaborado pelos autores.

As duas primeiras questões foram mantidas iguais às questões originais, sendo apenas traduzidas. A terceira questão foi reescrita pois havia uma preocupação que o trecho “refletindo sobre sua experiência de ensinar eletroquímica” pudesse fazer com que alunos em formação se considerassem inaptos a responder à questão.

A quarta questão também foi modificada: o segundo subitem – no qual os professores deveriam elaborar um mapa conceitual – foi retirado por questões de tempo de resposta. Em seu trabalho, Ndlovu (2014) afirma que o teste demorou em média 80 minutos para ser respondido. Acreditamos, com base em experiências pessoais, que os professores em nosso contexto não gostariam de responder um teste tão dispendioso, o que diminuiria o número de respondentes ou aumentaria o número de respostas incompletas. Além do que, a elaboração de um mapa conceitual por si já é uma tarefa difícil. Para compensar tal modificação, no primeiro subitem pedimos que os professores escolhessem no mínimo 3 ideias (mas deixando-se espaço para até cinco ideias), sequenciassem as mesmas e justificassem a ordem. Ao fazer tal modificação nos focamos no aspecto *sequenciamento para o ensino* em detrimento do aspecto *ideias centrais*.

Os demais subitens da quarta questão, bem como as três últimas questões, foram essencialmente traduzidos. Ressaltamos que subitens foram tratados como questões separadas. Por exemplo, o subitem 4.1 e o 4.3 foram reescritos como 4^a e 5^a questões, respectivamente.

5.2.2 Segunda adaptação

Mesmo com a adaptação descrita acima, nos deparamos com dois problemas: a aplicação demorou em média 60 minutos, o que representa uma redução de 20 minutos comparado ao tempo inicial, mas que ainda acreditamos ser muito dispendioso; o teste não apresentou uma boa confiabilidade e validade, como será descrito no próximo capítulo. Visando contornar tais problemas, uma segunda adaptação no teste foi feita (Apêndice C). No Quadro 5 é mostrado os procedimentos de adaptação, os quais serão detalhados a seguir.

Quadro 5: Segundo procedimento de adaptação do teste original.

Numeração na 1ª adaptação	Numeração na 2ª adaptação	Componente do TSPCK	Adaptação
1	1	CPE	Transformada em uma questão aberta e maior descrição do contexto pedagógico;
2	-	CPE	Excluída
3	2	CPE	Maior descrição do contexto pedagógico
4	3	SLC	Adição de novas ideias para seleção
5	4	SLC	Fornecimento de opções de resposta
6	-	SLC	Excluída
7	5	DFE	Adição de novas ideias para seleção
8	6	REP	Mantida
9	-	REP	Excluída
10	-	ECE	Excluída
-	7	ECE	Adicionada

Fonte: Elaborado pelos autores.

A primeira questão⁴ foi bastante modificada, mantendo-se somente a ideia original dela: avaliar se o professor reconhecia a concepção alternativa que o aluno possuía. A primeira modificação foi eliminar as opções de respostas e deixar a questão aberta, pois o foco era na justificativa do professor. Acreditamos que tal medida não afeta o tempo de resposta do teste, pois se, por um lado, o professor reduz o tempo de resposta por não precisar ler as opções, por outro lado, há um aumento no tempo devido à possibilidade de uma maior reflexão para responder à questão. Uma segunda alteração foi o fornecimento de mais detalhes no enunciado com o intuito de facilitar a questão. Dado que o PCK do professor é moldado pelo contexto, é recomendável fornecer detalhes do contexto para direcionar a resposta do professor (SCHMELZING et al., 2013).

Com relação à segunda questão, ela tinha uma estrutura semelhante à primeira questão, mudando apenas o conteúdo abordado na concepção, optamos por excluí-la para diminuir o tempo de resposta. Outra justificativa para a exclusão dela é que ela tratava sobre células eletrolíticas, e escolhemos modificar o teste para abordar somente células galvânicas.

Quanto à terceira questão, decidimos retornar à ideia presente no teste original: colocar a questão baseada na experiência. Entendemos que tal modificação fornece um contexto pedagógico para facilitar a resolução da questão. Para contornar o problema de um aluno se sentir não apto a responder à questão, explicávamos, na hora da aplicação, que aqueles que não tinham experiência no ensino deste conteúdo poderiam utilizar algum conhecimento aprendido no curso de formação ou alguma lembrança da época de

4 A numeração descrita nesta seção se refere às questões da primeira adaptação, não ao teste original.

aluno. Ressalta-se que ambos, cursos de formação e lembranças enquanto aluno, podem servir como fonte de PCK (GROSSMAN, 1990).

Na quarta questão decidimos retirar todas as ideias relacionadas a células eletrolíticas – como “Processos de galvanização utilizam reações redox” – e substituí-las por ideias relacionadas a células galvânicas ou oxidação/redução – como “Fotossíntese e combustão como exemplo de reações redox”. Também pedimos aos respondentes que escolhessem – em vez de pelo menos três ideias em sequência – uma ideia central e três ideias subordinadas a esta ideia central e posteriormente sequenciassem tais ideias e justificassem as escolhas. Tal procedimento permitiu que o aspecto *sequência de ensino* continuasse sendo avaliado, mas que também fosse avaliado o aspecto *ênfase curricular*.

À quinta questão foi adicionado um quadro com 15 conteúdos que podem estar ou não relacionados ao conteúdo de Pilha. Seu objetivo manteve-se igual: avaliar quais os conteúdos os professores acham ser necessário ser ensinado antes do conteúdo de Pilha. Ao fazer a adição do quadro julgamos que o tempo de resposta diminuiu, visto que, apesar do tempo gasto com a leitura do quadro, limitamos o número de respostas para três conteúdos.

A sexta questão foi excluída para diminuir o tempo de resposta. Julgamos que não avaliar o aspecto *importância e motivação* seria compensado com um maior número de respostas devido à diminuição do tempo de resposta. A sétima questão continuou, essencialmente, a mesma: algumas ideias foram trocadas e a ideia “outro” foi adicionada para que o professor, caso deseje, trabalhe com alguma ideia que não esteja na lista.

A oitava questão foi mantida, essencialmente, do mesmo modo. Trocamos os termos “o que eu gosto” e “o que eu não gosto” por “aspectos positivos” e “aspectos negativos”, respectivamente, e pedimos comentários de apenas duas das três representações, para diminuir o tempo de resposta.

A nona e a décima questões foram excluídas. Aquela para melhorar o tempo de resposta, e esta por tratar sobre células eletrolíticas. Como ao excluir a décima questão ficamos sem nenhuma relacionada ao componente ECE, elaboramos uma questão para substituí-la. Visando diminuir o tempo de resposta, escolhemos por não pedir aos professores que criassem estratégias para corrigir erros dos alunos – como a questão original –, mas sim duas propostas de ensino foram fornecidas e pedimos aos professores para avaliá-las.

Feitas tais modificações, o questionário atingiu um tempo médio de respostas de 50 minutos, o qual foi um pouco menor do que o da primeira adaptação. Entretanto, apesar da pouca diminuição no tempo, o ponto mais importante é que a segunda adaptação do teste apresentou boa validade e confiabilidade, como será discutido nos próximos itens.

5.2.3 Terceira adaptação

Tendo em vista os bons resultados obtidos na segunda adaptação, foram feitas pequenas mudanças nesta última versão do teste, como pode ser vista no Quadro 6. O teste na íntegra pode ser visto no Apêndice D.

Quadro 6: Terceiro procedimento de adaptação do teste original.

Numeração na 2ª adaptação	Numeração na 3ª adaptação	Componente do TSPCK	Adaptação
1	6	CPE	Gancho para a questão de ECE.
2	-	CPE	Excluída
3	1	SLC	Foco no componente <i>sequência de ensino</i>
4	2	SLC	Mudança no espaço para a resposta
5	3	DFE	Mudança no espaço para a resposta
6	4	REP	Inclusão do uso da representação.
7	-	ECE	Excluída.
-	5	CPE	Segunda concepção prévia para correção.
-	7	ECE	Inclusão de nova questão sobre ECE.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A mudança realizada na primeira questão de SLC (questão 3) enfatizou o aspecto *sequência de ensino*. Da análise feita da segunda versão pudemos perceber que a maioria dos respondentes não elencou uma ideia central e três ideias subordinadas (o que evidencia o aspecto *ênfase curricular*), mas sim quatro ideias em uma sequência de ensino. Tal comportamento pode ter sido causado devido à redação da questão. Deste modo, optamos por trocar o pedido de “elencar uma ideia central e três subordinadas” por apenas “elencar quatro ideias de ensino”.

As mudanças realizadas na segunda questão de SLC (questão 4) e na questão de DFE foram relacionadas ao modo que se estruturou o espaço de resposta: na segunda

versão foi fornecido apenas um espaço para justificar a escolha dos conteúdos/ideias, enquanto na terceira versão foi fornecido um espaço *para cada* conteúdo/ideia a ser justificado. Esperamos que esta modificação oriente os respondentes a justificarem cada um dos conteúdos/ideias escolhidos, em vez de fornecerem uma justificativa mais geral.

Na questão de REP (questão 6) inserimos de volta o pedido para explicarem como usariam a representação escolhida (a qual era a questão 9 da primeira adaptação). Acreditamos que dar espaço para os respondentes falarem sobre o uso pode aumentar os detalhes sobre o conhecimento de representações deles. Entretanto, tal modificação aumenta o tempo de resposta; para compensar isso, solicitamos que avaliassem os aspectos positivos e negativos de somente uma representação em vez de duas.

Com relação à primeira questão sobre CPE (questão 1), demos mais liberdade de resposta aos professores: em vez de solicitarmos que avaliassem a resposta em “incorreta” ou “parcialmente correta”, solicitamos qual comentário ele faria ao aluno. Além disso, inserimos uma nova questão de CPE (questão 5 da terceira versão) que também pedia ao professor para fazer um comentário a respeito da resposta de um aluno sobre determinado conteúdo (determinação do polo dos eletrodos). Para compensar a inserção desta nova pergunta no tempo de resposta do teste, a segunda questão de CPE da segunda adaptação foi excluída.

Por fim, a questão sobre ECE (questão 7) foi excluída e totalmente reformulada, sendo essa a principal modificação da terceira versão. Após o *feedback* de alguns respondentes afirmando que os textos sobre as sequências de ensino estavam muito longos e que, portanto, eles não liam com atenção, optamos por excluir essa questão. A nova questão sobre ECE aproveitava um gancho deixado pela questão sobre CPE: pedia-se aos professores que elaborassem uma aula para confrontar as concepções alternativas apresentadas nas questões de CPE.

5.3 ELABORAÇÃO DA RUBRICA

Um teste com respostas abertas possibilita ao professor a oportunidade de expressar suas experiências pessoais, porém aumenta o tempo de avaliação por parte do pesquisador e, principalmente, diminui a objetividade da avaliação (SCHMELZING et al., 2013). Contudo, a objetividade pode ser aumentada com a utilização de rubricas, procedimento que vem sendo bastante utilizado na pesquisa de PCK, em especial aquelas que utilizam o modelo do TSPCK (e.g. MAVHUNGA, 2012; PITJENG, 2014).

A intenção inicial era utilizar a rubrica elaborada por Ndlovu (2014), mas como o teste foi adaptado, elaboramos uma rubrica própria (Apêndice E). A mesma avalia quatro níveis de TSPCK, conforme proposto por Mavhunga (2012): limitado, básico, em desenvolvimento e exemplar. Assim, são atribuídas notas para cada resposta dos professores, de modo a encaixá-la em um dos níveis: é atribuído 0, caso a resposta do professor não se adeque em nenhum dos níveis, o que significa que ele não manifestou o respectivo componente do TSPCK; 1, quando o professor manifesta uma resposta limitada; 2, para uma resposta básica; 3, para uma resposta em desenvolvimento e; 4, quando a resposta do professor é exemplar.

A seguir detalharemos os objetivos específicos de cada questão e como a rubrica foi construída de modo a coadunar com esses objetivos. A rubrica completa pode ser encontrada no Apêndice E.

5.3.1 Primeira questão: Saliência Curricular 1 (SCL1)

A primeira questão tem como intuito principal avaliar o componente SLC, em especial os aspectos relacionados com *ênfase curricular e sequência de ensino*. Nesta questão o respondente deveria elaborar uma sequência de ensino e justificar a mesma. A rubrica pode ser vista no Quadro 7.

Quadro 7: Rubrica para a primeira questão (SLC1).

Limitado (1)	Básico (2)	Desenvolvido (3)	Exemplar (4)
O professor fornece apenas razões genéricas para as ideias e a ordem escolhida.	O professor fornece razões que envolvem a progressão conceitual simples ou razões que parafraseiam as ideias selecionadas.	O professor fornece razões que envolvem a progressão conceitual. A razão fornecida pelo professor contempla mais de duas das ideias selecionadas e possui expansão conceitual	O professor fornece razões que envolvem a progressão conceitual. A razão fornecida pelo professor contempla mais de duas das ideias selecionadas e possui expansão conceitual. A razão fornecida pelo professor detalha a sequência de ensino ou envolve aspectos pedagógicos do conteúdo, como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Exemplos para cada um dos níveis das respostas podem ser vistos a seguir:

É preciso ter essa sequência para o bom entendimento do conteúdo (Cs14, limitado)

A ordem escolhida representa a sequência da maneira como abordo o conteúdo, chamando atenção para a existência de Pilhas e sua importância, mostrando também que os processos que sustentam a vida se baseiam em processos similares (reações de óxido-redução), partindo para a descrição dos componentes e funcionamento das Pilhas (Nu08, básico)

1º Entender a importância do estudo até para incentivar/motivar no momento em que não for tão estimulante (reações, cálculos). 2º Compreender os pólos e as respectivas reações (Redox) que os acompanham. 3º A função da Ponte Salina. 4º Calcular a DDP e ver a real aplicabilidade das Pilhas. (Lc03, desenvolvido)

O objetivo de construir uma célula galvânica é o de produzir eletricidade, que é gerada pela oxidação de um metal e redução de outro metal, criando os potenciais elétricos necessários para o fluxo de elétrons. E o fluxo de íons em solução para equilibrar as cargas que são produzidas, uma vez que os elétrons não fluem na água. (Cs22, exemplar)

O primeiro respondente não deixa claro o porquê de a sequência fornecer um bom entendimento, logo é uma razão genérica e limitada (nota 1). O segundo respondente traz uma progressão conceitual (*iniciando no cotidiano e partindo para os componentes*), mas ele não deixa explícito como as duas últimas ideias seriam trabalhadas, recebendo a nota 2. O terceiro respondente, por sua vez, explica o motivo de escolha de todas as quatro ideias, demonstrando uma expansão conceitual e recebendo a nota 3. Por fim, o último respondente elabora uma progressão conceitual que, além de justificar a maioria das ideias selecionadas, é pensada em evitar uma das concepções mais comuns no ensino de Pilha (*elétrons fluem na água*), sendo atribuída a nota 4.

5.3.2 Segunda questão: Saliência Curricular 2 (SLC2)

A segunda questão, também tem como intuito avaliar a SLC, mas focando no aspecto *currículo vertical*. Esperávamos que o professor elencasse três conteúdos prévios necessários para ensinar Pilha e justificasse a escolha deles, como pode ser visto Quadro 8:

Quadro 8: Rubrica para a segunda questão (SLC2).

Limitado (1)	Básico (2)	Desenvolvido (3)	Exemplar (4)
O professor fornece justificativas predominantemente genéricas (motivação, facilidade, etc), sem lógica, errôneas, ou que apenas parafraseiam os conteúdos.	O professor fornece justificativas predominantemente químico-específicas (definição ou explanação química dos conteúdos).	O professor fornece justificativas predominantemente tópico-específicas (explanações que relacionem o conteúdo com alguma ideia/conceito de Pilha).	O professor fornece justificativas predominantemente tópico-específicas (explanações que relacionem o conteúdo com alguma ideia/conceito de Pilha). As justificativas envolvem aspectos pedagógicos do conteúdo, como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Exemplos para cada um dos níveis das respostas podem ser vistos a seguir:

Balanciamento de equações: para identificação do balanceamento de equações. **Ligações químicas:** para identificar ligações químicas, processo de formação. **Oxidação e redução:** Processo de oxidação e redução nas Pilhas. (Lt03, limitado)

Ligações químicas: para que tenham conhecimentos na estrutura do elemento e conheçam também os tipos de ligações. **Eletronegatividade:** conhecer a eletronegatividade dos elementos químicos, nos fornecem informações importantes de cada elemento. **Balanciamento de equações:** para que conheçam a importância e identifiquem o agente redutor e o agente oxidante. (Nu02, básico)

Balanciamento de equações: sem o balanceamento não há como saber numa reação redox o número de elétrons que migram. **Ligações químicas:** o aluno tem que compreender como se dão as ligações químicas. **Oxidação e redução:** são essenciais para compreender os processos que ocorrem no cátodo e no ânodo. (Cs08, desenvolvido)

Estrutura da matéria: sempre faço revisão de estrutura da matéria para perceber a compreensão dos alunos sobre átomos, íons e até ligação iônica. **Eletronegatividade:** reviso o conteúdo de eletronegatividade para apresentar o conceito de Nox pois apresento o conceito de oxidação e redução pelo aumento e diminuição do Nox. **Oxidação e Redução:** são importantes para compreender o que ocorre em cada eletrodo. (Lc04, exemplar)

O primeiro respondente justificou os dois primeiros conteúdos parafraseando os mesmos, enquanto justificou o terceiro afirmando que os processos redox ocorrem na Pilha (mas sem especificar como ou onde ocorrem). Assim, com duas justificativas parafraseadas e uma genérica, ao respondente foi atribuída a nota 1. Quanto ao segundo respondente, nas duas primeiras justificativas ele apresenta explanações relacionadas a química e na terceira apresenta explanação relacionada a Pilha (*agente redutor e agente*

oxidante). Apesar de apresentar uma justificativa tópico-específica, ele predominantemente apresentou justificativas químicas gerais, recebendo nota 2.

O terceiro respondente, por sua vez, apresentou duas justificativas tópico-específicas (balanceamento de equações: número de elétrons que migram, oxidação e redução: processos que ocorrem no cátodo e no ânodo) e uma genérica; logo, recebeu a nota 3. Por último, o quarto respondente fornece duas justificativas tópico-específicas (eletronegatividade: conceito de Nox, oxidação e redução: processos que ocorrem nos eletrodos) e uma explanação química. Além disso, ele também demonstra que Nox é um conceito-chave para o ensino dos processos redox (uso do modelo do Nox), logo foi atribuída a nota 4 a este respondente.

5.3.3 Terceira questão: Dificuldades de Ensino 1 (DFE1)

A finalidade da terceira questão é avaliar, em especial, o DFE. O respondente deveria selecionar duas das nove ideias disponibilizadas ou escolher alguma outra ideia e identificar conceitos que dificultam o ensino da ideia. A rubrica para essa questão pode ser vista no Quadro 9.

Quadro 9: Rubrica da terceira questão (DFE1).

Limitado (1)	Básico (2)	Desenvolvido (3)	Exemplar (4)
O professor fornece somente justificativas genéricas (motivação, facilidade, etc), sem lógicas, errôneas ou que parafraseiam as ideias.	O professor justifica somente uma ideia de forma química ou tópico-específica (definição ou explanação química dos conteúdos).	O professor justifica as duas ideias de forma química ou tópico-específica (definição ou explanação química dos conteúdos).	O professor justifica ao menos uma das ideias envolvendo aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Exemplos para cada um dos níveis das respostas podem ser vistos a seguir:

Cálculo do potencial das células: os alunos têm extrema dificuldade em realizar qualquer cálculo. **Trabalhar com os valores dos potenciais do eletrodo:** é muito difícil os alunos perceberem e atribuir valor em algo abstrato; não conseguem associar a realidade. (Nu03, limitado)

Célula galvânica versus Célula eletrolítica: ter a percepção que o fluxo de elétrons muda em relação a pilha que é um processo espontâneo. **Cálculo do potencial das células:** cálculo. Dificuldade do uso da matemática. (Nu05, básico)

Identificar os eletrodos positivos e negativos na células galvânicas: compreender que o cátodo é o eletrodo no qual há redução (ganho de elétrons) e é o polo positivo da pilha; e que o ânodo é o eletrodo no qual há

oxidação (perda de elétrons) e é o polo negativo da pilha. **Fluxo de elétrons na química e na física:** que tantos elétrons quanto íons em solução aquosa conduzem corrente elétrica (Cs15, desenvolvido).

Condução no eletrólito: primeiro o aluno precisa saber o que é um eletrólito e entender a função dele. **Fluxo de elétrons na química e na física:** "fluxo" implica em movimento e eles ficam perdidos sem entender esse "movimento"; e é forte a ideia atrelada ao "nado" de elétrons quando falamos de solução. (Cs27, exemplar).

O primeiro respondente forneceu somente justificativas genéricas (dificuldade em realizar cálculos e abstração), o que configura uma justificativa limitada (nota 1). O segundo respondente apresenta uma justificativa genérica (dificuldade em realizar cálculos) e uma tópico-específica (a mudança no fluxo de elétrons), recebendo uma nota 2. Quanto ao terceiro respondente, ele apresenta duas justificativas tópico-específicas (compreensão dos eletrodos e condução de corrente elétrica), sendo classificado como desenvolvido (nota 3). Por fim, ao quarto sujeito foi atribuída a classificação exemplar por ter identificado um conceito-chave (eletrólito) e, sobretudo, por ter identificado uma concepção alternativa (o “nado” de elétrons).

5.3.4 Quarta questão: Representações 1 (REP1)

Com relação à quarta questão, ela avaliava o componente REP. O professor deve avaliar aspectos positivos e negativos de uma representação dentre três disponíveis e, posteriormente, explicar como utilizaria a representação para ensinar Pilha. Consideramos que, ao utilizar uma representação, o professor deve ter conhecimentos sobre os níveis representacionais que ela aborda, quais conceitos são abordados e quais são necessários para o entendimento da representação, bem como possíveis influências da representação no entendimento dos alunos, isto é, se a representação pode reforçar ou confrontar alguma concepção prévia ou alternativa que os alunos tenham. A partir disso, elaboramos a rubrica apresentada no Quadro 10:

Quadro 10: Rubrica para a quarta questão (REP1).

Limitado (1)	Básico (2)	Desenvolvido (3)	Exemplar (4)
O professor identifica ao menos um conceito abordado na representação.	O professor identifica ao menos um conceito abordado na representação. O professor fornece um uso específico para a representação.	O professor identifica conceitos abordados na representação. Os conceitos abordados devem contemplar diferentes níveis representacionais. O professor fornece um uso específico simples para a representação.	O professor identifica conceitos abordados na representação. Os conceitos abordados devem contemplar diferentes níveis representacionais. O professor fornece um uso detalhado para a representação, o qual deve conter aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Exemplos para cada um dos níveis das respostas podem ser vistos a seguir:

Positivo: Descreve na mesma figura o macroscópico e o microscópico. Mostra o fluxo de íons na ponte salina, mostra fluxo de elétrons. **Negativo:** O desenho é complexo, necessidade de um sistema de projeção ou xerox. **Uso:** Projeção na sala seguido de explicação e exercícios (Nu13, limitado).

Positivo: Trata-se da ilustração mais simples para iniciar o tema sobre pilhas. Inicialmente não possui excesso de informações que possam desinteressar os alunos. **Negativo:** Não mostra claramente a função das soluções no eletrodo, bem como da ponte salina. **Uso:** Primeiramente identificaria cada parte da ilustração dizendo qual sua função principal e, posteriormente, faria uma ligação entre elas, finalizando o funcionamento básico da pilha. A partir da ilustração 1 (básica), sendo esta compreendida pelos alunos, tentaria a ilustração 3 (Nu01, básico).

Positivo: O detalhamento relacionado às espécies presentes em solução e àquelas que estão na forma metálica. O fluxo de elétrons ocorrendo por meio de um condutor metálico, enquanto há neutralidade dos íons na solução, por conta de uma membrana semipermeável. **Negativo:** Não há indicações sobre onde está oxidando ou onde está reduzindo. Representação dos elétrons de forma muito grande, podendo confundir os alunos durante a explicação. A falta de uma tradicional ponte salina, pode gerar uma barreira cognitiva. **Uso:** Levantaria os aspectos positivos da figura e ressaltaria os aspectos negativos. Pensaria em levar outras figuras para sanar uma provável deficiência. Ainda assim, seria possível mostrar onde ocorre o fluxo de elétrons e quem é o responsável pelo equilíbrio elétrico da pilha. (Cs21, desenvolvido)

Positivo: A ampliação da placa e do processo de como os íons interagem na placa ao se oxidarem e reduzirem. **Negativo:** Na explicação da mesma tem escrito “2 elétrons ganhos por átomos de Cu^{2+} ”, quando deveria ser “2 elétrons ganhos por íons Cu^{2+} da solução. Deveria ilustrar que os elétrons chegam pela placa provenientes do fio metálico que passa pelo voltímetro, pois também é muito importante. **Uso:** Explicaria a partir das semirreações em cada eletrodo, depois o caminho que o elétron percorre até chegar no outro eletrodo ocorrendo a reação de redução, enfatizando que o processo é simultâneo e terminando com a

equação global. Voltaria para o esquema para mostrar que há desgaste da placa de zinco – corrosão – bolinhas saindo e haverá um aumento de massa na placa de cobre – depósito – íons na forma de bolinhas que estão na solução e ao se aproximarem da placa reduzem recebendo elétrons. Terminaria, por fim, colocando o nome nos eletrodos, anodo e cátodo e por último observando o fluxo de elétrons, os potenciais nos eletrodos, e cálculo da ddp através de uma tabela de potencial de redução (Cs25, exemplar)

O primeiro professor identifica poucos conceitos na representação (fluxo de íons e elétrons, ambos simbólicos) e não fornece nenhum uso em específico, apenas um uso geral. Assim, sua resposta foi avaliada como limitada (nota 1). O segundo professor fornece apenas justificativas gerais nos aspectos positivos e identifica conceitos químicos no aspecto negativo da representação (função das soluções e da ponte salina). Ao descrever o uso, o professor fornece uma abordagem específica focada na superação do aspecto negativo. Assim, a classificação básica foi atribuída ao professor (nota 2).

O terceiro professor identifica vários conceitos na representação, o que resulta em um trabalho em vários níveis representacionais (e.g. fluxo de elétrons: micro; condutor metálico: macro). O uso que o professor fornece não é detalhado (levantaria os aspectos positivos e ressaltaria os negativos), apesar de ele reforçar um conceito que evitaria concepções alternativas dos alunos (mostrar onde ocorre o fluxo de elétrons). Portanto, a resposta do professor foi classificada como desenvolvida (nota 3). Quanto ao quarto professor, ele difere do terceiro pelo detalhamento que fez no uso, o qual contém dois aspectos pedagógicos: concepção dos alunos (ênfatisando que o processo é simultâneo) e sequência de ensino (semirreações → fluxo de elétrons → simultaneidade do processo redox e equação global → mudança no aspecto físico das placas metálicas → cálculo da ddp)

5.3.5 Quinta e sexta questão: Concepções dos estudantes 1 e 2 (CPE1 e CPE2)

O objetivo destas duas questões é avaliar, principalmente, o componente CPE. Na quinta questão o professor deveria reconhecer a concepção alternativa *o ânodo é o polo positivo por formar cátions*, e na sexta a concepção de que *os elétrons fluem na ponte salina*. A rubrica para esta questão está mostrada no Quadro 11.

Quadro 11: Rubrica para a quinta e sexta questão (CPE1 e CPE2).

Limitado (1)	Básico (2)	Desenvolvido (3)	Exemplar (4)
<p>O professor não necessariamente reconhece a concepção do aluno.</p> <p>A resposta ao aluno é somente a resposta correta.</p>	<p>O professor reconhece a concepção do aluno.</p> <p>A resposta ao aluno é baseada em uma definição/explicação.</p>	<p>O professor reconhece a concepção do aluno.</p> <p>A resposta ao aluno é baseada em uma definição/explicação.</p> <p>O professor faz uma explanação envolvendo aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.</p>	<p>O professor reconhece a concepção do aluno.</p> <p>A resposta ao aluno é baseada em uma definição/explicação.</p> <p>O professor faz uma explanação envolvendo aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.</p> <p>A explanação demonstra um domínio conceitual.</p>

Fonte: Elaborado pelos autores.

Exemplos para cada um dos níveis das respostas podem ser vistos a seguir:

Errado. Elétrons não fluem pela ponte salina (Nu08, CPE2, limitado).

O ânodo perde elétrons, enquanto o cátodo ganha elétrons. Quem perde elétrons é o polo negativo e quem ganha é o polo positivo.

Para o aluno não confundir o fluxo de elétrons que acontece na Pilha com os polos (Nu06, CPE1, básico).

Explicaria que os elétrons não fluem pela ponte salina, eles fluem através do fio condutor e que na ponte salina estariam os íons.

Explicaria que temos dois condutores, os eletrônicos que passam os elétrons e os iônicos, que passam os íons. (Lc02, CPE2, desenvolvido)

Na verdade, o cátodo é o polo positivo, onde há deposição do cobre. O polo negativo é o ânodo; há consumo do zinco - é do polo negativo a origem dos elétrons (eles migram pelo fio condutor em direção ao cátodo).

Faço essa resposta para que o aluno não confunda o polo negativo com o positivo; para que saiba indicar quem é cátodo e quem é ânodo e para que ele associe os termos ao fluxo correto de elétrons (podendo assim também compreender quem sofre oxidação e quem sofre redução). (Cs08, exemplar).

O primeiro participante apenas fornece a resposta correta ao aluno, não explicando o motivo da mesma, e, assim, recebeu a nota 1. O segundo participante, além de corrigir o aluno, explica o motivo da resposta correta, obtendo uma nota 2. O terceiro professor identifica um conceito-chave para os alunos compreenderem que há fluxo de elétrons e íons: os condutores eletrônicos e os iônicos; motivo pelo qual ganhou a nota 3. Finalmente, o quarto professor identifica prováveis concepções dos alunos e fornece um maior detalhamento conceitual, recebendo, portanto, nota 4.

5.3.6 Sétima questão: Estratégia de ensino conceitual 1 (ECE1)

Enfim, na sétima questão a intenção era avaliar as ECE. Na mesma, o professor deve elaborar uma aula para evitar respostas errôneas semelhantes às apresentadas pelos alunos nas situações fictícias das duas questões de CPE. Apesar de serem duas situações distintas (concepção sobre o fluxo de elétrons e sobre os polos dos eletrodos), o professor precisa elaborar a aula para somente uma delas, decisão que fica a critério do professor. A rubrica para essa questão é apresentada no Quadro 12.

Quadro 12: Rubrica da sétima questão (ECE1).

Limitado (1)	Básico (2)	Em desenvolvimento (3)	Exemplar (4)
O professor fornece estratégias específicas do tema, mas não deixa explícito um confronto à concepção errônea.	O professor fornece estratégias específicas do tema que proporciona um confronto à concepção errônea.	O professor fornece estratégias específicas do tema que proporciona um confronto à concepção errônea. Além do explicitado acima, o professor apresenta um dos seguintes: A estratégia fornecida possui um aprofundamento nos conceitos específicos do tema. O professor organiza a aula em torno de aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como sequências de ensino ou conceitos-chave para o ensino.	Apresenta todos os seguintes: O professor fornece estratégias específicas do tema que proporciona um confronto à concepção errônea. A estratégia fornecida possui um aprofundamento nos conceitos específicos do tema. O professor organiza a aula em torno de aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como sequências de ensino ou conceitos-chave para o ensino.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Exemplos para cada um dos níveis das respostas podem ser vistos a seguir:

Em contexto ideal: Cada aluno montaria a sua própria pilha utilizando duas cubas, os reagentes nas devidas concentrações, limpariam/lixariam o fio de cobre e as respectivas placas metálicas. Utilizariam o voltímetro para medir a ddp, anotariam todas as observações e entregariam o relatório do experimento realizado. Além disso, utilizariam o computador para visualização em destaque, em cores de todo processo que ocorre na pilha

Em contexto real: Aula elaborada com a montagem da Pilha de Daniell de forma demonstrativa ou em grupos, porque não há material e nem reagentes disponíveis. Com a pilha montada, é possível observar a diminuição da concentração do cátion, desbotamento da solução, corrosão da placa de zinco, determinar a tensão elétrica da pilha com o uso do voltímetro (Cs20, limitado).

Em contexto ideal: Montaria duas pilhas. Na primeira não utilizaria a ponte salina e na segunda utilizaria a ponte salina. Mostraria a importância da ponte

salina na manutenção da neutralidade das soluções e conseqüentemente o aluno iria perceber que na pilha que utilizou a ponte, a durabilidade da mesma é maior. Outrossim, desmistificaria a ideia de que os elétrons migram através da ponte salina.

Em contexto real: Trabalharia com o livro didático, leitura de texto relativo ao assunto e posterior explicação do mesmo. Ou baixaria um vídeo sobre o assunto e mostraria na sala de informática. (Cs12, Básico).

Em contexto ideal: Primeiramente daria uma aula sobre condução elétrica em diferentes soluções (condutoras e isolantes). Montaria pilha de Daniell sem a ponte salina. Depois acrescentaria a ponte salina e faria uma correlação entre as duas.

Em contexto real: Poderia fazer exatamente as mesmas aulas como demonstração ou, caso a escola compre materiais/reagentes, os próprios alunos realizariam a atividade em grupo. (Lt08, desenvolvido)

Em contexto ideal: Iniciaria o assunto com dois experimentos para explicar transferências de elétrons entre metais e íons presentes nas soluções: sulfato de cobre e palha de aço e nitrato de prata e fio de cobre. Depois trabalharia a pilha de Daniell com um vídeo simulador. Em outro momento iríamos no laboratório testar o funcionamento da Pilha de Daniell com ponte salina e sem ponte salina, para entender sobre a importância da mesma. E por fim iria usar um simulador que possibilitaria ao aluno montar diferentes pilhas com diferentes metais. Dessa forma, observariam que algumas combinações de metais não são viáveis pois não geram diferenças de potenciais e as pilhas não funcionam. Dessa forma explicaria a importância da ddp na pilha.

Em contexto real: Teria condições de usar o mesmo procedimento exceto a construção da pilha de Daniel, que poderia substituir por um vídeo (Cs26, exemplar).

O primeiro professor, apesar de explicar e detalhar como seria sua aula, não deixa claro como ele iria confrontar a concepção alternativa dos alunos, portanto, foi atribuída a nota 1. O segundo professor, por sua vez, explicita a estratégia de confronto para a concepção de que os elétrons fluem pela ponte salina: construir uma pilha com ponte salina e outra pilha sem ponte salina. Deste modo, ao segundo professor foi atribuída a nota 2.

O terceiro professor, além da estratégia de confronto, também manifesta que precisaria lecionar sobre condução elétrica, um conceito-chave para o entendimento de ponte salina. Assim, este professor atingiu a nota 3. Por último, o quarto professor apresenta duas estratégias de confronto (pilha com ponte x pilha sem ponte salina; simular pilhas com diferentes metais), o uso de conceitos chave (transferência de elétrons entre metais; íons presentes nas soluções) e, conseqüentemente, um aprofundamento nos conceitos do tema. Portanto, tal professor atingiu o nível exemplar (nota 4).

*Não tô aqui de passagem, tô no meio da viagem.
Vim aqui pra me encontrar.*

*Eu sou caipira, pirapó, Nossa senhora.
Piraçava, piraúna, Pirangi e Pirauá.*

*Eu sou Paraíba e Pernambuco, sergipano.
Sou cafuso, Salvador, Paranauá.*

Não vim pra passar batido

Não vim pra passar batido, Barro.

6. ANÁLISE DO TESTE DE PCK DE PILHA

O item anterior descreveu os procedimentos de adaptação do teste de PCK de Pilha. Contudo, para um teste ser utilizado ele deve ser submetido a um processo de validação. Portanto, neste capítulo será discutido sobre a validade e confiabilidade proporcionadas pelas respostas do teste. Conforme explicitado no capítulo 4, os dados coletados no teste foram submetidos a uma análise Rasch de crédito parcial.

6.1 ESCALA DO TESTE DE PCK DE PILHA

Para entender a escala que deve ser utilizada no teste de PCK de Pilha proposto nesse trabalho, pode-se imaginar a seguinte situação: três professores respondem o teste (Quadro 13). O primeiro recebe nota 3 na primeira e 2 nas demais; o segundo recebe nota 2 em todas as questões, e o terceiro recebe nota 2 nas cinco primeiras e 1 na sexta. O instinto inicial faz com que se some a nota de cada questão e se consiga uma nota final para os respondentes. Deste modo, o primeiro receberia nota 13; o segundo, nota 12 e; o terceiro, nota 11.

Quadro 13: Distribuição de nota de três professores hipotéticos.

Professor	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	Soma
1º	3	2	2	2	2	2	13
2º	2	2	2	2	2	2	12
3º	2	2	2	2	2	1	11

Fonte: Elaborado pelos autores.

Isto poderia induzir ao pensamento de que a distância entre o primeiro e o segundo participante é igual à distância entre o segundo e o primeiro, pois em ambos os casos as distâncias diferem em um ponto na soma total. Todavia, ao seguir o raciocínio

supracitado desconsidera-se dois aspectos. Primeiro, sabe-se que tirar uma nota 4 em uma questão exige mais conhecimento do que uma nota 3 na mesma questão, e assim consequentemente; porém não se sabe o *quanto* é exigido a mais, logo é possível apenas ordenar tais notas. Segundo, tirar uma nota 1 em uma questão não representa a mesma mobilização de conhecimento que tirar a nota 1 em *outra* questão, uma vez que as questões apresentam dificuldades diferentes.

Agora, partindo da suposição que a primeira questão é a mais fácil do teste e a sexta questão é a mais difícil. Deste modo, o um ponto a mais conseguido pelo primeiro professor, comparado com o segundo, é advindo de uma questão fácil; enquanto o um ponto a mais conseguido pelo segundo professor, comparado com o terceiro, é advindo de uma questão difícil. Podemos perceber, portanto, que a diferença de habilidade entre o primeiro e o segundo sujeito é menor do que a diferença de habilidade entre o segundo e o primeiro.

Diante deste cenário, conclui-se que as notas obtidas com o teste, a qual chamaremos de *score bruto*, não formam uma escala contínua – pois as diferenças de conhecimento representadas pelas notas não são equidistantes –, mas sim uma escala ordinal – pois é possível apenas ordenar os sujeitos de acordo com seus conhecimentos.

Uma vez que estatística paramétrica (tal como *test-t* e ANOVA) não pode ser aplicada em dados ordinais, deve-se utilizar estatística não-paramétrica ou utilizar modelos que transformam escalas ordinais em escalas intervalares equivalentes, como o Modelo Rasch (BOND; FOX, 2007; BOONE; STAVER; YALE, 2014). Frente as vantagens da modelagem Rasch, as quais foram apresentadas no capítulo 2, optamos por utilizar tal abordagem em vez de utilizar estatísticas não-paramétricas.

6.2 CONSTRUÇÃO DO ARGUMENTO DE VALIDADE

A construção do argumento de validade irá se basear em dois tipos de validade: a construtiva e a preditiva. A primeira indica se o teste mensura aquilo a qual se propõe mensurar (CRESWELL; CLARK, 2013; LINACRE, 2017), enquanto a segunda indica se o teste fornece medidas congruentes com o que se sabe sobre os respondentes (LINACRE, 2017). Segundo os autores, para examinar a validade construtiva, o pesquisador deve elaborar uma ordem teórica de dificuldade dos itens – a qual pode ser feita com base em referenciais da literatura. Para a validade preditiva, por sua vez, o

pesquisador deve elaborar uma ordem teórica de habilidade dos respondentes (BOONE, 2016; LINACRE, 2017).

Após fazer a análise, é necessário comparar as ordens teóricas com as ordens empíricas: caso o resultado observado corrobore a predição, há uma forte evidência de que o teste realmente está mensurando o constructo desejado, isto é, há uma forte evidência de validade (BOONE, 2016). Contudo, caso a comparação seja incongruente, é evidência de não validade, sendo necessário buscar explicações para tal.

As ordens teóricas serão demonstradas a seguir.

6.2.1 Validade construtiva

Algumas investigações na área de PCK (e.g. DAVIDOWITZ; POTGIETER, 2016; ROLLNICK; MAVHUNGA, 2014) têm mostrado que dentre os componentes do TSPCK, o mais difícil é o ECE, uma vez que o mesmo representa as estratégias que o professor elabora utilizando os outros componentes do TSPCK (MAVHUNGA, 2012); logo, é necessário que o professor desenvolva os outros componentes antes de desenvolver este. No tocante aos outros conhecimentos, não há uma ordem de concordância na literatura, principalmente quanto ao componente DFE.

Baseados na experiência e em análises dos trabalhos presentes na literatura, defendemos a seguinte ordem de dificuldade teórica dos componentes:

$$\text{CPE} < \text{DFE} < \text{SLC} < \text{REP} < \text{ECE}.$$

1. **CPE:** Julgamos que o ponto de partida é o conhecimento prévio do aluno, o qual o professor deve conhecer para começar a elaborar suas estratégias.
2. **DFE:** Posteriormente, o professor deve entender o porquê de os alunos possuírem suas concepções, o que pode advir da falta de conceitos-chaves de conteúdos difíceis.
3. **SLC:** O terceiro passo seria organizar uma sequência de aula de modo a organizar os conceitos-chaves e confrontar as concepções prévias dos estudantes.
4. **REP:** Com a sequência elaborada, o professor deve escolher quais representações (representações, analogias, imagens etc.) utilizar em cada momento da aula, de modo a explicar os conceitos-chave e confrontar as concepções dos estudantes.
5. **ECE:** A conclusão destes passos é, naturalmente, a elaboração de uma

estratégia de ensino, na qual o professor conhece as concepções dos alunos, entende os conceitos-chaves necessários, elabora uma melhor ordem de ensino e prepara as representações para utilizar em sua estratégia.

Utilizando a ordem de dificuldade dos componentes como referência, elaboramos as ordens de dificuldade das questões dos testes adaptados, as quais são mostradas a seguir, na ordem de adaptação:

$$\text{CPE3} < \text{CPE1} < \text{CPE2} < \text{DFE1} < \text{SLC1} < \text{SLC3} < \text{SLC2} < \text{REP1} < \text{REP2} < \text{ECE1}$$

$$\text{CPE2} < \text{CPE1} < \text{DFE1} < \text{SLC1} < \text{SLC2} < \text{REP1} < \text{ECE1}$$

$$\text{CPE1} = \text{CPE2} < \text{DFE1} < \text{SLC1} < \text{SLC2} < \text{REP1} < \text{ECE1}$$

6.2.2 Validade preditiva

Conforme a literatura, o PCK é desenvolvido com a prática (FERNANDEZ, 2014, 2015). Portanto, espera-se que professores mais experientes possuam um nível de PCK de Pilha maior do que professores com menor tempo de atuação. Além disso, como o PCK de Pilha é um conhecimento específico dos professores de química (SHULMAN, 1986), também se espera que licenciados em química tenham um nível de PCK maior do que bacharéis em química ou licenciandos de outras áreas.

6.3 VALIDAÇÃO DO TESTE

Como especificado anteriormente, a análise do teste foi feita por intermédio do programa Winsteps[®] Rasch Measurement 4.1.0 (LINACRE, 2018). Foram analisadas a primeira, segunda e terceira adaptações do teste original. Em todas as análises foram seguidos os seguintes procedimentos:

- (i) inserção dos escores brutos das questões no programa;
- (ii) inserção de dados fictícios para categorias não observadas, conforme orientado por Linacre (2017);
- (iii) tratamento de comportamentos atípicos, conforme orientado por Boone, Staver e Yale (2014) e Linacre (2010).

6.3.1 Primeira adaptação

a) Confiabilidade

O primeiro aspecto que chama atenção ao analisar a primeira adaptação é os baixos índices de confiabilidade e taxa de separação, que podem ser observados na Tabela 1. Como explicado anteriormente, a confiabilidade indica, basicamente, a reprodutibilidade da ordem dos respondentes e das questões (BOONE; STAVER; YALE, 2014). Quanto à taxa de separação, esta indica quantos grupos de respondentes/questões distintos são identificados na análise (LINACRE, 2017). Por exemplo, caso a taxa de separação dos respondentes e das questões seja 2 e 3, respectivamente, significa que há dois grupos de participantes com habilidades distintas (alta e baixa), e três grupos de questões com dificuldades distintas (fáceis, médias e difíceis).

Tabela 1: Confiabilidade e taxa de separação dos respondentes e das questões para a primeira adaptação do teste.

	Confiabilidade	Taxa de separação
Respondentes	0,56	1,12
Questões	0,79	1,92

Fonte: Elaborada pelos autores.

A confiabilidade e a taxa de separação mínima recomendada para os respondentes é de 0,80 e 2, respectivamente, pois espera-se haver ao menos dois grupos de respondentes (LINACRE, 2017). No que diz respeito às questões, os mínimos exigidos para a confiabilidade e para a taxa de separação são, respectivamente, 0,90 e 3, pois espera-se que um teste tenha questões fáceis, médias e difíceis (LINACRE, 2017). Pode-se perceber que nenhum dos resultados obteve o mínimo recomendado, portanto essa primeira adaptação não se mostra confiável e não é capaz de distinguir adequadamente diferentes níveis de respondentes e questões.

b) Validade Construtiva

O segundo problema encontrado no teste foi quanto à sua validade construtiva. Como pode ser observado abaixo, a ordem teórica foi totalmente diferente da ordem empírica, o que nos dá um forte indício de que o teste não estava medindo o que era proposto medir.

Ordem teórica
 CPE3 < CPE1 < CPE2 < DFE1 < SLC1 < SLC3 < SLC2 < REP1 < REP2 < ECE1

SLC1 < CPE3 < SLC3 < DFE1 < REP2 < REP1 < SLC2 < ECE1 < CPE2 < CPE1
 Ordem empírica

Analisando-se as respostas dadas às questões que sofreram maior deslocamento (CPE1 e CPE2), percebemos que o maior problema das respostas era a falta de conhecimento do tema, isto é, a falta de conhecimento em eletroquímica. Apesar de o PCK ser um constructo diferente do conhecimento do tema, este possui grande influência naquele (ROLLNICK et al., 2008).

c) Considerações

As demais evidências de validade – análise da adequação das questões (*oufit* MNSQ e ZSTD) e validade preditiva – não foram analisadas pois as duas evidências supracitadas foram suficientes para reelaborarmos o teste. Conforme discutido anteriormente, atribuímos o grande deslocamento das questões de CPE à falta de SMK dos respondentes. Partindo desta falta de conhecimento em eletroquímica, optamos por refazer uma segunda adaptação do teste focando somente no conteúdo de Pilha, excluindo as questões referentes a Eletrólise.

6.3.2 Segunda adaptação

a) Confiabilidade

Diferente dos resultados obtidos na primeira adaptação, nesta segunda obtivemos valores de confiabilidade e da taxa de separação dos participantes e das questões acima do mínimo recomendado, como pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2: Confiabilidade e taxa de separação dos respondentes e das questões para a segunda adaptação do teste.

	Confiabilidade	Taxa de separação
Respondentes	0,81	2,06
Questões	0,94	3,97

Fonte: Elaborada pelos autores.

Comparados aos resultados da primeira adaptação do teste, os resultados da segunda adaptação são consideravelmente melhores: os valores para os respondentes atingiram o mínimo esperado, e os valores para as questões – sobretudo na taxa de

separação –, ultrapassou o mínimo recomendado. Tais resultados são similares aos encontrados em outras pesquisas de construção de testes para mensurar o PCK utilizando o modelo Rasch (e.g. KIRSCHNER et al., 2016; NDLOVU, 2014; PITJENG, 2014).

b) Ajuste dos itens

Além dos valores esperados de confiabilidade, esta segunda versão também demonstrou um bom desempenho na adequação ao modelo Rasch, como pode ser visto na Tabela 3:

Tabela 3: Dificuldade e índices de ajuste das questões.

Questões	Dificultad e das questões	Outfit	
		MNSQ	ZSTD
ECE1	1,27	1,10	0,4
SLC2	1,07	0,98	0,0
REP1	-0,07	0,91	-0,4
CPE1	-0,19	0,72	-0,4
DFE1	-0,50	1,34	1,7
SLC1	-0,66	0,68	-1,7
CPE2	-0,93	1,62	1,6
Média	0,00	1,05	0,2
Desvio padrão	0,79	0,31	1,1

Fonte: Elaborada pelos autores.

Critério para adequação: outfit MNSQ com valores de 0,5 a 1,5 ou o outfit ZSTD com valores de -2,0 a 2,0,

A partir dos resultados mostrados na tabela, percebe-se que todas as questões – com exceção de CPE2 – não satisfazem somente um dos índices outfit, mas sim os dois. Quando todas as questões obedecem aos critérios outfit, há um forte indício de que o teste é válido, pois se questões estão demonstrando um comportamento típico, sugere que o teste mensura somente uma dimensão.

c) Habilidade x dificuldade

A seguir analisamos o mapa de Wright do teste (Figura 8), no qual consta todos os respondentes (lado esquerdo) e todos os itens (lado direito), bem como os valores do PCK de Pilha dos respondentes e da dificuldade dos itens, respectivamente.

Percebe-se que há uma grande distinção entre a nota média dos respondentes e a nota média das questões, o que significa que as questões estão muito difíceis para o nível de habilidade dos nossos respondentes. Apesar de ser recomendável que a média de dificuldade das questões esteja próxima à média de habilidade dos respondentes (BOONE, 2016; BOONE; ROGAN, 2005), não esperávamos encontrar tal resultado na análise, pois:

- levando-se em conta que a amostra era composta principalmente por professores em formação, era de se esperar que ela obtivesse uma nota relativamente baixa;
- a literatura tem relatado que os professores tem dificuldades em ensinar eletroquímica (AHTEE; ASUNTA; PALM, 2002; DE JONG; TREAGUST, 2002), então já se esperava encontrar notas baixas mesmo em professores em exercício.

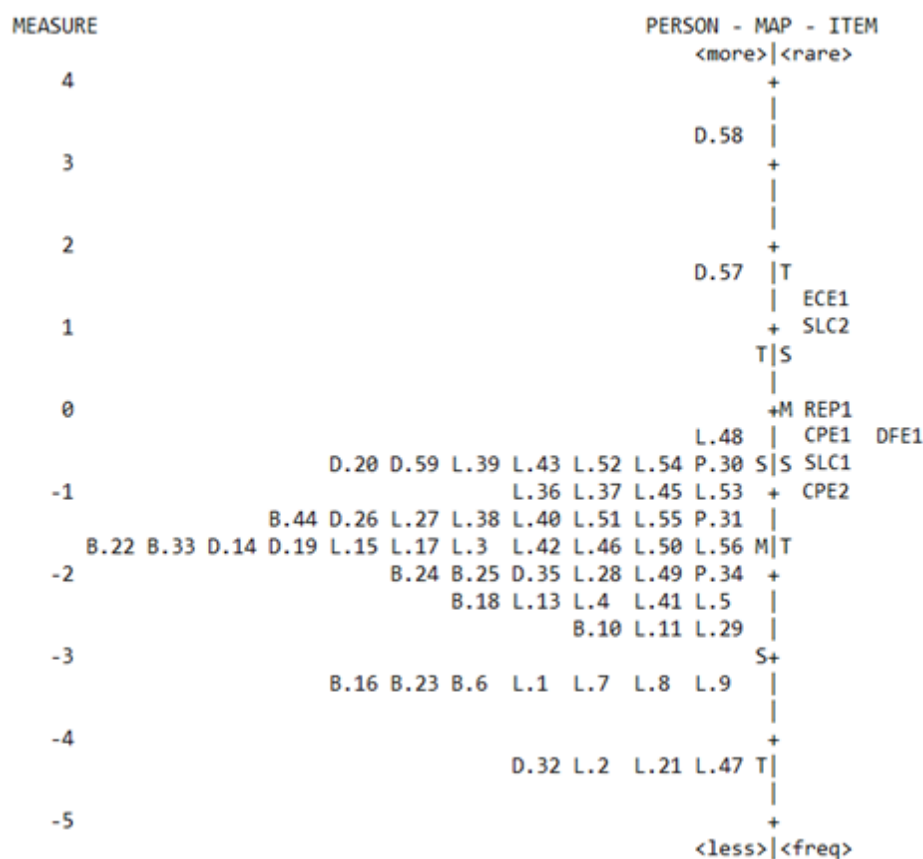


Figura 8: Mapa de Wright do segundo teste adaptado.

Fonte: Extraído do programa Winsteps©.

B = Estudantes que não cursaram disciplinas de ensino de química.

L = Estudantes que cursaram disciplinas de ensino de química.

D = Professores universitários em cursos de química.

P = Professores da educação básica de química.

No desenvolvimento do teste, Ndlovu (2014) o aplica somente para professores em formação, e ainda assim a média de TSPCK foi menor do que a média de dificuldade das questões, o que corrobora com os estudos que apontam as dificuldades dos professores em ensinar este conteúdo.

d) Validade construtiva e preditiva

Agora o mapa de Wright será utilizado para analisar a validade construtiva e preditiva. Conforme explicado anteriormente, para determinar a primeira, devemos analisar a ordem teórica das questões com a ordem empírica; para a segunda, devemos analisar a ordem teórica dos respondentes com a empírica.

Primeiro iremos discutir a validade construtiva. As ordens teórica e empírica podem ser vistas a seguir:

$$\begin{array}{c} \text{Ordem teórica} \\ \text{CPE2} < \text{CPE1} < \text{DFE1} < \text{SLC1} < \text{SLC2} < \text{REP1} < \text{ECE1} \\ \\ \text{CPE2} < \text{SLC1} < \text{DFE1} < \text{CPE1} < \text{REP1} < \text{SLC2} < \text{ECE1} \\ \text{Ordem empírica} \end{array}$$

Dentre as seis questões, percebe-se algumas diferenças entre as ordens: SLC1 trocou de posição com DFE1; SLC2 trocou de posição com REP1 e; CPE1 “pulou” duas “casas” para a direita, aumentando o seu nível de dificuldade.

Utilizando os valores presentes na Tabela 3, calculamos a diferença de logits entre DFE1 e SLC1, a qual foi igual a 0,16 logits; e entre SLC2 e REP1, a qual foi igual a 1,14. Consideramos o primeiro valor irrisório e defendemos que tal troca de posição não é uma ameaça para a validade construtiva do teste. Contudo, o segundo valor é a maior diferença de logit entre questões do teste, sendo inclusive bem visível no mapa de Wright (Figura 8), e a consideramos uma ameaça à validade construtiva. Quanto à troca de CPE1, não é possível fazer este mesmo procedimento pois ele trocou duas posições, não somente uma. Porém, acredita-se que tal fato por si já é uma ameaça à validade do teste.

Considerando, então, estas duas ameaças, defendemos que as mesmas podem ser explicadas pela dependência do PCK frente ao SMK – o qual é um problema similar ao da primeira adaptação. A questão CPE1 aborda principalmente um conceito, ponte salina, enquanto todas as demais abordam vários conceitos de eletroquímica. Assim, enquanto nas outras questões o respondente pode mobilizar o PCK de Pilhas a partir de

outros conceitos, em CPE1 é obrigatório que o respondente saiba o conceito de ponte salina, o que dificulta a questão. Quanto à CS2, a explicação é parecida: a questão pede ao respondente que associe o conteúdo de Pilha com outros conteúdos químicos. Logo, é necessário que o respondente saiba, além do SMK de Pilha, o SMK de outros conteúdos de química.

Partindo do pressuposto que os participantes, aparentemente, não possuíam um bom SMK, as questões que exigiam um PCK mais dependente do SMK se tornaram mais difíceis. Deste modo, defendemos que o teste mensura o PCK dos participantes, mas é necessário que eles também tenham conhecimento do tema de Pilha, pois este faz-se necessário para a mobilização daquele.

Com relação à validade preditiva, elaboramos a ordem de habilidade dos respondentes a seguir, sendo que B representa estudantes que não cursaram disciplinas de Ensino de Química, L representa estudantes que cursaram tais disciplinas e D representa docentes universitários em cursos de Química:

$$B < L < D$$

A partir do mapa de Wright (Figura 8), verifica-se que:

- apesar de D.32 possuir um dos menores níveis de TSPCK, D.58 e D.57 possuem as duas maiores notas, além do que a maioria dos docentes se concentra nas notas maiores do que -2 logits;
- apesar dos graduandos que cursaram disciplinas de Ensino de Química possuírem um grande espectro de notas (aproximadamente de -4,0 a 0,0), a maioria está concentrada entre -2,0 e 0,0 (21 de 36);
- a maioria dos graduandos que não cursaram disciplinas de Ensino de Química possuem nota abaixo de -2,0 (7 de 10).

Com base nestes resultados, é possível inferir que há uma tendência no modo que os grupos se comportam, a qual é congruente com a ordem que havia sido prevista teoricamente e, conseqüentemente, o teste apresenta evidências de validade preditiva.

e) Considerações

Nesta segunda adaptação ainda é perceptível a influência do baixo nível de SMK dos participantes na variação das dificuldades das questões: SLC2 e, sobretudo, CPE1 sofreram um grande deslocamento. Pensando em diminuir a influência do SMK no CPE optamos por elaborar uma segunda questão de CPE envolvendo conceitos distintos.

Esperamos, assim, que o professor tenha maior chance de demonstrar seus conhecimentos acerca das concepções de seus alunos.

Conforme dito anteriormente, também foi reformulada a questão ECE1. Apesar da mesma ter apresentado bons valores de *oufit*, os comentários recebidos de alguns respondentes eram de que a questão exigia muito tempo de leitura.

6.3.3 Terceira adaptação – Teste final

a) Descrição dos professores

Conforme dito no capítulo 4, 128 professores responderam à terceira adaptação do teste, os quais configuram a amostra do teste principal. A Tabela 4 contém informações sobre o sexo, formação, tipo de escola no qual atua, participação no curso de Ensino de Pilha e se o professor já lecionou o conteúdo de Pilha anteriormente.

Tabela 4: Caracterização dos professores.

Nº		%	
Sexo			
Masculino	56	43,8%	
Feminino	72	56,3%	
Formação			
Lic. Química	91	71,1%	
B/E Química	5	3,9%	
Biologia	14	10,9%	
Ciências	6	4,7%	
Física	2	1,6%	
Matemática	2	1,6%	
Outros	6	4,8%	
Ausente	2	1,6%	
Tipo de escola			
Pública	108	84,4%	
Privada	2	1,6%	
Ambas	17	13,3%	
Ausente	1	0,8%	
Participação no curso			
Não participou	96	75%	
Participou	32	25%	
Lecionou redox			
Sim	90	70,3%	
Não	36	28,1%	
Ausente	2	1,6%	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Dos 128 professores, 91 possuem formação em licenciatura em química. Ressaltamos que alguns destes professores também possuem outros cursos, tais como bacharelado em química, contudo a ênfase foi observar se eles tinham o curso de licenciatura em química ou não e, caso não tivessem, qual seria o curso. Pelo quadro

também é possível perceber que, dentre os não químicos, a maior porcentagem de atuantes são os professores de biologia. Com relação ao sexo, 43,8% dos professores são homens e 56,3% são mulheres.

Quanto à escola na qual atuam, os professores atuam majoritariamente em escolas públicas – 125 professores, sendo 108 exclusivamente na escola pública e 17 atuando também em escola privada. O número elevado de professores em escola pública é consequência do modo como os dados foram coletados: principalmente em Orientações Técnicas destinadas à professores da escola pública.

Dentre os 128 professores, 32 participaram do curso de Ensino de Pilha oferecido pelo PEQuim/USP. Enfatizar tais professores é importante, pois eles serão analisados para realizar a validade preditiva do teste. Com relação à experiência prévia dos professores com Redox, 36 dos 128 professores declaram nunca ter lecionado Redox.

Podemos ver as informações sobre a idade e o tempo de atuação dos professores na Tabela 5.

Tabela 5: Idade e tempo de atuação dos professores.

	Mé- di- a	Desvio padrão	Intervalo	Mínimo	Máximo
Idade	44,26	9,74	38	25	63
Tempo de atuação	15,0	7,09	35	1	36

Fonte: Elaborada pelos autores.

Levando-se em conta a média com o desvio padrão, podemos inferir que a maioria dos professores apresenta idade entre 35 e 45 anos e tempo de atuação de 8 a 21 anos. Frente ao tempo de atuação, é esperado que os professores possuam um bom nível de PCK de Pilhas, uma vez que a experiência influencia diretamente no desenvolvimento do PCK (FERNANDEZ, 2014).

b) Valor do PCK de Pilha dos professores

Após a transformação dos escores brutos em medidas de probabilidade de acerto que representam o nível do PCK, foi possível, além de ordenar os participantes, saber a diferença do nível de PCK entre eles. Um excerto destas notas é apresentado na Tabela 6. A tabela completa pode ser encontrada no Apêndice F.

A primeira coluna identifica os participantes. A segunda coluna apresenta a medida de habilidade dos sujeitos, a qual, em nosso caso, é o nível de PCK de Pilha. As duas últimas colunas apresentam os índices de ajuste *outfit* (MNSQ e ZSTD) dos respondentes. Conforme explicado anteriormente, o critério de adequação para os índices são: MNSQ apresentando valores entre 0,5 e 1,5 **ou**; ZSTD apresentando valores entre -2,0 e 2,0.

Inicialmente, cinco sujeitos apresentaram uma ou duas respostas atípicas, apresentando outfits que não se encaixavam no critério. Embora tais respostas não demonstraram ter nenhum impacto significativo na qualidade do teste, optamos por retirar tais respostas e, então, reanalisar os dados (BOONE; STAVER; YALE, 2014; LINACRE, 2010). Após estas modificações, todos os respondentes apresentaram valores de outfit MNSQ ou ZSTD dentro do critério preestabelecido (Apêndice F). Tal resultado é o primeiro indício de que o teste é válido, pois se os respondentes estão demonstrando um comportamento típico, sugere que o teste está mensurando aquilo a que se propõe.

Tabela 6: Excerto dos escores convertidos em escala intervalares, representando o nível do TSPCK dos participantes.

Professores	M	D	M	Z	Professores	M	D	M	Z
	di	is	N	S		di	is	N	S
	vid	vi	S	T		vid	vi	S	T
	ao	o	Q	D		ao	o	Q	D
PR 1	- 5,3	1,86	-	-	PR 65	- 2,3	0,56	0,94	0,13
PR 2	0,73	0,44	0,83	0,20	PR 66	- 2,13	0,56	0,50	0,22
PR 3	- 1,59	0,49	1,23	0,57	PR 67	- 2,95	0,76	0,69	0,00
PR 4	- 1,37	0,47	1,72	0,32	PR 68	1,34	0,47	0,57	0,87
PR 5	- 2,47	0,63	2,04	0,27	PR 69	- 1,37	0,47	0,89	0,05

CPE2	-0,25	0,83	-1,19
SLC1	-0,65	1,07	0,55
Média	0,00	0,99	0,0
Desvio padrão	0,44	0,12	0,8

Fonte: Elaborada pelos autores.

Critério para adequação: outfit MNSQ com valores de 0,5 a 1,5 ou o outfit ZSTD com valores de -2,0 a 2,0,

d) Confiabilidade

Observa-se na Tabela 8 os valores da confiabilidade e da taxa de separação dos participantes e das questões.

Tabela 8: Confiabilidade e taxa de separação dos respondentes e das questões para a terceira adaptação do teste.

	Confiabilidade	Taxa de separação
Respondentes	0,81	2,06
Questões	0,93	3,69

Fonte: Elaborada pelos autores.

Similar à segunda adaptação, os índices de confiabilidade e taxa de separação estão dentro dos critérios estabelecidos: confiabilidade maior que 0,80 para os respondentes e 0,90 para as questões e; taxa de separação maior do que 2 para os respondentes e maior do que 3 para as questões (LINACRE, 2017). Deste modo, os resultados desta terceira adaptação continuam similares àqueles encontrados em outras pesquisas de construção de testes para mensurar o PCK utilizando o modelo Rasch (KIRSCHNER et al., 2016; NDLOVU, 2014; PITJENG, 2014).

e) Habilidade \times Dificuldade

A seguir será analisado o mapa de Wright do teste (Figura 9), no qual consta todos os respondentes (lado esquerdo) e todas as questões (lado direito), bem como o nível do PCK de Pilhas e da dificuldade, respectivamente.

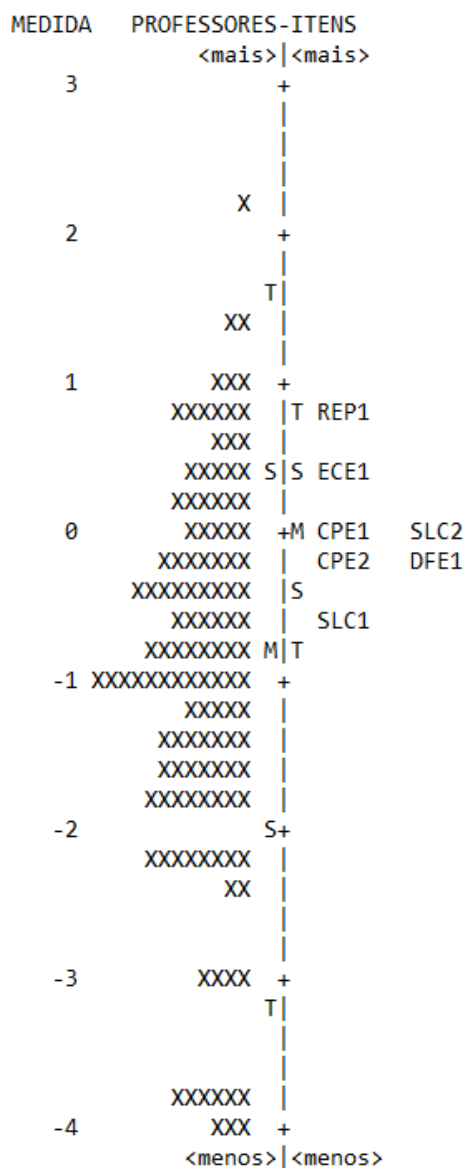


Figura 9: Mapa de Wright da terceira adaptação do teste.

Fonte: Extraído do programa Winsteps[®].

Analisando-se o Mapa de Wright percebe-se que a média de habilidades dos sujeitos continuam menor do que a média de dificuldade dos itens. Esperava-se que o nível do PCK de Pilha dos respondentes nesta terceira análise melhorasse frente à segunda, pois enquanto naquela a maioria dos respondentes eram estudantes, nesta todos são professores.

Tais resultados vão ao encontro e *reforçam* o que é relatado pela literatura: Eletroquímica é um dos conteúdos mais difíceis de se ensinar, em grande parte pela deficiência dos professores no conhecimento do conteúdo (AHTEE; ASUNTA; PALM, 2002; DE JONG; TREAGUST, 2002; NDLOVU, 2014).

f) Validade construtiva e preditiva

Com o auxílio da Figura 10, da Figura 11 e da Tabela 7 será analisada a validade construtiva e preditiva do teste. Para a primeira, será feita a comparação entre a ordem de dificuldade empírica e teórica das questões, enquanto para a segunda, será feita a comparação da habilidade dos participantes com relação à sua área de formação, sua participação no curso de Ensino de Física oferecido pelo PEQuim/USP.

As ordens teórica e empírica para a validade construtiva são:

$$\begin{array}{c} \text{Ordem teórica} \\ \text{CPE1} = \text{CPE2} < \text{DFE1} < \text{SLC1} < \text{SLC2} < \text{REP1} < \text{ECE1} \\ \\ \text{SLC1} < \text{CPE2} < \text{CPE1} < \text{SLC2} < \text{ECE1} < \text{REP1} \\ \text{Ordem empírica} \end{array}$$

Pode-se perceber que a ordem empírica desta terceira adaptação foi a que mais se aproximou da ordem teorizada por nós, o que reforça a unidimensionalidade do teste. Dentre as seis questões, a CPE1 foi novamente a que se distanciou da teoria. Este comportamento padrão de sempre se apresentar mais difícil pode significar que não é a questão que esteja apresentando um comportamento atípico, mas sim que a teoria na qual a ordem foi construída precisa de revisão.

Quanto à validade preditiva, elaboramos a seguinte ordem de habilidade dos respondentes:

$$\text{Bio} = \text{Mat} = \text{Fis} = \text{Cie} < \text{Quim}$$

Isto é, os professores com formação em química demonstrariam um maior nível de PCK de Física do que professores com qualquer outra formação.

Por intermédio da Figura 10, pode-se verificar que 23 dos 30 professores que não possuem formação em química (professores marcados em vermelho) estão abaixo da média dos respondentes (linha vermelha tracejada). Além disso, 13 destes 30 professores estão entre os professores com menor medida de PCK de Física. Assim, a ordem proposta, baseada na teoria de que o PCK de Física é específico dos professores de química, reforça a validade preditiva do teste.

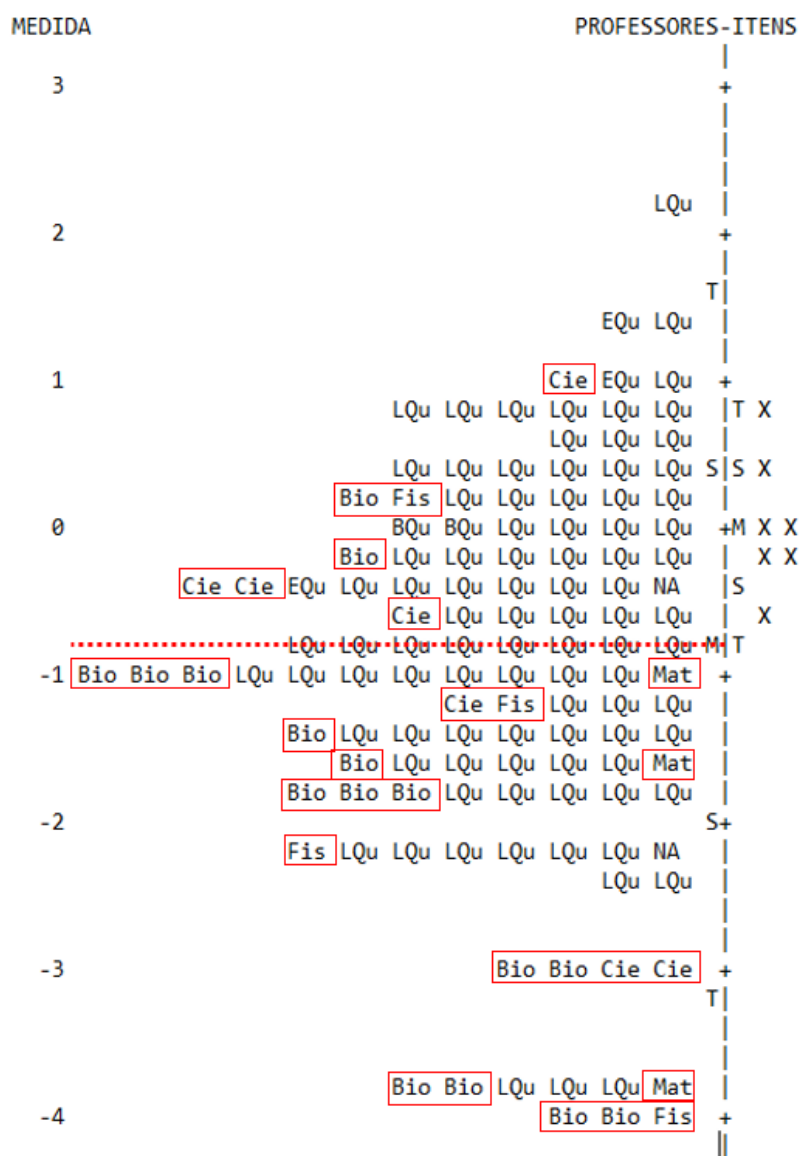


Figura 10: Mapa de Wright explicando a formação dos professores.

Fonte: Extraído do programa Winsteps[®] com marcação dos autores.

LQu: Possui ao menos licenciatura em Química; Equ: Engenharia em Química; BQu: Bacharelado em Química; Cie: Licenciatura em Ciências; Bio: Bacharelado ou Licenciatura em Biologia; Fis: Bacharelado ou Licenciatura em Física; Mat: Bacharelado ou Licenciatura em Matemática; NA: Sem resposta.

Ainda quanto à validade preditiva, elaboramos a hipótese de que os participantes no curso de Ensino de Pilha – oferecido pelo PEQuim/USP – teriam uma nota acima de média no teste. Isto porque tal curso tinha como objetivo o desenvolvimento do PCK dos professores participantes no conteúdo de Pilha (GOES, 2018), logo esperava-se que eles obtivessem melhores notas em um teste que avalia justamente este conhecimento. O desempenho dos professores que participaram no curso pode ser visto na Figura 11, a seguir:

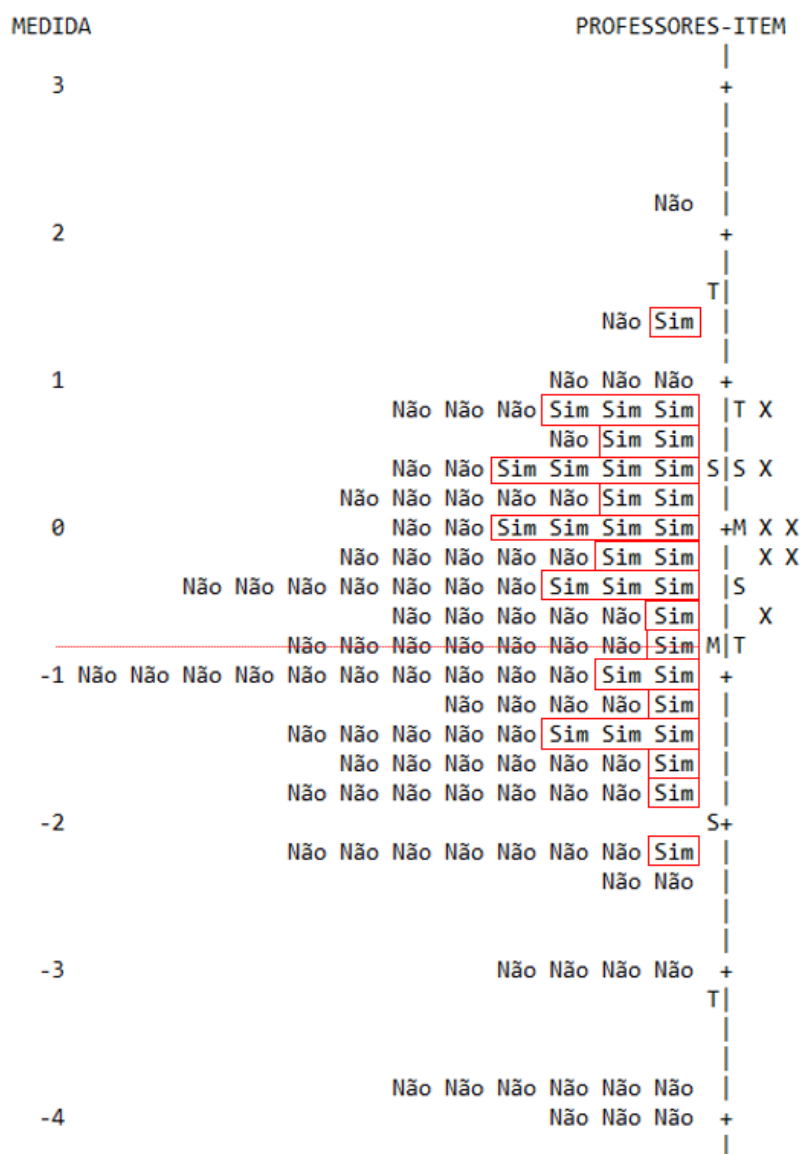


Figura 11: Mapa de Wright explicitando os professores que participaram do curso de formação continuada oferecido pelo PEQuim/USP.

Fonte: Extraído do programa Winsteps[®] com marcação dos autores.

Não: Não participaram do curso; Sim: Participaram do curso.

Por meio da Figura 11, pode-se verificar que 22 dos 32 professores que participaram do curso (professores marcados em vermelho) estão acima da média dos respondentes (linha vermelha tracejada), 1 está na média e 9 está abaixo da média. Assim, a hipótese elaborada, baseada na teoria de que um curso de Ensino desenvolverá o TSPCK dos professores, mostrou-se verdadeira e reforça a validade preditiva do teste.

g) Análise dos resíduos

Tendo em vista que se pretende que esta terceira versão do questionário seja, de fato, a versão final do teste, realizamos uma análise dos resíduos para reforçar os

indícios de unidimensionalidade do teste. Os resíduos do modelo Rasch são a diferença entre a resposta empírica de um determinado respondente em uma determinada questão e a resposta que foi prevista pelas probabilidades dos modelos (BARBERA, 2013).

Tais resíduos são submetidos a uma análise de componentes principais (LINACRE, 2017), a qual avalia se a variância dos itens se correlaciona ao acaso ou se há uma segunda dimensão no teste. Tal análise foi feita com o auxílio do programa Winsteps[®] (LINACRE, 2018), o qual calcula os autovetores (*eigenvalues*, do inglês) para cinco prováveis dimensões extras.

Os resultados da análise podem ser vistos na Figura 12. Desta análise três principais informações podem ser extraídas: a variância explicada pelo modelo (marcação verde), a variância explicada pelas outras dimensões que não a do teste (marcação vermelha) e a correlação entre os clusters de questões das prováveis dimensões.

Com relação à variância explicada pelo modelo, é esperado que o modelo explique empiricamente uma quantidade próxima do que foi teorizado (coluna *observed* versus coluna *expected*). Na análise, o modelo explicou aproximadamente a variância do que foi previsto (49,4% versus 50,4%). Quanto à variância explicada por prováveis outras dimensões (chamadas de *contrast* pelo Winsteps[®]), o esperado é que elas apresentem valores menores do que 2 autovetores (LINACRE 2018), o que foi observado em todos os cinco contrastes da análise. Por fim, no tocante à análise da correlação dos clusters, para que o teste seja unidimensional é esperado que as correlações se aproximem de um; tal resultado também pode ser visto na análise.

Com base nos três indícios observados na Figura 12, podemos afirmar que há fortes indícios de que o teste é unidimensional e, portanto, avalia somente o PCK de Pilha dos respondentes.

Table of STANDARDIZED RESIDUAL variance in Eigenvalue units = ITEM information units

	Eigenvalue	Observed	Expected
Total raw variance in observations =	13.8454	100.0%	100.0%
Raw variance explained by measures =	6.8454	49.4%	50.4%
Raw variance explained by persons =	3.5947	26.0%	26.5%
Raw Variance explained by items =	3.2507	23.5%	23.9%
Raw unexplained variance (total) =	7.0000	50.6%	100.0%
Unexplned variance in 1st contrast =	1.7833	12.9%	25.5%
Unexplned variance in 2nd contrast =	1.2752	9.2%	18.2%
Unexplned variance in 3rd contrast =	1.1703	8.5%	16.7%
Unexplned variance in 4th contrast =	1.0917	7.9%	15.6%
Unexplned variance in 5th contrast =	.8999	6.5%	12.9%

Approximate relationships between the PERSON measures

PCA Contrast	ITEM Clusters	Pearson Correlation	Disattenuated Correlation	Pearson+Extr Correlation	Disattenuated+Extr Correlation
1	1 - 3	0.3634	0.7031	0.4056	0.7787
1	1 - 2	0.5465	0.9956	0.5760	1.0000
1	2 - 3	0.4986	0.9026	0.5489	0.9785
2	1 - 3	0.3984	1.0000	0.4353	1.0000
2	1 - 2	0.4814	1.0000	0.5171	1.0000
2	2 - 3	0.6684	1.0000	0.7017	1.0000
3	1 - 3	0.3472	1.0000	0.3744	1.0000
3	1 - 2	0.4080	1.0000	0.4506	1.0000
3	2 - 3	0.5805	1.0000	0.5992	1.0000
4	1 - 3	0.4762	1.0000	0.4912	1.0000
4	1 - 2	0.4230	1.0000	0.4429	1.0000
4	2 - 3	0.6096	0.9887	0.6575	1.0000
5	1 - 3	0.6571	1.0000	0.6925	1.0000
5	1 - 2	0.5941	1.0000	0.6253	1.0000
5	2 - 3	0.4787	1.0000	0.5247	1.0000

Figura 12: Análise dos componentes principais dos resíduos.

Fonte: Extraído do programa Winsteps[®] com marcação dos autores.

h) Estratificação dos professores

Frente aos indícios de validade que foram discutidos ao longo deste item, defendemos que os resultados do teste são válidos e que, portanto, é possível estratificar os 128 professores em diferentes níveis.

Para realizar a estratificação seguimos a metodologia de Dogan (2018) de criação da Curva Característica da Escala (CCE), a qual consiste em somar todas as Curvas Características dos Itens. Assim, um gráfico das probabilidades cumulativas de cada uma das categorias foi plotado em função das medidas de conhecimentos dos professores, originando a Figura 13.

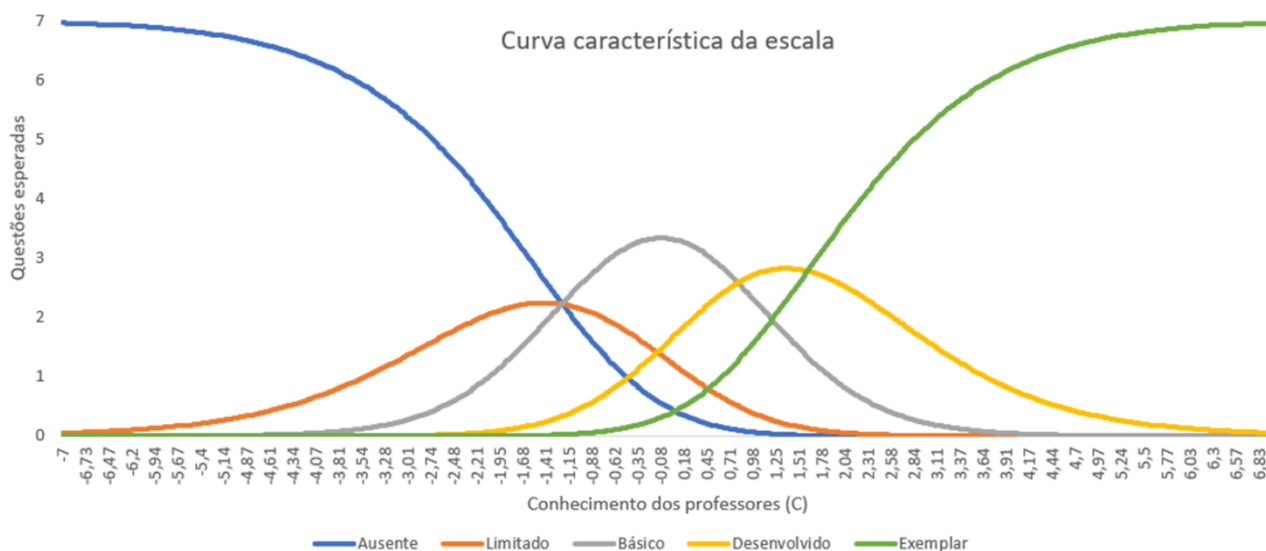


Figura 13: Curva característica da escala de TSPCK de Pilhas.

Fonte: Elaborada pelos autores.

O eixo das abscissas nesta CCE representa a medida do conhecimento dos professores participantes na escala de PCK de Pilhas. O eixo das ordenadas, por sua vez, representa, para cada uma das cinco curvas (ausente; limitado; básico; desenvolvido e; exemplar), o número de itens que receberão aquela classificação na avaliação. Então, por exemplo, a coordenada do ponto de encontro entre a curva *Ausente*, *Limitado* e *Básico* é aproximadamente $[-1,20 ; 2,3]$, o que significa que um respondente com medida de conhecimento igual a $-1,20$ tem grande possibilidade de ser atribuído, dentre as sete questões do teste, duas questões com a avaliação *Ausente*, duas com a avaliação *Limitado* e mais duas com a avaliação *Básico*⁵.

Após a CCE ser plotada, o próximo passo é identificar os pontos onde as curvas têm uma intersecção (DOGAN, 2018). Tais pontos serão as medidas de corte para fazer a estratificação da escala. Na Figura 14, a seguir, mostramos a CCE com as notas de corte. Cada faixa do estrato foi nomeado de acordo com os quatro níveis propostos por Mavhunga (2012) e Ndlovu (2014) – *Limitado*, *Básico*, *Desenvolvido* e *Exemplar* – mais a categoria *Ausente*.

Além dos pontos de corte definidos pela metodologia da CCE (os pontos de intersecção), optamos por adicionar um ponto de corte na medida $-3,0$, uma vez que professores com um conhecimento menor do que $-3,0$ têm maiores possibilidades de receber a nota *Ausente* em todas as sete questões, o que resultaria em um professor com

⁵ A soma neste exemplo não deu sete devido aos décimos do valor da ordenada.

PCK de Pilha ausente. As cinco faixas da estratificação são apresentadas no Quadro 14, bem como uma descrição do estrato e o número de professores presente no mesmo.

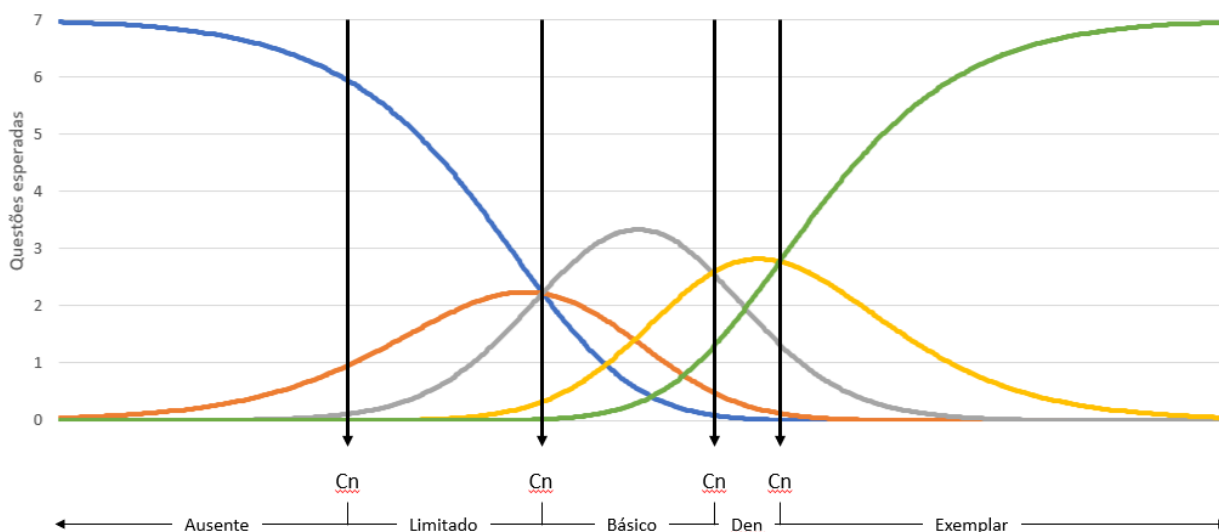


Figura 14: Curva característica da escala com os pontos de corte.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Cn: medida do conhecimento do professor; Den: Desenvolvido.

Quadro 14: Estratificação dos professores

Estrato	Intervalo de corte	Descrição	Nº
Ausente	-5,0 a -3,0	Entre os sete itens, os professores neste estrato têm maior possibilidade de receber uma avaliação <i>Ausente</i> do que qualquer outra avaliação.	3
Limitado	-3,0 a -1,2	Entre os sete itens, os professores neste estrato têm maior possibilidade de receber uma avaliação <i>Ausente</i> e <i>Limitado</i> do que qualquer outra avaliação.	28
Básico	-1,2 a 0,8	Entre os sete itens, os professores neste estrato têm maior possibilidade de receber uma avaliação <i>Básico</i> do que qualquer outra avaliação.	82
Desenvolvido	0,8 a 1,6	Entre os sete itens, os professores neste estrato têm maior possibilidade de receber uma avaliação <i>Desenvolvido</i> , seguido por uma avaliação <i>Básico</i> ou <i>Exemplar</i> .	12
Exemplar	1,6 a 5,0	Entre os sete itens, os professores neste estrato têm maior possibilidade de receber uma avaliação <i>Exemplar</i> e <i>Desenvolvido</i> do que qualquer outra avaliação.	3

Fonte: Elaborada pelos autores.

Ei, Barão! Vamos ver o Sol, Barão, e acompanhar os que virão, enviados por Miguel.

Tanto faz, eu me fazer passar por Marechais e desfilar por outras Marginais com os seus Duques, Presidentes.

Ei, Barão! A Imperatriz feriu teu coração, que bate um tanto atravessado, por cicatrizes transversais.

Orador, vem, cruza a Rosa, atravessa a flor, se faz Barão e quase construtor e some rumo aos Palmeirais

Vem, Barão, vem ver o rio invadir a avenida, águas revirarem vidas, transbordar em galerias.

Vem, Barão, viver a noite em verso contramão, e ver o renascer do dia no alto da ressurreição

Vamos ver o Sol, Barão, Validuaté

7. ANÁLISE DO AUTOCONCEITO DE PROFESSORES DE QUÍMICA

Nesta seção nos propusemos a responder à questão “existe uma dimensão tópico específica no autoconceito dos professores em conhecimentos de *Química* (SMK) e em conhecimentos de *como ensinar Química* (PCK)”? Para responder tal questão, os autoconceitos de 70 professores de Química do ensino médio foram avaliados, conforme descrito no capítulo 3, pela subescala *Processamento de conhecimento* do instrumento BEvaKomp (BRAUN; GUSY; LEIDNER; HANNOVER, 2008), a qual foi adaptada para avaliar a autopercepção do professor acerca de seus conhecimentos sobre o conteúdo de Química, do tópico de Eletroquímica e do tópico favorito do mesmo, bem como de seus conhecimentos sobre como ensinar tais conteúdos e tópicos. Assim, cada professor preencheu seis subescalas, sendo três para o SMK (o conteúdo e tópicos de Química) e três para o PCK (como ensinar tais conteúdos e tópicos).

7.1 SUBESCALAS DO CONHECIMENTO DO CONTEÚDO DE QUÍMICA

Para a análise do autoconceito do SMK de Química, os professores deveriam se posicionar entre “Discordo fortemente”, “Discordo”, “Concordo” e “Concordo fortemente” às seguintes afirmações: Eu me lembro da maioria dos termos e fatos importantes sobre *Química/ Eletroquímica/ meu tópico favorito* (Questão 1); Eu consigo

dar uma visão geral dos tópicos sobre *Química/ Eletroquímica/ meu tópico favorito* (Questão 2); Eu consigo explicar claramente assuntos complicados sobre *Química/ Eletroquímica/ meu tópico favorito* (Questão 3); e Eu consigo elaborar uma questão ou indagação típica sobre *Química/ Eletroquímica/ meu tópico favorito* (Questão 4). A seguir, apresentaremos uma visão geral da resposta dos professores às três subescalas.

Na Figura 15 apresentamos a distribuição das respostas dos professores à primeira subescala: conhecimento, de modo geral – isto é, enquanto um todo –, do conteúdo de Química.

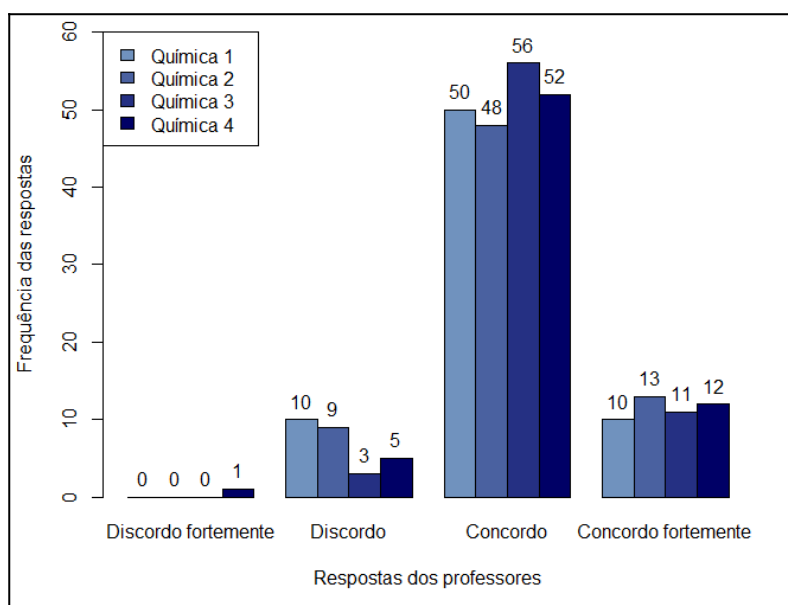


Figura 15: Distribuição das respostas na subescala sobre SMK de Química.
Fonte: Elaborada pelos autores

A partir da Figura 15, podemos observar que a maioria dos professores concorda com as quatro afirmações (de 48, em Química 2, a 56, em Química 3), alguns concordam fortemente (de 10, em Química 1, a 13, em Química 2) e a minoria discorda (de 3, Química 3, a 10, em Química 1), sendo que apenas um professor discorda fortemente, em Química 4. Deste modo, percebe-se que os professores possuem uma autopercepção positiva acerca de seus conhecimentos gerais em química.

Na Figura 16, apresentamos a distribuição das respostas dos professores à segunda subescala: SMK do tópico de Eletroquímica.

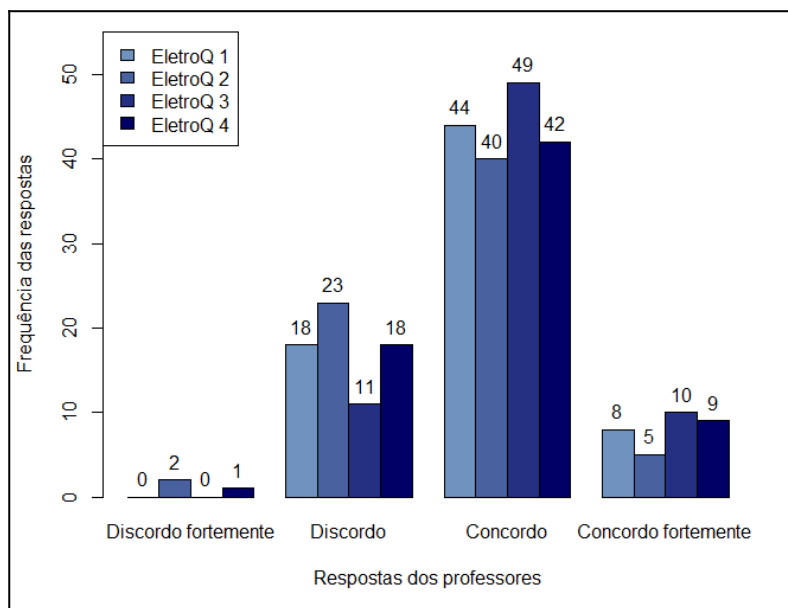


Figura 16: Distribuição das respostas na subescala sobre SMK de Eletroquímica.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Similar à subescala anterior, a maioria dos professores concorda com as quatro afirmações (de 40, em EletroQ 2, a 49, em EletroQ 3). Entretanto, no caso dessa subescala, o número de professores que concordam fortemente diminuiu (entre 5, em EletroQ 2, a 10, em EletroQ 3), enquanto o número de professores que discorda aumentou (entre 11, em EletroQ 3, a 23, em EletroQ 2). Os professores que discordam fortemente são, ainda, a minoria, havendo apenas 3 professores. Apesar da diminuição do número de concordâncias e o aumento do número de discordâncias, os professores continuam apresentando, no geral, uma autopercepção positiva acerca de seus conhecimentos no tópico de Eletroquímica.

Por último, apresentamos a distribuição das respostas dos professores à terceira subescala – SMK do tópico favorito – na Figura 17.

Na última subescala é possível observar um grande número de concordâncias: a quantidade de “Concordo” ficou de 47, em Favorita 1, a 52, em Favorita 4; a quantidade de “Concordo fortemente” ficou de 16, em Favorita 4, a 19, em Favorita 1 e 2. O número de discordâncias, consequentemente, apresentou uma diminuição: “Discordo” ficou de 1, em Favorita 3 e Favorita 4, a 4, em Favorita 2; “Discordo fortemente” continuou sendo o menor, com apenas dois professores marcando esta opção. Também nesta subescala, os professores apresentam uma autopercepção positiva a respeito de seus conhecimentos sobre o tópico favorito.

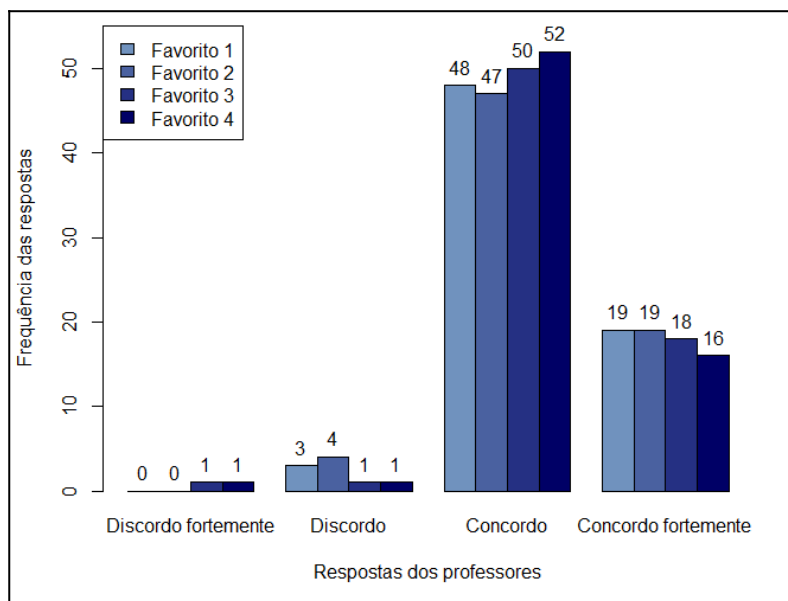


Figura 17: Distribuição das respostas na subescala sobre SMK do Tópico Favorito.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Para realizar uma comparação entre as três subescalas, somamos a frequência de cada categoria entre as quatro questões de cada subescala, ou seja, a quantidade de “Discordo fortemente”, “Discordo”, “Concordo” e “Concordo fortemente” presentes ao todo, para cada subescala. O resultado da soma pode ser visto na Figura 18, abaixo.

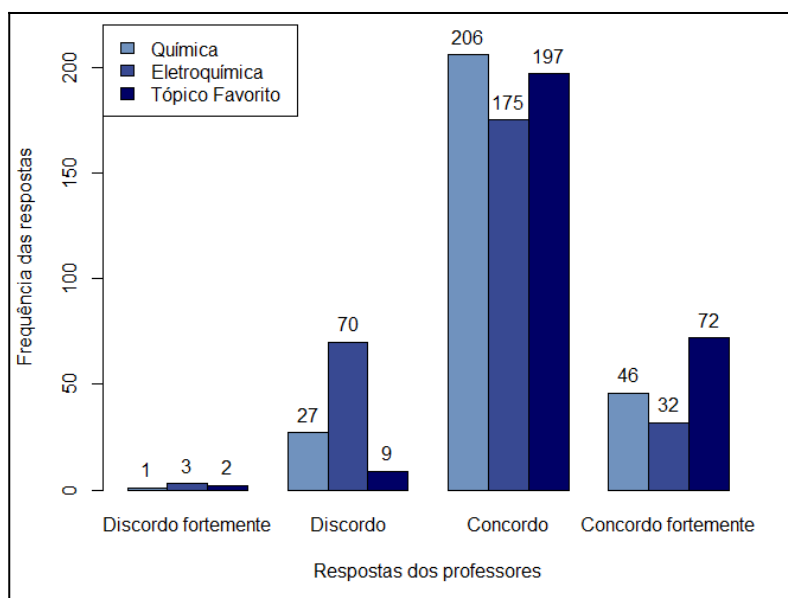


Figura 18: Distribuição das respostas por subescala do conhecimento do conteúdo.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme esperado, dentre as três, a subescala do Tópico Favorito foi a que teve um maior número de concordâncias (considerando-se “Concordo” e “Concordo

fortemente”). Isto significa que em seu tópico favorito, o professor possui uma autopercepção mais positiva, sendo mais confiante para afirmar que possui conhecimento para explicar assuntos gerais, complexos, e realizar indagações. Percebe-se, então, uma relação diretamente proporcional entre afinidade (favoritismo do tópico) e confiança para afirmar que possui determinado conhecimento (percepção sobre o domínio no conteúdo).

Em oposição, o tópico de Eletroquímica apresentou o maior número de discordâncias: mais do que o dobro em relação ao conteúdo de Química e quase oito vezes maior em relação ao Tópico Favorito. Uma vez que uma maior afinidade influencia positivamente a autopercepção, podemos supor que uma menor afinidade pode influenciar de maneira negativa. É relatado na literatura que o tópico de Eletroquímica é considerado difícil pelos professores (GOES, 2018), o que pode influenciar na afinidade deles com relação ao conteúdo. Quanto aos professores deste estudo, apenas cinco consideraram Eletroquímica como tópico favorito.

7.2 SUBESCALAS DO CONHECIMENTO PEDAGÓGICO DO CONTEÚDO DE QUÍMICA

Para a análise do autoconceito do PCK de Química, os professores deveriam se escolher entre “Discordo fortemente”, “Discordo”, “Concordo” e “Concordo fortemente” às seguintes afirmações: Eu me lembro da maioria dos termos e fatos importantes sobre *como ensinar Química/ Eletroquímica/ meu tópico favorito* (Questão 1); Eu consigo dar uma visão geral dos tópicos sobre *como ensinar Química/ Eletroquímica/ meu tópico favorito* (Questão 2); Eu consigo elaborar uma questão ou indagação típica sobre *como ensinar Química/ Eletroquímica/ meu tópico favorito* (Questão 4) e ; Eu consigo trabalhar as contradições e semelhanças sobre *como ensinar Química/ Eletroquímica/ meu tópico favorito* (Questão 4). A seguir, apresentaremos uma visão geral da resposta dos professores às três subescalas.

Na Figura 19, apresentamos a distribuição das respostas dos professores à primeira subescala: PCK disciplinar de Química, isto é, os conhecimentos gerais para ensinar Química pensando na mesma como um todo.

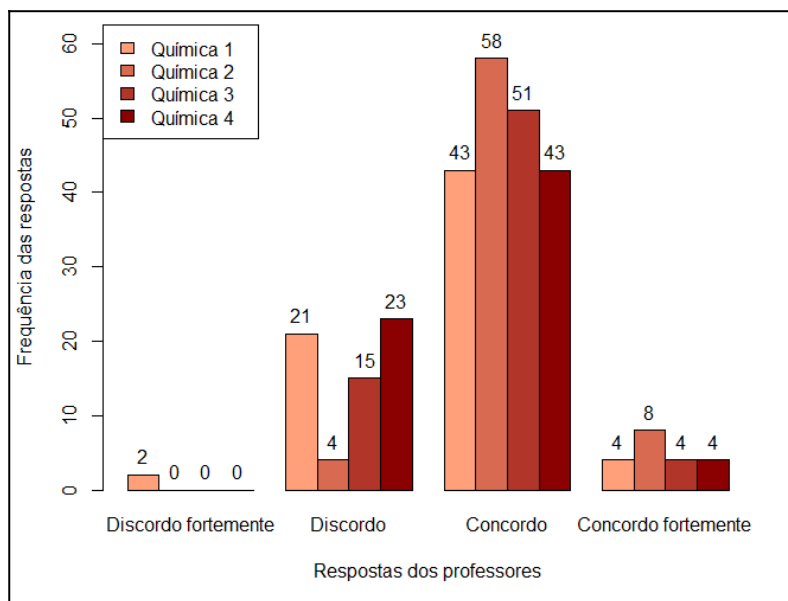


Figura 19: Distribuição das respostas na subescala sobre PCK de Química.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Observando a Figura 19, podemos perceber que a maioria dos professores concorda com as quatro afirmações (de 43, em Química 4, a 58, em Química 2), alguns concordam fortemente (de 4, em Química 1, Química 3 e Química 4, a 8, em Química 2) e a minoria discorda (de 4, em Química 2, a 23, em Química 4); apenas dois professores marcaram “discordo fortemente”, ambos em Química 1. Semelhante ao observado nos questionários de autoconceito do conhecimento do conteúdo, os professores também possuem uma autopercepção positiva acerca de seus conhecimentos gerais sobre como ensinar química.

Posteriormente, apresentamos a distribuição das respostas dos professores à segunda subescala – PCK de Eletroquímica – na Figura 20.

Comparando a subescala de Eletroquímica com a de Química, podemos perceber que há um salto crescente no número de discordâncias e, conseqüentemente, um salto decrescente no número de concordâncias. Dentre as questões, a Questão 1 teve a maior variação, aumentando em 60% a frequência de “Discordo” e diminuindo em 40% a frequência de “Concordo”. Ademais, as questões 3 e 4 também apresentaram grandes variações. Apesar disso, a maioria dos professores apresentou uma maior concordância (“Concordo” mais “Concordo fortemente”) em três das quatro questões: EletroQ 2, EletroQ 3 e EletroQ 4. Em suma: embora as discordâncias aumentaram, a autopercepção dos professores acerca de como ensinar Eletroquímica também é positiva.

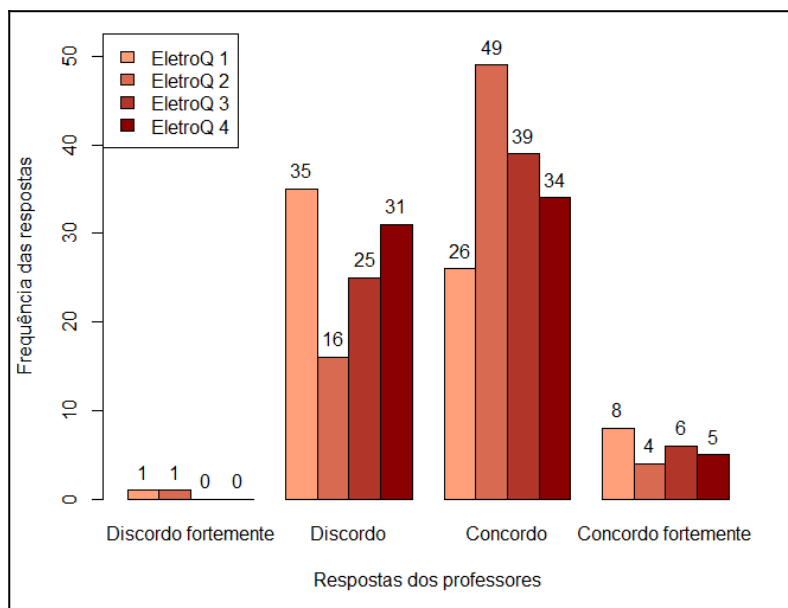


Figura 20: Distribuição das respostas na subescala sobre conhecimento do conteúdo de Eletroquímica. Fonte: Elaborada pelos autores.

Finalizando as subescalas de PCK, apresentamos, na Figura 21, a distribuição das respostas dos professores à subescala de PCK do tópico favorito.

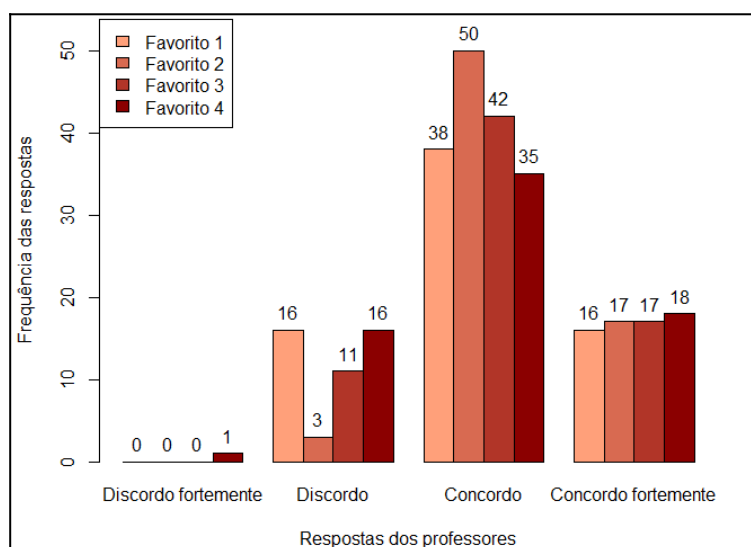


Figura 21: Distribuição das respostas na subescala sobre conhecimento do conteúdo do Tópico Favorito. Fonte: Elaborada pelos autores.

Observamos, na subescala Tópico Favorito, um aumento no número de concordâncias: a quantidade de “Concordo” ficou de 35, em Favorita 4, a 50, em Favorita 2) e; a quantidade de “Concordo fortemente” ficou de 16, em Favorita 1, a 18, em Favorita 1 e 2). O número de discordâncias, consequentemente, apresentou uma diminuição: “Discordo” ficou de 3, em Favorita 2, a 16, em Favorita 1 e Favorita 4);

“Discordo fortemente” teve apenas uma marcação, em Favorita 4. Também nesta subescala, os professores apresentam uma autopercepção positiva a respeito de seus conhecimentos sobre o tópico favorito.

Conforme fizemos para as subescalas do conhecimento do conteúdo, somamos a frequência das quatro opções de respostas presentes ao todo, para cada subescala, a fim de compararmos as três subescalas, como pode ser visto na Figura 22.

Assim como para as subescalas do conhecimento do conteúdo, esperávamos que a subescala do Tópico Favorito, dentre as três, apresentasse um maior número de concordâncias, expectativa que foi alcançada. Isto significa que, no tópico que o professor mais gosta de lecionar, ele possui uma autopercepção mais positiva, sendo mais confiante para afirmar que possui conhecimento para explicar assuntos gerais, complexos, e realizar indagações. Percebe-se, também para o autoconceito do PCK, uma relação diretamente proporcional entre afinidade (favoritismo do tópico) e confiança para afirmar que possui determinado conhecimento (percepção sobre o domínio no PCK). O tópico de Eletroquímica, por sua vez, apresentou o maior número de discordâncias: aproximadamente um terço dos professores, sendo quase 40% a mais que o conteúdo de Química e mais do dobro em relação ao Tópico Favorito.

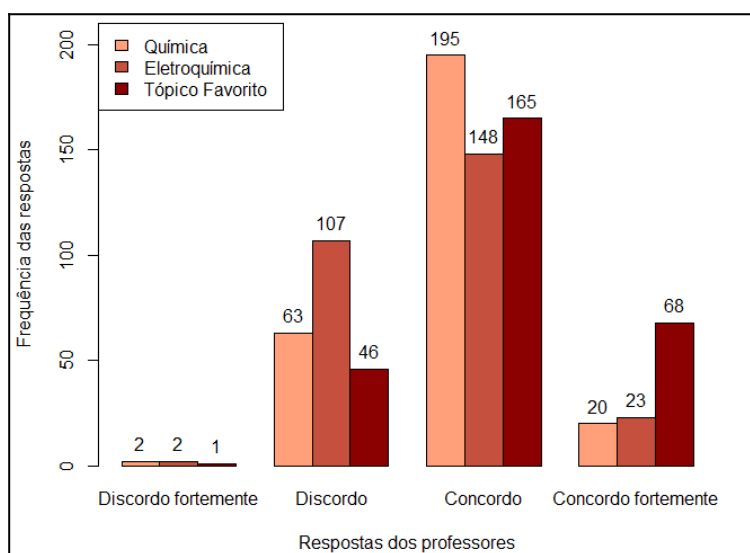


Figura 22: Distribuição das respostas por subescala do conhecimento do conteúdo.

Fonte: Elaborada pelos autores

7.3 CONHECIMENTO DO CONTEÚDO × CONHECIMENTO PEDAGÓGICO DO CONTEÚDO

À medida que fomos apresentando os dados para todas as subescalas, pode-se perceber que as respostas, comparando-se os mesmos conteúdos, para as subescalas de SMK apresentaram mais concordâncias do que as de PCK. Para enfatizar esta diferença, apresentamos a seguir a distribuição das respostas dos professores às subescalas de ambos os conhecimentos. Consideramos como pontuação final a soma das opções em todas as questões da subescala. Na Figura 23, pode-se observar a distribuição das subescalas referentes à Química.

A maioria das opções selecionadas pelos professores é “Concordo” em ambas as subescalas (195 para o PCK e 206 para o SMK), sendo esta opção a moda para essa subescala. Contudo, a segunda categoria mais selecionada pelos professores nas duas subescalas é diferente: “Concordo fortemente” (46) para o SMK e; “Discordo” (63) para o PCK. Logo, a autopercepção dos professores quanto à Química de maneira geral, pensando-a como uma disciplina, é mais positiva quando eles avaliam seus conhecimentos do que quando pensam em ensiná-lo.

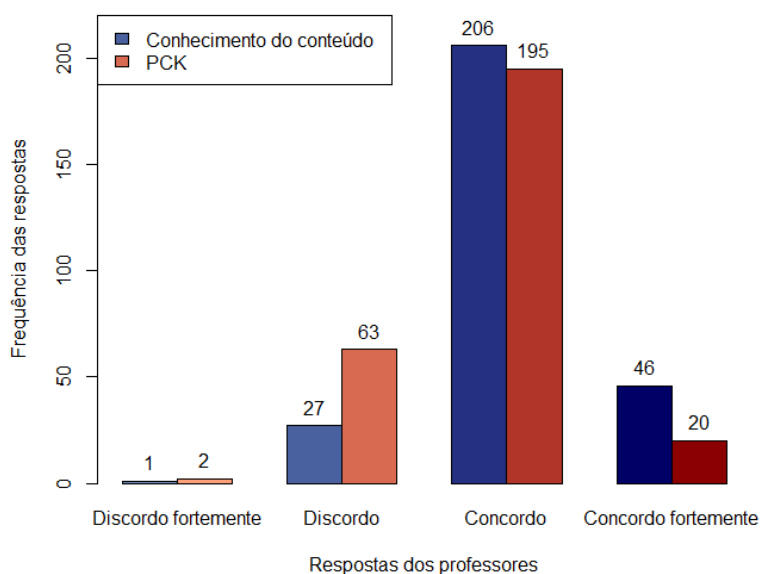


Figura 23: Distribuição das respostas às subescalas SMK e PCK de Química. ensinar Química
Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Figura 24, pode-se verificar a distribuição das respostas às subescalas referentes à Eletroquímica.

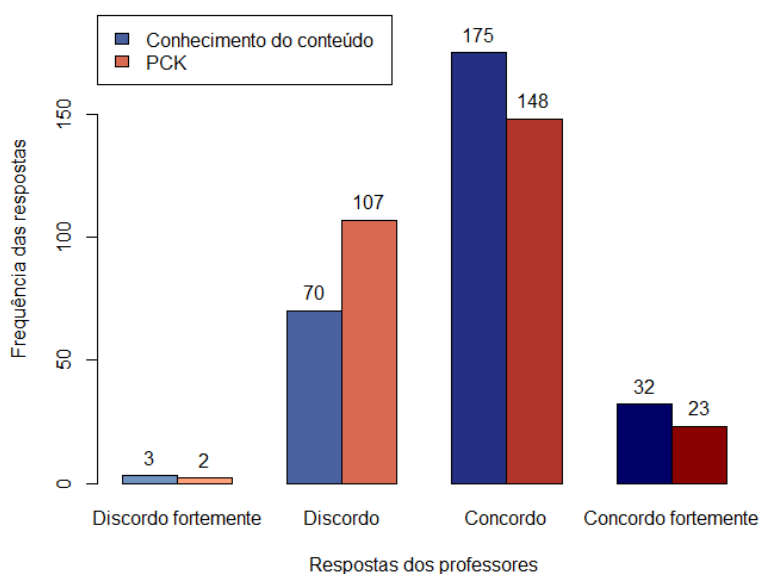


Figura 24: Distribuição das respostas às subescalas SMK e PCK de Eletroquímica.
Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir da figura, verificamos novamente que a maioria das opções escolhidas pelos professores é “Concordo” em ambas as subescalas (148 para o PCK e 175 para o SMK). Porém, diferente das subescalas referentes à Química, em Eletroquímica a opção “Discordo” é a segunda selecionada para ambas as subescalas (70 para o SMK e 107 para o PCK). Ademais, também para Eletroquímica, os professores afirmam, a partir da autopercepção dos próprios, possuir um maior domínio em Eletroquímica do que em ensinar Eletroquímica.

Finalizando as distribuições das respostas às subescalas, apresentamos na Figura 25 os resultados referentes ao tópico favorito do professor.

A resposta dos professores a respeito de seus conhecimentos do tópico favorito, tal qual os conhecimentos para ensiná-lo, apresenta uma grande frequência na opção “Concordo” (165 para o PCK e 197 para o SMK) e possuem a maior frequência de “Concordo fortemente” dentre as três subescalas (65 para o PCK e 72 para o SMK). Entretanto, um ponto que chama atenção é o número de opções “Discordo” selecionadas: comparando-se com as respostas à subescala de Química, a frequência diminuiu em 66% para o SMK (de 27 para 9) e apenas cerca 27% para o PCK (de 63 para 46). Tais resultados apontam que os professores percebem, mesmo que inconsciente, que conhecer e dominar o conteúdo não é sinônimo de conseguir ensiná-lo; ademais, apesar de apresentarem uma autopercepção positiva em todas as três

escalas, os professores consideram que conhecem o conteúdo mais do que conseguem ensiná-lo.

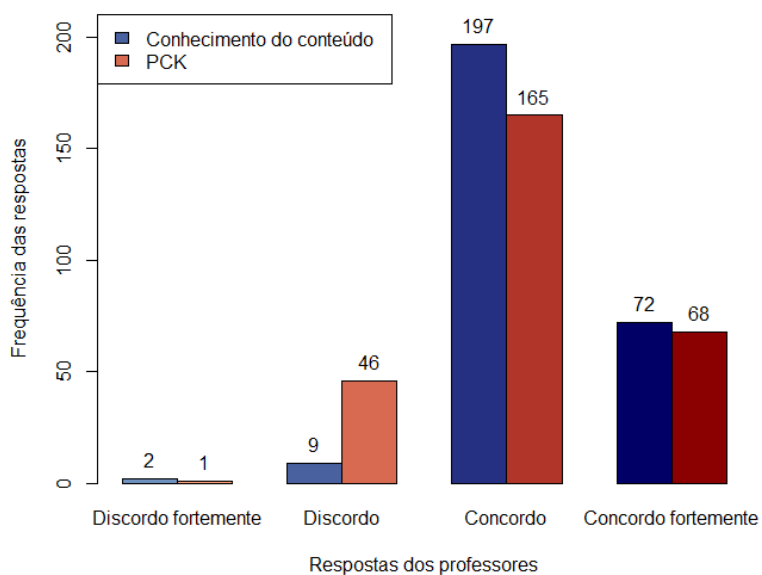
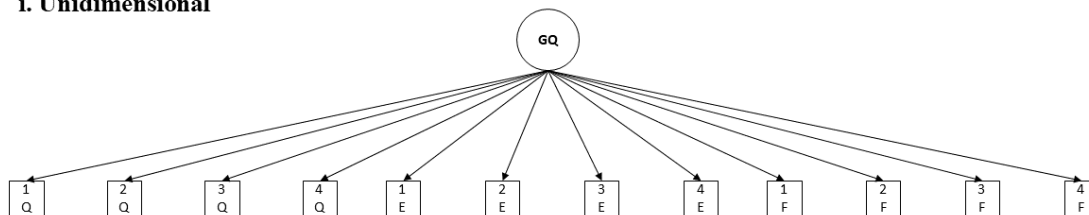


Figura 25: Distribuição das respostas às subescalas de SMK e PCK do tópico favorito.
Fonte: Elaborada pelos autores.

7.4 Estrutura dimensional do autoconceito em SMK

Para explorarmos se o autoconceito em conhecimento do conteúdo de Química é um constructo apenas disciplinar-específico ou se também possui um carácter tópico-específico, elaboramos e comparamos quatro modelos distintos, conforme representados nas Figura 26 (modelos *i* e *ii*) e Figura 27 (modelos *iii* e *iv*).

i. Unidimensional



ii. Tridimensional com correlações fixas

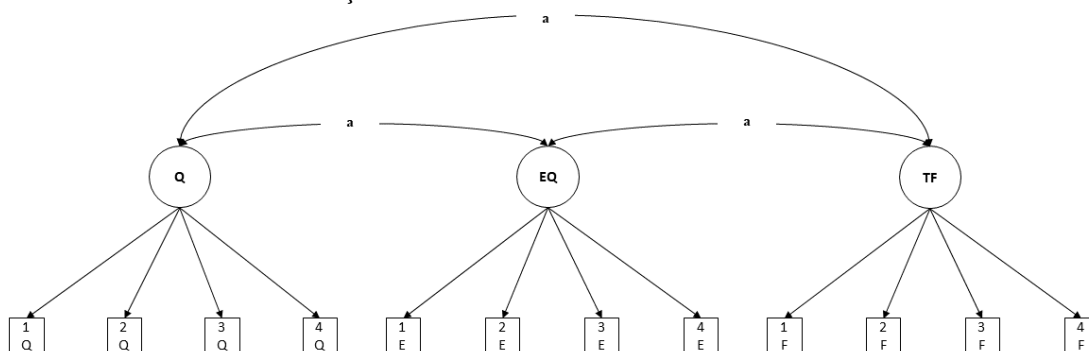


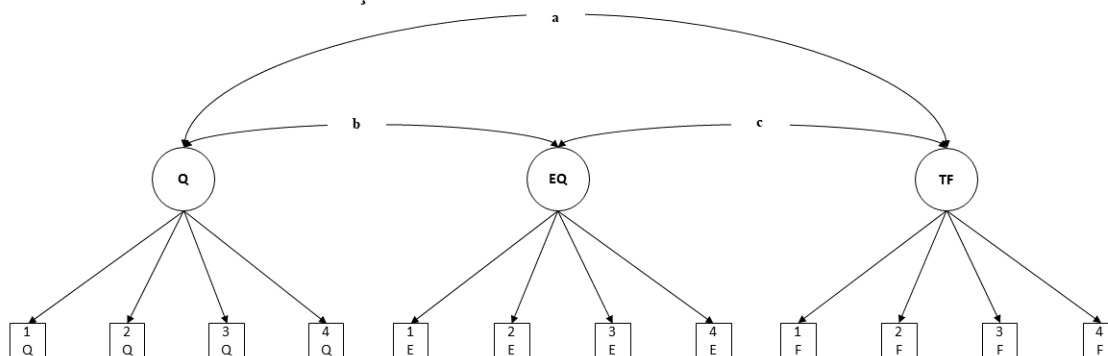
Figura 26: Modelos unidimensional e tridimensional com correlações fixas do autoconceito do conhecimento do conteúdo de Química.

Fonte: Elaborada pelos autores. GQ: Dimensão referente ao autoconceito geral de Química; Q: Dimensão referente à Química; EQ: Dimensão referente à Eletroquímica; TF: Dimensão referente ao Tópico Favorito de Química.

No primeiro modelo, o unidimensional, todas as três subescalas do questionário são explicadas por uma mesma dimensão: a dimensão disciplinar-específica de Química. Tal modelo foi proposto a partir da perspectiva de que o autoconceito é disciplinar – ou seja, haveria um autoconceito para a Química, outro para a Biologia, e assim por diante – e, portanto, haveria apenas uma dimensão.

No segundo modelo, o tridimensional com os parâmetros fixos, cada bloco de questão é explicado por uma dimensão distinta, isto é, as quatro questões sobre o conteúdo de Química são explicadas pela dimensão Química, as quatro questões sobre o conteúdo de Eletroquímica são explicadas pela dimensão Eletroquímica e as quatro questões sobre o tópico favorito são explicadas pela dimensão Tópico Favorito. Ainda quanto a esse segundo modelo, os parâmetros das correlações entre as dimensões foram modelados para serem as mesmas, ou seja, todas as dimensões se correlacionam de maneira igual entre si.

iii. Tridimensional com correlações livres



iv. Bifatorial

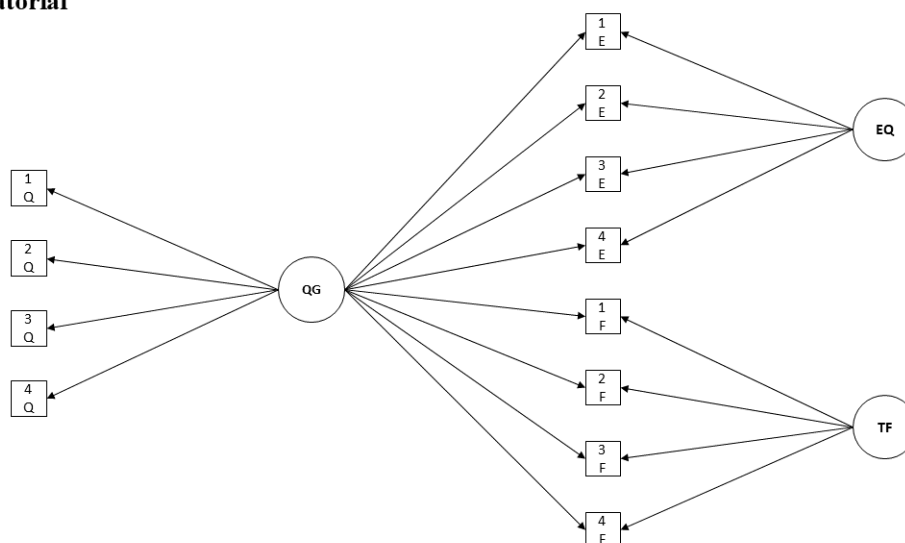


Figura 27: Modelos tridimensional com correlações livres e bifatorial do autoconceito do conhecimento do conteúdo de Química.

Fonte: Elaborada pelos autores. QG: Dimensão referente ao autoconceito geral de Química; Q: Dimensão referente à Química; EQ: Dimensão referente à Eletroquímica; TF: Dimensão referente ao Tópico Favorito de Química.

O terceiro modelo, tridimensional com os parâmetros livres, é similar ao segundo modelo: cada bloco de questão é explicado por uma dimensão distinta. A diferença deste modelo com aquele são os parâmetros das correlações: no terceiro modelo tais parâmetros são livres, ou seja, os valores das correlações entre as dimensões não são fixados para serem os mesmos, podendo, assim, assumirem valores distintos. Tanto o segundo quanto o terceiro modelos foram propostos a partir da perspectiva de que o autoconceito, apesar de possuir uma dimensão disciplinar específica, também apresenta dimensões tópico específicas, e todas apresentam correlações entre si.

O quarto modelo parte de uma premissa distinta: enquanto os três primeiros modelos são unifatoriais, isto é, cada questão é explicada por apenas uma dimensão, o

quarto modelo é bifatorial, isto é, as questões podem ser explicadas por duas dimensões distintas. A partir disso, o modelo foi feito de modo a ter três dimensões, sendo que a dimensão Química explica todos os blocos de questões, a dimensão Eletroquímica explica apenas o bloco das questões de Eletroquímica, e a dimensão do Tópico Favorito explica apenas o bloco das questões sobre o Tópico Favorito. Este último modelo foi proposto a partir da perspectiva de que o autoconceito apresenta dimensões disciplinares e tópico específicas, porém com a disciplinar específica perpassando por todas as dimensões tópico específicas. Assim, não haveria uma correlação direta entre as dimensões tópico específicas e tais tópicos estariam relacionados por pertencerem à mesma dimensão disciplinar específica.

Como mostrado na Tabela 9, o modelo unidimensional não apresentou valores de adequação estatística. Isto ocorreu pois não foi possível encontrar uma solução para o modelo. Entre os dois modelos tridimensionais, apenas o modelo com correlações livres apresentou um valor χ^2 não-significativamente diferente⁶. Apesar deste modelo não ter se adequado a todos os valores sugeridos por Hu e Bentler (1999) – o modelo apresentou valores de RMSEA > 0.06 e SRMR > 0.08 –, eles ficaram próximos do limite. O modelo que se mostrou estatisticamente mais adequado foi o modelo bifatorial: χ^2 não-significativamente diferente; CFI = 1.0; RMSEA < do que 0.06; e o SRMR mais próximo de 0,08.

Tabela 9: Estatística dos três modelos de autoconceito do conhecimento do conteúdo de Química.

Modelos de CK		χ^2	gl	p	CFI	RMSEA	SRMR
i.	Unidimensional	-	-	-	-	-	-
ii.	Tridimensional com correlações fixas	127.050	53	0.00	0.99 3	0.149	0.131
iii.	Tridimensional com correlações livres	67.248	51	0.63	0.99 9	0.071	0.097
iv.	Bifatorial	50.562	46	0.29	1.00 0	0.040	0.082

Fonte: Elaborada pelos autores.

Valores de referência para uma boa adequação estatística (HU; BENTLER, 1999): $p > 0,05$; CFI > 0,95; RMSEA < 0,06; SRMR < 0,08.

⁶ Espera-se um resultado não-significativamente diferente pois o que é testado é se os resultados produzidos pelo modelo são semelhantes ou não aos resultados empíricos. Caso o modelo explique os resultados empíricos, não haverá diferença significativa; caso o modelo não explique os resultados, haverá diferença significativa.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 9, os modelos que possuem dimensões disciplinar e tópico específica se adequam melhor aos índices de validade. O modelo bifatorial, em específico, foi o que apresentou melhor adequação estatística e, também baseado nos aspectos teóricos da proposição do modelo, é o modelo que melhor explica a estrutura do autoconceito do conhecimento do conteúdo de Química dos professores. Esta seria a primeira evidência empírica de que professores de Química possuem um autoconceito tópico-específico.

Na Figura 28 podemos ver as cargas fatoriais dos itens que compõe a dimensão disciplinar específica (GQ), bem como as cargas fatoriais dos itens que compõem cada uma das dimensões tópico específico.

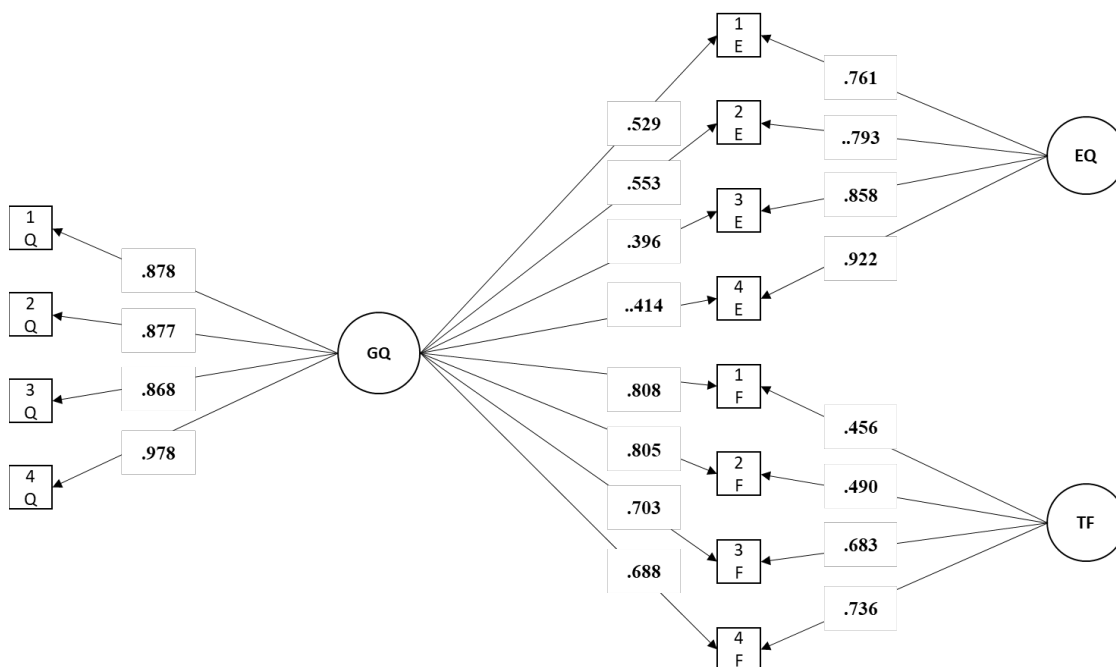


Figura 28: Modelo bifatorial do autoconceito do conhecimento de Química de professores, incluindo os parâmetros padronizados.

Fonte: Elaborada pelos autores. Todos os valores possuem um $p < 0.001$.

Pode-se perceber que todas as questões sobre o conteúdo de Química são explicadas de maneira relevante⁷ e similar pela dimensão geral de Química. As questões sobre o conteúdo de Eletroquímica também são explicadas de maneira relevante e similar pela dimensão de Eletroquímica, bem como são explicadas, mas em menor grau, pela dimensão geral de Química. Por fim, as questões sobre o Tópico Favorito do professor são explicadas em maior grau pela dimensão geral de Química do que pela

⁷ Quanto mais próximo de 1.0, maior é a contribuição daquela questão à dimensão. Valores acima de 0.4 são considerados como relevantes para a definição da dimensão.

dimensão tópico específico de Tópico Favorito. Uma justificativa para tal resultado é que, ao avaliar seus conhecimentos sobre seu tópico favorito, o professor leva em consideração o seu conhecimento de Química como um todo – caso o professor acredite que possui um bom conhecimento em Química, provavelmente ele acreditará que possui um bom conhecimento naqueles tópicos que prefere.

7.5 Estrutura dimensional do autoconceito em PCK

De maneira similar ao que fizemos para explorar a provável multidimensionalidade do autoconceito em SMK de Química, elaboramos e comparamos quatro modelos distintos para avaliar a multidimensionalidade do autoconceito em PCK de Química. Os modelos propostos são similares aos apresentados na seção anterior, mas com as questões referentes ao conhecimento pedagógico do conteúdo de Química, de Eletroquímica e do Tópico Favorito, conforme representados nas Figura 29 (modelos *i* e *ii*) e Figura 30 (modelos *iii* e *iv*).

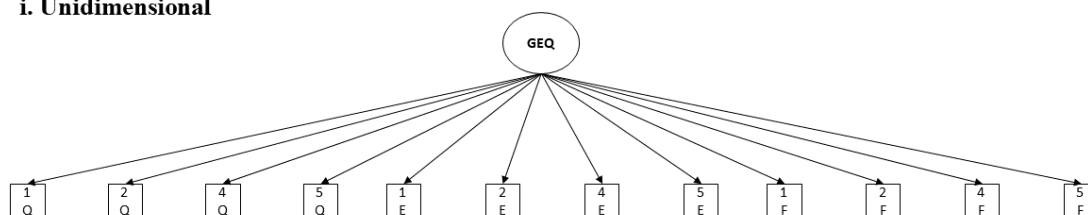
O primeiro modelo, unidimensional, foi elaborado associando-se todas as doze questões do questionário de PCK de Química (quatro sobre Ensino de Química, quatro sobre Ensino de Eletroquímica e quatro sobre Ensino do Tópico Favorito) a apenas uma dimensão: a dimensão geral do PCK de Química. Tal modelo foi proposto a partir da perspectiva de que o autoconceito de PCK de Química é disciplinar específico e, portanto, haveria apenas um autoconceito.

Os segundo e terceiro modelos são tridimensionais, assim, cada bloco de questões sobre Ensino é explicado por uma dimensão de autoconceito de PCK distinta. Por exemplo, as quatro questões sobre Ensino de Eletroquímica são explicadas pela dimensão PCK de Eletroquímica. A diferença entre o segundo e o terceiro modelo é que aquele tem parâmetros de correlação fixos, enquanto este tem os parâmetros livres. Ambos os modelos foram propostos a partir da perspectiva de que o autoconceito, apesar de possuir uma dimensão disciplinar específica, também apresenta dimensões tópico específicas.

Por fim, o quarto modelo parte da premissa de que as questões podem ser explicadas por duas dimensões distintas. Então, o modelo foi feito de modo a ter três dimensões, sendo que a dimensão PCK de Química explica todos os blocos de questões, a dimensão PCK de Eletroquímica explica apenas o bloco das questões de Eletroquímica, e a dimensão de PCK do Tópico Favorito explica apenas o bloco das

questões sobre o Tópico Favorito. A premissa teórica que utilizamos para propor este modelo é similar àquela utilizada no quarto modelo do autoconceito de conhecimento de Química: o autoconceito de PCK de Química apresenta dimensões disciplinares e tópico específicas, porém com a disciplinar específica perpassando por todas as dimensões tópico específicas. Deste modo, não haveria uma correlação direta entre as dimensões tópico específicas e tais tópicos estariam relacionados por pertencerem à mesma dimensão disciplinar específica.

i. Unidimensional



ii. Tridimensional com correlações fixas

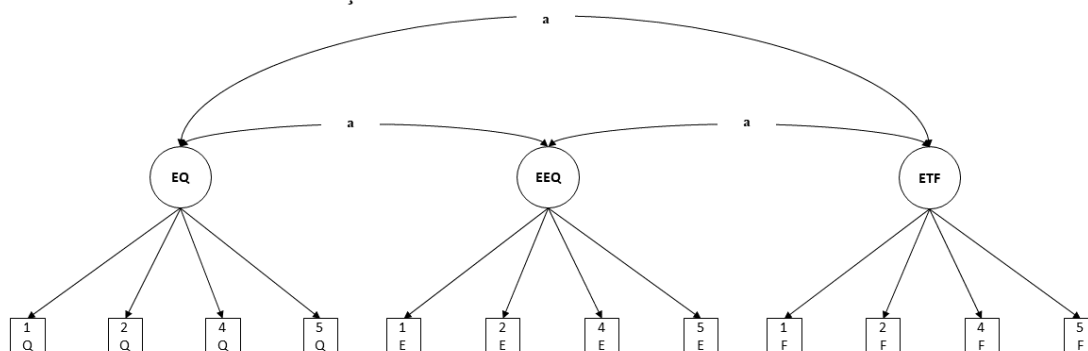
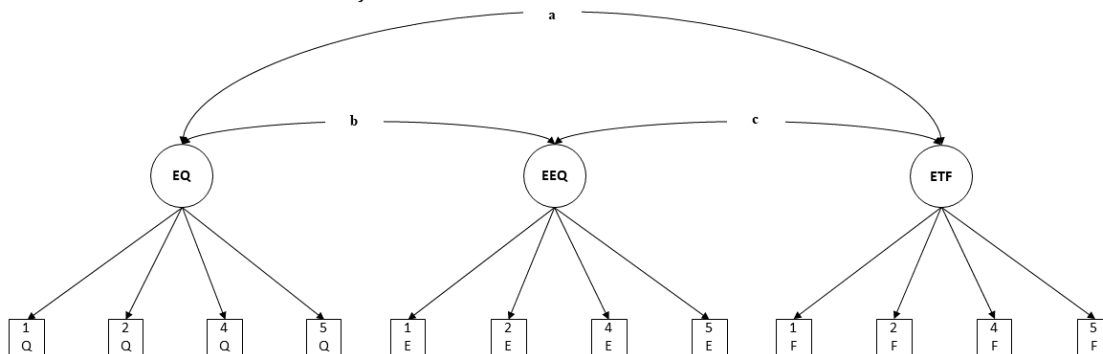


Figura 29: Modelos unidimensional e tridimensional com correlações fixas do autoconceito do conhecimento pedagógico do conteúdo de Química.

Fonte: Elaborada pelos autores. GEQ: Dimensão referente ao autoconceito geral de Ensino de Química; EQ: Dimensão referente ao Ensino de Química; EEQ: Dimensão referente ao Ensino de Eletroquímica; ETF: Dimensão referente ao Ensino do Tópico Favorito de Química.

iii. Tridimensional com correlações livres



iv. Bifatorial

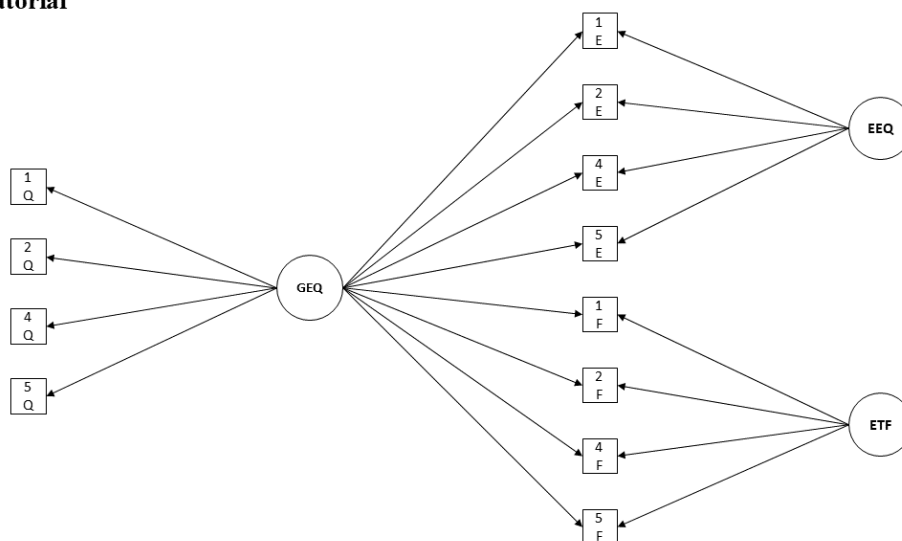


Figura 30: Modelos tridimensional com correlações livres e bifatorial do autoconceito do conhecimento pedagógico do conteúdo de Química.

Fonte: Elaborada pelos autores. GEQ: Dimensão referente ao autoconceito geral de Ensino de Química; EQ: Dimensão referente ao Ensino de Química; EEQ: Dimensão referente ao Ensino de Eletroquímica; ETF: Dimensão referente ao Ensino do Tópico Favorito de Química.

Os valores das adequações estatísticas dos modelos supracitados são apresentados na Tabela 10. Diferente do modelo unidimensional do autoconceito de conteúdo de Química, o modelo unidimensional do autoconceito de PCK de Química apresentou valores de adequação estatística, embora apenas o valor CFI está dentro do recomendado. O modelo tridimensional com correlações fixas também apresentou apenas o CFI com valores dentro da faixa aceitável. O modelo com correlações livres apresentou, além de um CFI adequado, um χ^2 não-significativamente diferente; os índices RMSEA e SRMR, entretanto, apresentaram valores próximos ao limite recomendado. Enfim, de maneira similar ao autoconceito de conteúdo de Química, o modelo que se mostrou estatisticamente mais adequado foi o modelo bifatorial: χ^2 não-

significativamente diferente; CFI = 1.0; RMSEA < do que 0.06; e o SRMR mais próximo de 0,08.

Tabela 10: Estatística dos três modelos de autoconceito do PCK de Química.

Modelos de PCK		χ^2	gl	p	CFI	RMSEA	SRMR
i.	Unidimensional	370,924	54	0,000	0,970	0,305	0,226
ii.	Tridimensional com correlações fixas	99,683	53	0,000	0,996	0,118	0,111
iii.	Tridimensional com correlações livres	64,632	51	0,095	0,999	0,065	0,094
iv.	Bifatorial	51,856	46	0,256	0,999	0,045	0,089

Fonte: Elaborada pelos autores.

Valores de referência para uma boa adequação estatística (HU; BENTLER, 1999): $p > 0,05$; CFI $> 0,95$; RMSEA $< 0,06$; SRMR $< 0,08$.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 10, o modelo bifatorial foi o que apresentou melhor adequação estatística e, também baseado nos aspectos teóricos da proposição do modelo, é o modelo que melhor explica a estrutura do autoconceito do PCK de Química dos professores. Esta seria a primeira evidência empírica de que professores de Química possuem um autoconceito tópico-específico no que diz respeito ao seu PCK. O fato do modelo bifatorial ser o com melhor adequação estatística também vai ao encontro com o modelo do autoconceito do conteúdo de Química: se os professores têm percepções diferentes sobre seus conhecimentos nas distintas áreas da Química, é de se esperar que eles também tenham diferentes percepções quanto aos seus conhecimentos sobre como ensinar as distintas áreas da Química.

Na Figura 31 podemos ver as cargas fatoriais dos itens que compõe a dimensão disciplinar específica (GQ), bem como as cargas fatoriais dos itens que compõem cada uma das dimensões tópico específico.

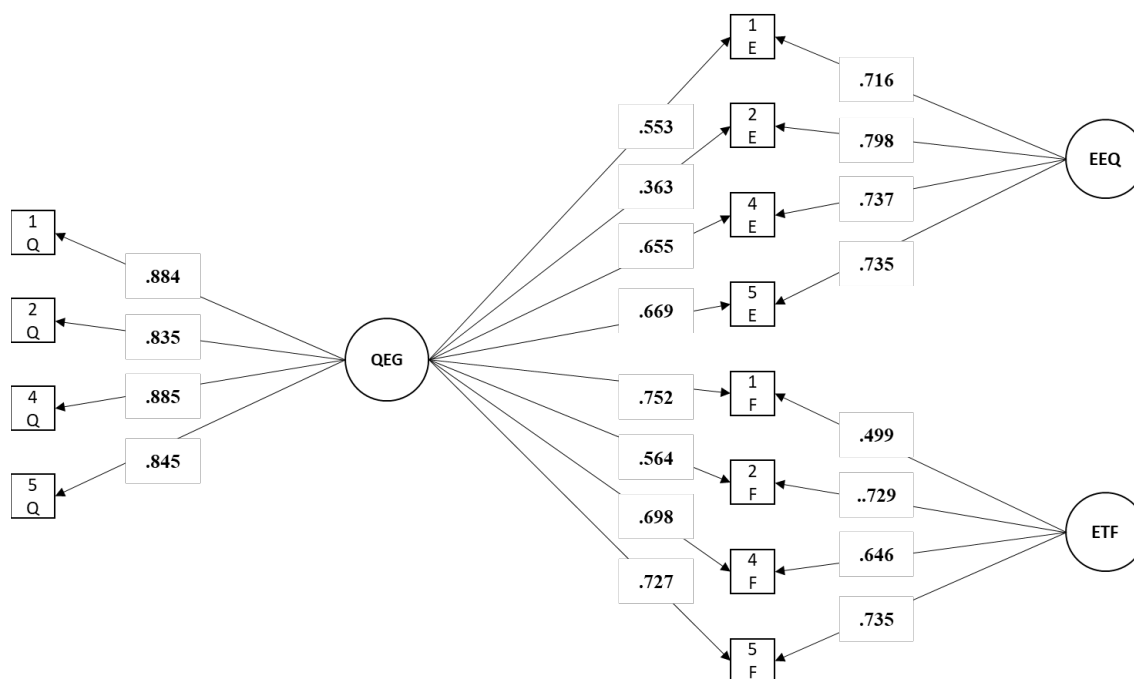


Figura 31: Modelo bifatorial do autoconceito do conhecimento de Química de professores, incluindo os parâmetros padronizados.

Fonte: Elaborada pelos autores. Todos os valores possuem um $p < 0.001$.

Pode-se perceber que a dimensão disciplinar de PCK de Química explica de maneira relevante todos os três blocos de questões sobre ensino de Química; a dimensão tópico específica de PCK de Eletroquímica explica de maneira relevante todas as questões sobre ensino de Eletroquímica e; a dimensão do PCK do tópico favorito do professor explica de maneira relevante todas as questões sobre ensino do tópico favorito.

Uma distinção entre os modelos de autoconceito de conteúdo de Química e PCK de Química é que neste as dimensões disciplinar e tópico específica do tópico favorito apresentam um nível explicativo similar, o que pode significar que ao mesmo tempo que o professor percebe que ensinar seu conteúdo favorito depende de como ele ensina a química como um todo, uma dimensão tópico-específica também é bem evidente.

*Sou apenas adubo dos corpos celestes que a terra aqui veste.
O calor me fizeste como agreste dos mestres.
Se o Brasil é árvore, que exponha sua matriz.
Nordeste quebra o mármore, pois sempre foi sua raiz.*

Expurgo, Rapadura

8. ANÁLISE DOS LIVROS DIDÁTICOS

O corpus geral foi constituído por seis textos (os trechos contendo o conteúdo de Pilhas dos seis livros), separados em 730 segmentos de texto, com aproveitamento de 653 segmentos (89,45%). Emergiram 26.092 ocorrências (palavras, formas ou vocábulos), sendo 2239 palavras distintas e 890 com uma única ocorrência. O conteúdo analisado foi categorizado em sete classes, com a seguinte distribuição: classe 1 com 12,86%; classe 2 com 12,1%; classe 3 com 15,01%; classe 4 com 14,24%; classe 5 com 16,08%; classe 6 com 15,31% e; classe 7 com 14,4%.

Ressaltamos que essas sete classes se encontram divididas em duas ramificações (A e B), conforme pode ser visto na Figura 32.

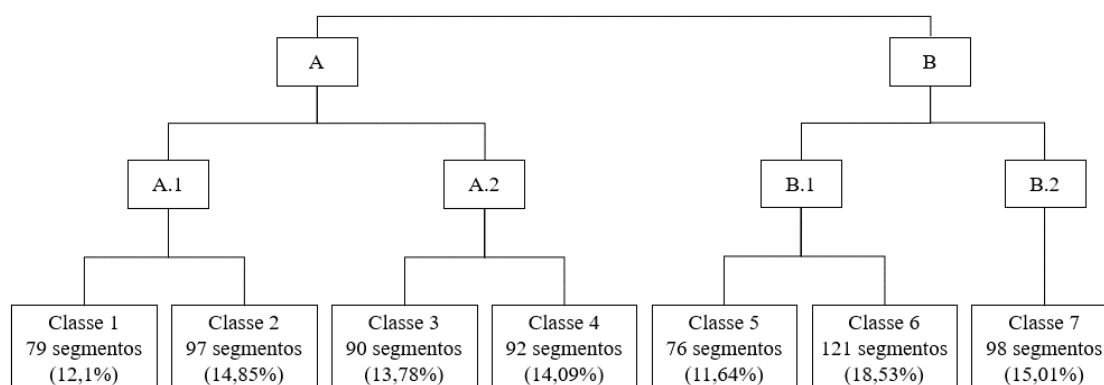


Figura 32: Dendrograma da distribuição das classes.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para atingir uma melhor visualização das classes, elaborou-se dois organogramas com a lista dos dez vocábulos⁸ de cada classe com o maior valor de χ^2 . Neles emergem as evocações que apresentam vocabulário semelhante entre si, mas são

⁸ Os vocábulos que aparecem podem ser termos compostos, como *Eletrodo padrão* ou *Potencial de redução*; bem como lemas, que representam mais de uma palavra, como *Oxidar*, que representa oxidar, oxida, oxidada, dentre outras variações.

vocabulários diferentes das outras classes. O organograma da Figura 33 apresenta o subcorpus A, enquanto o organograma da Figura 34 apresenta o subcorpus B.

A partir do organograma do subcorpus A, percebe-se que ele se divide em outros dois subcorpos. O subcorpus A.1, formado pelas classes 1 e 2, contém palavras que remetem ao cálculo do potencial elétrico de células galvânicas; enquanto o subcorpus A.2, formado pelas classes 3 e 4, contém palavras que remetem ao eletrodo das células galvânicas e suas espécies constituintes. Assim, observa-se que o subcorpus A pode ser entendido como aquele referente ao funcionamento das células galvânicas.

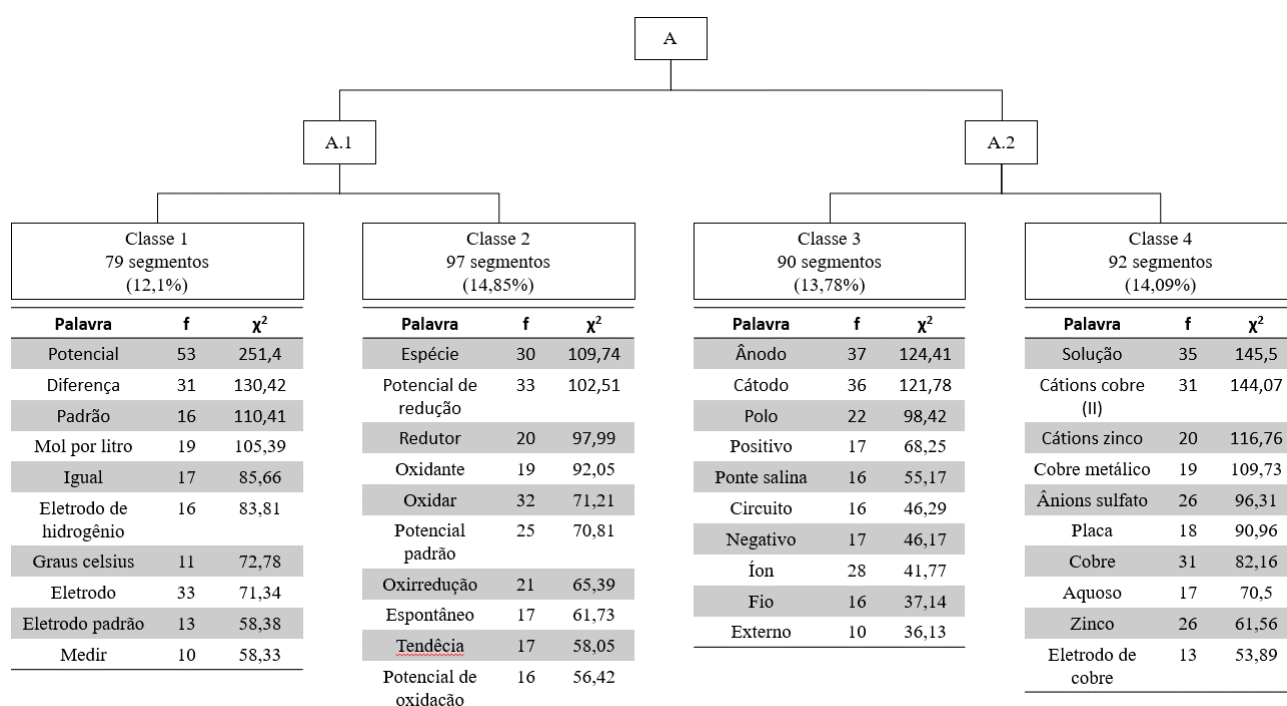


Figura 33: Organograma do subcorpus A.
Fonte: Elaborada pelos autores.

Quanto ao subcorpus B, percebe-se, por meio do seu organograma, que ele também se divide em outros dois subcorpos. O subcorpus B.1, formado pelas classes 5 e 6, contém palavras que remetem à utilização de pilhas comerciais ou células combustíveis; enquanto o subcorpus A.2, formado apenas pela classe 7, contém palavras que remetem ao processo de corrosão. A partir destes dois subcorpos, observa-se que o subcorpus B pode ser entendido como aquele referente a aplicações e aspectos do cotidiano.

Tendo em vista que o teste de PCK de Pilhas tem por ênfase o funcionamento das pilhas, não suas aplicações ou aspectos do cotidiano, considerou-se apenas o

subcorpus A para as subsequentes análises. A seguir, serão descritas, operacionalizadas e exemplificadas cada uma das quatro classes emergidas na classificação hierárquica descendente.

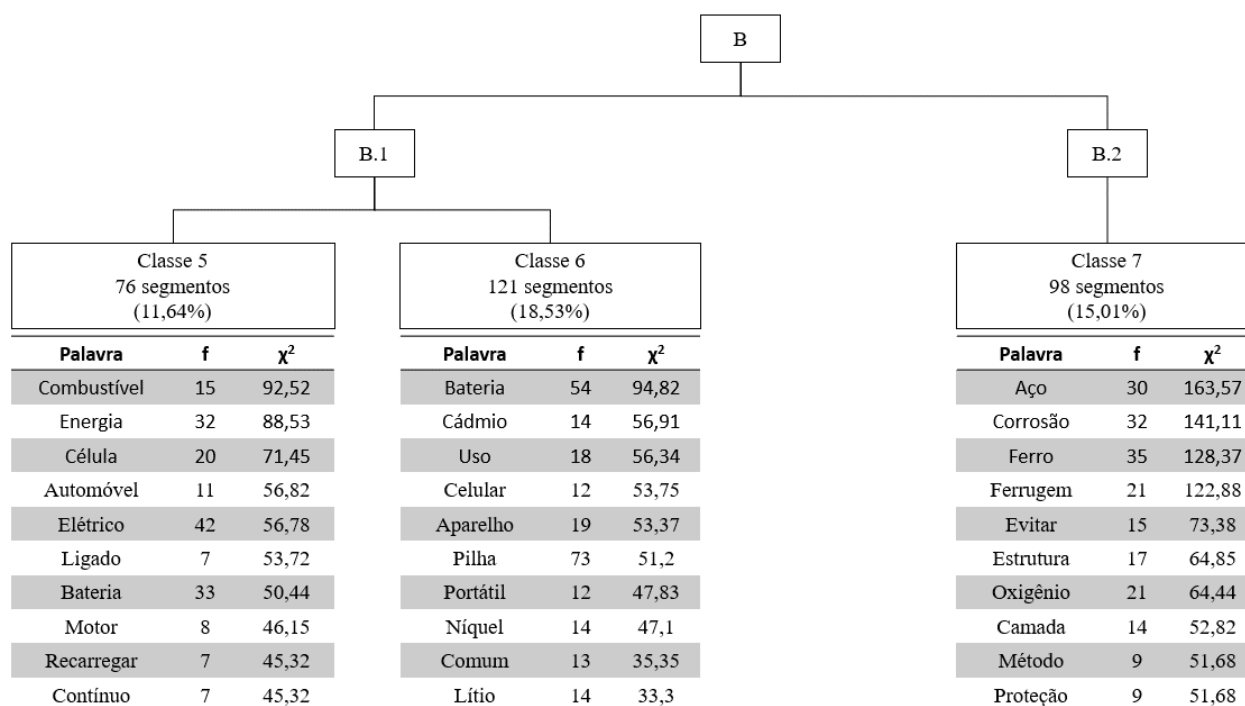


Figura 34: Organograma do subcorpus B.
Fonte: Elaborada pelos autores.

8.1 CLASSE 1: DIFERENÇA DE POTENCIAL PADRÃO

Esta classe compreende 12,1% do *corpus* total analisado. Os dez vocábulos com maior valor de χ^2 nesta classe foram: *Potencial*, *Diferença*, *Padrão*, *Mol por litro*, *Igual*, *Eletrodo de hidrogênio*, *Graus Celsius*, *Eletrodo*, *Eletrodo Padrão* e *Medir* (Figura 33). A seguir são apresentados dois segmentos de textos⁹ característicos desta classe.

[...] esse *potencial* é chamado *padrão* quando *medido* em condições definidas como 25 *graus celsius* 1 bar e concentrações das espécies químicas em solução iguais a 1 *mol por litro* essa escala de potencial padrão de redução tem como referência o *eletrodo padrão* de [*eletrodo de*] *hidrogênio* que (Ciscato e Pereira, $\chi^2 = 1049,25$, palavras características da classe destacadas).

[...] o potencial padrão de redução para os demais sistemas é determinado *medindo* a *diferença* de *potenciais* elétrico ou simplesmente *potencial* da

⁹ A divisão em segmentos de texto retira toda a pontuação do texto. Assim os segmentos de texto não possuem pontuação e podem ser frases inacabadas.

pilha formada pelo *eletrodo* em questão e o *eletrodo de hidrogênio* a unidade de medida utilizada para expressar o potencial de redução de um eletrodo ou pilha é o volt (Química Cidadã, $\chi^2 = 753,02$, palavras características da classe destacadas).

As principais ideias que emergem desta classe, como exemplificadas nos segmentos de texto acima, são: i) o potencial padrão é o potencial medido em condições definidas e utilizando-se o eletrodo de hidrogênio como referência; ii) o potencial de uma célula galvânica é calculado medindo-se a diferença de potencial existente entre dois eletrodos. Além destas duas ideias principais, também emergiram duas ideias secundárias: i) a unidade de medida utilizada para expressar o potencial é o volt; ii) é possível medir a diferença de potencial com um voltímetro.

A ideia principal sobre eletrodo padrão aparece de maneira indireta na terceira questão do teste, na dificuldade *Identificação do ânodo e do cátodo usando o E°* , na qual o professor pode trabalhar sobre a dificuldade de compreender o que seria o potencial padrão para, posteriormente, trabalhar como identificar o ânodo e o cátodo.

A ideia principal sobre a diferença de potencial aparece de maneira direta na primeira questão, na ideia *Cálculo do potencial das células*, nas quais os professores devem escolher em qual momento lecionar este conteúdo. Além da primeira questão, também aparece na terceira questão, na dificuldade *Cálculo do potencial das células*, na qual o professor pode abordar quais as principais dificuldades no ensino desta ideia.

A ideia sobre a utilização do voltímetro pode ser abordada pelo professor na quarta questão, na qual ele deve escolher qual representação utilizar. Duas das três representações contém um voltímetro.

8.2 CLASSE 2: REAÇÕES REDOX E POTENCIAL DE REDUÇÃO E OXIDAÇÃO

Esta classe compreende 14,85% do *corpus* total analisado. Os dez vocábulos com maior valor de χ^2 nesta classe foram: *Espécie*, *Potencial de redução*, *Redutor*, *Oxidante*, *Oxidar*, *Potencial padrão*, *Oxirredução*, *Espontâneo*, *Tendência* e *Potencial de oxidação* (Figura 33). A seguir são apresentados dois segmentos de textos característicos desta classe.

[...] quanto maior o *potencial de redução* maior caráter *oxidante* tem a *espécie* e quanto menor o *potencial de redução* maior caráter *redutor* tem a *espécie oxidada* a tensão elétrica de uma pilha está relacionada à *tendência* de ocorrer a *oxirredução* entre a *espécie redutora* do ânodo e a *oxidante* do

cátodo (Ser Protagonista, $\chi^2 = 710,06$, palavras características da classe destacadas).

[...] como em toda reação de *oxirredução* uma *espécie* se *oxida* enquanto outra se reduz basta analisar as duas semirreações envolvidas e verificar qual *espécie* apresenta maior caráter *oxidante* sofrendo redução a outra espécie será *oxidada* (Ser Protagonista, $\chi^2 = 555,52$, palavras características da classe destacadas).

Conforme apresentado nos segmentos de texto citados, a classe 2 possui as seguintes ideias principais: i) a espécie que possui o maior potencial de redução (e menor potencial de oxidação) sofre redução e é denominada como agente oxidante; ii) a espécie que possui o menor potencial de redução (e maior potencial de oxidação) sofre oxidação e é denominada como agente redutor; iii) o potencial de uma pilha depende da tendência de ocorrer uma reação espontânea de oxirredução entre a espécie redutora e a espécie oxidante. Nesta classe também emergiu uma ideia secundária: há uma tabela com o registro do potencial padrão de redução de várias espécies químicas.

As duas primeiras ideias principais — a relação entre o potencial elétrico, a reação que ocorre e o caráter — podem ser encontradas na primeira questão do teste, nas ideias *As reações da semicélula estão ligadas ao potencial do eletrodo* e *Os potenciais dos eletrodos estão ligados à energia da semirreação*, nas quais o professor pode relacionar o potencial do eletrodo com a reação que ocorre no mesmo.

A terceira ideia principal — sobre o potencial e a espontaneidade das reações — pode ser encontrada na terceira questão, na dificuldade *Trabalhar com os valores dos potenciais do eletrodo*, que também se relaciona com a ideia secundária da tabela de potencial padrão. Ademais, a terceira ideia principal também pode ser trabalhada na primeira questão, com a ideia *As reações das semicélulas ocorrem simultaneamente*, e na terceira, na dificuldade *Explicar a simultaneidade das reações redox*, pois uma reação de oxirredução precisa de uma espécie que oxida e uma espécie que reduz.

8.3 CLASSE 3: COMPONENTES DAS CÉLULAS GALVÂNICAS

Esta classe compreende 13,78% do *corpus* total analisado. Os dez vocábulos com maior valor de χ^2 nesta classe foram: *Ânodo*, *Cátodo*, *Polo*, *Positivo*, *Ponte salina*, *Circuito*, *Negativo*, *Íon*, *Fio* e *Externo* (Figura 33). A seguir são apresentados dois segmentos de texto característicos desta classe.

[...] nesse tipo de sistema eletroquímico o *polo negativo* é o eletrodo em que ocorre a oxidação *ânodo* do zinco metálico e o *polo positivo* é o eletrodo em que ocorre a redução *cátodo* dos cátions cobre (II) (Ciscato e Pereira, $\chi^2 = 568,62$, palavras características da classe destacadas).

[...] a pilha terá então seu funcionamento prolongado por mais tempo por convenção denominamos o *fio* condutor por onde caminham os elétrons de *circuito externo* no *circuito externo* os elétrons partem do *ânodo* em direção ao *cátodo* (Marta Reis, $\chi^2 = 444,86$, palavras características da classe destacadas)

A partir dos segmentos de texto supracitados, podemos observar a presença de três ideias principais na Classe 3: i) o ânodo, polo negativo, é o eletrodo no qual ocorre a oxidação; ii) o cátodo, polo positivo, é o eletrodo no qual ocorre a redução; iii) os elétrons partem do ânodo em direção ao cátodo por meio de um fio condutor. Além destas três ideias, também apareceu uma ideia secundária referente à ponte salina: a ponte salina permite a condução iônica.

As duas primeiras ideias principais estão explícitas tanto na primeira questão — nas ideias *No ânodo ocorre a oxidação e no cátodo ocorre a redução* e *O ânodo é o polo negativo e o cátodo é o polo positivo* —, como na terceira questão — nas dificuldades *Identificar os eletrodos positivos e negativos na célula galvânica* e *Identificação do ânodo e do cátodo usando o E°* . Estas duas ideias, bem como a terceira ideia principal, também podem ser abordadas na quarta questão, pois todas as representações presentes são constituídas por um cátodo, um ânodo e apresentam o fluxo de elétrons em um fio condutor. Por fim, a concepção alternativa trabalhada na quinta e na sétima questão também versam sobre os eletrodos e os processos que ocorrem no mesmo.

A ideia secundária também está presente no teste. Na primeira questão é possível identificá-la nas ideias *A neutralidade elétrica é preservada na célula pela ponte salina* e *Íons carregam carga em solução*, enquanto na terceira questão é possível nas dificuldades *Condução no eletrólito* e *Neutralidade elétrica*. Similar às ideias principais, a ideia secundária também pode ser abordada na quarta questão, pois o professor pode discutir a condução iônica tanto nas representações com ponte salina, como nas sem ponte salina. Ademais, esta ideia secundária está presente na sexta e na sétima questão, que versam sobre a neutralidade elétrica, condução de cargas e ponte salina.

8.4 CLASSE 4: ESPÉCIES QUÍMICAS DOS ELETRODOS

Esta classe compreende 14,09% do *corpus* total analisado. Os dez vocábulos com maior valor de χ^2 nesta classe foram: *Solução*, *Cátions cobre (II)*, *Cátions zinco*, *Cobre metálico*, *Ânions sulfato*, *Placa*, *Cobre*, *Aquoso*, *Zinco* e *Eletrodo de cobre* (Figura 33). A seguir são apresentados dois segmentos de texto característicos dessa classe.

[...] eletrodo de zinco conjunto formado pela lâmina de *zinco zinco metálico* em contato com *solução* de sal de zinco *cátions zinco eletrodo de cobre* conjunto formado pela lâmina de *cobre cobre metálico* mergulhada em *solução* de sal de cobre *cátions cobre (II)* (Vivá — Química, $\chi^2 = 1068,55$, palavras características da classe destacadas)

[...] se observarmos o sistema por algum tempo vamos perceber que a *placa* de zinco metálico começa a se corroer e sua massa diminui a massa da *placa de cobre metálico* aumenta a intensidade da cor da solução azul de *cátions cobre (II)* começa a diminuir (Química [Eduardo F. Mortimer e Andréa Horta Machado], $\chi^2 = 788,85$, palavras características da classe destacadas)

Analisando os segmentos de texto característicos dessa classe, como exemplificado nos excertos acima, duas ideias centrais emergiram nesta classe: i) o eletrodo de uma célula galvânica é constituído por uma placa metálica imersa em uma solução aquosa com cátions daquele metal; ii) no cátodo ocorre o processo de deposição. Além destas ideias, emergiram duas ideias secundárias: i) no ânodo ocorre o processo de corrosão¹⁰; ii) a pilha de Daniell é formada por um eletrodo de zinco e um eletrodo de cobre.

Todas as ideias principais e secundárias podem ser abordadas na primeira questão, na ideia *A Pilha de Daniell possui um eletrodo de zinco e outro de cobre*. Contudo, a principal questão para abordar estas ideias é a quarta, na qual o professor pode abordar diferentes representações, as quais contém os eletrodos, as espécies constituintes dos mesmos e — em uma das representações — os fenômenos de deposição e corrosão. Ademais, as ideias podem ser abordadas na sétima questão, pois o professor tem a opção de elaborar uma estratégia envolvendo os componentes (placa metálica e eletrólitos) de uma célula galvânica.

¹⁰ A ideia sobre o fenômeno de corrosão apareceu em menor frequência do que a ideia do fenômeno de deposição, por isso foi considerado uma ideia secundária.

*Tá tão caro o mercado e eu nem como direito.
 Fecha a cara, sujeito, que o povo tá apertado, o busão tá lotado.
 Apalparam o respeito, roubaram nosso direito.
 E o ladrão tá bem empregado. [...]
 Difícil é viver e ter que fazer o que o governo não fez.
 O povo brasileiro faz milagre em todo fim de mês.*

Quebra-queixo, Rapadura

#ForaBolsonaro

9. CONCLUSÃO

Após dois estudos pilotos foi possível adaptar o teste de Ndlovu de modo que ele apresentasse bons índices de confiabilidade, bons indícios de validade e o valor da dificuldade das questões. Apesar dos bons resultados, optamos por fazer, além dos pequenos ajustes, a reelaboração da questão sobre ECE para ser utilizado no estudo principal.

A terceira versão do teste, aplicada no estudo principal, apresentou valores tão bons quanto os da segunda versão, senão melhores: os índices de confiabilidade foram similares, a adequação ao modelo (critério de ajuste) foi melhor, a ordem empírica de dificuldade das questões apresentou melhor consonância com a ordem teórica, e a análise dos resíduos mostrou que não há uma segunda dimensão aparente.

Ao final das análises da terceira versão, o que mais chama atenção é o comportamento da questão sobre CPE: apesar de apresentar bons valores de ajuste, sua ordem empírica não está em consonância com a ordem teórica. Acreditamos que há duas hipóteses para tal: i) a teoria sobre a qual o argumento de validade foi construído apresenta algo atípico e precisa ser reformulada; ii) o CPE é um componente que possui bastante dependência do SMK, o que aumenta o seu nível de dificuldade. Por fim, ressaltamos que o tempo de resposta desta terceira versão foi, em média, 40 minutos, o que a torna mais viável para outras aplicações.

A terceira adaptação do teste foi utilizada para mensurar o PCK de Pilha dos professores, os quais foram convidados a responder ao teste em oito situações distintas: durante dois cursos de atualização, durante cinco orientações técnicas e uma chamada por e-mail. Foi possível mensurar, ao todo, o PCK de 128 professores.

Com relação à habilidade dos professores, foi possível verificar que professores de química possuem uma maior nota do que professores que possuem outra formação, o que vai ao encontro da literatura, que afirma que o conhecimento do Ensino de Química é específico para professores de Química. Também foi possível verificar que os professores que participaram de um curso de formação específico sobre Ensino de Pilha também apresentaram, em sua maioria, uma nota acima da média.

Após a análise do PCK de Pilha dos professores, foi possível estratificá-los em quatro níveis. Foram encontrados 28 professores no nível limitado; 82 no nível básico; 12 no nível desenvolvido e; 3 no nível exemplar.

Após a investigação da estrutura fatorial dos autoconceitos em SMK de Química e em PCK de Química, propusemos uma estrutura bifatorial para ambos, na qual o autoconceito dos professores possui, além de um caráter disciplinar-específico, um caráter tópico-específico.

Para coletar mais evidências de validade do teste, realizamos uma classificação hierárquica descendente de livros didáticos de Química aprovados no PNLD, a fim de verificar quais ideias de Pilhas emergem de tais livros. Essa análise resultou em quatro classes referentes ao funcionamento de uma Pilha: i) diferença de potencial e potencial padrão; ii) reações redox e potencial de redução e oxidação; iii) Eletrodos das células galvânicas e; iv) espécies químicas dos eletrodos. Ao todo, estas quatro classes apresentaram dez ideias principais e seis ideias secundárias sobre o conteúdo a ser ensinado no ensino médio.

Realizando uma análise comparativa, observamos que 9 das 10 ideias principais e todas as ideias secundárias são abordadas explicitamente nas diferentes questões do teste de PCK de Pilha. Assim, consideramos que o teste reflete de maneira satisfatória os conteúdos trabalhados no conteúdo de Pilha no ensino médio, sendo uma boa evidência de que o constructo não está subrepresentado no teste.

10. REFERÊNCIAS

- ABELL, S. K. Twenty Years Later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? **International Journal of Science Education**, v. 30, n. 10, p. 1405–1416, 13 ago. 2008.
- AHTEE, M.; ASUNTA, T.; PALM, H. Student Teachers Problems in teaching electrolysis with a key demonstration. **Chem. Educ. Res. Pract.**, v. 3, n. 3, p. 317–326, 2002.
- ARNAUD, A. A. **A construção do conteúdo de reações redox em livros didáticos da educação básica**. 2019. Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo
- AYDIN, S. et al. The nature and development of interaction among components of pedagogical content knowledge in practicum. **Teaching and Teacher Education**, v. 46, p. 37–50, fev. 2015.
- AYDIN, S.; BOZ, Y. The nature of integration among PCK components: A case study of two experienced chemistry teachers. **Chem. Educ. Res. Pract.**, v. 14, n. 4, p. 615–624, 2013.
- BARBERA, j. A psychometric analysis of the Chemical Concepts Inventory. **Journal of Chemical Education**, n. 90, p. 546-53, 2013.
- BAXTER, J. A.; LEDERMAN, N. G. Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge. In: GESS-NEWSOME, J.; LEDERMAN, N. G. (Eds.). **Examining pedagogical content knowledge**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999. p. 147–161.
- BOND, T. G.; FOX, C. M. **Applying the Rasch Model: Fundamental measurement in the Human Sciences**. Manwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.
- BOONE, W. Rasch analysis for instrument development: why, when and how? **CBE - Life Science Education**, v. 15, 2016.
- BOONE, W.; ROGAN, J. Rigour in quantitative analysis: the promise of the Rasch analysis techniques. **African Journal of Research in SMT Education**, v. 9, n. 1, p. 25–38, 2005.
- BOONE, W.; STAVER, J. R.; YALE, M. S. **Rasch analysis in the Human Sciences**. Dordrecht: Springer, 2014.
- BRAUN, E.; GUSY, B.; LEIDNER, B.; HANNOVER, B; Das Berliner Evaluationsinstrument Für Selbsteingeschätzte, Studentische Kompetenzen (bevakomp). **Diagnostica**, v. 54, n. 1, p. 30-42, 2008.
- Camargo, B.V. ALCESTE: Um programa informático de análise quantitativa de dados textuais. In: A. S. P. Moreira (Org.). **Perspectivas teórico-metodológicas em Representações Sociais**. João Pessoa: UFPB/Editora Universitária, 2005. p. 511-539.
- CARAMEL, N. J. C.; PACCA, J. L. A. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p.7-26, 2011.
- CARLSON, J.; DAEHLER, K. R. The Refined Consensus Model of Pedagogical Content Knowledge in Science Education. In: HUME, A.; COOPER, R.; &

- BOROWSKI, A. (Eds.), **Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science** (p. 329). Singapore: Springer. 2019.
- CASTRO, P. M. A.; LEAL, S. H. Influências do Pibid para a base de conhecimentos docentes de graduandos da UFABC. **Acta Scientiae (ULBRA)**, v. 19, n. 2, p. 332–349, 2017.
- COHEN, L.; MANION, L.; MORRISON, K. **Research methods in education**. New York: Routledge, 2007.
- COSTA, R. G.; PASSERINO, L. M.; ZARO, M. A. Fundamentos teóricos do processo de formação de conceitos e suas implicações para o ensino e aprendizagem de química. **Revista Ensaio**, v. 14, n. 1, p. 271–281, 2012.
- CRESWELL, J. W. **Educational research: planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research**. 4. ed. Boston: Pearson Education, 2012.
- CRESWELL, J. W.; CLARK, V. L. P. **Pesquisa de métodos mistos**. Porto Alegre: Penso, 2013.
- DAVIDOWITZ, B.; POTGIETER, M. Use of the Rasch measurement model to explore the relationship between content knowledge and topic-specific pedagogical content knowledge for organic chemistry. **International Journal of Science Education**, v. 38, n. 9, p. 1483–1503, 12 jun. 2016.
- DE JONG, O.; ACAMPO, J.; VERDONK, A. Problems in teaching the topic of redox reactions: actions and conceptions of chemistry teachers. In: GILBERT, J. K. et al. (Eds.). **Chemical Education: towards research-based practice**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- DE JONG, O.; TREAGUST, D. The teaching and learning of electrochemistry. In: GILBERT, J. K. et al. (Eds.). **Chemical education: towards research-based practice**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.
- DOGAN, E. Na application of the Partial Credit IRT Model in identifying Benchmarks for Polytomous Rating Scale Instruments. **Practical Assessment, Research & Evaluation**, v. 23, n.7, p. 1-10.
- FERNANDEZ, C. PCK - Conhecimento Pedagógico do Conteúdo: perspectivas e possibilidades para a formação de professores. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2011, Campinas. **Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. v. 1. p. 1-12.
- FERNANDEZ, C. Knowledge base for teaching and Pedagogical Content Knowledge (PCK): some useful models and implications for teachers' training. **Problems of Education in the Twenty First Century**, v. 60, p. 79–100, 2014.
- FERNANDEZ, C. Revisitando a base de conhecimentos e o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK) de professores de Ciências. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências (Online)**, v. 17, p. 500–528, 2015.
- FREIRE, L. I. F.; FERNANDEZ, C. Professores novatos de química e o desenvolvimento do PCK de oxidorredução: influências da formação inicial. **Educación Química**, v. 25, n. 3, p. 312–324, jun. 2014.
- FREIRE, L. I. F.; FERNANDEZ, C. A base de conhecimentos dos professores, a reflexão e o desenvolvimento profissional: um estudo de caso a partir da escrita de diários de aula por estagiários de professores de Química. **Revista Brasileira de**

Estudos Pedagógicos RBEP-INEP, v.96, p.359-379, 2015.

GARNETT, P. J.; TREAGUST, D. F. Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electric circuits and oxidation-reduction equations. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 12, p. 121-42, 1992a.

GARNETT, P. J.; TREAGUST, D. F. Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 10, p. 1079-99, 1992b.

GESS-NEWSOME, J. A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK summit. In: BERRY, A.; FRIEDRICHSEN, P.; LOUGHRAN, L. **Re-examining pedagogical content knowledge in science education** (pp. 28–42). New York: Routl, 2015.

GIROTTO JÚNIOR, G.; FERNANDEZ, C. Following early career Chemistry teachers: the development of Pedagogical Content Knowledge from pre-service to a professional teacher. **Problems of Education in the Twenty First Century**, v.55, p.57-73, 2013.

GOES, L. F. **Reações redox: uma proposta para desenvolver o conhecimento pedagógico do conteúdo**. 2018. Tese (Doutorado) apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo

GOES, L. F.; NOGUEIRA, K. S. C.; FERNANDEZ, C. A Representação das Reações Redox através das Imagens em Livros Didáticos Brasileiros de Química. **Acta Scientiae (ULBRA)**, v. 20, p. 135-153, 2018.

GROSSMAN, P. L. *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press, 1990.

HU, L.; BENTLER, P.M. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. **Structural Equation Modeling**, n. 6, p. 1–55, 1999.

JANSEN, M.; SCHROEDERS, U.; LÜDTKE, O. Academic self-concept in science: multidimensionality, relations to achievement measures, and gender differences. **Learning and Individual Differences**, v. 30, p. 11-21, 2014.

JÜTTNER, M. et al. Development and use of a test instrument to measure biology teachers' content knowledge (CK) and pedagogical content knowledge (PCK). **Educational Assessment, Evaluation and Accountability**, v. 25, n. 1, p. 45–67, 21 fev. 2013.

KIRSCHNER, S. et al. Developing and evaluating a paper-and-pencil test to assess components of physics teachers' pedagogical content knowledge. **International Journal of Science Education**, v. 38, n. 8, p. 1343–1372, 23 maio 2016.

KLING, R. B. **Principles and Practice of Structural Equation Modeling**. New York: The Guilford Press. 2016.

KUCKARTZ, U. **Qualitative text analysis: A guide to methods, practice and using software**. Sage, 2014.

LEAL, S. H.; NOVAIS, R. M.; FERNANDEZ, C. Conhecimento pedagógico do conteúdo de “estrutura da matéria” de uma professora de química experiente em aulas de química geral. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 21, p. 725-742, 2015.

LIMA, V. A.; MARCONDES, M. E. R. Atividades experimentais no ensino de

química. Reflexões de um grupo de professores a partir do tema Eletroquímica. **Enseñanza de las Ciencias**, v. Extra, p. 1–4, 2005.

LINACRE, M. K. When to stop removing items and persons in Rasch misfit analysis? **Rasch Measurement Transactions**, v. 23, n. 4, p. 1241, 2010.

LINACRE, M. K. **Winsteps Rasch Tutorials: Tutorial 3. Partial credit scales, reliability and anchoring**, 2012a. Disponível em: <<http://www.winsteps.com/tutorials.htm>>

LINACRE, M. K. **Winsteps Rasch Tutorials: Tutorial 2. Fit analysis and rating scales**, 2012b. Disponível em: <<http://www.winsteps.com/tutorials.htm>>

LINACRE, M. K. **Winsteps® Rasch Measurement**, 2018. Disponível em: <<http://www.winsteps.com>>

LINACRE, M. K. **A user's guide to Winsteps Ministep Rasch-Model computer programs**, 2017. Disponível em: <<http://www.winsteps.com/manuals.htm>>

LINCOLN, Y. S. “What a Long, Strange Trip It’s Been...”: Twenty-Five Years of Qualitative and New Paradigm Research. **Qualitative Inquiry**, v. 16, n. 1, p. 3–9, 30 jan. 2010.

MAGNUSSON, S.; KRAJCIK, J.; BORKO, H. Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In: GESS-NEWSOME, J.; LEDERMAN, N. G. (Eds.). **Examining pedagogical content knowledge**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999.

MARSH, H. W.; SHAVELSON, R. Self-concept: Its multifaceted, hierarchical structure. **Educational Psychologist**, v. 20, n. 3, p. 107-123, 1985.

MAVHUNGA, E. **Explicit inclusion of topic specific knowledge for teaching and the development of PCK in pre-service science teachers**. [s.l.] Wits School of Education, Faculty of Humanities, University of the Witwatersrand, 2012.

MERTENS, D. M. **Research and evaluation in education and psychology: integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods**. 3. ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2010.

MONTENEGRO, V. L. S. ; FERNANDEZ, C. . Processo Reflexivo e desenvolvimento do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo numa intervenção formativa com professores de Química. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências** (Online), v. 17, p. 251-275, 2015.

MORGAN, D. L. Paradigms Lost and Pragmatism Regained. **Journal of Mixed Methods Research**, v. 1, n. 1, p. 48–76, 23 jan. 2007.

MORGAN, D. L. Pragmatism as a Paradigm for Social Research. **Qualitative Inquiry**, v. 20, n. 8, p. 1045–1053, 3 out. 2014.

NDLOVU, M. **The design of an instrument to measure physical science teachers' topic specific pedagogical content knowledge in electrochemistry**. [s.l.] Faculty of Science, University of the Witwatersrand, 2014.

NOGUEIRA, K. S. C.; FERNANDEZ, C. O conhecimento docente de licenciandos em química no contexto de um programa de iniciação à docência brasileiro. **Enseñanza de Las Ciencias**, v. Extra, p. 2825-2834, 2017.

NOGUEIRA, K. S. C.; FERNANDEZ, C. The reliability of an instrument to measure

teacher knowledge from the perspective of learners in the context of Pibid. **Problems of Education in the 21st Century**, v. 76, p. 69-86, 2018.

NOGUEIRA, K. S. C.; GOES, L. F.; FERNANDEZ, C. As limitações de ensino-aprendizagem associadas ao conteúdo redox nos eventos brasileiros. **Enseñanza de Las Ciencias**, v. Extra, p. 4197-4202, 2017.

NOVAIS, R. M.; FERNANDEZ, C. A gestão da sala de aula de um professor do Ensino Superior. **Campo Abierto**, v.33, p.141-165, 2014.

OGUDE, A. N.; BRADLEY, J. D. Ionic Conduction and Electrical Neutrality in Operating Electrochemical Cells: Pre-College and College Student Interpretations. **Journal of Chemical Education**, v. 71, n. 1, p. 29, jan. 1994.

OGUDE, N. A., BRADLEY, J. D. Electrode Processes and Aspects Relating to Cell EMF, Current, and Cell Components in Operating Electrochemical Cells. **Journal of Chemical Education**, v.73, n.12, p.1145-1149, 1996.

ÖSTERLUND, L.-L.; BERG, A.; EKBORG, M. Redox models in chemistry textbooks for the upper secondary school: friend or foe? **Chem. Educ. Res. Pract.**, v. 11, n. 3, p. 182–192, 2010.

PARK, S.; OLIVER, J. S. Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. **Research in Science Education**, v. 38, n. 3, p. 261-284, 2008.

PAULICK, I.; GROBSCHEDL, J.; HARMS, U.; MÖLLER, J. How teachers perceive their expertise: The role of dimensional and social comparisons. **Contemporary Educational Psychology**, v. 51, p. 114–122, 2017.

PEREIRA, P. G. E. M. ; FERNANDEZ, C. Índicios do modelo integrativo no desenvolvimento do PCK em licenciandos em Química durante o estágio supervisionado. **Revista de Educacion de las Ciencias**, v. 14, p. 74-78, 2013.

PITJENG, R. J. **Investigating the effect of an intervention on novice science teachers topic specific pedagogical content knowledge**. [s.l.] Wits School of Education, Faculty of Humanities, University of the Witwatersrand, 2014.

RATINAUD, P. **IRAMUTEQ**: Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires. Versão 0.7. 2020. Disponível em: <<http://www.iramuteq.org>>.

ROLLNICK, M. et al. The Place of Subject Matter Knowledge in Pedagogical Content Knowledge: A case study of South African teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium. **International Journal of Science Education**, v. 30, n. 10, p. 1365–1387, 13 ago. 2008.

ROLLNICK, M.; MAVHUNGA, E. PCK of teaching electrochemistry in chemistry teachers: a case in Johannesburg, Gauteng Province, South Africa. **Educación Química**, v. 25, n. 3, p. 354–362, 2014.

ROSSEEL, Y. lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. **Journal of Statistical Software**, v. 48, n. 2, p. 1-36, 2012.

SALES, M. G. P. **Investigando o conhecimento pedagógico do conteúdo sobre “soluções” de uma professora de Química**. 2010. 253 f. Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo.

- SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. Students' misconceptions in electrochemistry: Current flow in electrolyte solutions and the salt bridge. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 7, p. 819-23, 1997.
- SANJUAN, M. E. C. et al. Maresia: Uma Proposta para o Ensino de Eletroquímica. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 3, p. 190–197, 2009.
- SCHMELZING, S. et al. Development, evaluation, and validation of a paper-and-pencil test for measuring two components of biology teachers' pedagogical content knowledge concerning the "cardiovascular system". **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 11, p. 1369–1390, 2013.
- SCHMIDT, H. J. Students' misconceptions - looking for a pattern. **Science Education**, v.81, p. 123-135, 1997
- SCHMIDT, H. J., VOLKE, D. Shift of meaning and students' alternative concepts. **International Journal of Science Education.**, v. 25, p. 1409–1424, 2003
- SCHMIDT, H. J.; MAROHN, A.; HARRISON, A. G. Factors that prevent learning in electrochemistry. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 44, n. 2, p. 258-83, 2007.
- SHAVELSON, R. J.; HUBNER, J. J.; STANTON, G. C. Self-concept: Validation of construct interpretations. **Review of Educational Research**, v. 46, p. 407–441, 1976.
- SHULMAN, L. S. Those who understand: knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 2, p. 4–14, 1986.
- SHULMAN, L. S. Knowledge and teaching: foundations of the new reform. **Havard Educational Review**, v. 57, n. 1, p. 1–22, 1987.
- SILVA, A. N. **Um professor de Química e dois contextos escolares: o conhecimento pedagógico do conteúdo em ação**. [s.l.] Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociência, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2012.
- SILVA, A. N.; FERNANDEZ, C. Um professor de química, um conteúdo e dois contextos escolares: do PCK pessoal para o PCK em ação. **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 23, p. 1-25, 2021.
- SORGE, S.; KELLER, M. M.; NEUMANN, K.; Möller, J. Investigating the relationship between pre-service physics teachers' professional knowledge, self-concept, and interest. **Journal of Research in Science Teaching**, n. 56, p. 937-955, 2019.
- SOUDANI, M. et al. Transferring knowledge from the classroom to the real world: redox concepts. **School Science Review**, v. 82, n. 298, 2000.
- TACOSHI, M. M. A.; FERNANDEZ, C. Knowledge of Assessment: an Important Component in the PCK of Chemistry Teachers. **Problems of Education in the Twenty First Century**, v.62, p.124-147, 2014.
- TEDDLIE, C.; YU, F. Mixed Methods Sampling. **Journal of Mixed Methods Research**, v. 1, n. 1, p. 77–100, 23 jan. 2007.
- VERBI. **MAXQDA Analytics Pro 2018**®, 2018. Disponível em: <<https://www.maxqda.com>>
- VEAL, W. R.; MAKINSTER, J. G. Pedagogical Content Knowledge Taxonomies. **Electronic Journal of Science Education**, v. 3, n. 4, 1999.
- WOLFF, F.; HELM, F.; MÖLLER, J. Integrating the 2I/E model into dimensional

comparison theory: towards a comprehensive comparison theory of academic self-concept formation. **Learning and Instruction**, v. 62, p. 64-75, 2019.

WRIGHT, B. D. Logits? **Rasch Measurement Transactions**, v. 7, n. 2, p. 288, 1993.

YEUNG, A. S.; CRAVEN, R. G.; KAUR, G. Teachers' self-concept and valuing of learning: relations with teaching approaches and beliefs about students. **Asia-Pacific Journal of Teacher Education**, v. 42, n. 3, p. 305–320, 2014.

APÊNDICE

APÊNDICE A –VERSÃO ORIGINAL DO TESTE.

CATEGORY A: LEARNERS' PRIOR KNOWLEDGE

1. How do you respond verbally to a learner who writes on a script:

“The electrons flow through the salt ridge to keep the galvanic cell neutral”

Response A: No, this is not the case; the electrons do not flow through the salt bridge to keep the galvanic cell neutral but through the external circuit. Only ions flow through the salt bridge.

Response B: No, this is not the case; electrons need a medium like a wire (solid) which is a good conductor for them to flow. The salt bridge contains a solution and only ions can flow within the salt bridge.

Response C: No, this is not the case; electrons flow through the external wire whereas the ions flow through the salt bridge. The flow of the ions through the salt bridge will maintain the galvanic cell electrically neutral.

Response D: None of the above. I have another response, which is...

Choose your response and indicate the reason(s) for choice in the space below:

My choice is response . . .

2. What will your answer be to a learner who asks

“Is it true that in both electrolytic and galvanic cells, oxidation Always occurs at the anode and reduction always occurs at the cathode?”

Response A: Yes, it is true that in both electrolytic and galvanic cells, oxidation Always occurs at the anode and reduction always occurs at the cathode. The electrons may be lost by the anode material or ions by near the anode and gained by ions near the cathode.

Response B: Yes, it is true that in both electrolytic and galvanic cells, oxidation Always occurs at the anode and reduction at the cathode. The difference is that, in the electrolytic cell the anode is positive while the cathode is negative and vice versa for the galvanic cell. Note that electrons flow from the anode to the cathode.

Response C: Yes, it is true, although the anode in the electrolytic cell is positive (by virtue of being connected to the positive terminal of the cell).

Response D: None of the above. I have another response, which is...

Choose your response and indicate the reason(s) for choice in the space below:

My choice is response . . .

3. Reflecting on your experience of teaching electrochemistry, what misconceptions have you observed as common in this topic?

Write your answers in the spaces given below:

CATEGORY B: CURRICULAR SALIENCY

4. The following questions relate to planning and sequencing of concepts.

4.1. What concepts in electrochemistry at Grade 12 do you believe are the main ideas¹¹ for your students to understand by the end of the instruction of this topic?

Choose at least three from the provided list and place them in a sequence that depicts the best order of teaching. Provide reasons for both your choice and suggested sequence

Oxidation and reduction occur simultaneously.	Equations must be balanced
Energy from chemical reactions produces electricity	Electrochemistry has important applications in everyday life
Electrical neutrality is preserved in a cell	Electroplating processes use redox reactions
Electrode potentials are linked to the energy of the half reaction	Calculation of cell potentials
Half-cell reactions are linked to electrode potential	Galvanic cells produce electricity
Ions carry charge in solution	Other
Electricity can be used to produce a chemical reacti	

Suggested concepts and sequence	Reasons
1.	
2.	
3.	

4.2. Make a map or a diagram showing how these three ideas link to subordinate concepts

¹¹ Main ideas are statements describing key understanding that must be learnt in a topic.

4.3. What topics must have been covered in chemistry before you can teach electrochemistry?

List of Topics to be taught before electrochemistry

4.4. Why is it important for learners to learn about electrochemistry? Identify reasons:

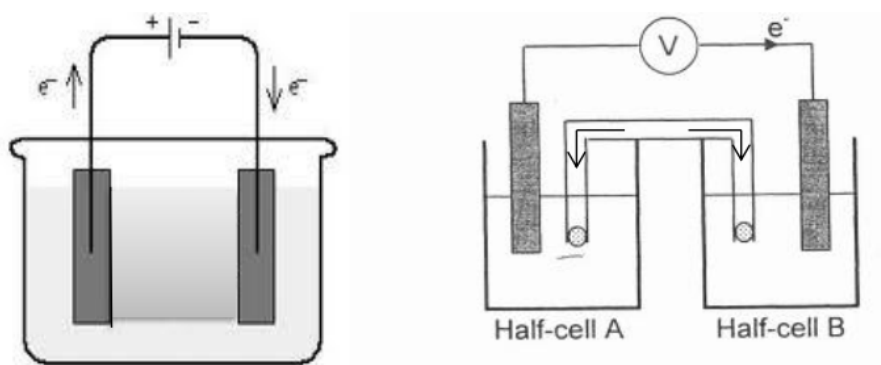
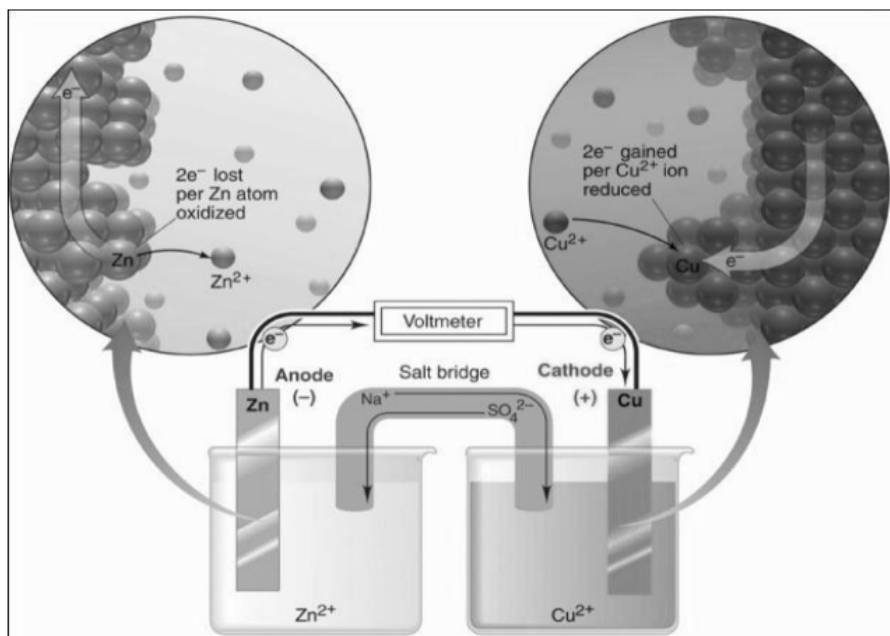
CATEGORY C: UNDERSTANDING OF WHAT MAKES TOPIC EASY OR DIFFICULT TO UNDERSTAND

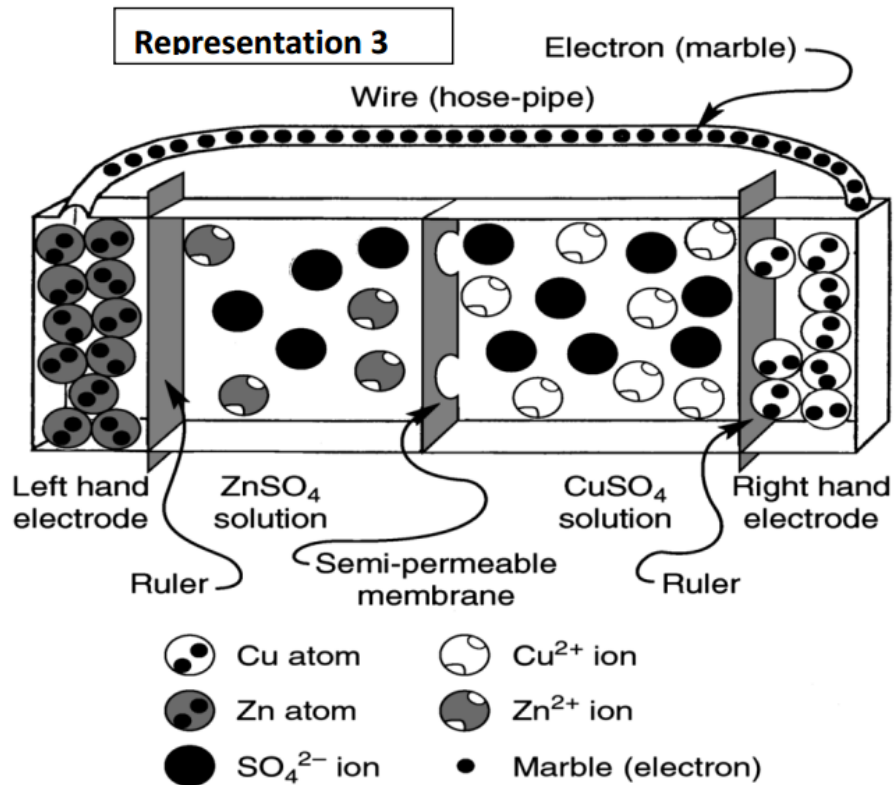
5. What concepts do you find difficult to teach in electrochemistry? Select your choice and provide reason(s) in the table below.

Concept	X	Why is it difficult to teach?
Cell construction Galvanic vs. electrolytic cells		
The calculation of cell potentials		
Identification of anode and cathode using E^\ominus values/ Using half- cell reactions to identify the electrodes		
Conduction in the electrolyte		
Electrical neutrality		
Working with the electrode potential values		
Deciding positive and negative electrodes in galvanic and electrolytic cells		

CATEGORY D: REPRESENTATIONS/ANALOGIES/MODELS

6. Below are possible representations/ for teaching the concept of electrochemical cells (galvanic and electrolytic cells).

Representation 1

Representation 2




6.1. Complete the table below by providing as many details as possible about each representation.

Representation N°	What I like	What I do not like
1		
2		
3		

6.2. Which representation do you like most?

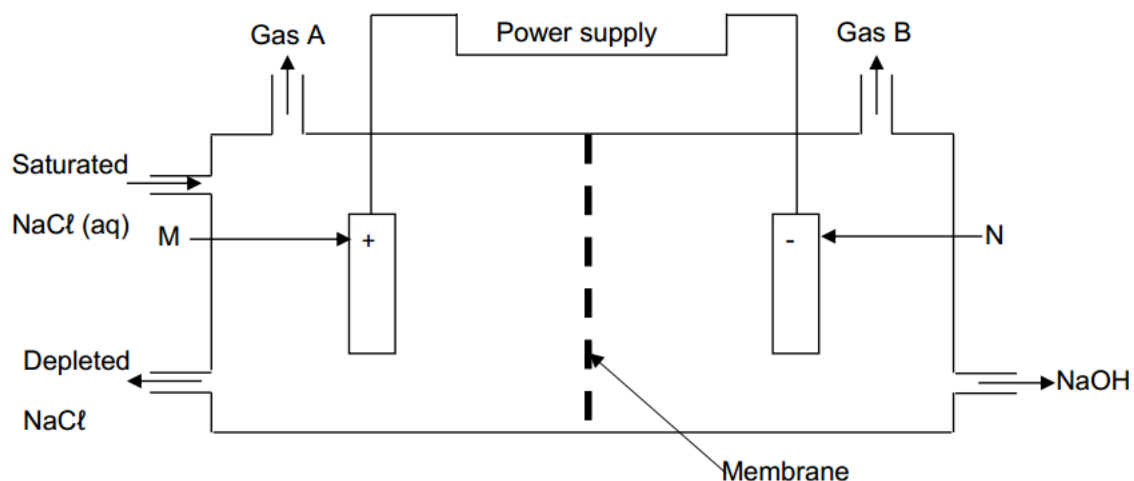
6.3. How would you use the representation that you like most?

CATEGORY E: CONCEPTUAL TEACHING STRATEGIES.

7.0. Learners are given the following task:

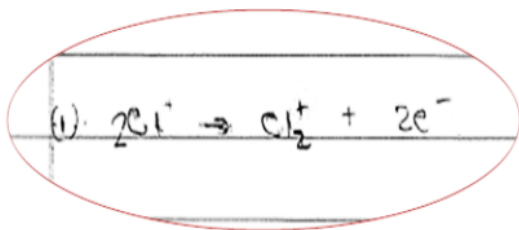
You ask learners to study the membrane cell shown in the diagram below and determine which products will form during the electrolysis of a saturated salt solution.

You ask the learners to write down the equation for the half-reaction taking place at the electrode M.

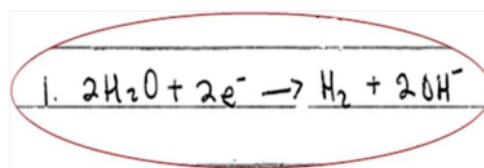


The learners provided the answers below:

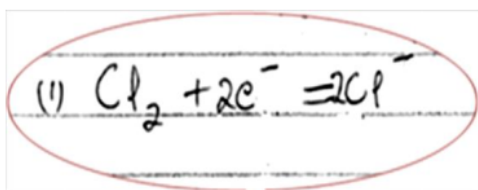
Extract 1



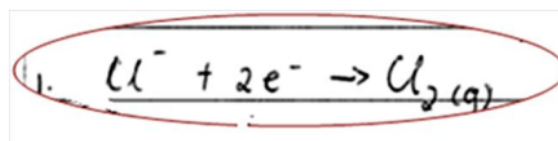
Extract 2



Extract 3



Extract 4



Explain how you would assist these learners to move towards the correct answer explaining what their errors are.

Thank you

Apêndice B – Primeira versão do teste

1. Como você responde a alguém que faz a seguinte afirmação:

"Os elétrons fluem através da ponte salina para manter a célula galvânica neutra"

Resposta A: Não, este não é o caso. Os elétrons não fluem através da ponte salina para manter a célula galvânica neutra, mas através do circuito externo. Só os íons fluem através da ponte salina.

Resposta B: Não, este não é o caso. Os elétrons precisam de um meio como um fio (sólido) que é um bom condutor para que fluam. A ponte salina contém uma solução e somente os íons podem fluir dentro da ponte salina.

Resposta C: Não, este não é o caso. Os elétrons fluem através do fio externo enquanto os íons fluem através da ponte salina. O fluxo dos íons através da ponte salina manterá a célula galvânica eletricamente neutra.

Resposta D: Nenhuma das alternativas acima. Tenho outra resposta, que é ...

Escolha sua resposta e indique as razões para escolha no espaço abaixo:

As razões para a minha resposta são....

2. Qual será a sua resposta para alguém que pergunte:

"É verdade que em ambas as células - eletrolíticas e galvânicas, a oxidação sempre ocorre no ânodo e redução sempre ocorre no cátodo? "

Resposta A: Sim, é verdade que em ambas as células - eletrolíticas e galvânicas, a oxidação sempre ocorre no ânodo e a redução sempre ocorre no cátodo. Os elétrons podem ser perdidos pelo material do ânodo ou íons perto do ânodo e ganhos pelos íons perto do cátodo.

Resposta B: Sim, é verdade que em ambas as células eletrolíticas e galvânicas, a oxidação sempre ocorre no ânodo e a redução no cátodo. A diferença é que, na célula eletrolítica, o ânodo é positivo enquanto o cátodo é negativo e vice-versa para a célula galvânica. Observe que os elétrons fluem do ânodo para o cátodo.

Resposta C: Sim, é verdade, embora o ânodo na célula eletrolítica seja positivo (em virtude de estar conectado ao terminal positivo da célula).

Resposta D: Nenhuma das alternativas acima. Tenho outra resposta, que é ...

Escolha sua resposta e indique as razões para escolha no espaço abaixo:

As razões para a minha resposta são....

3. Quais são as dificuldades de se aprender/ensinar eletroquímica? Justifique.

4. Escolha pelo menos três itens da lista fornecida e coloque-os em uma sequência que retrata a melhor ordem de ensino/aprendizagem. Forneça razões para sua escolha e a sequência sugerida.

1	A oxidação e a redução ocorrem simultaneamente.	8	As equações devem ser equilibradas
2	A energia proveniente de reações químicas produz eletricidade	9	A eletroquímica tem importantes aplicações na vida cotidiana
3	A neutralidade elétrica é preservada na célula	10	Processos de galvanização utilizam reações redox
4	Os potenciais dos eletrodos estão ligados à energia da semirreação	11	Cálculo dos potenciais das células
5	As reações de semicélula estão ligadas ao potencial de eletrodo	12	As células galvânicas produzem eletricidade
6	Íons carregam carga em solução	13	Outros
7	A eletricidade pode ser usada para produzir uma reação química.		

Sequência sugerida de conceitos	Motivos

5. Quais tópicos devem ter sido abordados na química antes que você possa aprender/ensinar a eletroquímica? Justifique.

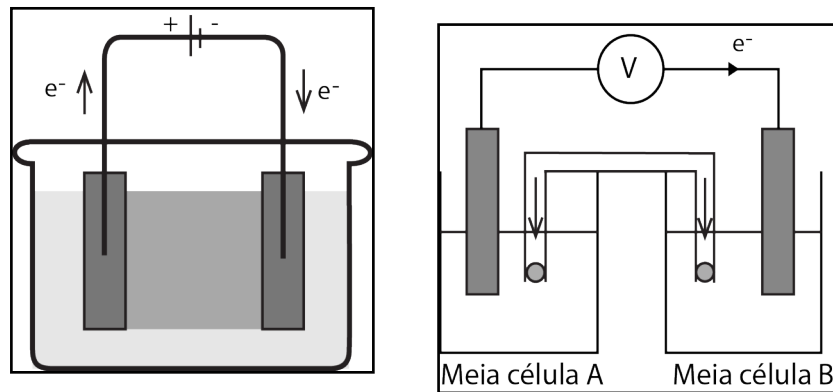
6. Por que é importante aprender sobre eletroquímica? Justifique.

7. Que conceitos você acha difícil de aprender/ensinar em eletroquímica? Selecione e justifique.

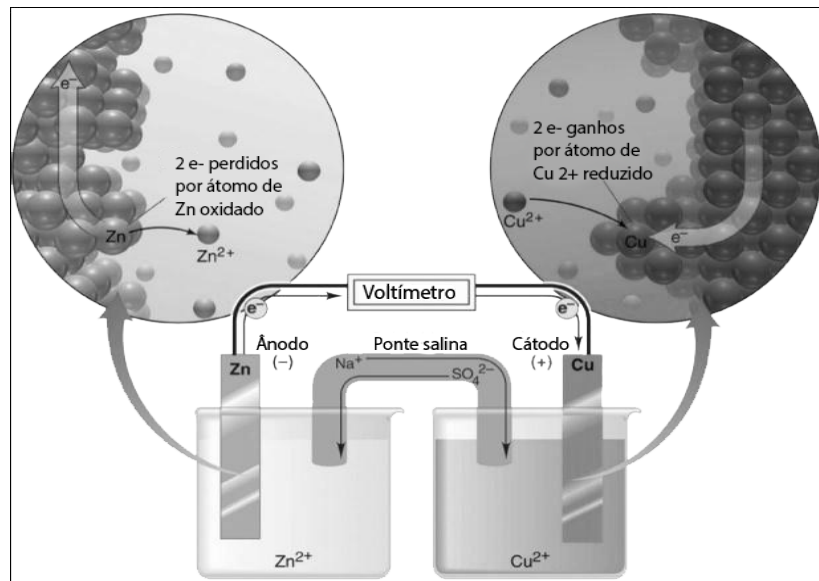
Conceito	√	Por que é difícil de ensinar
Construção de células		
Células galvânicas vs. eletrolíticas		
O cálculo dos potenciais das células		
Identificação de ânodo e cátodo usando valores de E^\ominus / Uso de reações de semicélula para identificar os eletrodos		
Condução no eletrólito		
Neutralidade elétrica		
Trabalhando com os valores de potencial do eletrodo		
Decidir eletrodos positivo e negativo em células galvânicas e eletrolíticas		

Observe as seguintes representações

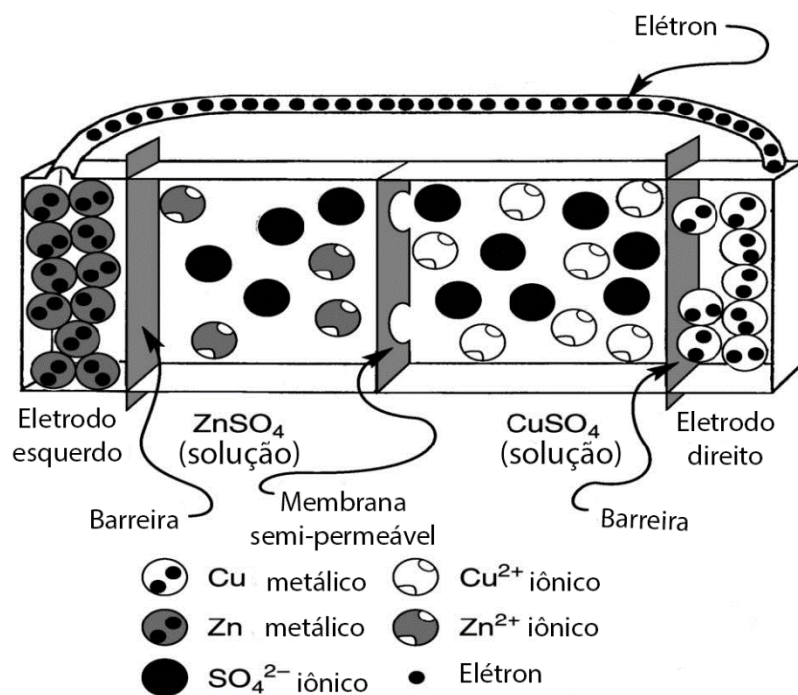
Representação 1



Representação 2



Representação 3

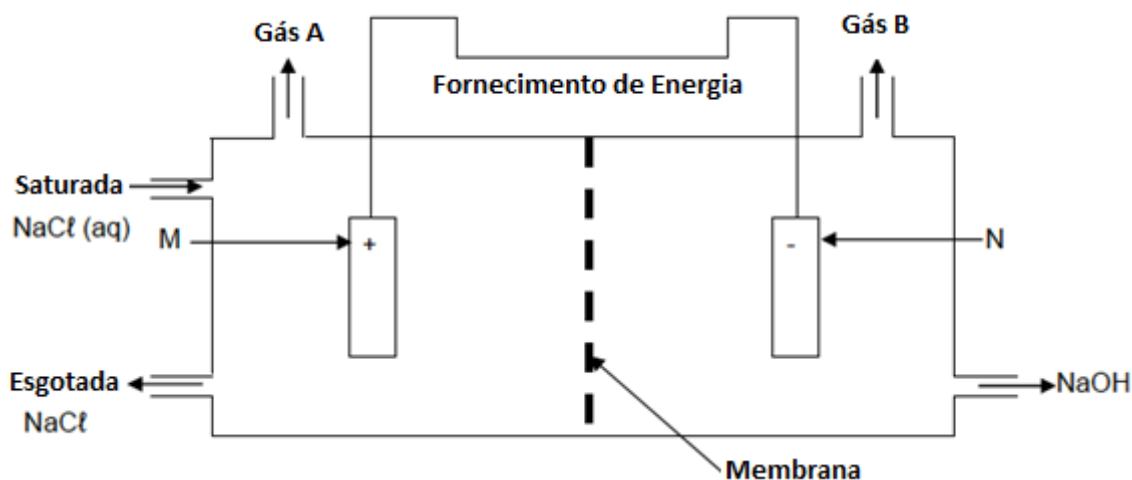


8. Complete as tabelas abaixo com os pontos que você gosta e não gosta de cada representação.

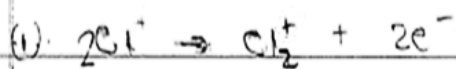
Nº da representação	O que eu gosto	O que eu não gosto
1		
2		
3		

9. Qual representação você considera mais adequada? Como você explicaria a representação escolhida?

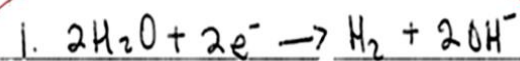
10. Você pede aos alunos que estudem a célula de membrana mostrada no



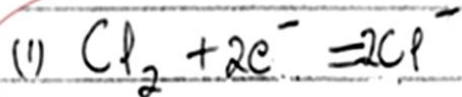
Excerto 1



Excerto 2



Excerto 3



Excerto 4

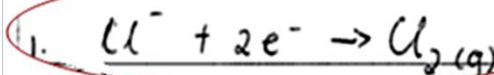


diagrama abaixo e determinem quais produtos se formarão durante a eletrólise de uma solução de sal saturada e que escrevam a equação para a semirreação que ocorre no eletrodo M.

Os alunos fornecem as respostas abaixo:

Explique como você ajudaria esses alunos a avançar para a resposta correta, explicando os erros.

A large empty rectangular box with a black border, intended for the user to write an explanation of how to help students reach the correct answer and identify their errors.

APÊNDICE C – SEGUNDA VERSÃO DO TESTE

Ensino de eletroquímica

01. Em uma prova que você aplicou para uma turma do segundo ano do Ensino Médio, foi solicitado que os alunos discorressem sobre a ponte salina e sua função na pilha. Um dos alunos respondeu o seguinte:

“Os elétrons fluem através da ponte salina para manter a célula galvânica neutra”

Você percebe que além deste aluno, outros alunos deram respostas semelhantes. (a) Como você avaliaria esta questão: incorreta ou parcialmente correta? Justifique sua resposta. (b) Como você procederia, em sala de aula, para evitar respostas semelhantes em turmas futuras?

A tabela a seguir lista algumas ideias presentes no conteúdo de Pilha. Utilize-as para responder as questões 43 e 44.

1	As reações das semicélulas ocorrem simultaneamente.	8	O ânodo é o polo negativo e o cátodo é o polo positivo.
2	Fotossíntese e combustão como exemplo de reações redox	9	As equações devem ser equilibradas.
3	A neutralidade elétrica é preservada na célula pela ponte salina.	10	O conteúdo de Pilha tem importantes aplicações na vida cotidiana.
4	As reações da semicélula estão ligadas ao potencial de eletrodo.	11	As células galvânicas produzem eletricidade.
5	Íons carregam carga em solução.	12	A Pilha de Daniell possui um eletrodo de zinco e outro de cobre, ambos submersos em soluções de sulfato dos respectivos metais.
6	O ânodo sofre oxidação e o cátodo sofre redução	13	Cálculo dos potenciais das células.

7	Os potenciais dos eletrodos estão ligados à energia da semirreação.	14	Outra(s).
---	---	----	-----------

02. Ao aprender Pilha é comum, por exemplo, os alunos acharem que as reações das semicélulas não ocorrem de forma simultânea. Relacionadas às ideias presentes na tabela, quais outras concepções errôneas você já percebeu que seus alunos demonstram?

03. Dentre as ideias presentes na tabela, organize-as de acordo com as instruções a seguir (a) primeiro escolha uma ideia que você acredita ser a mais importante ao ensinar o conteúdo de Pilha e escreva-a no espaço destinado à ideia central. (b) Depois escolha outras três que você considera subordinadas à ideia central. Escreva-as, na ordem que você as lecionaria. (c) Justifique a escolha das ideias e do sequenciamento.

Ideia central:
Ideia subordinada 1:
Ideia subordinada 2:
Ideia subordinada 3:
Justificativa:

04. Quais dos conteúdos da tabela abaixo você considera serem os **três** mais importantes que devem ser ensinados em química **antes** de você ensinar o conteúdo de Pilha? Justifique a escolha de cada um dos **três** conteúdos.

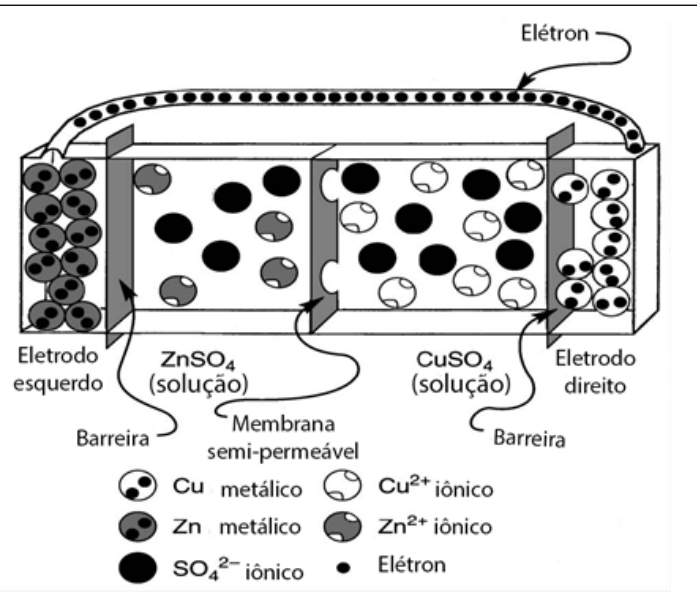
Balanceamento de equações	Isomeria
Eletricidade	Ligações químicas
Eletrólise	Mol e estequiometria
Eletronegatividade	Oxidação e redução
Entalpia e entropia	Propriedades coligativas
Estrutura da matéria	Reações químicas
Funções inorgânicas	Solução
Forças intermoleculares	Outro(s)

05. Quais das seguintes ideias de Pilha você considera serem as **duas** mais difíceis de lecionar? Forneça razões para a dificuldade das ideias selecionadas.

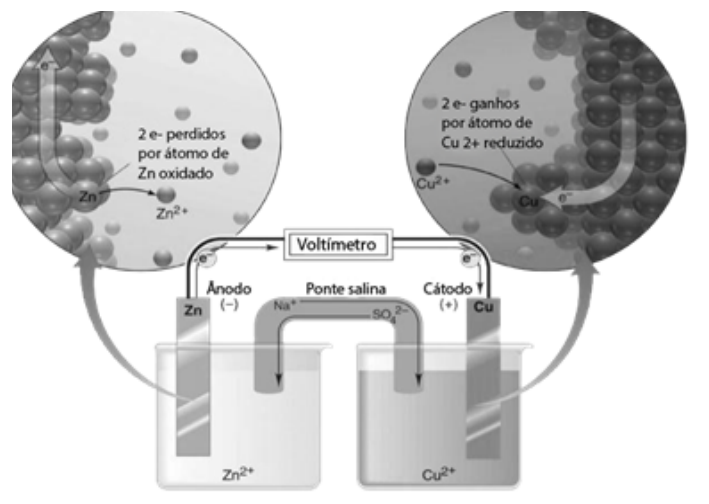
Explicar a simultaneidade das reações redox	
Célula galvânica vs célula eletrolítica	
Cálculo do potencial das células	
Identificação do ânodo e do cátodo usando o E°	
Condução no eletrólito	
Neutralidade elétrica	
Trabalhar com os valores dos potenciais do eletrodo	
Identificar os eletrodos positivos e negativos na célula galvânica	
A diferença de explicação do sentido do fluxo de elétrons entre a química e a física	
Outro:	
Outro:	

06. Analise as três representações abaixo, destacando aspectos positivos e negativos de pelo menos **duas** delas.

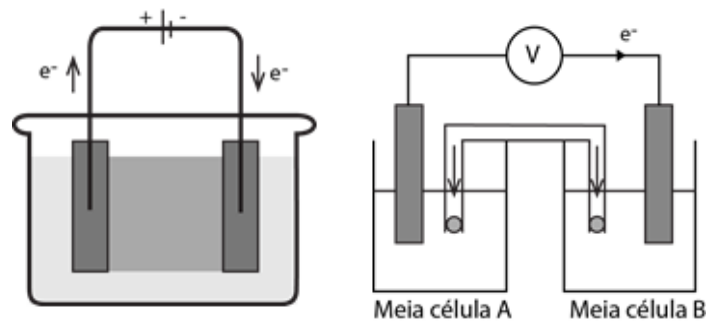
Representação 1:



Representação 2:



Representação 3:



Representação	Aspectos positivos	Aspectos negativos
1		
2		
3		

Leia as propostas de aulas abaixo para responder às questões 9 e 10. As propostas foram elaboradas por professores diferentes. Ambas as propostas foram planejadas para serem aplicadas em turmas de segundo ano do Ensino Médio.

PROPOSTA 1.

Comentários do professor: Para introduzir os conceitos de oxidação e redução é possível realizar o experimento da combustão da palha de aço como modo de chamar a atenção do aluno.

Conceitos abordados: Combustão, oxidação, redução, agente redutor, agente oxidante.

Estratégia utilizada: Atividade experimental demonstrativa (combustão da palha de aço) e aula expositiva dialogada.

Duração e local da aula: 50 minutos; sala de aula.

Sequência:

- Inicialmente pedirei para que os alunos se disponham em formato de meia-lua.
- Depois discutirei verbalmente com os alunos os usos e constituintes da palha de aço, anotando no quadro algumas ideias que os alunos levantarem.
- Posteriormente realizarei a demonstração da combustão da palha de aço, me posicionando a frente da meia-lua, de modo que todos consigam ver.
- Após a combustão escreverei a equação na lousa ($4\text{Fe}_{(s)} + 3\text{O}_{2(g)} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_{3(s)}$).
- Por meio da equação calcularei o NOx, mostrando que o oxigênio ganha elétrons e o ferro perde elétrons.
- Deste modo, introduzirei os conceitos de oxidação, redução, agente oxidante e agente redutor, escrevendo na lousa a definição de cada um dos conceitos e identificando na reação da combustão quem sofre oxidação e redução, e quem é o agente oxidante e redutor.

- Durante a explicação darei ênfase no fato de que a oxidação acontece também sem o oxigênio, exemplificando com a reação entre o zinco e o cobre: $Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Zn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$.
- A reação entre o zinco e o cobre servirá como um gancho, na próxima aula, para começar a trabalhar o conceito de Pilha.

PROPOSTA 2

Comentários do professor: como já lecionei reações redox para esta turma, pode-se assumir que a mesma já está apta a iniciar o conteúdo de pilhas.

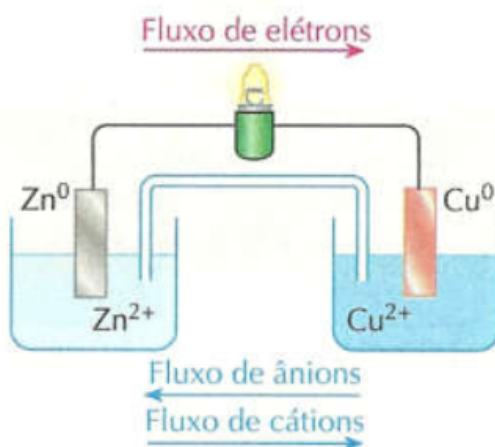
Conceitos abordados: Eletrodo, cátodo, ânodo, montagem de uma pilha.

Estratégia utilizada: Aula expositiva dialogada e atividade experimental (montagem de uma pilha).

Duração e local da aula: 100 minutos; laboratório de ciências.

Sequência:

- Inicialmente pedirei aos alunos que formem grupos de cinco alunos e se disponham nas bancadas do laboratório.
- Posteriormente desenharia no quadro negro a seguinte representação:



- Depois introduzirei, com o auxílio da representação de pilha, o conceito de cátodo, eletrodo no qual ocorre a redução, e de ânodo, eletrodo onde há oxidação.
- Para reforçar os conceitos, escreverei também no quadro as reações de oxidação do zinco ($Zn_{(s)} \rightleftharpoons Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$) e redução do cobre ($Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Cu_{(s)}$); para mostrar aos alunos que como o eletrodo de zinco oxida, então ele é o ânodo, e como o eletrodo de cobre reduz, então ele é o cátodo.
- Após escrever as reações individuais dos eletrodos, escreveria a reação global ($Zn_{(s)} +$

$\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})} + \text{Cu}_{(\text{s})}$), explicando que os elétrons fluem do ânodo para o cátodo.

Também indicarei este fluxo de elétrons no desenho da pilha feito anteriormente.

- Ao final, os alunos montariam uma pilha, seguindo um roteiro prático com o passo a passo de construção de uma pilha que será distribuído a eles.
- Para acompanhamento do desempenho, passarei observando os resultados dos alunos, fazendo indagações sobre a montagem da pilha, de modo a avaliar a compreensão dos mesmos.

07. Analise e compare as duas estratégias, destacando aspectos positivos e negativos de ambas.

Pontos positivos	Pontos negativos
Justificativa	

APÊNDICE D – TERCEIRA VERSÃO DO TESTE

Contexto para o questionário

Para responder as questões, imagine-se lecionando para uma turma de segundo ano do ensino médio, composta de aproximadamente 30 alunos, em uma escola com boa estrutura.

Categoria A: Currículo

01.a Dentre as ideias presentes na tabela abaixo, selecione (marcando um **x** ao lado) as quatro principais que você considera ao se ensinar Pilha.

1	As reações das semicélulas ocorrem simultaneamente.	
2	A fotossíntese e a combustão são reações redox.	
3	As reações da semicélula estão ligadas ao potencial de eletrodo.	
4	A neutralidade elétrica é preservada na célula pela ponte salina.	
5	Íons carregam carga em solução.	
6	No ânodo ocorre a oxidação e no cátodo ocorre a redução.	
7	Os potenciais dos eletrodos estão ligados à energia da semirreação.	
8	O ânodo é o polo negativo e o cátodo é o polo positivo.	
9	As equações devem ser balanceadas.	
0	1 O conteúdo de Pilha tem importantes aplicações na vida cotidiana.	
1	1 As células galvânicas produzem eletricidade.	
2	1 A Pilha de Daniell possui um eletrodo de zinco e outro de cobre.	
3	1 Cálculo dos potenciais das células.	

01.b Sequencie as quatro ideias que você selecionou em uma ordem que você considera mais apropriada para ensinar Pilha. Posteriormente, explique as razões para a ordem escolhida.

Ideia 1:
Ideia 2:
Ideia 3:
Ideia 4:
Justificativa

02. Quais dos conteúdos da lista abaixo você considera como os **três** mais importantes que devem ser ensinados em química **antes** de você ensinar o conteúdo de Pilha? (Marque um **x** ao lado)

Balanceamento de equações	
Eletrólise	
Eletronegatividade	
Entalpia e entropia	
Estrutura da matéria	
Funções inorgânicas	
Forças intermoleculares	
Isomeria	

Ligações químicas	
Oxidação e redução	
Propriedades coligativas	
Quantidade de matéria e estequiometria	
Reações químicas	
Solução	
Outro(s)	

Justifique a escolha de **cada um** dos conteúdos selecionados.

Conteúdo 1:

Conteúdo 2:

Conteúdo 3:

Categoria B: Dificuldades de ensino

03. Quais das seguintes ideias de Pilha você considera como as **duas** mais difíceis de lecionar?
(Marque um **x** ao lado)

Explicar a simultaneidade das reações redox	
Célula galvânica <i>versus</i> Célula eletrolítica	
Cálculo do potencial das células	
Identificar os eletrodos positivos e negativos na célula galvânica	
Condução no eletrólito	
Neutralidade elétrica	
Trabalhar com os valores dos potenciais do eletrodo	
Identificação do ânodo e do cátodo usando o E°	
Fluxo de elétrons na química e na física	
Outro	

Forneça razões para a dificuldade de **cada uma** das ideias escolhidas.

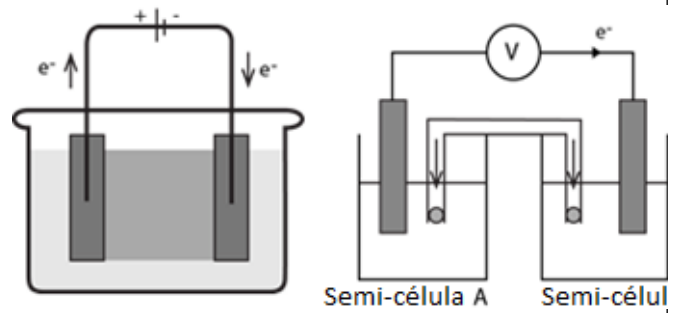
Ideia 1:

Ideia 2:

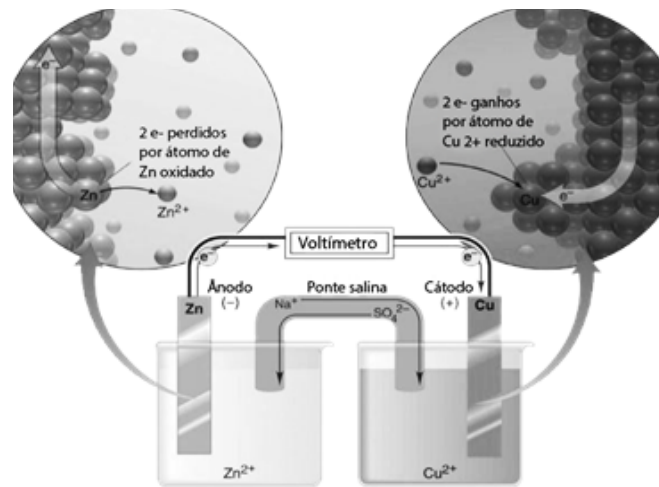
Categoria C: Representações

Abaixo mostramos três representações que podem ser utilizadas para ensinar o conteúdo de Pilha.

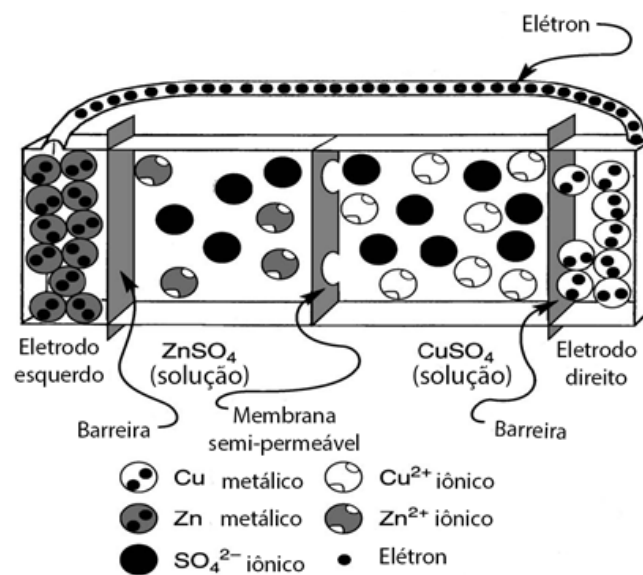
Representação 1:



Representação 2:



Representação 3:



04.a Escolha **uma** das representações apresentadas e aponte aspectos positivos e negativos da mesma.

Representação escolhida: Rep. 1 () Rep. 2 () Rep. 3 ()

Aspectos positivos	
Aspectos negativos	

04.b Como você utilizaria a representação escolhida no item anterior para explicar o conteúdo de Pilha?

--

Categoria D: Concepções dos alunos

05. Durante uma aula, você passa uma atividade aos seus alunos: desenhar um esquema de uma pilha de zinco e cobre. No esquema de um dos alunos, ele coloca o ânodo como polo positivo. Ao questioná-lo, ele responde:

“O ânodo possui um eletrodo de zinco. Como o zinco sofre oxidação, formando um cátion, o ânodo será o polo positivo”.

(a) Que comentário você faria ao aluno?

(b) Explique as razões para a resposta que você deu ao aluno.

06. Ao término de uma aula, você pediu aos alunos que explicassem o que havia entendido sobre ponte salina e sua função na pilha. Um dos alunos respondeu o seguinte:

“Entendi que os elétrons fluem através da ponte salina para manter a célula galvânica neutra”

(a) Que comentário você faria ao aluno?

(b) Explique as razões para a resposta que você deu ao aluno.

Categoria E: Estratégias conceituais

Levando em consideração as respostas dos alunos nas duas questões anteriores, responda nos quadros abaixo **ou** a questão 07.a **ou** a 07.b:

07.a Como você elaboraria uma aula sobre os componentes (placa metálica, eletrólitos e ponte salina) e os processos de uma Pilha (oxidação e redução), de modo a evitar respostas semelhantes às obtidas na questão 05? Elabore esta aula em duas situações: (i) em um contexto ideal de ensino, com todos os recursos disponíveis e (ii) no contexto real da escola na qual você leciona.

07.b Como você elaboraria uma aula sobre ponte salina, movimento de cargas (elétrons e íons) e neutralidade elétrica em uma Pilha, de modo a evitar respostas semelhantes às obtidas na questão 06? Elabore esta aula em duas situações: (i) em um contexto ideal de ensino, com todos os recursos disponíveis e (ii) no contexto real da escola na qual você leciona.

(i) Em um contexto ideal de ensino, com todos os recursos disponíveis.

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the student's response to question 07.a (i).

(ii) No contexto real da escola na qual você leciona.

A large, empty rectangular box with a thin black border, intended for the student's response to question 07.a (ii).

APÊNDICE E – RUBRICA PARA A TERCEIRA VERSÃO DO TESTE

VALOR DA RUBRICA					
Nº da Questão	Não apresenta (0)	Limitado (1)	Básico (2)	Em desenvolvimento (3)	Exemplar (4)
1	Nenhuma das posteriores	O professor fornece apenas razões genéricas para as ideias e a ordem escolhida.	O professor fornece razões que envolvem a progressão conceitual simples ou razões que parafraseiam as ideias selecionadas.	O professor fornece razões que envolvem a progressão conceitual. A razão fornecida pelo professor contempla mais de duas das ideias selecionadas e possui expansão conceitual	O professor fornece razões que envolvem a progressão conceitual. A razão fornecida pelo professor contempla mais de duas das ideias selecionadas e possui expansão conceitual. A razão fornecida pelo professor detalha a sequência de ensino ou envolve aspectos pedagógicos do conteúdo, como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.
2	Nenhuma das posteriores	O professor fornece justificativas predominantemente genéricas (motivação, facilidade, etc), sem lógica, errôneas, ou que apenas parafraseiam os conteúdos.	O professor fornece justificativas predominantemente químico-específicas (definição ou explanação química dos conteúdos).	O professor fornece justificativas predominantemente tópico-específicas (explicações que relacionem o conteúdo com alguma ideia/conceito de Pilha).	O professor fornece justificativas predominantemente tópico-específicas (explicações que relacionem o conteúdo com alguma ideia/conceito de Pilha). As justificativas envolvem aspectos pedagógicos do conteúdo, como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.

3	Nenhuma das posteriores	O professor fornece somente justificativas genéricas (motivação, facilidade, etc), sem lógicas, errôneas ou que parafraseiam as ideias.	O professor justifica somente uma ideia de forma química ou tópico-específica (definição ou explanação química dos conteúdos).	O professor justifica as duas ideias de forma química ou tópico-específica (definição ou explanação química dos conteúdos).	O professor justifica ao menos uma das ideias envolvendo aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.
4	Nenhuma das posteriores	O professor identifica ao menos um conceito abordado na representação.	O professor identifica ao menos um conceito abordado na representação. O professor fornece um uso específico para a representação.	O professor identifica conceitos abordados na representação. Os conceitos abordados devem contemplar diferentes níveis representacionais. O professor fornece um uso específico simples para a representação.	O professor identifica conceitos abordados na representação. Os conceitos abordados devem contemplar diferentes níveis representacionais. O professor fornecer um uso detalhado para a representação, o qual deve conter aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.
5	O professor não necessariamente reconhece a concepção do aluno. A resposta ao aluno é somente a resposta correta.	O professor reconhece a concepção do aluno. A resposta ao aluno é baseada em uma definição/explicação.	O professor reconhece a concepção do aluno. A resposta ao aluno é baseada em uma definição/explicação. O professor faz uma explanação envolvendo aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.	O professor reconhece a concepção do aluno. A resposta ao aluno é baseada em uma definição/explicação. O professor faz uma explanação envolvendo aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino. A explanação demonstra um domínio conceitual.	O professor não necessariamente reconhece a concepção do aluno. A resposta ao aluno é somente a resposta correta.

6	<p>O professor não reconhece a concepção do aluno.</p> <p>A resposta ao aluno é somente a resposta correta.</p>	<p>O professor reconhece a concepção do aluno.</p> <p>A resposta ao aluno é baseada em uma definição/explicação.</p>	<p>O professor reconhece a concepção do aluno.</p> <p>A resposta ao aluno é baseada em uma definição/explicação.</p> <p>O professor faz uma explanação envolvendo aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.</p>	<p>O professor reconhece a concepção do aluno.</p> <p>A resposta ao aluno é baseada em uma definição/explicação.</p> <p>O professor faz uma explanação envolvendo aspectos pedagógicos do conteúdo, tais como concepções dos alunos ou conceitos-chave para o ensino.</p> <p>A explanação demonstra um domínio conceitual.</p>	<p>O professor não necessariamente reconhece a concepção do aluno.</p> <p>A resposta ao aluno é somente a resposta correta.</p>
---	---	--	---	--	---

APÊNDICE F – ESCORES DOS RESPONDENTES TRANSFORMADOS PELA ANÁLISE

RASCH

Professores	Medida	Desvio	MNSQ	ZSTD	Professores	Medida	Desvio	MNSQ	ZSTD
PROF1	-5.03	1.86	-	-	PROF65	-2.13	.56	.94	.13
PROF2	0.73	.44	.83	-.20	PROF66	-2.13	.56	.85	-.02
PROF3	-1.59	.49	1.23	.57	PROF67	-2.95	.76	.69	.00
PROF4	-1.37	.47	1.72	1.32	PROF68	1.34	.47	.57	-.87
PROF5	-2.47	.63	2.04	1.27	PROF69	-1.37	.47	.89	-.05
PROF6	-.01	.43	1.99	1.56	PROF70	-.01	.43	2.61	2.19
PROF7	-.38	.43	.02	-3.68	PROF71	-3.73	1.05	.21	-.39
PROF8	1.34	.47	.29	-1.90	PROF72	-.38	.43	1.05	.27
PROF9	-.38	.43	.41	-1.19	PROF73	-3.73	1.05	.68	.22
PROF10	-.95	.45	.52	-.96	PROF74	.73	.44	1.82	1.49
PROF11	-1.84	.51	2.16	1.68	PROF75	.54	.43	.28	-1.85
PROF12	-.19	.43	1.33	.72	PROF76	.92	.44	1.85	1.56
PROF13	.36	.43	.65	-.57	PROF77	-.95	.45	.44	-1.23
PROF14	.73	.44	1.26	.65	PROF78	-3.73	1.05	2.60	1.27
PROF15	.54	.43	.84	-.16	PROF79	-1.59	.49	.64	-.59
PROF16	-1.37	.47	1.71	1.31	PROF80	-1.37	.47	.85	-.14
PROF17	-1.37	.47	.90	-.03	PROF81	-1.59	.49	.85	-.11
PROF18	.36	.43	.62	-.65	PROF82	-.76	.44	1.61	1.15
PROF19	.36	.43	2.28	1.95	PROF83	-2.47	.63	.26	-1.08
PROF20	-.95	.45	.79	-.28	PROF84	-2.95	.76	.32	-.58
PROF21	.18	.43	.62	-.61	PROF85	-.95	.45	.78	-.30
PROF22	-.76	.44	.78	-.28	PROF86	-5.03	1.86	-	-
PROF23	-.19	.43	.49	-.94	PROF87	-3.73	1.05	1.14	.57
PROF24	-.57	.44	.62	-.64	PROF88	.18	.43	1.24	.58
PROF25	.18	.43	1.20	.52	PROF89	-.19	.43	1.31	.68
PROF26	-.38	.43	.66	-.50	PROF90	-1.16	.45	.34	-1.60
PROF27	.73	.44	.72	-.47	PROF91	-.38	.43	1.22	.55
PROF28	-.01	.43	2.10	1.68	PROF92	-2.13	.56	.45	-.83
PROF29	-.01	.43	.45	-1.06	PROF93	-.76	.44	1.15	.44
PROF30	-1.16	.45	.75	-.37	PROF94	.18	.43	.74	-.33
PROF31	.36	.43	3.60	3.17	PROF95	-1.59	.49	1.59	1.11
PROF32	.73	.44	.90	-.03	PROF96	.73	.44	2.17	1.93
PROF33	-.01	.43	1.04	.25	PROF97	-.57	.44	.58	-.72
PROF34	-2.13	.56	.55	-.58	PROF98	-1.84	.51	.71	-.35
PROF35	-1.37	.47	3.56	3.23	PROF99	-1.84	.51	.71	-.34
PROF36	-.01	.43	1.43	.87	PROF100	-.95	.45	.45	-1.19
PROF37	-1.16	.45	1.48	1.00	PROF101	-1.84	.51	.61	-.56
PROF38	-.57	.44	.96	.11	PROF102	-2.13	.56	.97	.18
PROF39	.92	.44	1.21	.56	PROF103	-.95	.45	.71	-.47
PROF40	-.19	.43	1.59	1.08	PROF104	-.57	.44	.94	.07
PROF41	.92	.44	.41	-1.41	PROF105	-1.16	.45	.44	-1.24

PROF42	-.95	.45	1.79	1.42	PROF106	-2.95	.76	.32	-.58
PROF43	-2.95	.76	.32	-.58	PROF107	-1.59	.49	1.53	1.01
PROF44	-1.37	.47	.38	-1.42	PROF108	-1.84	.51	.92	.06
PROF45	.18	.43	1.81	1.37	PROF109	-.95	.45	.87	-.09
PROF46	-1.84	.51	.61	-.56	PROF110	-.19	.43	1.40	.82
PROF47	-5.03	1.86	-	-	PROF111	-.57	.44	2.04	1.66
PROF48	-1.59	.49	1.30	.68	PROF112	.18	.43	2.88	2.49
PROF49	-.38	.43	.66	-.51	PROF113	-.38	.43	.45	-1.07
PROF50	-.38	.43	1.89	1.46	PROF114	-.95	.45	1.69	1.29
PROF51	-.76	.44	.63	-.63	PROF115	-.57	.44	1.12	.39
PROF52	2.14	.58	.95	.11	PROF116	-1.84	.51	1.87	1.37
PROF53	-1.16	.45	1.30	.71	PROF117	.36	.43	.78	-.27
PROF54	-1.84	.51	1.41	.81	PROF118	-1.37	.47	.80	-.25
PROF55	.54	.43	1.15	.45	PROF119	-.76	.44	.31	-1.64
PROF56	-.38	.43	.77	-.27	PROF120	.36	.43	.89	-.04
PROF57	-2.13	.56	.85	-.02	PROF121	.18	.43	1.26	.62
PROF58	-.95	.45	.75	-.35	PROF122	-.95	.45	.38	-1.44
PROF59	-3.73	1.05	2.61	1.27	PROF123	-.76	.44	1.34	.76
PROF60	-.19	.43	.68	-.46	PROF124	-1.59	.49	.70	-.43
PROF61	-3.73	1.05	.21	-.39	PROF125	-.95	.45	.65	-.61
PROF62	-.38	.43	.49	-.95	PROF126	-2.13	.56	1.16	.45
PROF63	-2.13	.56	.98	.20	PROF127	-.19	.43	.83	-.12
PROF64	-.76	.44	.26	-1.89	PROF128	-.76	.44	.44	-1.19

APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO DE AUTOCONCEITO EM SMK DE QUÍMICA, PILHA E TÓPICO FAVORITO.**AUTOPERCEPÇÃO DE QUÍMICA COMO UM TODO**

A seguir, você encontrará algumas afirmações sobre como você se avalia em duas áreas de conhecimento de um professor de química: seu conhecimento em Química e seu conhecimento sobre Como Ensinar Química. Por favor, marque como você se avaliaria tendo como referência sua atuação recente.

Para cada afirmação, você deve marcar uma opção (discordo fortemente, discordo, concordo ou concordo fortemente) levando em conta cada área de conhecimento.

	Discordo fortemente	Discordo	Concordo	Concordo fortemente
1. Eu me lembro da maioria dos termos e fatos importantes sobre:				
Química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Como ensinar química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Eu consigo dar uma visão geral dos tópicos sobre:				
Química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Como ensinar química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Eu posso, claramente, apresentar questões complicadas sobre:				
Química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Como ensinar química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Eu consigo elaborar uma questão ou indagação típica sobre:				
Química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Como ensinar química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Eu consigo trabalhar as contradições e semelhanças (por exemplo, contradições entre diferentes modelos ou métodos) sobre:				
Química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Como ensinar química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

AUTOPERCEPÇÃO DO MEU CONTEÚDO FAVORITO DE QUÍMICA

Dentre toda a área de Química, qual conteúdo você mais gosta de lecionar?

Na seção anterior, você se avaliou levando em consideração a Química como um todo. A seguir, deverá responder as mesmas questões, mas levando em consideração apenas o conteúdo que mais gosta de lecionar.

Para cada afirmação, você deve marcar uma opção (discordo fortemente, discordo, concordo ou concordo fortemente) levando em conta cada área de conhecimento.

	Discordo fortemente	Discordo	Concordo	Concordo fortemente
6. Eu me lembro da maioria dos termos e fatos importantes sobre:				
Meu conteúdo favorito de química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensinar meu conteúdo favorito de química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Eu consigo dar uma visão geral dos tópicos sobre:				
Meu conteúdo favorito de química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensinar meu conteúdo favorito de química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Eu posso, claramente, apresentar questões complicadas sobre:				
Meu conteúdo favorito de química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensinar meu conteúdo favorito de química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Eu consigo elaborar uma questão ou indagação típica sobre:				
Meu conteúdo favorito de química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensinar meu conteúdo favorito de química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Eu consigo trabalhar as contradições e semelhanças (por exemplo, contradições entre diferentes modelos ou métodos) sobre:				
Meu conteúdo favorito de química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ensinar meu conteúdo favorito de química	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

AUTOPERCEPÇÃO DO CONTEÚDO DE ELETROQUÍMICA

Dentre todos os conteúdos de Química, o conteúdo de *Eletroquímica* receberia qual nota no quesito "gosto de lecionar" (circule o número referente à nota)? Como referência, imagine que uma nota 10 pertence ao conteúdo que você mais gosta de lecionar.

01 02 03 04 05 06 07 08 09 10

Nas seções anteriores, você se avaliou levando em consideração todo o conteúdo de Química e o conteúdo que mais gosta de lecionar. A seguir, deverá responder as mesmas questões, mas levando em consideração apenas o conteúdo específico de Eletroquímica.

Para cada afirmação, você deve marcar uma opção (discordo fortemente, discordo, concordo ou concordo fortemente) levando em conta cada área de conhecimento.

	Discordo fortemente	Discordo	Concordo	Concordo fortemente
Eu me lembro da maioria dos termos e fatos importantes sobre:				
Eletroquímica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Como ensinar eletroquímica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu consigo dar uma visão geral dos tópicos sobre:				
Eletroquímica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Como ensinar eletroquímica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu posso, claramente, apresentar questões complicadas sobre:				
Eletroquímica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Como ensinar eletroquímica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu consigo elaborar uma questão ou indagação típica sobre:				
Eletroquímica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Como ensinar eletroquímica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Eu consigo trabalhar as contradições e semelhanças (por exemplo, contradições entre diferentes modelos ou métodos) sobre:				
Eletroquímica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Como ensinar eletroquímica	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>