UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Física
Instituto de Química
Instituto de Biociências
Faculdade de Educação

Luciane Fernandes de Goes

Reações redox: uma proposta para desenvolver o conhecimento pedagógico do conteúdo

FEUSP

São Paulo

2018

Luciane Fernandes de Goes

**Reações redox:
uma proposta para desenvolver o
conhecimento pedagógico do conteúdo**

Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Doutor em Ensino de Ciências.
Área de concentração: Ensino de Química.

Orientadora: Profa. Dra. Carmen Fernandez

São Paulo – SP

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

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

Goes, Luciane Fernandes de

Reações redox: uma proposta para desenvolver o conhecimento pedagógico do conteúdo. São Paulo, 2018.

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 continuada do professor; 4. Desenvolvimento profissional;
5. Conhecimento pedagógico do conteúdo.

USP/IF/SBI-094/2018

*Aos meus pais,
Evaristo e Vera Milena,
alicerces da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Maior desafio do que escrever esta tese é conseguir expressar em palavras meus sinceros agradecimentos por aquelas pessoas que fizeram parte de toda essa trajetória. Quero agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho. Mais especificamente, quero deixar expressa minha gratidão:

À Deus, por estar ao meu lado, me guiando nesse longo caminho, com altos e baixos, tristezas e alegrias, protegendo-me e auxiliando-me na tomada de cada decisão.

Aos meus pais, Evaristo e Vera Milena, pelo amor incondicional, sem vocês eu nunca teria chegado aonde eu cheguei. Obrigada pai, por ser o melhor pai do mundo, um exemplo de homem trabalhador, por me ensinar que é preciso lutar para conquistar, por ser meu maior exemplo. Obrigada mãe, que com seu coração enorme, me ensinou a ser forte e nunca desistir dos meus sonhos, obrigada pelo apoio em todos os momentos.

Ao Enderson, meu amor, pelo companheirismo de sempre, pelo suporte e confiança enquanto eu estava na Alemanha, pela enorme paciência, por entender meus momentos de nervosismo, por todo suporte emocional, e pela imensa força que me deu na reta final da tese, principalmente pelas muitas horas que passou acordado comigo.

Ao meu irmão, Evaristo (Nenê), que apesar de tantas brigas, sempre esteve ao meu lado, cuidando e torcendo muito.

À minha Tia Sueli, professora do Estado por 44 anos em sala de aula, um exemplo de profissional, obrigada por todo carinho proporcionado ao longo desses anos.

À Professora Carmen Fernandez, que além de me orientar, pode acompanhar as alegrias, os sofrimentos, as decepções e os sucessos que conviveram com essa tese. Agradeço por todos os ensinamentos e pela parceria. São oito anos memoráveis! Obrigada por não ter desistido do pedido de bolsa BEPE. E, mais uma vez, obrigada por ter confiado no meu trabalho e acreditado no meu potencial.

Ao Aldo Tonso, meu “pai acadêmico”, pelo incentivo ao doutorado sanduiche e pela ajuda nos meus primeiros meses na Alemanha.

À Professora Silvia Agostinho por ter me dado a oportunidade de ajudá-la em seus cursos de extensão, que além da experiência adquirida, pude aprender e aprimorar meus conhecimentos químicos. Obrigada por todo o ensinamento e, acima de tudo, por me mostrar que nessa vida sempre há tempo para um “cafezinho”.

À Professora Luciana Sá pelas sugestões e críticas que enriqueceram essa tese.

Ao Professor Ingo Eilks, da Universidade de Bremen, por me receber em seu grupo de pesquisa como sua aluna de doutorado e por prontamente me ajudar sempre que o procurei. Obrigada pela orientação.

Aos colegas do PEQuim, pelas discussões teóricas, pelos momentos de estudos e de reflexões. Em especial à Keysy, pela convivência diária, pelos exaustos trabalhos sobre estado da arte e pelas deliciosas mandiocas cremosas. E ao Pablo, pelo seu espírito metódico ou, pode-se dizer, por toda sua chatice (aspecto positivo nesse contexto), suas críticas engrandeceram esse trabalho.

À Leila, obrigada por me inspirar no início do doutorado e, mesmo distante, com toda a correria da vida profissional e pessoal, sempre esteve disposta a me ajudar.

Ao Gildo, pelas discussões acadêmicas e, principalmente, por escutar minhas lamentações e desesperos sobre a tese.

Ao Evandro, por todas as horas no gtalk, por nossos almoços no bandeirão, por todos artigos e livros compartilhados e por ser sempre tão solícito.

Aos amigos que fiz em Bremen: agradeço pelos almoços no *Mensa*, pelos jantares e piqueniques, pelos passeios e atividades culturais, pelas trocas de experiências que fizeram com que minha estadia fosse inesquecível. Agradecimento especial à Xiaoge, por me amparar quando cheguei na Universidade e pelas colaborações acadêmicas. E a Lisset, por ter me acolhido em sua casa no final do ano e sempre insistir que os meninos não falassem em espanhol para eu praticar meu inglês.

Agradeço aos professores participantes do curso de formação continuada, que por questões de confidencialidade não posso revelar seus nomes.

Ao Instituto de Química da Universidade de São Paulo pelo espaço físico, ao GEPEQ pelo empréstimo de materiais necessários, e ao Armando, técnico de laboratório, pela ajuda com o preparo de soluções. Aspectos que facilitaram a implementação do curso de formação continuada.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão da bolsa de doutorado, processo nº 2014/14356-4, que possibilitou meus estudos e da bolsa de estágio de pesquisa no exterior, processo nº 2016/16354-4, que viabilizou parte da minha pesquisa em Bremen, Alemanha. Além desses, agradeço ao financiamento do projeto CEPID Redoxoma, processo nº 2013/07937-8 do qual esta tese faz parte.

“Se ao escalar uma montanha na direção de uma estrela, o viajante se deixa absorver demasiado pelos problemas da escalada, arrisca-se a esquecer qual é a estrela que o guia”

Antoine de Saint Exupéry

RESUMO

GOES, L. F. **Reações redox: uma proposta para desenvolver o conhecimento pedagógico do conteúdo.** 2018. 262f. Tese (Doutorado) apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

O conteúdo de reações redox tem sido apontado como sendo um dos mais difíceis para os docentes e estudantes de Química e é de fundamental importância que os professores desenvolvam o conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK) de tal tópico para melhor abordá-lo em sua prática pedagógica. Neste trabalho, investigou-se qual o impacto de um curso de formação continuada no desenvolvimento do PCK de professores de Química sobre reações redox. Para fundamentar a estruturação do curso, primeiramente foi feita uma revisão da literatura para mapear como o conteúdo redox vem sendo abordado e as limitações associadas ao seu ensino. Na sequência foram analisados como os livros didáticos do Ensino Médio abordam esse conteúdo e, em seguida, foram investigadas as dificuldades de professores do Ensino Médio em ensinar tal conteúdo. Por fim, investigou-se um curso de formação continuada que envolveu o conteúdo de reações redox. Finalizadas essas etapas de fundamentação, foi planejado e implementado um curso de formação continuada com intuito de desenvolver o PCK de professores sobre reações redox. Durante o curso, os professores foram observados e suas atividades foram analisadas. Os dados coletados se basearam nas respostas ao instrumento CoRe e a outros questionários relacionados às reações redox, planos de aulas, vinhetas e registros audiovisuais. Os dados foram analisados em termos de estratégias de ensino, materiais curriculares, métodos de avaliação e dificuldades dos alunos. Para a análise de dados utilizou-se a análise temática qualitativa com base nos cinco componentes do PCK propostos por Park e Oliver. Os resultados mostram que os professores, após a participação no curso de formação continuada, conseguiram desenvolver os componentes de forma independente e em diferentes níveis, sendo o conhecimento das estratégias o de maior destaque de melhora. Além disso, observam-se indícios de integração dos componentes do PCK.

Palavras-chave: conhecimento de professores; conhecimento pedagógico do conteúdo; formação de professores, reações redox.

ABSTRACT

GOES, L. F. **Redox reactions: a proposal to develop the Pedagogical Content Knowledge**. 2018. 262f. Thesis (Doctorate in Science Education – Chemical Education) submitted to the Physics Institute, Chemistry Institute, Bioscience Institute and Faculty of Education at the University of São Paulo, São Paulo, 2018.

The redox reactions content has been identified as one of the most difficult topics for chemistry students and teachers, and it is of fundamental importance to the development of chemistry teachers' pedagogical content knowledge (PCK). This study investigated the impact of a continuous professional development (CPD) course on the development of chemistry teachers' PCK of redox reactions. Firstly, a literature review was made in order to map how the redox content has been approached and the limitations associated with its teaching. Secondly, high school chemistry textbooks were analyzed to investigate how they address this content and then, difficulties of high school teachers' teaching this content were investigated. In addition, a CPD course that includes the content of redox reactions was investigated. After completing these steps, a CPD course was designed to develop chemistry teachers' PCK of redox reactions. During the course, teachers were observed and their activities were analyzed. The data were collected based on the responses to the CoRe (Content Representation) instrument and other questionnaires related to redox reactions, lesson plans, vignettes and audiovisual records. Data were analyzed in terms of teaching strategies, curricular materials, assessment methods and students' difficulties. For the data analyzing, it was used the qualitative thematic analysis based on the five PCK components proposed by Park and Oliver. The results showed that the teachers that participated in the CPD course, were able to develop the components at different levels independently and their knowledge of the teaching strategies has the most prominent improvement. In addition, evidence of the integration of PCK components was observed.

Keywords: teachers' knowledge; pedagogical content knowledge; teachers' training, redox reactions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de Conhecimento de Professores	34
Figura 2 - Modelo Pentagonal do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo para o ensino de ciências	38
Figura 3 - Modelo de Raciocínio Pedagógico e Ação (MRPA)	42
Figura 4 - Relação entre os três objetivos específicos dessa tese	47
Figura 5 - Uma visão geral do desenho do primeiro momento do estudo e os tipos de dados empíricos coletados	49
Figura 6 - Uma visão geral do desenho do segundo momento do estudo e os tipos de dados empíricos coletados	49
Figura 7 - Vinhetas utilizadas nesse estudo	57
Figura 8 – Processo de codificação em pesquisa qualitativa	64
Figura 9 - Quantidade de conteúdo redox presente em cada coleção de acordo com os subtemas	76
Figura 10 - Quantidade de conteúdo redox presente em cada coleção de acordo com as páginas	77
Figura 11 - Distribuição dos recursos visuais quanto à sequência didática	92
Figura 12 - Exemplos dos recursos visuais quanto à sequência didática - unidade evocação	93
Figura 13 - Exemplo dos recursos visuais quanto à sequência didática – unidade aplicação	93
Figura 14 - Distribuição dos recursos visuais quanto à iconicidade	94
Figura 15 - Exemplos dos recursos visuais quanto à iconicidade - unidade fotografia	95
Figura 16 - Exemplos dos recursos visuais quanto à iconicidade - unidade desenhos esquemáticos com signos normalizado	95
Figura 17 - Exemplos dos recursos visuais quanto à iconicidade - unidade desenhos figurativos com signos normalizados	96
Figura 18 - Distribuição dos recursos visuais quanto à funcionalidade	97
Figura 19 - Exemplos de recursos visuais quanto à funcionalidade	97
Figura 20 - Distribuição dos recursos visuais quanto à relação com o texto principal	98
Figura 21 - Exemplos de recursos visuais quanto à relação com o texto – unidade denotativa	99
Figura 22 - Exemplo de recursos visuais quanto à relação com o texto – unidade sinóptica	99
Figura 23 - Distribuição dos recursos visuais quanto à etiqueta verbal	100

Figura 24 - Exemplos de recursos visuais quanto à etiqueta verbal	101
Figura 25 - Distribuição dos recursos visuais quanto aos níveis de representação	102
Figura 26 - Exemplos de recursos visuais quanto ao nível de representação – macroscópico	103
Figura 27 - Exemplos de recursos visuais quanto ao nível de representação – macroscópico e simbólico.....	103
Figura 28 - Exemplos de recursos visuais quanto ao nível de representação – macroscópico, microscópico e simbólico	103
Figura 29 - Distribuição das representações visuais contendo dois ou mais níveis de representação em relação ao grau de correlação entre os níveis	104
Figura 30 - Exemplos de representações visuais referentes às categorias (A) Representação com conexão parcial, (B) Representação sem conexão	104
Figura 31 - Distribuição das representações visuais em relação a orientação curricular	105
Figura 32 – Exemplos de representações de (A) orientação da estrutura da disciplina, (B) orientação da vida cotidiana e (C) orientação da indústria e tecnologia.....	106
Figura 33 – Exemplos de representações visuais de (A) orientação do meio ambiente e (B) orientação da história da Química.....	106
Figura 34 - Perfil dos participantes respondentes do questionário em relação à formação	130
Figura 35 - Perfil dos participantes respondentes do questionário em relação à atuação	131
Figura 36 - Distribuição das respostas para a questão 3 - o que você pretende que os alunos aprendam sobre o conteúdo de oxirredução?	133
Figura 37 - Distribuição das respostas para questão 4 - Por que é importante que os alunos aprendam o conteúdo de oxirredução?	134
Figura 38 - Distribuição das respostas para a questão 5 - Quais as principais dificuldades dos alunos associadas ao aprendizado sobre oxirredução?	135
Figura 39 - Distribuição das respostas para questão 6 - Quais as suas principais dificuldades associadas ao ensino de oxirredução?	137
Figura 40 - Distribuição para as repostas da questão 7 - Quais materiais curriculares você utiliza no ensino de oxirredução?.....	138
Figura 41 - Distribuição das respostas para a questão 8 - Quais estratégias você utiliza para abordar o conteúdo de oxirredução?.....	138
Figura 42 - Distribuição das respostas para a questão 9 - Quais as formas de avaliação você utiliza durante o ensino de oxirredução?.....	139
Figura 43 - Perfil dos professores participantes do curso de Eletroquímica	151
Figura 44 - Distribuição das respostas para cada questão do questionário realizado antes do curso	160

Figura 45 - Distribuição das respostas para cada questão do questionário realizado depois do curso	160
Figura 46 - Porcentagem de respostas ao questionário antes e após o curso de formação continuada.....	162
Figura 47 – Perfil dos participantes da intervenção piloto quanto à formação.....	177
Figura 48 – Perfil dos participantes da intervenção piloto quanto à atuação	178
Figura 49 - Relação entre a investigação do cenário com a elaboração e a implementação do curso de formação continuada	182
Figura 50 - Perfil dos participantes do curso quanto à formação.....	193
Figura 51 - Perfil dos participantes do curso quanto à atuação.....	194
Figura 52 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao primeiro fórum: Quais as ideias centrais ao ensinar reações redox?.....	198
Figura 53 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao segundo fórum: Qual o papel da experimentação no ensino de reações de oxirredução?	200
Figura 54 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao quarto fórum: Quais as dificuldades relacionadas ao ensino e a aprendizagem do conteúdo de reações redox?	206
Figura 55 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao segundo fórum: Quais outras possíveis estratégias de ensino para esse conteúdo?	214
Figura 56 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao terceiro fórum: Quais as estratégias de avaliação para esse conteúdo?.....	216
Figura 57 - Exemplos de integrações simples entre os componentes do PCK	220
Figura 58 – Exemplos de integração entre três componentes do PCK.....	221
Figura 59 - Exemplos de integração entre quatro componentes do PCK	223
Figura 60 – Exemplo de integração entre os cinco componentes do PCK	224
Figura 61 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao quinto fórum: Qual é o papel da reflexão na profissão professor?	226

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos e estratégias adotados nos trabalhos relacionados a eletroquímica, publicados em congressos entre os anos 2000 a 2014.	67
Tabela 2 - Métodos e estratégias adotados nos artigos relacionados ao ensino do conteúdo oxirredução publicados entre os anos 2000-2016	70
Tabela 3 – Distribuição das reações redox nos Livros Didáticos aprovados no PNLD 2015	76
Tabela 4 - Frequência das ideias centrais citadas pelos dezoito professores	126
Tabela 5 - Respostas dos participantes para a seção 2 do questionário (CT=concordo totalmente; C= concordo; I=indiferente; D=discordo; DT=discordo totalmente)	140
Tabela 6 – Frequência da manifestação dos componentes do PCK de professores de Química nas respostas das vinhetas.....	146
Tabela 7 - Sistematização das respostas da questão 1 - defina reações redox	152
Tabela 8 - Sistematização das respostas da questão 2 - defina o termo oxidante	153
Tabela 9 - Sistematização das respostas da questão 3 - defina o termo redutor.....	154
Tabela 10 - Sistematização das respostas da questão 4 - defina o termo eletrodo.....	154
Tabela 11 - Sistematização das respostas da questão 5 - defina o termo pilha.....	155
Tabela 12 - Sistematização das respostas da questão 6 - defina o termo célula eletrolítica	156
Tabela 13 -- Sistematização das respostas da questão 7 - defina o termo ponte salina.....	156
Tabela 14 - Sistematização das respostas da questão 8 - O que se entende por força eletromotriz (f.e.m.) de uma pilha?.....	157
Tabela 15 - Sistematização das respostas da questão 9 - Como se mede a força eletromotriz (f.e.m.)?.....	158
Tabela 16 - Sistematização das respostas da questão 10 - De que grandeza depende a força eletromotriz (f.e.m.) de uma pilha?.....	159
Tabela 17 - Sistematização das respostas da questão 11 - Como se calcula a força eletromotriz (f.e.m.) de uma pilha?.....	159
Tabela 18 – Perfil dos professores e futuros professores alemães participantes do estudo	165
Tabela 19 - Segmentos codificados em relação aos componentes do PCK na intervenção piloto em dois momentos distintos	178
Tabela 20 - Aspectos considerados na elaboração dos planos de aula durante a intervenção piloto pelos nove professores de Química.....	179
Tabela 21 - Visão geral da codificação entre componentes do PCK.....	194

Tabela 22 - Segmentos codificados nos diferentes aspectos considerados na elaboração dos planos de aula durante o curso.....	195
Tabela 23 - Visão geral da codificação entre componentes específicos e gerais	195
Tabela 24 – Distribuição das respostas dos professores em relação à importância de os alunos aprenderem reações redox.....	197
Tabela 25 - Segmentos codificados em relação as Orientações centrada no aluno e centrada no professor em três momentos distintos	198
Tabela 26 - Frequência de palavras mais citadas no CoRe1 e no CoRe2.....	201
Tabela 27 - Ênfase dos professores sobre o que eles pretendem que os alunos aprendam sobre reações redox	202
Tabela 28 - Recursos curriculares adotados pelos professores	204
Tabela 29 - Segmentos codificados no componente Dificuldades e Concepções em três momentos distintos	205
Tabela 30 - Distribuição das respostas dos professores em relação às dificuldades sobre reações redox	207
Tabela 31 – Distribuição do grau de concordância referente a afirmação “Eu conheço as concepções alternativas dos alunos sobre reações redox”	208
Tabela 32 - Segmentos codificados no componente Estratégias em três momentos distintos	211
Tabela 33 – Visão geral das estratégias consideradas gerais utilizadas pelos professores no curso	212
Tabela 34 - Visão geral das estratégias consideradas específicas utilizadas pelos professores no curso	213
Tabela 35 - Segmentos codificados no componente Avaliação em três momentos distintos	216
Tabela 36 - Visão geral das estratégias de avaliação utilizadas pelos professores no curso	218
Tabela 37 - Segmentos codificados de acordo com a integração entre os componentes do PCK	219

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Modelos científicos para reações redox.....	23
Quadro 2 - Concepções alternativas sobre oxirredução e eletroquímica	24
Quadro 3 - Os objetivos e a natureza da instrução associada com diferentes orientações para o ensino de ciências.....	36
Quadro 4 - Livros didáticos de Química analisados nesse estudo.....	52
Quadro 5 - Instrumento CoRe – Representações do Conteúdo	54
Quadro 6 - Unidades elementares para a análise das representações visuais nos livros didáticos	62
Quadro 7 - Definição das unidades de análise para os níveis de representação	63
Quadro 8 – Definição das unidades de análise para o grau de correlação entre representações que compreendem dois ou mais níveis	63
Quadro 9 – Evidências de orientações curriculares	64
Quadro 10 - Principais dificuldades relacionadas a aprendizagem de eletroquímica nos 42 trabalhos catalogados nos anais de eventos nacionais entre os anos de 2000 a 2016 ..	69
Quadro 11 - Principais dificuldades de aprendizagem do tema oxirredução decorrentes do estudo com os 41 artigos catalogados publicados nos anos de 2000-2016	71
Quadro 12 - Resumo das atividades gravadas do professor Júlio durante as aulas	110
Quadro 13 - Resumo das atividades gravadas da professora Claudia durante as aulas do 3ºH	118
Quadro 14 - CoRe Consensual sobre reações redox de 14 futuros professores de Química	123
Quadro 15 - CoRe Consensual sobre reações redox de 18 professores novatos de Química	127
Quadro 16 – Tópicos abordados em cada aula do curso de extensão realizado em 2016.	151
Quadro 17 - Visão geral das ações e dos objetivos previstos para cada encontro da intervenção piloto	175
Quadro 18 - Visão geral dos cinco componentes do PCK e do conhecimento do conteúdo abordados durante o curso de formação continuada oferecido em 2018.....	185
Quadro 19 – Uma visão geral dos tópicos abordados em cada encontro do curso de formação continuada oferecido em 2018.....	185
Quadro 20 - Visão geral dos encontros, com as atividades e objetivos da intervenção do curso de formação continuada oferecido em 2018.....	186

SUMÁRIO

Apresentação	18
1 Fundamentos teóricos.....	22
1.1 Ensino e aprendizagem de reações redox	22
1.1.1 Dificuldades de aprendizagem sobre reações redox	23
1.1.2 Reações redox e os livros didáticos	26
1.2 Conhecimento profissional de professores.....	30
1.2.1 Conhecimento Pedagógico do Conteúdo – PCK	31
1.2.2 Programas de desenvolvimento profissional contínuo.....	44
2 Objetivos e questão de pesquisa	47
3 Aspectos metodológicos	48
3.1 Natureza da pesquisa	48
3.2 Coleta de dados	50
3.2.1 Etapa 1: Investigação sobre as reações redox na literatura	50
3.2.2 Etapa 2: Investigação sobre o conceito de reações redox nos livros didáticos	51
3.2.3 Etapa 3: Investigação sobre o ensino de reações redox	52
3.2.4 Etapa 4: Investigação da formação de professores em contexto internacional	58
3.2.5 Etapa 5: Intervenção piloto	58
3.2.6 Etapa 6: Investigação do desenvolvimento do PCK	59
3.3 Análise dos dados	60
3.3.1 Revisão da literatura.....	60
3.3.2 Livros didáticos.....	61
3.3.3 Conhecimento pedagógico do conteúdo	64
3.4 Considerações éticas	65
4 Resultados e discussão	66
4.1 Momento 1: Investigação do cenário.....	66
4.1.1 Investigação sobre as reações redox na literatura	66
4.1.2 Investigação sobre o conceito das reações redox nos livros didáticos	72
4.1.3 Investigação sobre o ensino de reações redox.....	108
4.1.4 Contribuições da formação de professores em contextos internacionais	163
4.2 Momento 2: Planejamento e implementação do curso de formação continuada	173
4.2.1 O planejamento de um curso de formação continuada	173
4.2.2 Implementação da intervenção piloto	175
4.2.3 Implementação do curso de formação continuada	180
4.2.4 Investigação do desenvolvimento do PCK	192

Conclusões	228
Referências	234
Apêndice 1 - Questionário sobre ensino de reações redox	247
Apêndice 2 – Vinhetas envolvendo o conceito de reações redox	251
Apêndice 3 – Questionário sobre o conteúdo de reações redox.....	253
Apêndice 4 – Termo de consentimento livre e esclarecido	255
Apêndice 5 - Questionário sobre soluções eletrolíticas	256
Apêndice 6 – Questionário sobre reações redox	257
Apêndice 7 – Análise do livro didático – Parte 1	260
Apêndice 8 - Questionário sobre reações redox e ponte salina.....	261
Apêndice 9 – Análise do livro didático – Parte 2	262

APRESENTAÇÃO

Meu interesse acadêmico no assunto desta tese é fundamentado em minha formação como professora de Química. Ao ensinar, eu sempre considerei o desenvolvimento da compreensão dos alunos sobre um determinado assunto uma parte fundamental do meu papel. Pensando nisso, eu decidi entrar na área acadêmica para que eu pudesse investigar os processos de ensino-aprendizagem e de formação de professores. Minha dissertação de mestrado foi desenvolvida no Grupo de Pesquisa em Ensino de Química (PEQuim), que tem por interesse de pesquisa principal o conhecimento de professores de Química¹. Dessa forma, ao longo do meu mestrado, pude me aprofundar na teoria do conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK - da expressão em inglês *Pedagogical Content Knowledge*), com uma investigação mais teórica desse constructo (Goes, 2014). No entanto, algo ainda me incomodava: eu queria poder contribuir no processo de formação continuada de professores, que tivessem limitações associadas à formação inicial e ao processo de ensino-aprendizagem de conteúdos químicos, tendo como fundamentação o aporte teórico que construí ao longo do mestrado.

No momento em que decidi fazer algo, de certa forma, mais prático, o PEQuim passou a compor uma rede multidisciplinar de pesquisadores focados na investigação dos processos redox² - o Redoxoma. O objetivo do PEQuim, enquanto parte do Plano de Educação e Difusão do Redoxoma, é contribuir para a formação de alunos e professores e, também, alcançar a população de uma maneira geral, a respeito de processos redox.

Quando iniciei a pesquisa em conteúdos relacionados às reações redox, descobri que havia uma ampla gama de pesquisas sobre a compreensão dos alunos e as dificuldades do ensino desse tema. Entretanto, encontrei lacunas nas pesquisas, principalmente com relação às dificuldades dos professores. Por consequência, eu me interessei em investigar como os professores ensinam esses conteúdos, quais fatores os influenciam quando eles decidem uma determinada estratégia para ensinar esse

¹ O PEQuim é coordenado pela Professora Carmen Fernandez. Maiores informações disponível em: <http://sites.usp.br/pequim/>

² Trata-se do Centro de Processos Redox em Biomedicina (CEPID Redoxoma). Maiores informações disponível em: <http://redoxoma.iq.usp.br/>.

conteúdo, e como os conteúdos relacionados às reações redox são apresentados em livros didáticos. Assim sendo, meu objetivo era articular todo conhecimento adquirido sobre PCK ao longo do meu mestrado com as minhas investigações em conceitos relacionados às reações redox e, então, planejar e ministrar um curso de formação continuada para que os professores pudessem desenvolver seus conhecimentos e melhorar seus processos de ensino sobre tal assunto.

As reações redox são um tipo particular de transformação química que resultam de um processo de transferência de elétrons. Essas reações, apesar de serem abordadas em diferentes áreas da Biologia e da Química - por exemplo, na biologia molecular, na química geral, na inorgânica e na orgânica - são estudadas principalmente na físico-química, pela eletroquímica. Fenômenos como a fotossíntese, a respiração celular, a corrosão de metais, a eletrodeposição, os testes de álcool no ar expirado e o funcionamento das pilhas e baterias envolvem reações redox. Por meio destes exemplos, podemos observar a importância das reações redox tanto em processos naturais, isto é, sem intervenção humana, quanto em aplicações cotidianas. As reações redox consistem em um conceito-chave em Química e é parte fundamental no currículo de Química das escolas do nível médio (Soudani, Sivade, Cros, & Mèdimagh, 2000).

No âmbito do ensino, a eletroquímica e os processos redox têm sido apontados como sendo assuntos de grande dificuldade, tanto para aprender como para ensinar (De Jong, Acampo, & Verdonk, 1995; De Jong & Treagust, 2002). Embora a compreensão dos estudantes sobre eletroquímica tenha sido amplamente investigada (Barke, Hazari, & Yitbarek, 2009; De Jong & Treagust, 2002; Garnett & Treagust, 1992a, 1992b; Lima & Marcondes, 2005; Posada, 1997), pouco se sabe sobre as dificuldades e concepções de professores de Química e se eles sabem como ensinar esse conteúdo de forma a permitir que os alunos entendam seus conceitos fundamentais da maneira pretendida (Freire & Fernandez, 2014; Özkaya, 2002; Rollnick & Mavhunga, 2014). Muitos professores deixam esse conteúdo para o final do ano letivo, prevendo que não haverá tempo hábil para trabalhá-lo (Sanjuan, Dos Santos, Maia, Da Silva, & Wartha, 2009), provavelmente por terem dificuldades com o conteúdo de Eletroquímica e em ensinar os conceitos relacionados.

Ainda que o conteúdo específico tenha um papel de destaque dentre os conhecimentos dos professores, só o domínio dele não garante um ensino efetivo. Os professores também precisam do conhecimento da pedagogia, como teorias de

aprendizagem, estratégias de gestão de sala de aula e organização. Mesmo assim, a literatura aponta que só o conhecimento desses dois campos, pedagogia e conteúdo, ainda não é suficiente para assegurar um ensino satisfatório. É preciso conhecer as dificuldades e concepções dos estudantes relativas a um dado conteúdo, é importante que os professores tenham um bom conhecimento das estratégias instrucionais, e quanto mais eles possuírem, mais eficaz será o ensino desse conteúdo (De Jong, van Driel, & Verloop, 2005). Ou seja, os professores precisam de um conhecimento que é específico da sua profissão, aquele conhecimento que os diferencia dos especialistas do conteúdo e também dos pedagogos: o conhecimento pedagógico do conteúdo: o PCK (Shulman, 1987). Trata-se de um elemento da base de conhecimentos para o ensino que passou a traduzir um corpo teórico de conhecimentos sobre a prática pedagógica do professor englobando os muitos aspectos que são utilizados por ele em sala de aula com o objetivo principal de tornar o assunto compreensível aos estudantes (Shulman, 1987). Nessa perspectiva, o PCK, além de um conceito, é uma ferramenta muito útil para compreender, avaliar e descrever o conhecimento e a prática de professores (Abell, 2008; Fernandez, 2014a, 2014b; Gess-Newsome, 1999; Kind, 2009).

Pensando na importância do conteúdo de reações redox e na relevância do PCK como um conhecimento inerente ao professor, surgiu o interesse em encontrar maneiras eficazes de promover o desenvolvimento do PCK dos professores de Química. Diante do exposto, aparece o seguinte questionamento: *qual o impacto de um curso de formação continuada no desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo?* Considerando essa questão, objetivou-se elaborar e implementar um curso voltado para a formação continuada de professores de Química que atuam no Ensino Médio para promover o desenvolvimento do PCK sobre o conceito de reações redox.

Na primeira parte do texto são apresentados os referenciais teóricos com algumas pesquisas relevantes sobre o assunto. Essa parte está dividida em dois tópicos principais: (1) ensino e aprendizagem de reações redox e (2) conhecimento pedagógico do conteúdo e programas de desenvolvimento profissional.

Na segunda parte, apresentam-se os objetivos e a questão de pesquisa que norteou esse trabalho.

Na terceira parte apresentam-se os procedimentos metodológicos e as etapas do trabalho. Primeiro, mostra-se a metodologia e as razões das escolhas dos métodos. Em

segundo lugar, descrevem-se os instrumentos usados e, por fim, apresentam-se os procedimentos de análise dos dados.

A terceira parte está dividida em dois momentos. No primeiro descreve-se o cenário sobre reações redox, com uma ampla revisão da literatura sobre como as reações redox aparecem nas pesquisas e são representadas nos livros didáticos, uma investigação de professores de Química acerca de seus conhecimentos sobre o ensino de reações redox e as contribuições de uma investigação sobre formação de professores em contexto internacional. No segundo momento apresentam-se o planejamento de uma intervenção piloto e as limitações que subsidiaram a elaboração do curso final de formação continuada, para então, descrever a implementação e a análise da intervenção do curso de formação continuada. Nessa parte da tese, detalham-se os planos de aulas, a metodologia de produção, sistematização e análise de dados, apresentam-se e discutem-se os resultados da intervenção.

Nas considerações finais, as principais ideias são retomadas com o intuito de destacar suas contribuições para o desenvolvimento desta tese. Finalmente, discutem-se as implicações e apontam-se algumas sugestões para pesquisas futuras.

1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 ENSINO E APRENDIZAGEM DE REAÇÕES REDOX

As reações de oxirredução, também conhecidas como reações redox, são caracterizadas pela transferência de elétrons e são objeto de estudo em diferentes ramos da Química. Essas reações explicam as relações oxidação-redução, potencial-corrente e também fornecem uma apreciação enriquecida da utilidade das ideias intervenientes de outros ramos da Química, como a cinética e a termodinâmica. O termo oxidação foi introduzido pelo cientista francês Lavoisier, no final do século XVIII, para descrever a reação do oxigênio com outras substâncias (De Jong & Treagust, 2002). Com os processos de desenvolvimento científico, apesar de os nomes permanecerem inalterados, os conceitos de oxidação e redução tiveram seus significados alterados. A união internacional de Química pura e aplicada (IUPAC, 2012) apresenta três definições para as reações redox: i) completa remoção de um ou mais elétrons de uma molécula; ii) aumento no número de oxidação de um átomo e iii) ganho de oxigênio e/ou perda de hidrogênio de um substrato orgânico. Além dessas, na literatura, podem-se encontrar outras definições para as reações redox: “todas as reações de oxidação e de redução envolvem a transferência de elétrons” (Kotz & Treichel, 2002, p. 138) e “grupo de reações que envolvem a transferência de elétrons tanto de maneira óbvia como por meios mais sutis” (Mahan, 1978, p. 192). Silverstein (2011, p. 281, tradução nossa) afirma que:

Diferentes definições de oxidação podem ser apropriadas em diferentes contextos. Certamente, a perda de elétrons ou hidrogênio ou ganho de oxigênio são convenientes em alguns casos; por outro lado, as exceções são numerosas.

As alterações conceituais foram descritas em quatro modelos científicos (Quadro 1): modelo de oxigênio; modelo do hidrogênio; modelo de transferência de elétrons; e modelo de número de oxidação (Ringnes, 1995).

Quadro 1 – Modelos científicos para reações redox

Modelo	Redução	Oxidação
Modelo de oxigênio	Perda de oxigênio	Ganho de oxigênio
Modelo de hidrogênio	Ganho de hidrogênio	Perda de hidrogênio
Modelo de transferência de elétrons	Ganho de elétrons	Perda de elétrons
Modelo de número de oxidação	Diminuição do número de oxidação	Aumento do número de oxidação

Fonte: Ringnes (1995).

O uso de múltiplas definições e modelos implica a necessidade de indicar explicitamente as limitações de cada um para, principalmente, evitar dificuldades no ensino e aprendizagem de eletroquímica.

1.1.1 Dificuldades de aprendizagem sobre reações redox

Nas últimas décadas, as reações redox vem sendo tema de estudos envolvendo seu ensino e aprendizagem. Brevemente, podem-se dividir essas pesquisas em algumas categorias:

- Estratégias de ensino e atividades práticas envolvendo reações redox (Huddle, White, & Rogers, 2000; Niaz & Chacón, 2003; Sesen & Tarhan, 2013).
- Ensino-aprendizagem de conceitos envolvendo reações redox com foco no aluno, incluindo trabalhos sobre concepções alternativas (Barke, et al., 2009; Barral, Fernández, & Otero, 1992; De Jong, et al., 1995; De Jong & Treagust, 2002; Garnett & Treagust, 1992a, 1992b; S. J. Lee, 2007; Niaz, 2002; Österlund & Ekborg, 2009; Posada, 1997; Ringnes, 1995; Sanger & Greenbowe, 1997a, 1997b, 2000; Schmidt, Marohn, & Harrison, 2007).
- Ensino-aprendizagem de conceitos envolvendo reações redox com foco no professor (De Jong, et al., 1995; De Jong & Treagust, 2002; Özkaya, 2002).
- Processos redox em livros didáticos de Química (Mendonça, Campos, & Jófili, 2004; Österlund, Berg, & Ekborg, 2010; Sanger & Greenbowe, 1999).
- O conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK) de professores sobre conceitos envolvendo reações redox (Aydin & Boz, 2013; Freire & Fernandez, 2014; Hume, 2010).

As dificuldades de aprendizagem podem estar associadas a problemas como: a complexidade envolvendo o conceito de número de oxidação e os termos agente oxidante e agente redutor (De Jong & Treagust, 2002); transitar e entender as reações no nível macroscópico de substâncias e no nível submicroscópico de partículas (Barke, et al., 2009); coexistência de vários modelos explicativos, às vezes confundidos por alunos, professores e até autores de livros didáticos (Österlund, et al., 2010); terminologia utilizada pelo professor ou linguagem imprecisa e, muitas vezes inapropriada, presente nos livros didáticos (Özkaya, 2002; M. R. E. Silva & Cintra, 2013).

Após realizarem uma revisão da literatura sobre o ensino e a aprendizagem da eletroquímica, De Jong e Treagust (2002, p. 335) recomendam que os professores devam tomar conhecimento das "concepções alternativas dos alunos sobre fenômenos eletroquímicos e as dificuldades na compreensão desses fenômenos". No Quadro 2 encontram-se as principais concepções alternativas em relação ao conteúdo de eletroquímica elencadas por Garnett e Treagust (1992a, 1992b) e por Sanger e Greenbowe (1997a, 1997b).

Quadro 2 - Concepções alternativas sobre oxirredução e eletroquímica

(Continua)

Oxidação e Redução	O estado de oxidação de um elemento é o mesmo que a carga do íon monoatômico desse elemento.
	Em todas as equações, a adição e a remoção de oxigênio podem ser usadas para identificar uma reação de oxidação ou redução.
	Nas equações químicas, a mudança de cargas de espécies poliatômicas pode ser usada para identificar uma reação de oxidação ou redução.
	Os processos de oxidação e redução ocorrem independentemente.
	Números ou estados de oxidação podem ser atribuídos a moléculas poliatômicas ou a íons.
	A carga de espécies poliatômicas indica o estado de oxidação da molécula ou do íon.
	Em uma equação, mudanças nas cargas de espécies poliatômicas podem ser usadas para determinar o número de elétrons removidos ou ganhos pelas espécies reativas.
Corrente Elétrica	A eletricidade na Química e na Física é diferente porque o fluxo de corrente ocorre em direções opostas.
	Elétrons movem-se em solução pela atração alternada de um íon para outro.
	Quando um eletrólito conduz corrente, elétrons movem-se para um íon no cátodo e são transportados por esse íon para o ânodo.
	Em uma pilha os ânions e cátions são atraídos uns pelos outros e isso afeta o movimento dos íons nos eletrodos.
	Elétrons movem-se através dos eletrólitos por serem atraídos por íons positivos em solução.
	Prótons fluem nos condutores metálicos.

Quadro 2 – Concepções alternativas sobre oxirredução e eletroquímica

(Conclusão)

	A corrente convencional é o fluxo de cargas positivas (geralmente prótons).
	Os elétrons fluem nos eletrólitos.
	Prótons e elétrons fluem em direções opostas em um eletrólito.
	O movimento de íons em solução não constitui uma corrente elétrica.
	Elétrons podem fluir pela solução aquosa sem assistência dos íons.
	Apenas as cargas negativas constituem o fluxo de corrente no eletrólito e na ponte salina.
	Prótons fluem em eletrólitos (independentemente se a solução é ácida, básica ou neutra).
Ponte Salina	Em uma célula eletroquímica, a ponte salina fornece elétrons necessários para completar o circuito.
	A ponte salina auxilia no fluxo de corrente (ou seja, no fluxo de elétrons porque os íons positivos na ponte atraem os elétrons de uma meia-célula para outra meia célula.
	Ânions na ponte salina e nos eletrólitos transferem elétrons do cátodo para o ânodo.
	Cátions na ponte salina e no eletrólito aceitam elétrons e transferem do cátodo para o ânodo.
Ânodo e Cátodo	O ânodo é carregado positivamente porque ele perde elétrons e o cátodo é carregado negativamente porque ganha elétrons.
	O ânodo é carregado negativamente e por isso atrai cátions, o cátodo é carregado positivamente e por isso atrai ânions.
	Nas tabelas de potenciais de redução padrão, a espécie com maior potencial é o ânodo.
	A lista de potenciais padrão de redução coloca a reatividade dos metais em ordem decrescente de cima para baixo.
	A identificação do ânodo e do cátodo depende da localização física da meia célula.
	Ânodos, como ânions, sempre são carregados negativamente, cátodos, como cátions, são carregados positivamente.
Diferença de Potencial	Uma diferença de potencial entre dois pontos é exclusivamente devido a diferenças na concentração de carga nesses pontos.
	Há uma concentração elevada de elétrons no ânodo.
	Existe uma baixa concentração de elétrons no cátodo.
	Os elétrons deixam o ânodo, onde existe uma elevada concentração de elétrons e movem-se através do circuito externo para o cátodo, onde existe uma baixa concentração de elétrons.
	A designação do E^0 para a semicélula padrão $H_2(1atm) / H^+(1M)$ ser zero não é arbitrária pois é baseada na química do H^+ e H_2 .
	Não há necessidade de uma meia célula padrão.
	Potenciais de meia célula são absolutos na natureza e podem ser usados para prever a espontaneidade das meias células.
	Potenciais das células são derivados da adição individual dos potenciais de redução.
	Potenciais de meia célula não são propriedades intensivas.
Funcionamento das células eletroquímicas	Elétrons entram na solução pelo cátodo, viajam pelo eletrólito (e/ou pela ponte salina) e emergem no ânodo para completar o circuito.
	Nas células eletroquímicas, os ânions e cátions movem-se até que suas concentrações nas meias células sejam iguais.

Fonte: Adaptado de Garnett e Teagust (1992a, 1992b); Sanger e Greenbowe (1997a, 1997b).

Existem diversas causas que levam às concepções alternativas elencadas no Quadro 2. Uma das causas é devida à maioria dos alunos não fazerem relações entre os conteúdos aprendidos na Química e na Física. A utilização de diferentes convenções em Química e Física pode criar problemas conceituais para alguns alunos. Além disso, muitas palavras utilizadas na ciência possuem significados diferentes da linguagem cotidiana. Por vezes as reações redox são introduzidas sobre uma perspectiva histórica e, portanto, abordadas por diferentes modelos que permitem identificá-las. Essa utilização de vários modelos para alguns alunos pode ser desconcertante fazendo com que se concentrem em definições alternativas, como por exemplo, aplicar o modelo do oxigênio para identificar todas as reações redox.

Algumas das concepções alternativas elencadas no Quadro 2, muitas vezes, são decorrentes de ilustrações contidas nos livros didáticos. Geralmente, os livros didáticos e os professores de Química posicionam o ânodo no lado esquerdo da pilha, mas não mencionam que essa é uma convenção da IUPAC. Outro ponto observado é que vários livros didáticos contêm descrições que sugerem que potenciais padrão de redução são absolutos. Por exemplo, muitos livros didáticos recomendam o cálculo do potencial das células usando a equação $E^0_{\text{cel}} = E^0_{\text{ox}} + E^0_{\text{red}}$, em que E^0_{ox} é determinado pela troca do sinal do potencial de redução da meia reação de oxidação. Isso sugere que potenciais individuais de meia célula têm significado, quando na verdade é a diferença de potencial que possui significado.

1.1.2 Reações redox e os livros didáticos

O livro didático ainda se constitui como o principal recurso didático tanto de professores, em sua prática pedagógica, quanto de alunos, em suas atividades escolares (Devetak & Vogrinc, 2013). Os professores utilizam o livro didático como principal guia de orientação para sua aula (Stern & Roseman, 2004), utilizam para selecionar o assunto, estabelecer uma sequência de ensino, escolher exercícios, ensinar tópicos e atividades específicas e orientam os alunos a utilizá-lo para a realização de tarefas. Por sua vez, os alunos interagem com os livros escolares na escola, usam-nos para estudar em casa e, até mesmo, listam-nos como referências para trabalhos ou projetos avançados (Gkitzia, Salta, & Tzougraki, 2011). Um dos papéis dos livros didáticos é

apresentar o assunto ao aluno, por exemplo, por meio de textos, representações visuais, referências históricas, contextos específicos, sugestões de tarefas práticas e conexões interdisciplinares, entre outros aspectos. Além dos livros didáticos servirem como indicadores de práticas comuns em sala de aula (Devetak & Vogrinc, 2013), direcionam a orientação do currículo (Khaddoor, Al-Amoush, & Eilks, 2017; Roseman, Stern, & Koppal, 2010) e fornecem orientações sobre abordagens pedagógicas (Souza & Porto, 2012).

Os livros didáticos diferem uns dos outros e são afetados pelos estilos dos autores. No entanto, se as autoridades educacionais aprovam oficialmente os livros didáticos, eles, então, representam as diretrizes curriculares pretendidas e selecionadas por um determinado ministério da educação (Martínez-Gracia, Gil-Quílez, & Osada, 2003).

Pesquisas têm apontado diversos problemas em livros didáticos de Ciências e, em particular, em livros didáticos de Química do Ensino Médio, tais como: extrema uniformidade dos textos (Fracalanza, 1992; Loguercio, Samrsla, & Pino, 2001); erros conceituais (Bernardino, Rodrigues, & Bellini, 2013; Moraes, Moreira, & Sales, 2012; Tavares, 2009; Tiedemann, 1998); desatualização do conhecimento químico (Benite, 2006; Mortimer, 1988); uso inadequado de analogias (Monteiro & Justi, 2000); presença de obstáculos epistemológicos (Loguercio, et al., 2001; Lopes, 1992, 1996; Stadler, Sousa Júnior, Gebara, & Hussein, 2012); representações visuais enganosas (Barke, et al., 2009; Österlund, et al., 2010; Schmidt, et al., 2007) e priorização de apenas um nível de representação química (Goes, Nogueira, & Fernandez, 2018b). Um estudo sobre como os futuros professores de Química entendem conceitos de eletroquímica, como o potencial celular e o equilíbrio de células galvânicas, atribuiu uma dificuldade de aprendizado à “explicação insuficiente dos conceitos relevantes nos livros didáticos” (Özkaya, 2002, p. 738). É importante destacar que essas pesquisas têm contribuído para estimular reflexões, reformulações e renovações no material didático (Mendonça, et al., 2004).

Atualmente, as escolas públicas brasileiras recebem livros aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), um programa do governo federal brasileiro (Brasil, 2009). No ano de 2015, por exemplo, o Fundo Nacional de

Desenvolvimento Educacional, por meio do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD)³, beneficiou mais de 30 milhões de estudantes com mais de 140 milhões de exemplares distribuídos em 123 mil escolas, totalizando quase R\$ 200 milhões distribuídos entre os editores (FNDE, 2017). Os coordenadores e professores de cada escola selecionam, entre os livros aprovados pelo PNLD, aquele que melhor se adequa às características e ao projeto político pedagógico da escola (Brasil, 2009). Aliadas a essas questões mais gerais, os livros didáticos de Química devem apresentar alguns elementos considerados essenciais, a saber: a experimentação; a história da ciência; a contextualização; e a interdisciplinaridade (Brasil, 2014).

A abordagem de diferentes conteúdos nos livros é amplamente discutida por vários autores (Cássio, Cordeiro, Corio, & Fernandez, 2012; Wirzbicki, Pansera-De-Araújo, & Pino, 2014). No caso específico do conteúdo de reações redox, muitos currículos e livros didáticos de Química, dividem esse conteúdo em dois tópicos: reações redox (oxidação e redução) e células eletroquímicas (galvânica e eletrolítica). A justificativa usual para essa distinção é que os estudantes precisam de uma compreensão das reações redox para aplicá-la às células eletroquímicas. Apesar de o conteúdo das reações redox ser facilmente apresentado em situações da vida cotidiana, questões ambientais e aplicações tecnológicas (Eilks, Rauch, Ralle, & Hofstein, 2013), há pouca literatura com foco especialmente voltado ao modo como as reações redox são abordadas em livros didáticos do Ensino Médio (Bocanegra, 2012; Mendonça, 2002).

Os documentos oficiais são superficiais no que se refere ao ensino de reações redox. Os PCN+ e as Orientações Curriculares para o Ensino Médio recomendam uma abordagem fenomenológica do assunto dentro do grande tema das Reações Químicas (Brasil, 2002, 2006), afirmando que o aluno deve:

[...] compreender os processos de oxidação e de redução a partir das ideias sobre a estrutura da matéria e prever a energia elétrica envolvida numa transformação química a partir dos potenciais-padrões de eletrodo das transformações de oxidação e redução. (Brasil, 2002, p. 98, grifo nosso).

3 Em 2017, o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) teve uma alteração em sua nomenclatura, passando a se chamar Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD). Essa alteração é devido a ampliação do escopo do programa, com a inclusão de outros materiais de apoio à prática educativa, como *softwares* e jogos educacionais, entre outros. Fonte: <http://portal.mec.gov.br/busca-geral/318-programas-e-acoes-1921564125/pnld-439702797/12391-pnld>

Além disso, o educando deve ter compreensão da relação entre energia elétrica produzida e consumida na transformação química.

Na Proposta Curricular do Estado de São Paulo as reações redox aparecem no 2º ano do Ensino Médio, dentro do tema *Metais e sua utilização em pilhas e na galvanização*, e afirma que:

Relacionar a energia elétrica produzida e consumida na transformação química com os processos de oxidação e de redução (São Paulo, 2011, p. 144).

O PCNEM não cita nada sobre conteúdo de oxirredução na parte específica dos Conhecimentos de Química, mas, no geral, o documento afirma que:

Não é suficiente para a formação da cidadania o conhecimento de fatos químicos e suas interpretações. Um estudo sobre a problemática do uso ou não de conservantes em alimentos abordaria vários aspectos do conhecimento químico, tais como natureza e rapidez das transformações responsáveis pelas degradações de alimentos, natureza química dos conservantes, interações que ocorrem no processo de conservação, como a oxidação e a osmose, interações com o organismo humano, de toxicidade ou de reações indesejáveis, diferentes processos de conservação, como desidratação e embalagem. (Brasil, 1999, p. 35, grifo nosso).

Ademais, os conceitos relacionados aos processos redox aparecem na parte dos conhecimentos de Biologia:

[...] a aplicação de conhecimentos da Biologia e da Química no entendimento dos mecanismos de formação e ação dos radicais livres, a relação desses últimos com o envelhecimento celular. (Brasil, 1999, p.19, grifo nosso).

1.2 CONHECIMENTO PROFISSIONAL DE PROFESSORES

Os professores, sem dúvida, necessitam de um corpo grande e complexo de conhecimento. Aprender como ensinar e desenvolver o conhecimento necessário para se tornar um bom professor é um processo vitalício que começa nos primeiros dias de formação de professores e deve continuar até a aposentadoria (Villegas-Reimers, 2003).

Shulman (2015) afirma que os professores são de fato profissionais: assim como outros profissionais, os professores devem desenvolver um corpo grande e único de compreensão e, assim, merecem ser tratados como profissionais pela sociedade. Para que o ensino seja considerado uma profissão, a base de conhecimento de um professor deve ser amplamente reconhecida como sendo vital e adquirida por meio de treinamento e educação específicos, em vez de ser algo que pode ser adquirido por qualquer pessoa apenas por meio da experiência. Enquanto a prática faz diferença na preparação dos professores, esta prática deve basear-se em modelos teóricos e ideias reflexivas (Villegas-Reimers, 2003). Ademais, além do conhecimento adquirido durante a formação de professores, os professores produzem conhecimento usado para o ensino através de suas próprias experiências de ensino, e experiências de prática geram as maiores mudanças (Park & Oliver, 2008b). Assim, “os professores são produtores de conhecimento, não receptores de conhecimento. Essa característica é essencial para ver os professores como profissionais” (Park & Oliver, 2008b, p. 278, tradução nossa).

Um argumento comumente utilizado no debate internacional é que, quanto melhor o conhecimento do assunto de um professor, melhor o seu ensino (Kind, 2009). No entanto, a posse de um bom conhecimento sobre um assunto não garante necessariamente que alguém seja bom em ensinar esse assunto específico. Como comentado por Bucat (2004, p. 217, tradução nossa): “Existe uma grande diferença entre saber sobre um tópico e conhecer as demandas particulares de ensino e aprendizagem daquele tópico em particular”.

1.2.1 Conhecimento Pedagógico do Conteúdo – PCK

Como argumentado por Shulman (1986), os professores possuem um tipo único e distinto de conhecimento que não é encontrado entre aqueles que são apenas especialistas no assunto. Claramente, múltiplos tipos de conhecimento são necessários, e pode-se falar sobre uma base prática de conhecimento característica dos professores. Shulman propôs o conceito de Conhecimento Pedagógico do Conteúdo, PCK, para descrever esse conhecimento único dos professores (Shulman, 1986, 1987). Pode-se dizer que PCK representa o conhecimento usado pelos professores no processo de ensino (Kind, 2009) e abrange tanto a compreensão dos professores quanto o ensino propriamente dito (Park & Oliver, 2008b). Pode ser descrito como conhecimento do ensino e aprendizagem de um assunto em particular, incluindo o conhecimento das necessidades essenciais de aprendizagem do sujeito (Bucat, 2004). O PCK é um constructo dinâmico que descreve o processo que os professores realizam quando são confrontados com “o desafio de ensinar assuntos particulares a alunos particulares em contextos específicos” (Shulman, 2015, p. 9). Todavia, ter conhecimento de conteúdo e pedagogia não é o mesmo que ter PCK.

Além disso, PCK de um professor relacionado a um tópico dentro de uma disciplina (por exemplo, ligação química na Química) independe do PCK relacionado a um tópico diferente nessa disciplina (por exemplo, reações químicas) (Smith & Banilower, 2015). O que existe é a possibilidade de transferir o PCK desenvolvido em um tópico para outro tópico. Mavhunga (2016) observou que futuros professores, após terem desenvolvido seus PCK durante uma intervenção sobre natureza da matéria, também desenvolveram o PCK sobre equilíbrio químico, tópico não abordado na intervenção. A autora afirma que a intervenção promoveu a familiaridade com os componentes do PCK e ofereceu aos futuros professores a compreensão de como usar esse conhecimento ao planejar o ensino do tópico, o que facilitou a transferência desse conhecimento para outro tópico. Mavhunga, Ibrahim, Qhobela e Rollnick (2016) também relataram a transferência bem sucedida do PCK sobre circuitos elétricos para outros tópicos de física. A questão da transferência tem implicações importantes no desenvolvimento profissional de professores no sentido de desenvolver continuamente seu PCK em vários tópicos sem a dependência do ensino explícito de tópicos específicos.

O PCK, desde que foi introduzido por Shulman em 1986, provou ser um conceito útil e uma ferramenta que muitos pesquisadores em educação científica usaram para entender, descrever e investigar o conhecimento e a prática dos professores (Abell, 2008; Gess-Newsome, 1999; Kind, 2009). O conceito de PCK fornece uma estrutura teórica e metodológica para compreender e examinar o conhecimento dos professores e estruturar a pesquisa sobre como ele é desenvolvido (Abell, 2008; Nilsson, 2008). Além disso, o PCK tornou-se uma maneira de compreender a complexa relação entre ensino e conteúdo através do uso de abordagens de ensino específicas (van Driel, Verloop, & de Vos, 1998), e pode oferecer intuições sobre como os professores devem usar o conhecimento de um determinado conteúdo para promover a compreensão dos alunos.

1.2.1.1 Definições e modelos de PCK

Na década de 1980 Shulman investigava como alguém, que realmente conhece algum conceito, consegue explicar para alguém que não conhece. Desse estudo, surgiu o termo Conhecimento Pedagógico do Conteúdo, apresentado pela primeira vez por Shulman, na conferência na Universidade do Texas em 1983 com o título: “O paradigma perdido na pesquisa sobre o ensino”. Para Shulman, o paradigma perdido era a falta de atenção que o conteúdo recebia durante a trajetória para ser professor (Shulman, 1986).

Em 1987, ao lançar as bases para o Conselho Nacional de Padrões para o Ensino Profissional, Shulman delineou sete categorias de conhecimento (entre elas o PCK) que enraízam a compreensão necessária do professor para promover a compreensão dos estudantes. Shulman define o PCK como “aquele amalgama especial do conteúdo e da pedagogia que é uma área de conhecimento exclusiva dos professores, a forma especial de compreensão profissional deles” (Shulman, 1987, p.8, tradução Fernandez, 2011). Além disso, refere-se ao PCK como sendo aquele conhecimento:

[...] que vai além do conhecimento do tema em si e chega à dimensão do conhecimento do tema para o ensino. Eu [Shulman] ainda falo de conteúdo aqui, mas de uma forma particular de conhecimento de conteúdo que engloba os aspectos do conteúdo mais próximos de seu processo de ensino (Shulman, 1986, p.9, tradução Fernandez, 2011).

O autor afirma que o PCK seria composto pelas “formas mais úteis de representação [...], as analogias mais poderosas, ilustrações, exemplos e demonstrações [...]” (Shulman, 1986, p.9, tradução Fernandez 2011).

Por mais de três décadas, encontram-se várias definições e interpretações sobre o que é o PCK (Fernandez, 2014a, 2014b, 2015; Fernandez & Goes, 2014; Goes, 2014), no entanto, é consenso que esse constructo continua sendo extremamente útil para a formação de professores (Abell, 2008) e é considerado um dos pilares do conhecimento dos professores (Rollnick, Bennett, Rhemtula, Dharsey, & Ndlovu, 2008). Pode-se dizer que o PCK inclui todo o conhecimento que um professor precisa para ensinar um tema de forma eficaz e sua aquisição é, portanto, uma tarefa central para aprender a ensinar (Fernandez, 2015; Magnusson, Krajcik, & Borko, 1999; Shulman, 1987).

Após a proposição inicial de Shulman sobre o PCK, surgiram várias propostas em relação aos conhecimentos necessários para a profissão dos professores. A quantidade de modelos existentes ao longo dos anos é expressiva (Fernandez, 2014a, 2014b, 2015; Fernandez & Goes, 2014; Goes, 2014) e cada um manifesta conceitos e características diferentes (e.g. Carlsen, 1999; Grossman, 1990; Hashweh, 2005; Magnusson, et al., 1999; Marks, 1990; Park & Oliver, 2008a; Rollnick, et al., 2008). É importante destacar que alguns autores empregam nomes diferentes para os mesmos componentes (Kind, 2009).

Em 1990, Grossman propôs um modelo de conhecimentos de professores (Figura 1), no qual a autora considera que o conhecimento de professores é baseado em quatro componentes: conhecimento do tema; conhecimento pedagógico geral; conhecimento do contexto; e o conhecimento pedagógico do conteúdo. Esse modelo pode ser considerado como o primeiro modelo sobre o PCK, pois Grossman foi a primeira pesquisadora que sistematizou os quatro componentes do PCK (Fernandez, 2015). Gess-Newsome (1999) considera esse modelo como sendo o mais compreensível sobre o PCK.

Figura 1 - Modelo de Conhecimento de Professores
 Fonte: Grossman (1990), tradução Fernandez (2011).

O conhecimento do tema é uma categoria de conhecimento fundamental do professor. Em suas investigações, Grossman reforça o papel central desse conhecimento, na formação e no desenvolvimento profissional de professores por meio de uma variedade de pesquisas que buscam investigar as relações entre o conhecimento do tema e as escolhas didáticas de professores. A falta ou deficiência desse conhecimento exerce influência na seleção de conteúdos pelos professores e nas maneiras de abordá-los em sala de aula. Grossman, Wilson e Shulman (1989) verificaram que alguns professores tendem a ensinar com maior profundidade conteúdos que possuem familiaridade em detrimento de conteúdos que não lhe são compreensíveis e, ainda, outros professores evitam ensinar conteúdos que não dominam. O conhecimento do conteúdo está diretamente relacionado com o tema a ser ensinado e é considerado um dos conhecimentos fundamentais para o sucesso da atuação docente (Marcon, Graça, & Nascimento, 2011).

No modelo de Grossman observa-se que o PCK ocupa uma posição central no conhecimento dos professores e constitui-se dos seguintes conhecimentos: i) conhecimento das compreensões dos estudantes; ii) conhecimento do currículo; e iii) conhecimento das estratégias instrucionais. De acordo com esse modelo, o PCK é influenciado pelas concepções dos propósitos para ensinar o tema. Para Grossman, o PCK influencia e é influenciado pelas demais categorias de conhecimentos que, por sua vez, não interagem diretamente entre si, mas se fundem para constituir o amálgama entre o conteúdo específico e a pedagogia, originando o PCK do professor.

Baseado no modelo de Grossman, os autores Magnusson et al. (1999) definem o PCK especificamente para o ensino de ciências a partir de cinco componentes: i) orientações para o ensino de ciências; ii) conhecimento do currículo; iii) conhecimento da avaliação; iv) conhecimento sobre os alunos; e v) conhecimento das estratégias instrucionais. Os modelos de Grossman e Magnusson e colaboradores diferem entre si em relação ao termo adotado, enquanto Grossman utiliza o termo concepções dos propósitos para ensinar um conteúdo específico, Magnusson et al. adotam orientações para o ensino de ciências. Além disso, acrescentam a questão sobre o conhecimento da avaliação.

O termo “orientações” foi introduzido por Anderson e Smith que, a princípio, descreveram quatro diferentes orientações para o ensino de ciências, mais tarde ampliadas para nove no modelo de Magnusson et al. (Friedrichsen, van Driel, & Abell, 2011). As nove possíveis orientações para o ensino de ciências de acordo com Magnusson et al. (1999) são: processo; rigor acadêmico; didática; mudança conceitual; atividade dirigida; descoberta; ciência baseada em projetos; investigação; e investigação orientada. Essas orientações são geralmente organizadas de acordo com a ênfase dada na instrução de um professor. Cada orientação é definida e diferenciada conforme os objetivos para o ensino de ciências e as características típicas da instrução que deverá ser conduzida pelo professor (Quadro 3).

Quadro 3 - Os objetivos e a natureza da instrução associada com diferentes orientações para o ensino de ciências

Orientação	Objetivos para o Ensino de Ciências	Características das Instruções
Processo	Ajudar os estudantes a desenvolver as “habilidades para o processo da ciência”.	Professor apresenta aos alunos o processo de raciocínio empregado pelos cientistas para adquirir novos conhecimentos. Os alunos participam em atividades que desenvolvem o processo de pensamento e habilidades de pensamento integradas.
Rigor Acadêmico	Representar um determinado corpo de conhecimento.	Os alunos são desafiados com problemas e atividades difíceis. Trabalhos de laboratório e demonstrações são utilizados para verificar os conceitos científicos demonstrando a relação entre determinados conceitos e fenômenos.
Didática	Transmitir os fatos da ciência.	O professor apresenta a informação, geralmente através de exposição ou discussão, e as perguntas direcionadas aos alunos têm o propósito de fornecer um suporte justificável para o conhecimento dos fatos produzidos pela ciência.
Mudança Conceitual	Facilitar o desenvolvimento do conhecimento científico através do confronto dos estudantes com contextos explicativos que desafiam suas concepções ingênuas.	Estudantes são pressionados a respeito de sua visão sobre o mundo e levados a considerar a adequação das explicações alternativas. O professor facilita a discussão e o debate necessário para estabelecer as asserções de conhecimento validado.
Atividade Dirigida	Permitir que os estudantes sejam ativos com o uso de materiais, experimentos do tipo “mão-na-massa”.	Os estudantes participam em atividades do tipo “mão-na-massa” utilizadas para verificação ou descoberta. As atividades escolhidas podem não ser conceitualmente coerentes se os professores não entendem o propósito de atividades específicas e, conseqüentemente, omitem ou modificam inapropriadamente aspectos críticos delas.
Descoberta	Fornecer oportunidades aos estudantes para descobrir alguns conceitos científicos alvo.	Centrada no aluno. Os alunos exploram o mundo natural seguindo seus próprios interesses e descobrem padrões de como o mundo funciona durante suas explorações.
Ciência baseada em Projetos	Envolver os estudantes na investigação de soluções para problemas reais.	Centrada no projeto. A atividade de professores e estudantes é centrada numa questão direcionadora que organiza os conceitos e os princípios e direciona as atividades dentro de um tópico de estudo. Através da investigação, os alunos desenvolvem uma série de artefatos (produtos) que refletem as compreensões emergentes deles.
Investigação	Representar a ciência como uma pesquisa, investigação.	Centrada na investigação. O professor apoia os alunos na definição e investigação dos problemas, no esboço das conclusões e na avaliação da validade do conhecimento a partir de suas conclusões.
Investigação Orientada	Constituir uma comunidade de aprendizes, cujos membros partilham a responsabilidade de compreender o mundo físico, especialmente no que diz respeito ao uso das ferramentas da ciência.	Centrada na comunidade de aprendizagem. O professor e os estudantes participam na definição e investigação dos problemas, na determinação dos padrões, inventando e testando explicações e avaliando a utilidade e validade de seus dados e a adequação de suas conclusões. O professor apoia os esforços dos alunos em utilizar os materiais e as ferramentas intelectuais da ciência com vistas ao uso independente das mesmas.

Fonte: Magnusson et al. (1999), tradução Elias (2011).

Rigor acadêmico e didática são consideradas orientações centradas no professor, enquanto que processo, mudança conceitual, atividade dirigida, descoberta, ciência baseada em projetos, investigação e investigação orientada são consideradas orientações centradas no estudante (Friedrichsen, et al., 2011). Em um ensino centrado no estudante, os alunos e os professores interagem igualmente, ou seja, os alunos participam ativamente da construção do conhecimento. Nessa perspectiva, Moreira (2011) argumenta que:

O ensino centrado no aluno implica não somente a relação dialógica, interacionista social, professor-aluno, mas também a interação aluno-aluno. Para isso, o ensino deve ser organizado de modo a prover situações que os alunos devem resolver colaborativamente, em pequenos grupos (...) Ensino centrado no aluno não é ensino que minimize o papel do professor. Tirá-lo do papel de narrador não significa, de modo algum, reduzir sua importância. Ao contrário, como mediador e organizador de situações de aprendizagem centradas no aluno, ele ou ela é mais importante do que como narrador(a) (Moreira, 2011, p. 11).

As orientações para o ensino desempenham um papel importante no PCK de professores, pois servem como mapas conceituais que guiam as decisões instrucionais sobre a organização de currículos, aulas, atividades escolares, trabalhos dos alunos, materiais de sala de aula e avaliação de aprendizagem dos alunos e, assim, moldam o desenvolvimento do PCK dos professores (Magnusson, et al., 1999). Pesquisadores argumentam que, na prática, os professores não possuem uma única orientação, mas possuem múltiplas orientações (Friedrichsen & Dana, 2005). Esse entendimento tem implicações na elaboração de programas de desenvolvimento profissional. É importante, portanto, considerar as várias orientações, a fim de permitir o desenvolvimento do PCK de cada professor e alcançar um desenvolvimento profissional significativo. (Rozenszajn & Yarden, 2014).

Park e Oliver (2008a) organizaram os cinco componentes do PCK propostos por Magnusson et al. (1999) na forma de um pentágono com o PCK no centro (Figura 2). O modelo de Park e Oliver (2008a) também está fundamentado na base de conhecimentos proposta por Grossman (1990).

Figura 2 - Modelo Pentagonal do Conhecimento Pedagógico do Conteúdo para o ensino de ciências

Fonte: Park e Oliver (2008a), tradução Fernandez (2011).

As *Orientações para o Ensino de Ciências* se apoiam nas concepções pessoais do professor a respeito de sua própria atuação docente, em que esse estabelece prioridades sobre o que e por que ensinar. Nesse conhecimento, manifestam-se os valores pessoais e ideológicos atribuídos à prática de ensino e, portanto, tem caráter avaliativo, comparativo e de juízo diante da seleção de conteúdos e estratégias que um professor considera importantes para o ensino (Novais & Fernandez, 2013).

O *conhecimento da avaliação da aprendizagem em ciências* compreende quais os conhecimentos que o professor avalia em determinado assunto ou que considera importante. Além disso, inclui o conhecimento de métodos avaliativos e instrumentos específicos ou abordagens avaliativas.

O *conhecimento das estratégias instrucionais para o ensino de ciências* compreende a forma como um professor representa o conteúdo, seu repertório de exemplos, demonstrações, experimentos, metáforas, analogias e atividades que tornam o

conteúdo mais acessível ao estudante. Relaciona-se ao “como” fazer com que o aluno compreenda determinado tópico.

O *conhecimento do currículo de ciências* contempla o conhecimento de materiais curriculares disponíveis para planejar aulas e atividades e para ensinar um assunto particular. Inclui o conhecimento sobre o currículo horizontal e vertical para o assunto, ou seja, a importância atribuída pelo professor a algum conteúdo em relação ao currículo como um todo. Refere-se, ainda, aos meios empregados pelo professor para gerir o conteúdo a ser ensinado, organizando-o e preparando-o de acordo com as particularidades do contexto de ensino e aprendizagem, tais como diferentes níveis de ensino. Também inclui o entendimento da saliência curricular, que aponta para a tensão existente entre ‘cobrir todo o currículo’ e ‘ensinar para o entendimento’ (Geddis, Onslow, Beynon, & Oesch, 1993).

O *conhecimento da compreensão dos alunos em ciências* diz respeito às características, concepções alternativas e dificuldades de aprendizagem dos estudantes sobre assuntos específicos que constituem obstáculos epistemológicos ao aprendizado. Engloba conhecimentos relativos aos conhecimentos prévios dos estudantes necessários para aprendizagem. Inclui o conhecimento a respeito do que motiva e interessa aos alunos em determinado assunto. Além disso, refere-se ao conhecimento do professor a respeito de necessidades individuais e coletivas relativas à aprendizagem: aspectos humanos, cognitivos, sociais, estilos de aprendizagem e nível de desenvolvimento.

Esse modelo se diferencia pela integração entre os distintos componentes já propostos anteriormente, dessa forma os cinco componentes influenciam uns aos outros de uma maneira contínua e contextualizada. Para os autores, um aumento em um único componente sem um aumento correspondente nos outros pode não ser suficiente para alterar a estrutura do PCK. Park e Oliver afirmam que “O PCK para um ensino efetivo é a integração de todos os aspectos do conhecimento do professor de maneiras altamente complexas” (2008a, tradução nossa). Além disso, esse modelo destaca a questão da reflexão. Para os autores, o constructo do PCK ressalta que o professor não é um simples técnico, ou seja, aquele que apenas aplica o que outros planejaram. O professor é capaz de melhorar sua prática, principalmente, através da interação com os alunos e da reflexão na ação e sobre a ação (Park & Oliver, 2008a).

Diversos autores têm utilizado o modelo pentagonal do PCK em suas pesquisas (e.g. Aydin & Boz, 2013; Aydin, Demirdogen, Akin, Uzuntiryaki-Kondakci, & Tarkin,

2015; Nogueira, 2018; Park & Chen, 2012). Para esse estudo, o modelo pentagonal do PCK (Figura 2), servirá como uma ferramenta conceitual para análise e interpretação dos dados.

Os modelos de PCK trazem implicações para o currículo de formação de professores, pois eles podem auxiliar os formadores de professores a planejarem um currículo voltado para uma formação mais completa.

1.2.1.2 Desenvolvimento do PCK

Nilsson e Loughran (2012) afirmam que “o desenvolvimento do PCK é claramente um processo complexo determinado pelo conteúdo a ser ensinado, o contexto no qual o conteúdo é ensinado e a maneira como o professor reflete sobre suas experiências de ensino” (Nilsson & Loughran, 2012, p. 701, tradução nossa).

Muitos pesquisadores se dedicaram a estudar o desenvolvimento do PCK. Geddis et al. (1993) observaram que os professores experientes se concentravam mais no desenvolvimento do conhecimento procedimental do que no conhecimento conceitual, adotado principalmente por professores novatos que preferem um modelo de transmissão de ensino. Van Driel et al. (1998) investigaram o desenvolvimento do PCK de professores em serviço durante uma oficina sobre equilíbrio químico e verificaram uma melhora, principalmente no uso de estratégias pelos professores para promover a compreensão dos alunos sobre esse tópico. Van Driel e De Jong (2001) constataram um PCK mais elaborado de futuros professores durante um curso sobre modelos científicos, também devido a um desenvolvimento do conhecimento de estratégias. Van Driel, De Jong e Verloop (2002) reportaram que a supervisão de um tutor, durante um programa de mestrado em educação, influenciou no desenvolvimento do PCK de futuros professores. De Jong e van Driel (2005) exploraram o desenvolvimento do PCK de oito professores em serviço durante um programa de formação de professores e observaram um desenvolvimento do componente conhecimento da compreensão dos alunos. Justi e van Driel (2005) desenvolveram um curso sobre modelos e modelagem para cinco professores de ciências em um programa de pós-graduação em educação constituído por uma série de encontros institucionais em combinação com um projeto de pesquisa-ação. Os autores mostram que o ensino e a reflexão sobre seus projetos de pesquisa contribuíram para o desenvolvimento do PCK dos professores participantes. Park e

Oliver (2008b) ao investigarem professores candidatos à certificação nacional, perceberam que a reflexão desempenha um papel importante no desenvolvimento e integração dos componentes do PCK. Henze, van Driel e Verloop (2008) pesquisaram o desenvolvimento do PCK de nove professores de ciências durante seus três primeiros anos de ensino e a partir da análise dos dados, observaram dois tipos de PCK que se desenvolveram de maneiras diferentes. No primeiro, o componente estratégias instrucionais tornou-se mais sofisticado, mas a interação entre os demais elementos não foi identificada. No segundo tipo, os elementos do PCK parecem ter se desenvolvido de tal forma que diferentes elementos se apresentaram de forma consistente e dinamicamente relacionados uns aos outros e ao ensino. Mavhunga (2012) durante uma disciplina em um curso de formação inicial de professores verificou que a qualidade do PCK pode ser melhorada por meio da discussão explícita do conhecimento que afeta a transformação do conteúdo para o ensino. Girotto Júnior e Fernandez (2013) investigaram dois professores em dois momentos distintos, primeiro durante a formação inicial e após três anos, como professores em serviço em uma escola secundária. Os autores relatam que a experiência profissional junto com a reflexão contribuiu para uma melhoria no PCK dos professores. Mavhunga e Rollnick (2013) durante uma intervenção com 16 futuros professores, investigaram a influência dos componentes do PCK no seu desenvolvimento. As autoras apontaram que, apesar de todos os componentes terem se desenvolvido, observou-se um maior desenvolvimento do componente sobre representações e estratégias. Nilsson e Vikström (2015) utilizaram a abordagem de estudo de aprendizagem para desenvolver o PCK de seis professores de ciências e verificaram que os professores mudaram seu ensino de ciências de uma forma que indicou o desenvolvimento do PCK. Karal e Alev (2018) investigaram o desenvolvimento do PCK de 13 futuros professores de física durante sua formação inicial e relataram que os componentes do PCK se desenvolveram independentemente uns dos outros. Wongsopawiro, Zwart e van Driel (2012) acompanharam 12 professores em serviço no contexto de um programa de desenvolvimento profissional de um ano e encontraram diferentes caminhos para mostrar o desenvolvimento do PCK dos professores por meio de seus processos de prática e reflexão.

Mediante os resultados apontados na literatura, podem-se identificar algumas fontes do desenvolvimento do PCK: reflexão sobre práticas de ensino, experiência de ensino, programas de desenvolvimento profissional, supervisão de um tutor,

conhecimento da compreensão dos alunos, sem considerar o fato que o conhecimento do conteúdo é um pré-requisito para o desenvolvimento do PCK.

Shulman (1987) já havia destacado o papel da reflexão e da experiência no desenvolvimento profissional do professor ao propor o “Modelo de Raciocínio Pedagógico e Ação (MRPA)” (Figura 3). Esse modelo busca representar o processo que ocorre durante a atuação docente e procura englobar os conhecimentos que o professor possui sobre o conteúdo e sobre as abordagens metodológicas que desenvolve sobre um determinado assunto. Em cada etapa, uma série de conhecimentos e habilidades é necessária e, após cada ciclo, uma nova compreensão sobre o ensino de dado conteúdo é adquirida pelo professor.

Figura 3 - Modelo de Raciocínio Pedagógico e Ação (MRPA)

Fonte: Shulman (1987), adaptado por Salazar (2005), tradução Fernandez (2011).

Apesar de o processo de raciocínio e ação pedagógica, proposto por Shulman, ser apresentado em seis etapas, sua utilização nas práticas pedagógicas não necessariamente será sequencial ou hierárquica. Ou seja, o início de um estágio não depende necessariamente do encerramento do outro (Salazar, 2005). Outro aspecto a destacar, é que o caráter dinâmico, instável e imprevisível das práticas pedagógicas impossibilita sua organização e estruturação prévia, impondo aos futuros professores o

desafio de gerenciar essas questões simultaneamente para alcançar seus objetivos e a aprendizagem dos alunos (Park & Oliver, 2008b).

Além da reflexão sobre a prática, a experiência de ensino é considerada um fator que influencia o desenvolvimento do PCK (De Jong & van Driel, 2001; Magnusson, et al., 1999). No entanto, a experiência de ensino sozinha, na ausência de cursos de formação de professores, não foi suficiente para desenvolver o PCK dos professores (Friedrichsen et al., 2009). Tendo em vista que a experiência de ensino apoiada por programas de formação de professores bem construídos e reflexões dos professores é vital para o desenvolvimento de um PCK, optou-se por utilizar espaços de formação de professores como meio para possibilitar o desenvolvimento do PCK.

Diversos autores justificam a importância da inclusão do constructo PCK na formação de professores. Segundo Talanquer (2004), os programas de formação docente devem colaborar para a construção do PCK:

Um bom programa de formação docente deve proporcionar uma preparação disciplinar e pedagógica sólida.[...] Os programas de formação e atualização docente necessitam abrir espaços para que as peças-chaves do conteúdo a ser ensinado sejam sujeitas à análise e discussão didática e pedagógica. [...] A grande maioria dos atuais e futuros professores de Química se beneficiaria se lhes fosse oferecida mais oportunidades para integrar seu conhecimento, repensar e recriar a matéria que ensinam.[...] Este tipo de reflexão não só ajudaria os professores em formação a desenvolver seu PCK, como também a capacidade crítica e as habilidades analíticas que lhes permitiriam conceber a aula como um espaço de exploração e investigação contínua (Talanquer, 2004, tradução Fernandez, 2011).

De Jong, Veal e van Driel (2002) defendem a necessidade da incorporação da prática docente no processo de formação, juntamente com componentes do PCK, como a discussão das concepções alternativas dos estudantes e das dificuldades de aprendizagem. Hume e Berry (2011) também argumentam sobre a inclusão do PCK em cursos de formação de professores, justificando que é um bom exercício para que os professores construam seus conhecimentos dos componentes do PCK e utilizem durante o planejamento de aula e durante o ensino. No mesmo sentido, Rollnick et al. (2008) defendem que o PCK deve ser inserido na formação dos professores:

Se a experiência pode ser acessada e retratada, pode então ser transferida para professores inexperientes e, assim, ajudá-los no seu progresso em direção à competência reforçada no ensino. Desenvolver o entendimento mais profundo do fenômeno que é o PCK pode também ajudar a criar novas formas adequadas de discussão das

questões inerentes à complexidade e aplicação do conhecimento do conteúdo na prática. Encontrar, acessar e elucidar o PCK pode muito bem representar o que alguns poderiam descrever como o santo graal da formação de professores! (Rollnick et al., 2008, tradução Fernandez, 2011).

1.2.2 Programas de desenvolvimento profissional contínuo

O desenvolvimento profissional pode ser visto como uma experiência de aprendizado contínuo do professor (Luft & Hewson, 2014). Para Villegas (2003, p.19, tradução nossa) “o processo de desenvolvimento profissional tem um impacto significativamente positivo nas crenças e práticas dos professores, na aprendizagem dos alunos e na implementação de reformas educacionais.”. Trata-se de um processo complexo que consiste em vários componentes e suas interconexões, que evoluirão ao longo do tempo. Existem várias características que podem ser consideradas importantes para o desenvolvimento profissional efetivo: os professores devem ser vistos como aprendizes ativos que aprendem com o tempo; eles devem ser encorajados a relacionar conhecimento prévio a novas experiências; o desenvolvimento deve ser um processo que ocorre dentro de um contexto particular, está relacionado às experiências em sala de aula, é baseado nas escolas e está relacionado às atividades diárias de ensino; e o processo de desenvolvimento deve ser colaborativo, com o professor sendo visto como um praticante reflexivo (Villegas-Reimers, 2003).

O objetivo dos programas de desenvolvimento profissional é promover práticas mais eficazes dos professores para que, por sua vez, melhorem a compreensão dos alunos. Nesses programas, por meio de disciplinas específicas, deve ser dada atenção a uma série de conhecimentos base, incluindo o conhecimento pedagógico do conteúdo, para ajudar os professores a diagnosticar as dificuldades dos alunos e desenvolver um rico repertório de estratégias para enfrentar essas dificuldades durante o ensino. Além disso, proporcionar uma oportunidade para a reflexão dos professores e aprendizagem sobre como novas práticas podem ser desenvolvidas ou moldadas a partir da prática de sala de aula existente.

O desenvolvimento profissional para professores varia em muitos aspectos, incluindo duração, forma e conteúdo. Pode ser desde um diálogo informal para melhorar o ensino, a participação em cursos, oficinas e/ou conferências, visitas e observações a

outras escolas, orientação por um tutor, pesquisa individual ou colaborativa, até um programa de qualificação (OECD, 2009). Pode variar de uma reunião de 1 dia, a um curso de verão por 5 dias, a um curso semestral dado semanalmente, a um programa intensivo de dois anos.

Embora os cursos de curta duração tendem a ser menos propícios à modificação da prática docente dos professores, quando comparados com aqueles de longa duração, (Mamlok-Naaman, Rauch, Markic, & Fernandez, 2013), na literatura é possível encontrar pesquisas que apontam um impacto positivo no desenvolvimento do PCK tanto em atividades de desenvolvimento profissional de longo prazo (Goldschmidt & Phelps, 2010; Roth et al., 2011; Rozenszajn & Yarden, 2014) como em intervenções de curto prazo (Mavhunga & Rollnick, 2013, 2016; McNeill & Knight, 2013).

No Brasil, os professores passam, em média, 21 dias ao ano em atividades de desenvolvimento profissional, sendo a participação em cursos/oficinas a atividade mais frequentada⁴. No Brasil, os cursos de formação continuada estão previstos em lei (Brasil, 1996) e apresentam como objetivo principal contribuir com as necessidades individuais de cada professor, seja de atualização ou aquisição de novos conhecimentos. Tais cursos têm como objetivo também suprir carências da formação inicial além de poderem contribuir para o desenvolvimento profissional dos professores:

Os cursos de formação continuada se justificam também para aqueles profissionais oriundos de Universidades bem conceituadas, pois seria ilusório pensar que eles chegam à sala de aula com competência para ensinar. A atrofia dos fundamentos teóricos dos cursos de formação de professores e a consequente atomização e fragmentação dos currículos é uma realidade também nas boas Universidades. Portanto, cursos de formação continuada têm o papel, entre nós, não só de garantir a atualização dos professores, como também de suprir deficiências dos cursos de formação (Cunha & Krasilchik, 2002, p.2).

Para criar programas eficazes de desenvolvimento profissional é importante compreender a natureza do PCK dos professores, como se desenvolve ao longo do tempo e como se relaciona com outros componentes do conhecimento, como conhecimento da pedagogia geral e conhecimento de conteúdo (Henze & van Driel, 2015). Além disso, é importante identificar e fornecer modelos eficazes de reflexão

⁴ Pesquisa realizada pela TALIS (*Teaching and Learning International Survey*) em 2003 com professores dos anos finais do Ensino Fundamental. Fonte: <http://www.oecd.org/education/school/TALIS-2013-country-note-Brazil-Portuguese.pdf>.

sobre práticas de ensino devido sua particular importância para melhorar a integração dos componentes do PCK (Park & Oliver, 2008a).

Existem poucos estudos na literatura que investigaram as influências dos cursos de formação continuada sobre o PCK de professores de ciências.

2 OBJETIVOS E QUESTÃO DE PESQUISA

O objetivo geral desta tese foi analisar a elaboração e a implementação de um curso voltado para a formação continuada de professores de Química que atuam no Ensino Médio com intuito de desenvolver o PCK sobre conceitos relacionados a reações redox. Em mais detalhes, o objetivo geral pode ser dividido em três objetivos específicos que estão interconectados pelo conteúdo de reações redox (Figura 4).

Figura 4 - Relação entre os três objetivos específicos dessa tese

- 1) Investigar como as reações redox são representadas nos livros didáticos de Química e relacionar essas representações aos seus efeitos sobre as dificuldades de compreensão dos alunos e possíveis causas de concepções alternativas dos alunos.
- 2) Investigar o conhecimento de professores de Química do ensino médio sobre como ensinar reações redox, com foco em seu conhecimento do entendimento do aluno, uso de representações, seleção de recursos e de estratégias instrucionais.
- 3) Investigar como cursos de formação continuada podem melhorar as reflexões de professores e possibilitar o desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo de reações redox.

A partir dos objetivos supracitados, espera-se responder a seguinte questão de pesquisa: *Qual o impacto de um curso de formação continuada no desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo sobre conceitos relacionados a reações redox de professores de Química em serviço?*

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.1 NATUREZA DA PESQUISA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa do tipo qualitativa (Creswell, 2012), que investiga o PCK dos professores de Química e como esse conhecimento pode ser desenvolvido, levando em consideração que o desenvolvimento é um processo complexo em que os componentes do PCK interagem dinamicamente. Em virtude dessa complexidade, o PCK pode ser manifestado de várias formas. Deste modo, diferentes métodos de coleta de dados foram empregados em cada parte do estudo para coletar uma maior quantidade de dados possíveis e fornecer análises mais válidas, para abordar as diferentes questões de pesquisa.

Os dados desta tese provêm de dois momentos distintos, a saber: 1) investigação do cenário e 2) planejamento e implementação de um curso de formação continuada.

Uma visão geral do primeiro momento é apresentada na Figura 5. Esse momento é focado na revisão da literatura, em como os livros didáticos de Química representam as reações redox e no conhecimento dos professores em relação às dificuldades de compreensão dos alunos e estratégias de ensino referentes a esse conteúdo.

O segundo momento é focado no desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo em espaços de formação de professores. A partir do primeiro, foi projetado um curso de formação continuada, a intervenção piloto, posteriormente com a análise das limitações dessa intervenção e com as contribuições da investigação da formação de professores em um contexto internacional, reelaborou-se o curso de formação continuada para investigar o desenvolvimento do PCK dos professores participantes. Uma visão geral desse segundo momento é apresentada na Figura 6.

Figura 5 - Uma visão geral do desenho do primeiro momento do estudo e os tipos de dados empíricos coletados

Figura 6 - Uma visão geral do desenho do segundo momento do estudo e os tipos de dados empíricos coletados

3.2 COLETA DE DADOS

Como observado na Figura 5 e na Figura 6, a pesquisa está organizada em seis grandes etapas que serão descritas a seguir, indicando as questões a serem respondidas, e os instrumentos de coleta de dados.

3.2.1 Etapa 1: Investigação sobre as reações redox na literatura

Nesta parte do trabalho optou-se por aprofundar a revisão bibliográfica sobre reações redox com o intuito de verificar quais as pesquisas que estão sendo realizadas em torno dessa temática. Para isso, desenvolveu-se uma revisão da literatura do tipo estado da arte no contexto nacional e internacional. A pesquisa do tipo estado da arte permite a catalogação de trabalhos ao longo de um período sobre um determinado tema de estudo, o que possibilita ao pesquisador analisar como as investigações em uma determinada área de seu interesse científico vêm sendo estruturadas; mapear os principais referenciais teóricos adotados e as tendências metodológicas; entre outros aspectos (Coutinho et al., 2005; Melo, 2006).

3.2.1.1 *Investigação das reações redox no contexto brasileiro*

O objetivo principal foi mapear e analisar as principais produções apresentadas que propõem como objeto de investigação o conteúdo de reações redox e assim analisar de que forma esse tópico tem sido abordado nas salas de aula brasileiras. Para tanto, revisou-se os anais do Encontro Anual da Sociedade Brasileira de Química (RASBQ) - Divisão de Ensino de Química, do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), do Encontro Paulista de Pesquisa em Ensino de Química (EPPEQ) e do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ), referentes ao período de 2000 a 2014. A revisão da literatura iniciou-se, a priori, com a pesquisa nos sites dos eventos nacionais investigados para conhecer os trabalhos desenvolvidos sobre o conteúdo de reações redox, tanto nas sessões do ensino de Química quanto nas demais sessões de ensino que permeavam a história da ciência, formação de professores, entre outras, da RASBQ, do ENPEC, do ENEQ e do EPPEQ. O mapeamento dos trabalhos foi feito no período de 2000 a 2014, por meio de sua disponibilidade em sites

e/ou CD-ROM, sendo selecionadas as pesquisas que permeavam as palavras-chave: reação redox, oxidação, redução, antioxidantes, radicais livres e eletroquímica, nos campos: títulos, palavras-chave e resumos.

Em uma segunda investigação sobre o ensino de reações redox no contexto brasileiro, focou-se nas dificuldades identificadas pelos autores em relação aos alunos, aos problemas presentes em livros didáticos e às limitações dos professores com o tema. Para tanto, os mesmos eventos brasileiros foram investigados, estendendo o período de análise para os anos de 2000 a 2016.

3.2.1.2 Investigação das reações redox no contexto internacional

No intuito de investigar as dificuldades para o ensino e aprendizagem de eletroquímica relatadas em periódicos internacionais da área, realizou-se um mapeamento durante o período de 2000 a 2016. O foco do estudo desta pesquisa é composto por artigos que envolvem o conteúdo de reações redox. Para tanto, foram utilizados os bancos de dados ERIC (*Education Resources Information Center*) e SciELO (*Scientific Electronic Library Online*) e a ferramenta de pesquisa ISI *Web of Knowledge*. Para realizar a busca, foram utilizadas as palavras-chave, em inglês, eletroquímica, reações redox, oxidação, redução, antioxidantes e radicais livres nas seguintes áreas: título, resumo, palavras-chave, assunto e corpo do texto. O mapeamento analisou artigos que abordavam explicitamente conceitos relacionados à eletroquímica, mais especificamente artigos que se referiram às dificuldades associadas ao ensino e aprendizado sobre esse conteúdo.

3.2.2 Etapa 2: Investigação sobre o conceito de reações redox nos livros didáticos

Nesta etapa busca-se responder “Como o conteúdo de reações redox está representado visualmente em livros didáticos de Química? Para isso, mapeou-se o conteúdo de reações redox nas quatro coleções de Química aprovadas no PNLD 2015 e os Cadernos de Química do currículo do Estado de São Paulo (Quadro 4).

Quadro 4 - Livros didáticos de Química analisados nesse estudo

Livro Didático	Referência
LD1	Santos, W. L. e Mól, G. S. (2013). <i>Química Cidadã</i> (2 ed.). São Paulo: AJS Ltda.
LD2	Mortimer, E. F. e Machado, A. L. (2013). <i>Química 2: ensino médio</i> (2 ed.). São Paulo: Scipione.
LD3	Fonseca, M. R. M. (2013). <i>Química 2</i> (1 ed.). São Paulo: Editora Ática.
LD4	Antunes, M. T. (2013). <i>Ser Protagonista: Química 2</i> (2 ed.). São Paulo: Edições SM.
LD5 ⁵	São Paulo. (2011). <i>Currículo do Estado de São Paulo</i> . São Paulo: Secretaria da Educação do Estado de São Paulo.

Mapeou-se página a página de cada volume e verificaram-se como as reações redox são apresentadas em toda a extensão do livro, investigando como e quando o conceito é introduzido e discutido explicitamente, bem como, de que forma ele é retomado e apresentado de forma mais detalhada. Dessa forma, selecionaram-se as imagens (fotografia, desenho, diagrama, esquema e gráfico) presentes nos volumes das coleções em que o conteúdo redox é abordado com maior profundidade.

3.2.3 Etapa 3: Investigação sobre o ensino de reações redox

Nesta etapa buscou-se responder a duas questões: 1) quais as dificuldades e limitações que um grupo de professores de Química apresenta no ensino de reações redox? e 2) o que os professores sabem sobre concepções alternativas e dificuldades de compreensão dos estudantes em relação ao conteúdo de reações redox? Para isso, existem cinco fases diferentes de coleta de dados, descritas a seguir.

3.2.3.1 Investigação de práticas educativas sobre reações redox e conteúdo relacionado

Com o objetivo de identificar práticas educativas relacionadas ao desenvolvimento do conteúdo de reações redox em sala de aula, foi utilizado o registro audiovisual. Foram gravadas as sequências didáticas sobre reações redox de dois professores de duas instituições diferentes. A escolha desses professores se deu principalmente pela indicação obtida pela comunidade escolar (alunos, pais, coordenadores) que os consideram bons professores. Atendendo ao pedido de ambas as instituições de ensino, seus respectivos nomes e

⁵ Os Cadernos de Química do Currículo do Estado de São Paulo não são considerados livros didáticos, porém, por questões de organização e padronização, optou-se por utilizar a sigla LD5.

localização, serão omitidos de qualquer produção escrita e oral que venha a ser realizada com os dados obtidos com a presente pesquisa. Além disso, os nomes dos dois professores participantes foram trocados para não permitir identificá-los. As gravações iniciaram em março de 2015 e foram até o início de junho de 2015. No total foram gravadas 67 aulas, totalizando, aproximadamente, 3400 minutos de filmagem.

Por meio dos registros audiovisuais é possível estudar fenômenos complexos como a prática pedagógica, que é carregada de vivacidade e dinamismo. Diversas pesquisas que investigam o PCK utilizam como estratégias os registros audiovisuais (Giroto Júnior & Fernandez, 2013; Nilsson, 2008).

3.2.3.2 Questionário CoRe

O questionário Representação do Conteúdo – CoRe (da sigla em inglês *Content Representation*), é uma ferramenta que foca na compreensão do professor em relação aos aspectos que representam o conteúdo específico como, por exemplo, estratégias e metodologias (Loughran, Mulhall, & Berry, 2004). Consiste de oito questões (Quadro 5) sobre o ensino de um conjunto de ideias centrais associadas a um conteúdo específico, pode ser realizado em grupo ou individualmente.

Quadro 5 - Instrumento CoRe – Representações do Conteúdo

Nível de ensino para o qual o CoRe será projetado	Conteúdo específico			
	Ideias/ Conceitos Centrais relacionados a esse conteúdo			
	Ideia I	Ideia II	Ideia III	Ideia n
1. O que você pretende que os alunos aprendam sobre essa ideia?				
2. Por que é importante para os alunos aprenderem essa ideia?				
3. O que mais você sabe sobre essa ideia?				
4. Quais são as dificuldades e limitações ligadas ao ensino dessa ideia?				
5. Que conhecimento sobre o pensamento dos alunos tem influência no seu ensino sobre essa ideia?				
6. Que outros fatores influem no ensino dessa ideia?				
7. Que procedimentos/ estratégias você emprega para que os alunos se comprometam com essa ideia?				
8. Que maneiras específicas você utiliza para avaliar a compreensão ou a confusão dos alunos sobre essa ideia?				

Fonte: Loughran, et al. (2004), tradução Fernandez (2011).

Inicialmente o CoRe foi proposto com o objetivo de estimular a reflexão de professores sobre o ensino de conteúdo específico (Hume & Berry, 2011). Nesse sentido, o questionário CoRe não é apenas um modo de coletar dados, mas também permite o desenvolvimento do PCK dos professores. É tanto uma ferramenta de pesquisa para acessar a compreensão sobre o ensino de um determinado conteúdo, como uma estratégia para estimular seu raciocínio pedagógico e promover uma possível ampliação do seu PCK. Com o seu uso, busca-se estimular a reflexão do professor e analisar de que maneira ele pode reverter possíveis aspectos negativos de sua aula pela reflexão sobre a própria prática. Cooper, Loughran e Berry (2015) afirmam que a construção de um CoRe pode melhorar o conhecimento profissional dos professores sobre a prática docente e, assim, seu desenvolvimento profissional.

O CoRe tem sido utilizado com sucesso na formação inicial de professores de ciências para ajudá-los a entender o que o PCK pode envolver (Eames, 2016; Garritz & Trinidad-Velasco, 2006; Goes & Fernandez, 2016; Hume, 2010; Hume & Berry, 2011, 2013) e ajudá-los a se concentrar no conteúdo específico e considerar formas alternativas de planejamento por seu ensino (Williams, Eames, Hume, & Lockley, 2012).

O questionário CoRe foi respondido por 14 licenciandos de Química em disciplinas de formação inicial e por 18 professores de Química em um curso de formação continuada.

3.2.3.3 Questionário sobre ensino de reações redox

A partir da sistematização dos dados encontrados na literatura de 17 anos (2000-2016) sobre as concepções alternativas e dificuldades do ensino de reações redox (Goes, Nogueira, & Fernandez, 2018c; Nogueira, Goes, & Fernandez, 2017a, 2017b) e das respostas aos questionários CoRe, foi elaborado um novo questionário (Apêndice 1). Teve-se o intuito de diagnosticar um maior número possível de professores em relação à abordagem do conteúdo de reações redox, quais as dificuldades que eles enfrentaram/enfrentam com esse conteúdo, as estratégias instrucionais adotadas, os métodos de avaliação e o conhecimento das dificuldades dos alunos. Optou-se por um questionário que mescla perguntas abertas e fechadas, pois enquanto as perguntas fechadas podem trazer informações úteis para apoiar teorias e conceitos na literatura, as perguntas abertas permitem verificar as razões para tais respostas e verificar comentários que os participantes podem ter em relação a determinado assunto (Creswell, 2012).

O formato do questionário foi baseado na ferramenta CoRe (Loughran, et al., 2004), focando os componentes do PCK de acordo com Park e Oliver (2008a). Quatro especialistas na área analisaram o questionário, para verificar se as questões estavam conceitualmente corretas. Para evitar perguntas que pudessem induzir vieses e ambiguidades, uma análise semântica foi realizada por um professor e quatro alunos de doutorado de ensino de Química. Foi realizado um estudo piloto com 13 professores de Química em serviço. De acordo com Canhota (2008) e Mackey e Gass (2005), a importância de conduzir um estudo piloto está na possibilidade de testar, avaliar, revisar e aprimorar os instrumentos e procedimentos de pesquisa. Após esse primeiro estudo piloto, algumas das questões foram reelaboradas para garantir uma melhor compreensão das mesmas. Sendo assim, o questionário foi submetido a um novo estudo piloto com 10 professores diferentes do primeiro estudo. Após a verificação das respostas, chegou-se a um questionário final constituído por 22 questões: 9 múltipla escolha e 13 escala Likert de 5 pontos. O questionário foi respondido por 29 participantes.

3.2.3.4 Vinheta envolvendo reações redox

As vinhetas têm se mostrado úteis como instrumento de pesquisa na investigação do conhecimento pedagógico do conteúdo (e.g Boz & Boz, 2008; Chan & Yung, 2015; Kind, 2015; Mavhunga, 2016; Veal, 2004). Vinheta é uma descrição de uma situação problema, em alguns casos podem ser escritas, em outros casos, podem ser representações audiovisuais, por exemplo, de uma sala de aula (Veal, 2004).

As estratégias instrucionais utilizadas pelos dois professores investigados (descritos no item 3.2.3.1) foram analisadas e serviram como parâmetros para a elaboração de vinhetas relacionadas ao conteúdo de reações redox (Apêndice 2). Da mesma forma que para a elaboração do questionário (ver item 3.2.3.3), foram realizados dois testes piloto com 23 professores de Química no total. No final, foram desenvolvidas quatro vinhetas. O objetivo dessas vinhetas era ter uma ideia sobre o PCK dos professores sobre reações redox com base na situação de classe descrita na vinheta.

A primeira vinheta (Vinheta 1) apresenta uma imagem com a linha de reatividade do metal e, em seguida, traz uma situação de sala de aula, questionando qual seria a ação do professor. A segunda vinheta (Vinheta 2) lida com fenômenos bastante descritos nos livros didáticos, que é a reação entre cobre metálico e nitrato de prata. Descreve uma situação de sala de aula, onde o professor realiza um experimento de demonstração. Após a descrição, há um breve diálogo entre professor e aluno. Na terceira vinheta (Vinheta 3), também é relatado um experimento de demonstração em que o professor adiciona ácido nítrico concentrado a uma moeda de cobre. Os alunos verificam a formação de um gás marrom e a coloração azul da solução. Na quarta vinheta (Vinheta 4), o conteúdo das reações redox é abordado pelo tema da produção de ferro e alumínio. As quatro vinhetas estão representadas na Figura 7.

Para cada vinheta, os professores foram solicitados a descrever o que fariam naquela situação específica. Vinte e nove professores de Química participaram do estudo.

Vinheta 1

Durante uma aula inicial sobre reações redox, um professor mostra aos alunos a fila de reatividade dos metais contida no material didático adotado:

Acrescenta que na categoria “outros metais” encontram-se o ferro, o zinco e o estanho, enquanto que na categoria “metais nobres” encontram-se o ouro, a prata e o cobre. O professor explica que em uma reação entre um metal e um íon metálico, aquele correspondente ao elemento mais reativo tende a oxidar e ao menos reativo tende a reduzir. Neste momento um aluno pergunta: “Professor, mas e se os dois elementos estiverem dentro do mesmo grupo, se os dois forem nobres, como eu vou saber quem oxida e quem reduz?” Como você responderia ao aluno?

Vinheta 2

Durante uma aula de química, um professor realiza um experimento no qual adiciona um pedaço de cobre metálico em uma solução de nitrato de prata. Após a reação, o professor questiona os alunos: “O que está causando a cor azul?” E um aluno responde: “O cobre foi dissolvido na solução, ele faz um íon com o nitrato e torna azul”. O que você diria a esse aluno?

Vinheta 3

Um professor realiza um experimento, no qual adiciona ácido nítrico concentrado a uma moeda de cobre. Os alunos verificam a formação de um gás castanho e a coloração azul da solução. Nesse momento, um aluno questiona: “Professor, aprendemos em reações de deslocamento que o cobre não desloca o “H” do ácido. Por que nesse experimento ocorreu uma reação?” O que você responderia a esse aluno?

Vinheta 4

Na aula de Química, um professor mostra uma lista com a abundância de alguns elementos na crosta terrestre. Nessa lista, encontram-se o alumínio (8,3%) e o ferro (6,2%). Nesse momento, um aluno questiona: “Professor, então por que o alumínio é mais caro que o ferro já que existe mais alumínio do que ferro?” O que você responderia a esse aluno?

Figura 7 - Vinhetas utilizadas nesse estudo

3.2.3.5 Questionário sobre o conteúdo de reações redox

Essa etapa do estudo teve como objetivo investigar as concepções e as dificuldades sobre conceitos fundamentais de eletroquímica de um grupo de professores de Química do Ensino Médio, participantes de um curso de extensão na Universidade de São Paulo. No contexto do curso de extensão buscou-se ainda identificar possíveis fragilidades e problemas associados à sua estruturação e implementação, que poderiam ser considerados no delineamento e condução do curso de formação continuada proposto. O curso de extensão foi elaborado em colaboração com uma professora especialista em eletroquímica.

A coleta de dados se deu no início do curso, a partir de um questionário com onze perguntas abertas abordando conceitos básicos de eletroquímica, tais como: reação redox, oxidante, redutor, eletrodo, pilha, célula eletrolítica, ponte salina e força eletromotriz (Apêndice 3). As perguntas foram divididas em dois blocos, o primeiro associado à definição de termos básicos sobre eletroquímica, e o segundo bloco envolvendo questões sobre a força eletromotriz (f.e.m.). Cada professor respondeu de forma individual e sem nenhuma fonte de consulta. O questionário foi respondido por dezessete professores participantes.

Para analisar as possíveis influências do curso de extensão sobre os professores, o mesmo questionário foi implementado no término do curso.

3.2.4 Etapa 4: Investigação da formação de professores em contexto internacional

Uma vez que as discussões e estudos sobre o uso do PCK na formação de professores ainda são escassos no contexto brasileiro, optou-se por aprofundar as reflexões nessa área com o apoio de um grupo de pesquisa e uma orientação específica sobre este tema. Essa etapa foi desenvolvida na Universidade de Bremen tendo o professor Ingo Eilks como supervisor externo. O grupo de pesquisa escolhido tem ampla experiência com cursos de formação que apresentam como um dos objetivos principais, promover o desenvolvimento do PCK de professores de Química.

Nessa etapa buscou-se responder se existem semelhanças e / ou diferenças no PCK dos professores em fases distintas da carreira. Participaram do estudo quatro grupos diferentes de professores alemães de Química de diferentes etapas da carreira: estudantes de bacharelado, mestrados, alunos de um programa obrigatório de estágio (*Referendariat* em alemão) e professores em serviço. Todos os participantes do estudo estavam envolvidos em um programa semelhante de formação de professores, mas em momentos diferentes. Os dados foram coletados por meio de dois instrumentos: o questionário sobre ensino de reações redox (Apêndice 1) e entrevistas semiestruturadas. O questionário foi traduzido para o alemão e para evitar perguntas que pudessem induzir viés e ambiguidade, uma análise semântica foi realizada por um professor de Química e quatro alunos alemães de doutorado na área de ensino de Química.

3.2.5 Etapa 5: Intervenção piloto

Nesta etapa buscou-se responder as questões: 1) quais as dificuldades e limitações que um grupo de professores de Química apresenta no ensino de reações redox? e 2) o que os professores sabem sobre concepções alternativas e dificuldades de compreensão dos estudantes em relação ao conteúdo de reações redox?. A partir da análise dos dados foi feito um projeto para implementação de um curso de formação continuada envolvendo o conteúdo de reações redox com os professores de Química da Rede Pública do Estado de São Paulo. A intervenção foi realizada durante os meses de agosto a outubro de 2016, na Diretoria de Ensino Norte 2, localizada no Estado de São Paulo. O curso teve duração de 36 horas, divididos em 6 encontros semanais de 5 horas cada e 6 horas de atividade a distância, realizada no ambiente virtual de aprendizagem.

Essa primeira intervenção é um piloto, na medida que permitiu avaliar a validade dos instrumentos de coleta de dados utilizados – em especial, se os conteúdos e a forma de comunicá-los são inteligíveis pelos participantes da pesquisa, e se as respostas produzidas por eles são coerentes com o que se espera avaliar tendo em vista os objetivos da pesquisa.

Dez professores de Química em serviço participaram dessa intervenção. Para coleta de dados utilizou-se o questionário CoRe (respondidos no início e no final do curso), planos de aulas (elaborados no início e no final do curso) e o registro audiovisual de todo o curso.

Optou-se por incluir os planos de aula como outro tipo de coleta de dados devido sua potencialidade para investigar os componentes do PCK (Goes, Nogueira, & Fernandez, 2018a; E. Lee & Luft, 2008; Tacoshi & Fernandez, 2014; Valk & Broekman, 1999). Os planos de aulas têm se configurado como uma importante estratégia para investigações sobre o PCK, pois, normalmente, encontram-se descritos o planejamento das aulas com as estratégias e materiais a serem utilizados, os tipos de avaliação e as justificativas para tais escolhas (Pereira & Fernandez, 2013; Oliveira Júnior, 2011).

3.2.6 Etapa 6: Investigação do desenvolvimento do PCK

Após o estudo piloto, algumas modificações foram realizadas para a implementação do curso. Nessa etapa buscou-se responder a pergunta central dessa tese: Qual o impacto de um curso de formação continuada no desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo sobre conceitos relacionados a reações redox de professores de Química em serviço?

A segunda intervenção ocorreu no âmbito de um curso de extensão, realizado em parceria com o Instituto de Química, a Pró-Reitoria de cultura e extensão Universitária, ambos da Universidade de São Paulo e a Secretária de Educação do Estado de São Paulo (SEESP). A intervenção foi realizada durante os meses de março a maio de 2018, no Instituto de Química, localizado na Cidade Universitária, no Estado de São Paulo. O curso teve duração de 40 horas, divididos em 6 encontros semanais de 5 horas cada e 10 horas de atividade a distância, realizado no ambiente virtual de aprendizagem. O objetivo desse curso foi proporcionar o desenvolvimento profissional de professores de Química do Ensino Médio por meio do conceito de reações redox.

Quarenta professores de Química em serviço participaram dessa intervenção. Para coleta de dados utilizou-se o questionário CoRe (respondido no início e no final do curso), planos de aulas (elaborados no início e no final do curso), atividades elaboradas por meio do ambiente virtual de aprendizagem (questionários sobre o conteúdo, fóruns, questionário sobre o uso de livro didático e vinhetas) e o registro audiovisual de todo o curso.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

3.3.1 Revisão da literatura

Após a catalogação, foi realizada a análise dos artigos selecionados, lendo cada trabalho em sua totalidade, a fim de identificar qual deles realmente abordava o conteúdo das reações redox. Para esse estudo, foram empregados alguns dos descritores já consagrados na literatura e utilizados em trabalhos desenvolvidos por grupos que realizam pesquisas do tipo Estado da Arte (e. g. Goes & Fernandez, 2018a; Matiello & Bretones, 2010; Megid Neto, 1999). Sendo assim, os trabalhos foram categorizados em quatro descritores a saber:

- 1) Sujeitos investigados: refere-se a que tipo de sujeitos foram investigados durante a pesquisa.
- 2) Nível de escolaridade: refere-se ao nível de ensino em que os autores propõem desenvolver suas propostas de ensino ou o nível educacional em que a pesquisa foi realizada.
- 3) Métodos e estratégias de ensino: refere-se ao caminho percorrido pelos professores para direcionar a aprendizagem em sua proposta didática ou a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.
- 4) Dificuldades de aprendizagem: refere-se às dificuldades de ensino-aprendizagem nas reações redox apresentadas no estudo.

3.3.2 Livros didáticos

Os desenhos, esquemas e gráficos foram identificados e analisados de modo a inferir sobre a função dos mesmos no capítulo. Para tanto, foram utilizadas cinco categorias propostas e adaptadas por G. S. Silva, Braibante e Pazinato (2013): sequência didática, iconicidade, funcionalidade, relação com o texto principal, e etiquetas verbais. Para a *sequência didática* analisou-se tudo o que antecede e sucede as imagens e, assume-se que o livro didático foi elaborado para se ler em sequência. A categoria *iconicidade* é medida do grau de complexidade das imagens, quanto maior o grau de abstração menor a iconicidade da imagem. A categoria *funcionalidade* refere-se à função das representações no livro didático, enquanto que a categoria *relação com o texto principal* verifica a conexão das representações com o escrito. A categoria *etiquetas verbais* diz respeito aos textos que estão incluídos nas imagens. Dentro das categorias temos unidades como critério de análise das mesmas, definidas no Quadro 6.

Quadro 6 - Unidades elementares para a análise das representações visuais nos livros didáticos

Categoria	Unidade	Definição
Sequência didática	Evocação	O texto se refere a um fato do cotidiano ou conceito que se supõe conhecido pelo aluno
	Definição	O significado de um termo novo é estabelecido no contexto teórico
	Aplicação	É um exemplo que estende ou consolida uma definição
	Descrição	O texto faz referência a fatos ou eventos do cotidiano que se supõem serem desconhecidos pelo leitor. Também se incluem nessa unidade conceitos necessários para a discussão do tópico principal
	Interpretação	São utilizados conceitos teóricos para explicar os eventos experimentais
	Problematização	No texto há questões que não podem ser respondidas com os conceitos já desenvolvidos
Iconicidade	Desenho figurativo	Valoriza a representação orgânica mostrando os objetos mediante a imitação da realidade
	Desenho figurativo + signos	Representa ações ou magnitudes inobserváveis em um espaço de representação heterogêneo
	Desenho figurativo + signos normalizados	A ilustração representa figurativamente uma situação e paralelamente se representam alguns aspectos mediante o uso de signos normalizados
	Desenho esquemático	Valoriza as representações das relações sem se importar com os detalhes
	Desenho esquemático + signos	Representa ações ou magnitudes inobserváveis
	Desenho esquemático + signos normalizados	A ilustração constitui um espaço de representação homogêneo e simbólico com regras sintáticas específicas
Funcionalidade	Inoperante	A ilustração não apresenta nenhum elemento utilizável, apenas cabe observá-la
	Operativo elementar	A ilustração contém elementos de representação universal
	Sintática	A ilustração contém elementos que exigem o conhecimento de normas específicas
Relação com o texto principal	Conotativa	O texto descreve os conteúdos sem mencionar sua correspondência com os elementos incluídos na ilustração. Supostamente, estas relações são óbvias e o leitor pode fazê-las.
	Denotativa	O texto estabelece a correspondência entre os elementos contidos na ilustração e os conteúdos representados
	Sinóptica	O texto descreve a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados. Além disso, estabelece as condições nas quais as relações entre os elementos inclusos na ilustração representam as relações entre os conteúdos, de modo que a imagem e o texto formam uma unidade indivisível.
Etiqueta verbal	Sem etiqueta	A ilustração não contém nenhum texto
	Nominativa	Contém letras ou palavras que identificam alguns elementos da ilustração
	Relacionável	Textos que descrevem as relações entre os elementos da ilustração.

Fonte: G. S. Silva, et al. (2013, p. 168).

Além da classificação nessas cinco categorias e reconhecendo a importância da transição entre os níveis de representação da matéria para entendimento da Química, as imagens também foram avaliadas de acordo com o nível representacional (Quadro 7).

Quadro 7 - Definição das unidades de análise para os níveis de representação

Unidade	Definição
Macroscópico	Apresenta apenas aspectos observáveis e realistas
Submicroscópico	Ilustra aspectos inobserváveis e abstratos
Simbólico	Utiliza símbolos e códigos da Química
Macroscópico + Submicroscópico	Relaciona Macroscópico e Submicroscópico
Macroscópico + Simbólico	Relaciona Macroscópico e Simbólico
Submicroscópico + Simbólico	Relaciona Submicroscópico e Simbólico
Relaciona os três níveis	Transita entre os três níveis

Fonte: Baseado em Johnstone (1991).

Além de verificar os níveis de representação, analisou-se o grau de correlação entre as representações que compreendem dois ou três níveis de representação simultaneamente. Para isso, utilizaram-se as categorias propostas por Gkitzia et al. (2011) apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Definição das unidades de análise para o grau de correlação entre representações que compreendem dois ou mais níveis

Unidade	Definição
Conectados suficientemente	A conexão entre os níveis é claramente indicada.
Conectados parcialmente	As representações são colocadas paralelas umas às outras, a conexão entre os níveis não é indicada diretamente.
Não conectados	As representações estão próximas umas das outras, mas não à indicação de conexão entre elas.

Fonte: adaptado de Gkitzia et al. (2011).

Como já foi mencionado, os livros didáticos também representam orientações do currículo (Roseman, et al., 2010). Os recursos visuais podem indicar tais orientações, por exemplo, referindo-se à relevância da vida cotidiana da Química, seu desenvolvimento histórico ou ramificações industriais da Química. Para aprofundar essa questão, as ilustrações foram analisadas usando a lista de possíveis orientações curriculares resumidas em Eilks et al. (2013) (Quadro 9).

Quadro 9 – Evidências de orientações curriculares

Unidade	Definição
Orientação da estrutura da disciplina	As ilustrações representam teorias e fatos científicos e sua relação uns com os outros.
Orientação da história da Química	As ilustrações representam o conteúdo científico como surgiu no passado ou o seu desenvolvimento histórico.
Orientação da vida cotidiana	Ilustrações representam questões do dia a dia.
Orientação do meio ambiente	Ilustrações representam conteúdo científico por trás de questões ambientais.
Orientação da indústria e tecnologia	As ilustrações representam a tecnologia Química, a indústria e suas aplicações.
Orientação de questões sócio científicas	As ilustrações representam situações que levam os alunos a pensar em questões sociais.

Fonte: Inspiradas em Eilks et al. (2013).

3.3.3 Conhecimento pedagógico do conteúdo

Para se investigar o conhecimento pedagógico do conteúdo e seu possível desenvolvimento foi realizada uma análise temática qualitativa (Creswell, 2012) (Figura 8).

Figura 8 – Processo de codificação em pesquisa qualitativa

Fonte: Creswell (2012, tradução nossa).

De posse dos documentos (CoRe, Planos de aula, Fóruns, Vinhetas, Questionários, Transcrição de aulas e entrevistas), os textos foram organizados e agrupados com o auxílio do programa de computador MAXQDA Analytics Pro 2018® (VERBI, 2018). Os códigos de análise foram surgindo com a análise dos dados e depois agrupados em cinco temas correspondentes aos cinco componentes do PCK de acordo Park e Oliver (2008a): 1) orientações para o ensino de ciências; 2) conhecimento do currículo de ciências; 3) conhecimento da compreensão dos alunos em ciências; 4) conhecimento da avaliação da

aprendizagem em ciências; e 5) conhecimento das estratégias instrucionais para o ensino de ciências.

3.4 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

Na pesquisa educacional, existem várias diretrizes éticas relativas ao tratamento dos participantes⁶. Por exemplo, os participantes devem ser informados sobre exatamente o que acontecerá, como o material será usado e manuseado após o estudo e que tipo de dados serão coletados. Além disso, é importante que os participantes estejam cientes da confidencialidade de transcrições e que a participação é voluntária, sendo que eles têm o direito de retirar sua participação a qualquer momento.

Essas diretrizes éticas foram seguidas em todas as etapas incluídas nesta tese. Todos os professores e alunos participantes (e os pais dos alunos) preencheram um formulário de consentimento por escrito antes da coleta de dados (Apêndice 4).

⁶ Comissão de Ética na pesquisa da FEUSP – <http://www4.fe.usp.br/pesquisa/comissao-de-etica> Acesso 19/08/2016.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MOMENTO 1: INVESTIGAÇÃO DO CENÁRIO

4.1.1 Investigação sobre as reações redox na literatura

Nesta parte do texto descreve-se a revisão bibliográfica sobre reações redox, que teve como principal objetivo verificar quais as pesquisas que estão sendo realizadas em torno dessa temática.

4.1.1.1 Ensino de reações redox no contexto brasileiro

Uma revisão da literatura do tipo estado da arte, referente aos artigos publicados entre os anos de 2000 a 2014 em anais dos eventos científicos brasileiros de Ensino de Ciências foi desenvolvida com o intuito de mapear e analisar as principais produções que propõem como objeto de investigação reações redox e, assim, analisar de que forma esse conteúdo tem sido abordado no contexto brasileiro (Nogueira, et al., 2017b). Para tanto, revisaram-se os anais do Encontro Anual da Sociedade Brasileira de Química (RASBQ), do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), do Encontro Paulista de Pesquisa em Ensino de Química (EPPEQ) e do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ).

Cem trabalhos relacionados ao conteúdo redox foram catalogados. O público alvo de 49 trabalhos eram alunos do ensino médio e de 35 trabalhos eram discentes do ensino superior. Contudo, alguns dos resumos sugeriam que a sua proposta de ensino fosse desenvolvida tanto no nível médio, quanto no superior. Apenas um trabalho analisado propunha o desenvolvimento de sua atividade a alunos do ensino técnico. Os demais trabalhos catalogados (13), não apresentavam elementos que pudessem identificar os seus sujeitos de pesquisas.

De modo geral, os principais conteúdos químicos que permeavam as propostas de ensino eram a corrosão, reações redox, número de oxidação (Nox), pilha, bateria, eletrólise, reações orgânicas, radicais livres e antioxidantes. A análise também permeou a tabulação dos dados segundo as estratégias de ensino. Para tanto, as pesquisas foram classificadas por meio

de quatorze descritores que representam a principal estratégia adotada pelos autores em suas propostas para desenvolver o tema reações redox (Tabela 1).

Tabela 1 - Métodos e estratégias adotados nos trabalhos relacionados a eletroquímica, publicados em congressos entre os anos 2000 a 2014.

Métodos e estratégias	Trabalhos (n)
Experimento	52
Questionários	12
Sequência didática	10
Cursos/Oficinas	6
Resolução de exercício	3
Estudo de caso	2
FlexQuest	2
Leitura de textos	2
Mapas conceituais	2
Recursos multimídia	2
Jogos	2
Atividade investigativa	1
Outros	3

Fonte: Nogueira, et al. (2017b).

Mais da metade dos resumos (52) propuseram práticas experimentais como estratégia de ensino. A maioria das temáticas trabalhadas nesses experimentos tinham como temas pilhas, baterias e corrosão. Observa-se que muitos autores tinham por finalidade desenvolver experimentos de baixo custo. Em relação ao tipo de experimentação utilizada, observou-se a seguinte tendência: demonstração > utilização de materiais alternativos > investigação = verificação > readequação de técnicas experimentais/verde > novas tecnologias > outros.

Com essa amostragem, os resumos identificados possibilitaram o mapeamento de como os trabalhos que abordam o assunto de reações redox no ensino de Química no contexto brasileiro são propostos, principalmente suas temáticas e suas estratégias. Em relação à temática, observa-se que não há trabalhos que abordam especificamente conceitos como ponte salina, cátodo e anodo, e até mesmo corrente elétrica, tópicos relatados por apresentarem diversas concepções alternativas (Garnett & Treagust, 1992a, 1992b).

Quanto ao nível de ensino, os resumos contemplaram principalmente o ensino médio e superior, não sendo catalogado nenhum trabalho desenvolvido com alunos dos anos finais do ensino fundamental II, revelando uma necessidade de propostas de ensino desse conteúdo nesse nível de ensino, uma vez que existem conceitos relacionados as reações redox, por exemplo, tipos de reações no nono ano. Outro dado importante foi constatar que esse conteúdo vem sendo trabalhado também em cursos de nível superior, em licenciaturas por

exemplo, o que demonstra que futuros docentes estão tendo aulas sobre como ensinar reações redox, por meio da proposição de diferentes estratégias didáticas e poderão utilizá-las em suas futuras aulas.

Foi possível identificar que as principais estratégias de ensino adotadas nos trabalhos catalogados estavam pautadas na experimentação, mas principalmente as de caráter demonstrativo e as que utilizam materiais alternativos para a sua confecção. É importante investigar os métodos e estratégias de ensino sobre reações redox para construir um conjunto de informações relevantes para a elaboração de cursos com foco no desenvolvimento profissional docente, fornecendo elementos para auxiliar os professores no processo de aprendizagem dos alunos sobre esse tema.

Em uma segunda investigação sobre o ensino de reações redox no contexto brasileiro, focou-se nas dificuldades identificadas pelos autores em relação aos alunos, aos problemas presentes em livros didáticos e às limitações dos professores com o tema. Para tanto, os mesmos eventos brasileiros foram investigados, estendendo o período de análise para os anos de 2000 a 2016 (Nogueira, et al., 2017a).

Ao longo dos 17 anos de mapeamento da literatura (2000 a 2016), grande parte das investigações traziam propostas de ensino principalmente relacionadas à experimentação, sem fornecer evidências das dificuldades dos seus participantes com o tema redox, apenas trazendo aspectos gerais sobre seus ensinamentos e suas aprendizagens. Assim, dos 138 trabalhos catalogados, apenas 42 (30%) relatavam as dificuldades dos participantes relacionadas à aprendizagem de reações de oxirredução (Quadro 10).

Quadro 10 - Principais dificuldades relacionadas a aprendizagem de eletroquímica nos 42 trabalhos catalogados nos anais de eventos nacionais entre os anos de 2000 a 2016

Dificuldades decorrentes do estudo	
Compreender a simultaneidade das reações redox	Relacionar a transformação de energia química em energia elétrica
Prever a reação química por meio da comparação dos potenciais de redução das espécies químicas	Atribuir o sinal positivo atribuído a quem perde e negativo a quem ganha elétrons
Compreender a relação que existe entre os aspectos macroscópicos, microscópicos e simbólicos no processo	Concepção que os elétrons fluem através da ponte salina independentemente da espécie química correspondente
Reconhecer que no cátodo ocorre a redução e no ânodo a oxidação	Explicar como o processo de galvanização protege os metais
Representar e conceituar a pilha de Daniell	Compreender a ação antioxidante de alimentos
Identificar os produtos das reações redox	Balancear as reações redox
Diferenciar pilha de eletrólise	Identificar os agentes oxidante e redutor
Conceituar reações redox	Conceituar eletrólise
Conceituar radicais livres e antioxidantes	Conceituar íons e condutibilidade elétrica
Relacionar aspectos qualitativo e quantitativo de eletrólise	Associar potencial de redução com tendência do átomo em ganhar elétrons
Calcular o número de oxidação das espécies envolvidas	Explicar a oxidação de um metal sem a presença de oxigênio
Detalhar os conceitos de atomística, em detrimento das reações redox	Reconhecer a influência da concentração das soluções no funcionamento das pilhas
Transpor os conceitos redox para outros temas	

Fonte: Nogueira, et al. (2017a).

4.1.1.2 Ensino de reações redox no contexto internacional

No intuito de investigar as dificuldades para o ensino e aprendizagem de reações de oxirredução relatadas em periódicos internacionais da área, realizou-se um mapeamento durante o período de 2000 a 2016. O mapeamento analisou artigos que abordavam explicitamente conceitos relacionados às reações redox, mais especificamente artigos que se referiram às dificuldades associadas ao ensino e aprendizado sobre esse conteúdo. No final, foi obtida uma amostra de 71 artigos referentes aos anos 2000-2016 (Goes, Nogueira, et al., 2018c).

Em relação ao público alvo, não foi possível identificá-lo em 17 artigos, enquanto para os demais artigos foi observada a seguinte tendência: estudantes (65%) > professores em serviço (7%) > futuros professores (4%).

De acordo com o nível de escolaridade foi observada a seguinte tendência bacharelado (42%) > ensino médio (39%) > não identificados (10%) > ensino fundamental (4%) > ensino

médio e bacharelado (3%) > programa de formação continuada (1%). Dois artigos relatam que suas atividades podem ser realizadas para dois níveis de ensino (superior e médio).

Em relação às metodologias e estratégias, os artigos foram distribuídos de acordo com a principal estratégia adotada ao longo do estudo. Para tanto, os artigos foram distribuídos em 14 descritores (Tabela 2).

Tabela 2 - Métodos e estratégias adotados nos artigos relacionados ao ensino do conteúdo oxirredução publicados entre os anos 2000-2016

Métodos e estratégias	Artigos (n)
Experimento	21
Teórico	9
Questionários	8
Testes	8
Múltiplas metodologias	6
Entrevistas	3
Exercícios	3
Sequência didáticas	2
Estudo de caso	2
Vídeos	2
Mapas conceituais	1
Cursos / Oficinas	1
Outros	5

Fonte: Goes, Nogueira e Fernandez (2018c).

Em relação às estratégias adotadas ou metodologias de pesquisa, os artigos analisados apropriaram-se principalmente da experimentação com abordagem de investigação, na qual os experimentos são realizados com o intuito de investigar a teoria.

Dos 71 artigos analisados, observou-se que em 41 deles, os autores descrevem as dificuldades de aprendizagem dos estudantes, em relação ao conteúdo oxirredução que emergiram durante suas investigações. As principais dificuldades derivadas desses estudos estão descritas no Quadro 11.

Quadro 11 - Principais dificuldades de aprendizagem do tema oxirredução decorrentes do estudo com os 41 artigos catalogados publicados nos anos de 2000-2016

Dificuldades decorrentes do estudo	
Explicar o sentido do fluxo de elétrons e íons	Diferenciar tipos de íons presentes nas soluções de uma célula eletroquímica
Reconhecer função da ponte salina	Diferenciar anodo e catodo
Identificar se a situação dada ou fenômeno envolve uma reação redox	Compreender as reações químicas envolvidas no funcionamento das baterias
Diferenciar número de oxidação de carga elétrica	Diferenciar célula de concentração de célula voltaica
Calcular o número de oxidação dos elementos químicos	Compreender o mecanismo da reação redox da água oxigenada
Realizar estequiometria com base na transferência de elétrons	Explicar os fenômenos no nível macroscópico e no nível microscópico
Compreender a oxidação e redução, as reações envolvidas nas células eletroquímicas	Vincular os fenômenos observados com conceitos redox previamente ensinados
Compreender a simultaneidade da reação redox	Distinguir componentes das células eletrolíticas
Entender o fenômeno da ferrugem	Calcular o número de elétrons transferidos
Compreender que elétrons não fluem através da ponte salina	Explicar as reações descritas no processo de oxidação e redução
Compreender o número de oxidação	Escrever reações redox
Utilizar diferentes modelos redox para explicar reações redox	Compreender a existência dos diferentes estados de oxidação de um elemento polivalente
Compreender o que são eletrólitos	Prever cargas de íons
Assimilar equilíbrio químico e equilíbrio eletroquímico	Diferenciar força eletromotriz de diferença de potencial
Entender equação de Nernst	Prever as reações redox
Reconhecer que o ânodo é carregado negativamente, o cátodo é carregado positivamente.	Reconhecer que uma transferência de elétrons altera as cargas e os tamanhos dos átomos ou íons metálicos
Atribuir o número de oxidação para espécies poliatômicas	Identificar reação que sofre oxidação e ou redução
Compreender o funcionamento de baterias e pilhas	Diferenciar entre equação da reação redox global de semiequação
Identificar agente oxidante e agente redutor	Compreender os modelos redox
Diferenciar células eletroquímicas e circuitos elétricos	Compreender a neutralidade da célula eletroquímica
Compreender que as transferências de elétrons podem ser apenas virtuais e não literais, como ocorre em reação com radicais livres	

Fonte: Goes, Nogueira e Fernandez (2018c).

Apesar de 11% dos artigos catalogados terem como público alvo professores (futuros professores e professores em serviço), não se encontraram dificuldades de ensino e aprendizagem de oxirredução dos professores. O que ressalta a importância de investigar se os professores de Química apresentam dificuldades, tanto no entendimento, quanto no ensino desse conteúdo, para entender se essas dificuldades podem ser um fator de o conceito ser considerado um tópico difícil de ser ensinado.

O levantamento de artigos sobre o tema oxirredução e seus respectivos mapeamentos mostraram que essa temática tem se destacado na área de publicações e que a principal estratégia adotada para desenvolver o conteúdo de reações redox é a experimentação, em ambos os contextos (nacional e internacional).

Em ambos os contextos se percebe que as principais dificuldades, então, são relacionadas a simultaneidade, número de oxidação, agentes oxidantes e redutores, ânodo e cátodo, ponte salina e balanceamento de reações redox com base na transferência de elétrons.

4.1.2 Investigação sobre o conceito das reações redox nos livros didáticos

Nesta parte do texto descreve-se a pesquisa realizada com os livros didáticos de Química, que teve como principal objetivo investigar quando e como o conteúdo de reações redox está representado nos livros didáticos.

4.1.2.1 Análise geral dos livros didáticos

Primeiramente, foi feita uma análise geral para identificar e familiarizar-se com a estrutura das coleções.

LD1: Química Cidadã - Wildson Luiz Pereira dos Santos e Gerson de Souza Mól

A coleção é composta por três volumes, nos quais não é possível identificar os conteúdos de forma agrupada, ou seja, um volume só com físico-química e outro com a química inorgânica, por exemplo; apenas o conteúdo de química orgânica é todo concentrado no volume 3. Os volumes são divididos em unidades, que são divididas em capítulos e esses, por sua vez, são subdivididos em temas: *Tema em foco*, que visa contextualizar o conteúdo químico; *Debate e entenda*, são sugestões de debates em sala de aula sobre o tema em foco; *Pense*, traz uma questão apontada para reflexão do tema estudado; *A Ciência na História* apresenta uma contextualização histórica do conteúdo estudado; *Ação e cidadania*, que são sugestões de atividades que tem como objetivo propor ações alternativas na comunidade; *Química na escola*, com proposta de atividade experimental; *Atitude Sustentável*, sugestões para ações sustentáveis; *Exercícios e Atividades*; e *O que aprendemos neste capítulo*, com um resumo dos conceitos aprendidos no capítulo.

LD2: Química - Eduardo Fleury Mortimer e Andréa Horta Machado

A coleção é composta por três volumes, um para cada ano do ensino médio. No volume 1 encontram-se conteúdos de Química geral e química inorgânica; no volume 2, conteúdos de físico-química; no volume 3, conteúdos de química orgânica e temas socioambientais. Os volumes são divididos em capítulos e estes, por sua vez, são divididos em seções. As seções são: atividades, questões preliminares, projetos, textos, questões, internet e questões de exames. A seção de atividades é bem variada, apresenta atividades para desenvolver o raciocínio lógico, ou propostas de experimentos, sugestões de pesquisas e até mesmo indicações para elaboração de textos. As questões preliminares aparecem com o objetivo de incitar o pensamento científico do aluno. Os projetos são atividades contextualizadas que visam integrar o conhecimento da área de Química com outras áreas. A seção textos, normalmente é apresentada para concluir e esclarecer a seção atividade. Entretanto, apresenta-se com aspecto mais teórico com textos conceituais, também apresenta textos de periódicos ou, até mesmo, páginas da internet. Na seção questões, abordam-se os conteúdos trabalhados nas atividades e nos textos. Na seção internet, pode-se encontrar sugestões de páginas na internet que abordam o conteúdo estudado naquele capítulo. E, por fim, na seção questões de exames, o livro apresenta uma série de questões já abordadas em vestibulares brasileiros.

LD3: Química - Martha Reis Marques da Fonseca

A coleção também é dividida em três volumes, sendo que os conteúdos não estão de forma agrupada, como ocorre na coleção Ser Protagonista e na coleção Química. Essa coleção apresenta os conteúdos de forma fragmentada ao longo do desenvolvimento dos três volumes. Cada um dos volumes é dividido em cinco unidades divididas em capítulos, e cada unidade apresenta um tema central relacionado ao meio ambiente. Esse tema central guia os conceitos que serão abordados ao longo dos capítulos. Os capítulos, por sua vez, são divididos em algumas seções, a saber: *Saiu na Mídia*, esta seção inicia os capítulos com um texto jornalístico relacionado ao tema do capítulo e junto ao texto apresentado são propostas duas questões; *Cotidiano do Químico*, nesta seção são apresentados e discutidos alguns processos químicos feitos em laboratório; *Experimento*, esta seção propõe alguma atividade experimental; *Curiosidade*, esta seção apresenta um fato curioso ou algum evento histórico sobre o tema do capítulo; *De onde vem... para onde vai?*, esta seção discute as matérias-primas, o processo de extração, obtenção e aplicações de produtos economicamente

importantes e sugere também uma atividade em grupo; *Questões*, onde se encontra a proposição de exercícios relacionados aos conceitos vistos durante o capítulo; *Exercícios de revisão*, no final do capítulo encontram-se questões abrangendo todo o conteúdo estudado; *Química e Saúde*; esta seção relaciona o conteúdo do capítulo à saúde e bem-estar; *Compreendendo o mundo*, esta seção conclui o tema do capítulo e relaciona-o ao do próximo capítulo.

LD4: Ser Protagonista - Murilo Tissoni Antunes

A coleção é constituída por três volumes, sendo um para cada ano do ensino médio. No volume 1 encontram-se conteúdos de Química geral e química inorgânica; no volume 2, físico-química e radioatividade; no volume 3, química orgânica. Os volumes são divididos em unidades de conteúdo, que abordam um tema geral da química, e estas unidades são divididas em capítulos que abordam conteúdos mais específicos. Os capítulos iniciam com apresentação dos conteúdos e depois apresentam subtemas, a saber: *Atividades*, com questões sobre o conteúdo abordado anteriormente; *Atividades experimentais*, nas quais se encontram propostas de atividades práticas sobre o conteúdo do capítulo; *Questões Globais*, com uma série de questões sobre o conteúdo abordado no capítulo; *Ciência Tecnologia e Sociedade*, que traz texto complementar acompanhado de questões que estimulam a reflexão e discussão dos assuntos que foram tratados durante o capítulo; *Vestibular e Enem*, com questões contidas em vestibulares e na avaliação do ENEM, da mesma forma, que os subtemas anteriores, as questões referem-se ao conteúdo abordado ao longo do capítulo; *Projetos*, que são propostas de atividades para serem desenvolvidas em forma de projetos envolvendo a comunidade escolar; *Química e... (Biologia, Física, Geografia, etc.)*, com textos e atividades que relacionam a Química com outras áreas do conhecimento.

LD5: Cadernos do Estado de São Paulo

Existem dois tipos de cadernos: o Caderno do Professor e o Caderno do Aluno. O Caderno do Professor foi desenvolvido com base no Currículo Oficial do Estado de São Paulo. Esse material é distribuído em todas as escolas estaduais de São Paulo e surgiu como um material para auxiliar o professor no preparo de suas aulas e também com o objetivo de unificar o ensino nas escolas da rede estadual. O Caderno do Aluno segue as diretrizes do Caderno do Professor. Todos os alunos também recebem o Caderno do Aluno.

No total são 6 volumes, sendo dois volumes para cada ano do ensino médio. Cada volume contém uma ficha do caderno com os conteúdos que serão abordados; orientações para o professor sobre como conduzir o conteúdo e as competências que são priorizadas em cada volume, as quais também são exigidas na matriz de competências do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM); o conteúdo, que é dividido em “Situações de Aprendizagem”, as quais possuem um tema e um “Roteiro para aplicação da Situação de Aprendizagem” que inclui atividades, sugestões para ampliação do estudo e questões para o auxílio da avaliação da aprendizagem; propostas de questões para avaliação; propostas de situações de recuperação e recursos para ampliar a perspectiva do professor e do aluno para a compreensão do tema.

4.1.2.2 Análise quantitativa dos livros didáticos

Após uma análise da estrutura geral do livro, mapeou-se página a página em busca do conteúdo de oxirredução. Como cada coleção divide seus volumes de diferentes maneiras (capítulos, unidades, temas, entre outros), optou-se por analisar e contabilizar o conteúdo de oxirredução em termos de subtema. Sendo assim, para essa análise, considerou-se um subtema cada momento em que o livro inicia um novo item, seja do mesmo assunto ou de assuntos diferentes. Ao fazer essa consideração, é possível minimizar a diferença de quantidade de capítulos presentes em cada coleção dos livros analisados. Além disso, contabilizou-se o número total de páginas de cada coleção que apresenta o conteúdo de oxirredução. A análise resultante está representada na Tabela 3 e Figura 9.

Tabela 3 – Distribuição das reações redox nos Livros Didáticos aprovados no PNLD 2015

Coleção	Volume	Quantidade de subtemas	Quantidade de subtemas com reações redox	Porcentagem de subtemas com reações redox	Número de páginas com reações redox
LD1 - Química Cidadã	1	47	0	0%	0
	2	47	2	4%	3
	3	52	16	31%	58
LD2 - Química (Mortimer e Machado)	1	85	2	2%	2
	2	77	23	30%	49
	3	95	9	9%	12
LD3 - Química (Martha Reis)	1	79	2	3%	14
	2	59	18	31%	52
	3	69	14	20%	20
LD4 - Ser Protagonista	1	47	2	4%	6
	2	44	10	23%	74
	3	46	5	11%	9
LD5 - Cadernos do Estado de SP	1	18	4	22%	10
	2	20	5	25%	37
	3	17	4	24%	9

De acordo com a Tabela 3 e, mais claramente, na Figura 9, pode-se perceber que a coleção dos Cadernos do Estado de São Paulo é a que mais aborda o conteúdo de oxirredução, estando presente em aproximadamente 24% do total de subtemas considerando os três volumes dessa coleção.

Figura 9 - Quantidade de conteúdo redox presente em cada coleção de acordo com os subtemas

Entretanto, se for considerado o número total de páginas (Figura 10), o livro *Ser Protagonista* apresenta a maior porcentagem de páginas relacionadas com o conteúdo em questão, totalizando 11% de todas as páginas dos três volumes.

Figura 10 - Quantidade de conteúdo redox presente em cada coleção de acordo com as páginas

Na Proposta Curricular do Estado de São Paulo o conteúdo de oxirredução aparece proposto para ser abordado ao longo dos três anos do Ensino Médio, estando de acordo com sua proposta de currículo em espiral, ou seja, os autores propõem trabalhar o conteúdo de forma periódica, permitindo o aluno ter contato com o mesmo tópico em diferentes níveis de profundidade e diferentes modos de representação.

O segundo livro didático analisado que mais aborda o conteúdo de oxirredução, ao longo de seus volumes é o *Química*, da autora Martha Reis, no qual aproximadamente 16% do total de subtemas corresponde a conceitos de oxirredução.

Observa-se que a coleção *Química Cidadã*, diferentemente das outras coleções - que apesar de apresentarem o conteúdo de oxirredução nos três volumes, concentram majoritariamente no volume 2 - apresenta o conteúdo de oxirredução predominantemente no volume 3. Além disso, essa coleção é o livro didático com a menor porcentagem de subtemas que abordam o conceito de oxirredução.

O fato de o conteúdo de oxirredução concentrar-se no volume 2 está de acordo com dois documentos oficiais: os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN+) e a Proposta Curricular do Estado de São Paulo.

4.1.2.3 A sequência e profundidade do conteúdo de reações redox

LD1: Química Cidadã - Santos e Mól

Como observado no item anterior, o conteúdo de reações redox está presente somente no volume 2 e no volume 3 da coleção Química Cidadã, sendo que, diferentemente das outras coleções, esse conteúdo aparece preferencialmente no volume 3.

No segundo volume da coleção Química Cidadã, o conceito de oxirredução aparece em dois momentos distintos, ambos no capítulo cinco. Primeiramente durante a explicação de um famoso experimento conhecido como a “garrafa azul”, onde a agitação da garrafa faz com que um líquido transparente fique com coloração azul e, quando em repouso, a coloração azul desaparece. Esse fato é explicado devido à reação de oxidação da molécula de glicose. O segundo momento em que o conceito de reações redox aparece é em um texto sobre as etapas do tratamento da água, onde aborda a oxidação pelo cloro.

No terceiro volume da coleção o conteúdo de reações redox aparece primeiramente no capítulo 5 com a proposição de se estudar outro grupo de reações que se caracteriza por transformações em grupos funcionais específicos. Dessa forma, os autores iniciam o conteúdo com um tópico denominado oxidação e traz a definição de reações de oxidação. Nessa mesma parte traz uma ilustração de uma garrafa de vinho e uma de vinagre, apontando que o vinagre pode ser obtido a partir da oxidação de álcoois presentes no vinho. Em seguida, discute sobre a oxidação de alcenos e oxidação de álcoois. Após essas explicações, o livro traz a questão da combustão e de sua importância. Posteriormente, aborda o fenômeno da fermentação.

No capítulo 6, inicia-se a discussão sobre ligação metálica e oxirredução. Os autores começam indagando os leitores sobre por que os metais conduzem eletricidade? E como o desenvolvimento tecnológico dos metais tem influenciado a sociedade? Em seguida traz um texto apresentando alguns metais, suas produções e suas utilidades. Após esse texto, o primeiro subtema aborda as propriedades dos metais. O segundo subtema refere-se às ligações metálicas e explica o motivo dos sólidos metálicos conduzirem eletricidade, mas os iônicos e covalentes geralmente não conduzem. Subsequente, discute-se sobre as ligas metálicas. Após esses tópicos abordados, inicia-se a discussão sobre oxirredução. Os autores definem o que é oxidação e o que é redução; apresentam alguns exemplos desse tipo de reação e definem o que é uma substância oxidante e o que é uma substância redutora. Em seguida, abordam o conceito de número de oxidação, apresentando as regras para determinação do número de oxidação. O final do capítulo 6 refere-se ao balanceamento de equações de reações redox.

O capítulo 7 aborda os tópicos de pilhas e eletrólise. Da mesma forma, inicia o capítulo com alguns questionamentos em torno do tópico a ser estudado: Como funcionam as pilhas? O que fazer com as pilhas quando elas não funcionam mais? O capítulo se inicia com um texto sobre descarte de pilhas e baterias. Em seguida introduz o assunto de pilhas eletroquímicas e propõe um experimento para investigar se líquidos podem atacar metais. Após isso, os autores apresentam a pilha de Daniell e, nesse subtema, versam sobre potencial-padrão de redução. Posteriormente aborda-se o conceito de potencial elétrico das pilhas, no qual exemplificam os cálculos para determinar a diferença entre os potenciais dos eletrodos de uma pilha. Após essa discussão, o subtema 4 trata dos tipos de pilhas e baterias. O livro traz diversas imagens dos diferentes tipos de pilha, bem como suas utilizações, vantagens e desvantagens. Em seguida, o próximo subtema discute sobre o processo de eletrólise. Nesse subtema faz referência aos processos de eletrodeposição e proteção catódica contra a corrosão. Por fim, no último subtema, aborda-se os aspectos quantitativos da eletrólise, onde se discute brevemente a Lei de Faraday.

LD2: Química – Mortimer e Machado

O conteúdo de reações redox aparece brevemente no volume 1 da coleção em dois momentos distintos. Primeiro no capítulo 2, quando aborda a importância das propriedades específicas dos materiais e cita a resistência à oxidação. Segundo no capítulo 6, quando apresenta a classificação dos elementos químicos em Metais, não metais e gases nobres e afirma que a obtenção do metal puro envolve reações de redução. Os autores deixam claro que essas reações serão estudadas no capítulo 5 do volume 2.

No volume 2, anterior ao capítulo 5, os autores mencionam as reações de oxidação em dois momentos: o primeiro no capítulo 1, ao propor a discussão de um texto sobre gás carbônico nos refrigerantes; o segundo no capítulo 3, ao abordar a formação de ferrugem apresenta o eletrodo de sacrifício como solução para preservar peças de ferro ou de outros metais que estão em contato constante com a água do mar. Nesse momento, os autores não definem eletrodo, só citam sua aplicabilidade.

O capítulo 5 começa com um texto introduzindo o estudo das reações redox. Nesse texto são apresentados alguns questionamentos para despertar a curiosidade do leitor, por exemplo, “como são fabricadas as pilhas?” ou “o ferro “bom para anemia” é o mesmo que constitui pregos e parafusos?”, e introduz alguns conceitos básicos, como estado de oxidação,

e a definição de reações redox: “essas reações envolvem a oxidação de uma substância e a redução de outra.” (Mortimer & Machado, 2013a, p. 199).

Logo em seguida, os autores trazem uma sugestão de atividade experimental sobre a ação do ácido ascórbico (vitamina C) sobre o iodo. Depois, apresenta-se o texto 2, sobre substâncias oxidantes e redutoras, no qual é definido o conceito de número de oxidação, agente redutor e agente oxidante e são propostas algumas questões, abordando o primeiro experimento, mas de forma quantitativa. Nesse mesmo texto, é explicado e exemplificado o cálculo do número de oxidação. No subtema seguinte há um texto sobre os halogênios, oxiácidos e seus estados de oxidação.

O próximo tópico traz um texto sobre nomenclatura de sais e ácidos mais comuns, explicando que os diferentes sufixos e prefixos indicam o estado de oxidação do átomo central do ânion. Posteriormente verifica-se uma atividade experimental (atividade 2) da atuação da vitamina C como agente redutor. Esse experimento complementa a primeira atividade proposta. Na sequência tem-se um texto sobre aspectos históricos da vitamina C. Ao longo do texto, os autores salientam que o mecanismo da oxidação do ácido ascórbico é bastante complicado e que basta reconhecer e utilizar o grande poder redutor dessa substância. Logo após, apresenta-se a atividade 3 com o título “Maçãs especiais”, para abordar as diferenças na constituição das frutas e incentiva o leitor: “acreditamos que você tomará iniciativas para fazer outras experiências relacionadas à conservação de alimentos” (Mortimer & Machado, 2013a, p. 212). O texto que vem logo a seguir é uma análise mais profunda dos fenômenos ocorridos no experimento anterior.

O próximo subtema é uma atividade experimental para introduzir a tabela de potenciais de eletrodos-padrão de redução e em seguida é apresentado um texto aprofundado sobre potenciais-padrão de redução, relacionando com a atividade realizada anteriormente. Nesse texto 7 é introduzido o conceito de semirreação. O texto 8 aborda as células eletroquímicas, pilhas e baterias com conceitos básicos das reações que ocorrem em cada uma. Posteriormente vem o texto 9 sobre a pilha de Daniell seguida da atividade 5 com um procedimento para calcular a diferença de potencial para a pilha de Daniell. O próximo texto apresenta, de forma bem sucinta, o conceito de balanceamento de equações que envolvem oxidação e redução. O capítulo 5 continua com a atividade 6, onde se propõe a abertura de uma pilha para identificação dos componentes. Logo em seguida o livro sugere a atividade 7 com um exemplo de eletrólise. Da mesma forma como vem sendo trabalhado o capítulo (atividade + texto), apresenta-se um texto sobre exemplos que envolvem o uso da eletrólise

para obtenção de materiais. Na sequência, é destacada a produção do alumínio (texto 12). O capítulo finaliza com a proposição da atividade 8 para investigar a corrosão do ferro.

No volume 3, oxirredução é citada no capítulo 1 (A Química das drogas e medicamentos e as funções orgânicas), em um texto sobre a nicotina, onde cita a oxidação dessa substância. Nesse mesmo capítulo, na atividade 3, que envolve a discussão sobre bebida e direção, os autores citam os produtos e os efeitos das reações de oxidação do álcool. No texto 16, sobre o ácido acetilsalicílico e o paracetamol, apresentam a oxidação do etanol por ácido acético. No capítulo 2, em uma atividade sobre calorias, observa-se a referência ao termo oxidação: “Assim como os combustíveis, os alimentos que consumimos liberam energia durante sua queima (oxidação) no organismo (metabolismo), cuja quantidade é expressa em calorias.” (Mortimer & Machado, 2013b, p. 34, grifo nosso). Na última atividade desse capítulo, (atividade 3 - Reflexões sobre o consumo de refrigerantes), apresentam alguns dos requisitos da água na composição do refrigerante como, por exemplo, “Cloro e fenóis: o cloro dá um sabor característico de remédio e provoca reações de oxidação e despigmentação, alterando a cor original do refrigerante” e “metais: ferro, cobre e manganês aceleram reações de oxidação, degradando o refrigerante” (Mortimer & Machado, 2013b, p. 139, grifo nosso).

No capítulo 3, no texto 6, os autores abordam a questão da oxidação da matéria orgânica como sendo o principal fator de consumo de oxigênio e que ocorre, principalmente, pelas bactérias aeróbicas. No texto 9, sobre o ciclo do carbono, é abordada a reação de oxidação pelo radical hidroxila. No capítulo 5, o texto 9 retrata a produção do vidro, ressaltando que a cor final depende, entre outros fatores, do estado de oxidação do metal adicionado na produção. E, para finalizar, os autores abordam novamente o alumínio no texto 12, dessa vez destacando a produção do metal a partir da redução eletrolítica da alumina. Nesse texto são apresentadas as reações que ocorrem no cátodo e no ânodo.

LD3: Química - Martha Reis

Como visto anteriormente, o conteúdo de reações redox aparece nos três volumes da coleção Química, da autora Martha Reis. No primeiro volume o conteúdo aparece em dois capítulos diferentes. A primeira vez, no capítulo 18, em um texto sobre o ácido sulfúrico, onde se cita a oxidação do gás sulfídrico. Em seguida, em um texto apontando outros eventos naturais que liberam gases tóxicos na atmosfera. Nesse texto é apresentada a reação química da formação de ácido sulfúrico proveniente da oxidação do sulfeto de hidrogênio, $H_2S(g)$. Ainda no capítulo 18, encontra-se uma observação sobre tetróxido de dinitrogênio, destacando

que esse é formado na atmosfera pela oxidação do nitrogênio. O capítulo 19 traz como título: metais e oxirredução e, primeiramente é definido o processo de corrosão. No quarto subtema desse capítulo é apresentada a definição de número de oxidação:

Nox de um elemento é a carga elétrica real que ele adquire quando faz uma ligação iônica ou o caráter parcial (β) que ele adquire quando faz uma ligação predominantemente covalente (Fonseca, 2013a, p. 307).

No quinto subtema é explicado como se faz o cálculo do nox dos elementos em substâncias compostas. No subtema posterior definem-se os termos agente oxidante e redutor e apresentam-se as reações redox entre metais e ametais. A autora classifica essas reações como reações de deslocamento.

No segundo volume da coleção, o conteúdo de reações redox aparece em sete capítulos diferentes. Nos capítulos 9, 10, 11 e 14 de forma superficial e nos capítulos 16, 17 e 18 de forma aprofundada. No capítulo 9 o conceito de oxidação é visto em um texto sobre embalagens que aquecem ou que resfriam, mais especificamente, explica como funcionam aqueles sacos plásticos utilizados em acampamento ou alpinismo para aquecer as mãos: “O calor obtido provém de uma reação química, como a reação de oxirredução da limalha de ferro na presença de cloreto de sódio e uma pequena quantidade de água.” (Fonseca, 2013b, p. 149, grifo nosso). No capítulo 10, o termo oxidação aparece no subtema Lei de Hess, onde a autora justifica o motivo de não se conseguir calcular a variação de entalpia da combustão incompleta do carbono, por que “não se consegue parar a oxidação do carbono exatamente no estágio correspondente à formação do CO(g) ” (Fonseca, 2013b, p.158, grifo nosso). No capítulo 11, sobre cinética química, o conceito de oxidação aparece no primeiro subtema, quando a autora utiliza a oxidação da hidrazina para exemplificar uma reação química que ocorre rapidamente. No capítulo 14, onde são abordados Equilíbrios iônicos, o termo oxidação é verificado no relato sobre alguns dos feitos de Wilhelm Ostwald que recebeu o prêmio Nobel de Química por ter desenvolvido a reação de oxidação do amoníaco para obtenção do ácido nítrico.

O capítulo 16 traz o tema de pilhas e baterias, iniciando o assunto com um texto sobre lixo eletrônico. Em seguida retoma o fenômeno da transferência de elétrons, lembrando o leitor que esse assunto foi visto no volume 1 da coleção, e faz uma revisão dos principais conceitos envolvidos com esse fenômeno, como, agente oxidante e agente redutor, variação no número de oxidação e ordem de reatividade dos metais. No subtema posteriormente, é abordada a pilha de Daniell, onde define o que é um eletrodo e para que serve a ponte salina.

No próximo subtema, retrata-se o potencial padrão de um eletrodo. Em seguida apresenta-se a pilha seca ácida, a pilha seca alcalina e outros tipos de pilha como, por exemplo, a pilha de lítio-iodo. No subtema 7 desse capítulo, aborda-se o conceito de baterias. No subtema subsequente discute-se o descarte de pilhas e baterias. O capítulo 17 traz o tema de eletrólise com eletrodos inertes. Primeiramente a autora define a eletrólise ígnea e depois a eletrólise em meio aquoso. E, no último capítulo desse volume, aborda o tema de eletrólise com eletrodos ativos. No início se define e se explica a eletrólise de purificação e depois a galvanoplastia. Para finalizar o capítulo e o segundo volume, a autora aborda a lei de Faraday e suas aplicações.

No terceiro volume da coleção, o conteúdo de oxirredução aparece em seis momentos distintos, de modo geral, como exemplos de alguns processos. O primeiro momento é no capítulo 3, sobre hidrocarbonetos, em um texto sobre os danos ao meio ambiente de um vazamento de petróleo, apontando que alguns dos componentes do petróleo podem sofrer reações de oxidação. No capítulo 6, sobre funções oxigenadas, o conceito de oxidação aparece no subtema de aldeídos, afirmando que as indústrias obtêm a vanilina da oxidação do eugenol. No subtema seguinte, que aborda a função cetona, a oxidação aparece quando se define o processo industrial da produção de propanona, indicando que uma das substâncias intermediárias desse processo, o cumeno, sofre uma reação de oxidação com oxigênio do ar. No subtema de ácidos carboxílicos, mostra-se a equação de obtenção do ácido etanóico por meio da oxidação do etanol. Essa reação volta a aparecer no capítulo 10, em um texto sobre a produção industrial de acetileno e derivados.

Outras reações orgânicas são abordadas no capítulo 11, e reações redox aparecem em um subtema. A autora retoma a definição desse tipo de reação e traz o exemplo da reação de formação do gás carbônico. No quarto subtema desse capítulo é tratada a oxidação branda de alcenos, seguida da oxidação enérgica de alcenos e oxidação de álcoois. No capítulo 13, o conceito de oxirredução volta a aparecer, dessa vez no estudo da bioquímica, quando são abordados os antioxidantes e a queima (oxidação) dos carboidratos. A última referência a esse conteúdo aparece no capítulo 16, sobre proteínas, em um texto sobre a cor da pele, onde apresenta que a melanina é um pigmento biológico, sintetizado pela oxidação progressiva do aminoácido tirosina.

LD4: Ser Protagonista - Antunes

No primeiro volume, encontra-se o conteúdo de oxirredução em duas unidades: unidade 2, no capítulo 6, e na unidade 6, no capítulo 13 e 14. No capítulo 6, apenas é citado o conceito de eletrólise. Esse conceito aparece como um exemplo do conteúdo que está sendo estudado: substâncias puras e substâncias compostas. Sendo assim, para exemplificar e diferenciar uma substância pura de uma substância composta, o livro traz o exemplo da água, uma substância composta, e afirma que essa substância pode se transformar em substâncias simples através de processos químicos. Essa transformação é denominada decomposição e só acontece quando “se faz passar uma corrente elétrica pela água (eletrólise)” (Antunes, 2013a, p. 99). Observa-se que o conceito de eletrólise não é aprofundado justamente por que não é esse o objetivo dos autores. Nesse caso, só o utilizaram para exemplificar uma transformação química.

Na abertura da unidade 6, observa-se uma imagem relacionada a processos de oxirredução. E, tanto o texto apresentado quanto nas questões propostas para reflexão, levam o aluno a pensar no desgaste de alguns materiais, em especial dos metais, devido ao contato com a água do mar. Na abertura do capítulo 13, observa-se a imagem de um aro de uma bicicleta que sofreu degradação devido à exposição ao ar úmido. Na legenda da figura, os autores introduzem o termo oxidação: “Os metais – como os que compõem o aro dessa roda de bicicleta – sofrem oxidação por exposição ao ar úmido” (Antunes, 2013a, p. 244). No capítulo 13, apenas um subtema aborda o conteúdo de reações redox. Esse subtema está dentro do tema de tipos de reações químicas. Nesse momento, os autores definem que “Nas reações de oxirredução há transferência de elétrons” (Antunes, 2013a, p. 251).

No capítulo 14, antes de iniciar o conteúdo de reações de oxirredução o livro retoma o conceito das ligações químicas, abordado no capítulo 10. Nesse momento, o livro já introduz algumas definições: “oxidação é o nome utilizado para designar processos que envolvem perda de elétrons” e “redução é o termo usado para denominar processos que envolvem ganho de elétrons.” (Antunes, 2013a, p. 261). Ainda dentro do tópico de reações redox, há um subtema denominado reatividade dos metais. Nesse subtema, inicia-se a discussão com uma imagem representando fenômeno da reação química entre uma placa de cobre metálico e uma solução de nitrato de prata. Somente após a imagem, apresenta a equação química que corresponde ao fenômeno observado na imagem. Em seguida, afirma que, se fosse uma placa de prata metálica em uma solução de nitrato de cobre, não ocorreria uma transformação química.

No próximo subtema, discute-se a reatividade de metais com soluções em que há íons hidrogênio, tópico onde irá se apresentar e discutir a reatividade dos metais quando em ácidos. Começa o subtema com o exemplo da reação entre magnésio metálico e o ácido clorídrico, novamente com uma imagem que representa o fenômeno. Nessa situação os autores introduzem as semirreações sem, entretanto, denominá-las. Ou seja, primeiro apresenta a equação global e, depois, detalha que nessa reação ocorre a oxidação do magnésio e a redução do íon $H^+(aq)$. Em seguida, aborda-se a reatividade dos ametais. Dessa vez, sem trazer nenhum exemplo visual, mas apresenta a equação da reação entre o gás cloro e o ácido iodídrico. Da mesma forma que o subtema anterior, os autores mostraram a equação de redução do gás cloro e a equação de oxidação do íon $I^-(aq)$, sem nomeá-las de semirreações. No final desse capítulo, a atividade experimental proposta é sobre reatividade de metais, com o objetivo de construir a tendência de reatividade de alguns metais.

No segundo volume, encontram-se duas unidades que apresentam o conteúdo de oxirredução, a unidade 6 e a unidade 7. Essas duas unidades contemplam seis capítulos. A abertura da unidade 6 apresenta uma fotografia datada do ano de 1905. O texto de abertura e as questões para reflexão baseiam-se nas imagens fotográficas. A abertura do capítulo 15 apresenta uma imagem de um teste do equipamento de segurança *airbag* em veículos. Ao longo do texto de abertura do capítulo, discorre-se, primeiramente, sobre a importância e utilidade do *airbag* e, depois, questiona-se o leitor sobre como funciona o *airbag*: “você sabe como funciona um *airbag*? O que faz com que a bolsa de ar subitamente se infle em caso de colisão? De onde vem esse ‘ar’?”. Essas perguntas objetivam avaliar as informações prévias dos alunos. No próprio texto, os autores explicam que ocorre uma reação e que “(...) essa reação envolve a transferência de elétrons e é denominada reação de oxirredução” (Antunes, 2013b, p. 274). Ao longo do capítulo, as equações envolvidas no funcionamento do *airbag* são apresentadas na seção Saiba mais. No mesmo texto introdutório apresentam-se outros processos que envolvem esse tipo de reação química: “(...) corrosão de metais, fermentação, respiração, combustão (...) funcionamento do bafômetro e da obtenção de imagens em filmes fotográficos, (...) ação da vitamina C.” (Antunes, 2013b, p. 274).

O primeiro tema do capítulo 15 é Reações envolvendo a transferência de elétrons. Inicia-se o texto lembrando que esse tipo de reação foi estudado no volume 1 da coleção e já apresenta um exemplo, a reação entre o ferro metálico e uma solução de sulfato de cobre (II). Observa-se uma mudança na forma de representar a equação química, pois, ao contrário de como foram apresentadas as reações redox no volume 1, dessa vez a equação está

representada diretamente na forma iônica. Após a apresentação do exemplo, entre ferro metálico e solução de sulfato de cobre, inicia-se uma descrição do fenômeno ocorrido e, novamente, define-se alguns termos como, oxidação; redução; agente redutor; e agente oxidante.

No capítulo 15 também é apresentado o número de oxidação. Tal subtema é iniciado com a discussão sobre a transformação do etanol, presente no vinho, em vinagre (ácido acético). Ao definir o Nox em termos de atração por elétrons, retoma-se o conteúdo de eletronegatividade. Desta maneira, o capítulo apresenta uma revisão sobre a questão da eletronegatividade e diferencia as ligações covalentes polares das ligações covalentes apolares, conteúdos abordados no volume 1 da coleção. Após a revisão sobre eletronegatividade e a definição do conceito de Nox, os autores discutem a importância desse conceito: “o número de oxidação permite a identificação de reações de oxirredução, sendo essa sua principal aplicação.” (Antunes, 2013b, p. 278). Os autores retomam a transformação do etanol presente no vinho em vinagre, dessa vez com a equação contendo fórmulas estruturais e indicando, para cada elemento, seu número de oxidação. Após a apresentação, explicação, justificativa e exemplificação do número de Nox, o livro apresenta “regras para determinação do Nox”. Nesse item, os autores justificam a enumeração de regras simplesmente para questões mais práticas e evitar que em toda situação seja necessário representar a fórmula estrutural das espécies envolvidas.

O segundo tema apresentado nesse capítulo é agente redutor e agente oxidante, no qual aborda o balanceamento de equações de reações redox. A apresentação do conteúdo inicia-se com uma imagem de um forno siderúrgico e do processo de obtenção do ferro metálico. Além disso, o livro traz novamente a definição de reação de oxirredução e relembra os termos agente oxidante e agente redutor. A partir do exemplo do processo de obtenção do ferro metálico, os autores mostram a equação química referente à transformação. Os autores relembram o balanceamento de equações através do método de tentativa e erro e diz que esse método pode não ser adequado para algumas reações redox. A partir da pequena introdução e justificativa para a abordagem do método de balanceamento por oxirredução, o livro traz o exemplo detalhado de como balancear a equação citada. Além disso, ilustra o exemplo com uma imagem do fenômeno ocorrido. Ao final do capítulo, a experimentação proposta é a corrosão do ferro com o intuito de identificar por meio de modificações visuais, uma reação de oxirredução. O experimento faz uso de materiais acessíveis e de fácil visualização dos processos de oxirredução. Na seção Ciência, Tecnologia e Sociedade o livro apresenta um

texto científico sobre o funcionamento do bafômetro, cujo mecanismo se fundamenta na oxidação do etanol.

A abertura do capítulo 16 apresenta uma imagem contendo equipamentos que funcionam com pilhas ou baterias. O capítulo irá tratar dos conceitos envolvidos no funcionamento das pilhas e sua aplicação nas pilhas e baterias comerciais, as quais apresentam ampla relação com os produtos e equipamentos utilizados diariamente na sociedade. O texto de abertura chama a atenção do leitor para o aumento do número de equipamentos eletroeletrônicos portáteis e, como consequência, o aumento da variedade de pilhas e baterias. Nessa linha, questiona os alunos sobre o funcionamento de uma pilha, qual seria a reação química que ocorre e como ela gera corrente elétrica. O texto de abertura provoca a curiosidade no aluno e serve como motivador de uma reflexão sobre a maneira como a energia elétrica é gerada para o funcionamento dos equipamentos eletroeletrônicos.

O primeiro tema do capítulo é reações de oxirredução e a produção de corrente elétrica. Os autores introduzem o assunto afirmando que muitas das reações redox ocorrem espontaneamente e traz dois exemplos, o primeiro da reação entre o zinco metálico e uma solução contendo íons de cobre (II) e o segundo da reação entre magnésio metálico quando em solução ácida. Logo em seguida, já inicia uma discussão sobre pilhas. Após uma breve apresentação dos elementos de uma pilha, o livro inicia a discussão de um subtema denominado: Pilha de Daniell. Nesse subtema, os autores apresentam uma representação de uma Pilha de Daniell. Após a apresentação da pilha de Daniell, inicia a discussão sobre o eletrodo padrão de hidrogênio.

O segundo tema do capítulo é Pilhas Comerciais. Sendo assim, os autores apresentam os diferentes tipos de pilhas e baterias existentes como, por exemplo, pilha alcalina, bateria de níquel e bateria de lítio. Para cada caso, há uma descrição do aparato, seu funcionamento, equações químicas envolvidas e imagens. A abertura do capítulo 17 apresenta uma imagem de um trem de carga com sua estrutura corroída. E o texto inicia com uma discussão sobre o que é corrosão e suas consequências, além de possíveis alternativas para aumentar o tempo de vida útil de objetos metálicos. Primeiro os autores explicam sobre a formação de ferrugem para depois discutir as condições favoráveis para a formação de ferrugem. Em seguida, inicia-se a apresentação de alguns métodos para proteção contra corrosão como, por exemplo, proteção anódica, galvanização e proteção catódica. Além disso, o livro traz um texto sobre metais pouco reativos, mas que também sofrem oxidação como o cobre.

O texto de abertura da unidade 7 acompanha uma imagem de um carro elétrico e reflexões sobre alternativas para o uso dos combustíveis fósseis. Essa unidade compreende três capítulos: 18, 19 e 20.

No início do capítulo 18, verifica-se a imagem de carregadores de pilhas e de baterias. O texto de abertura foca no processo de recarga de pilhas e baterias e já afirma que durante esse processo ocorre uma reação de oxirredução não espontânea. Nesse capítulo são abordadas eletrólises ígneas e em solução aquosa, além de realizar uma comparação entre a eletrólise e o funcionamento das pilhas. No capítulo 19, são abordadas as principais aplicações da eletrólise, por exemplo: obtenção de metais, galvanoplastia, anodização, refino eletrolítico do cobre e eletrólise da salmoura. No capítulo 20, os aspectos quantitativos da eletrólise são abordados.

A abertura do capítulo 20 apresenta uma ilustração que remete a um processo de eletrodeposição na qual um operário içava um conjunto de peças de um banho eletrolítico. Inicia o texto comentando sobre materiais revestidos com substâncias metálicas como, por exemplo, os utilizados na construção civil. E, depois, entra nos aspectos quantitativos dos processos eletrolíticos. Nesse capítulo os autores relembram os conceitos de estequiometria vistos no volume 1 da coleção. Retoma esses conceitos a partir de um exemplo, no qual se propõe a determinação do volume de gás oxigênio gerado na produção de uma peça cromada. Em seguida, introduz a Lei de Faraday na seção Química tem história, para, posteriormente, abordar o assunto de corrente elétrica, quantidade de carga e, assim, conseguir determinar a quantidade de massa depositada durante o funcionamento de uma pilha ou eletrólise. Alguns aspectos históricos mencionados permitem compreender as ações de Michael Faraday que conseguiu antever, mesmo com equipamentos rústicos, aspectos que só seriam esclarecidos após a elucidação da natureza da matéria. A atividade experimental proposta é a eletrólise da solução de hidróxido de sódio para determinação da constante de Avogadro, enquanto o texto apresentado na seção Ciência, Tecnologia e Sociedade é sobre as diferenças entre cloro, hipoclorito de sódio e água sanitária. O texto explica a diferença entre três nomes normalmente associados à mesma substância. Esse esclarecimento é feito por meio das definições de cada um dos produtos.

No terceiro volume dessa coleção encontram-se duas unidades que apresentam conteúdo relacionado à oxirredução, a unidade 6, no capítulo 15 e a unidade 7, que apresenta quatro capítulos relacionados as reações envolvendo funções oxigenadas. O conteúdo relacionado às reações redox aparece nos temas de combustão. Ao equacionar a reação de

combustão do octano, a representação mostra o Nox médio de cada substância envolvida na reação química, e também ilustra qual das substâncias é oxidada e qual é reduzida. Ao abordar o conteúdo de combustão completa, o mesmo padrão é mantido. Mostra-se o Nox de cada substância envolvida e sinaliza quem reduz e quem oxida. Observa-se a introdução de novas definições: comburente e combustível. Agente oxidante é chamado de comburente e agente redutor é chamado de combustível. Ao continuar os estudos sobre reações envolvendo os hidrocarbonetos, observa-se a identificação dos processos de oxidação. Nesse volume, também se pode observar a construção do conhecimento a partir de resultados obtidos experimentalmente como, por exemplo, a reação química entre um aldeído e o íon prata formando o usualmente conhecido espelho de prata.

LD5: Cadernos do Estado de São Paulo

O conteúdo de oxirredução aparece no material para os três anos do Ensino Médio, em todos os volumes. No primeiro ano, o conteúdo é retratado no volume 1, na situação de aprendizagem 2 (interações e transformações), que tem como objetivo principal:

formar o conceito de transformação química, e não, simplesmente, treinar os alunos para classificar os fenômenos como transformações químicas ou transformações físicas – mesmo porque os limites entre uma e outra, muitas vezes, não são bem definidos – ou mesmo classificá-las em “diferentes tipos”, como decomposição, síntese, deslocamento etc. (São Paulo, 2014, p. 13).

Nessa coleção, aborda-se o conceito de transformações químicas e define-se que os fenômenos que ocorrem espontaneamente ou sem a intervenção humana, como o enferrujamento, são transformações químicas. Na sequência, é proposta uma atividade experimental sobre evidências de transformações químicas, com o objetivo de aprender a reconhecer a ocorrência de transformações químicas. Na situação de aprendizagem 3 é proposta uma atividade sobre a reversibilidade nas interações e transformações químicas. Nesse momento, o professor é orientado a citar outros exemplos de processos reversíveis e de processos irreversíveis, como a corrosão de um portão de ferro. O conteúdo de oxirredução aparece também na situação de aprendizagem 9 em um texto sobre chuva ácida que cita a erosão e a corrosão de materiais metálicos de edifícios e construções. No segundo volume do primeiro ano, o conceito aparece na situação de aprendizagem 4, onde os autores retratam que os metais, quando submetidos a temperaturas elevadas, podem facilmente sofrer oxidação se estiverem em contato com o oxigênio do ar.

No segundo ano, o conteúdo é abordado no primeiro volume, na situação de aprendizagem 1, em um texto sobre a água potável, no qual aborda alguns dos metais contaminantes da água e do efeito da redução de nitrato a nitrito. No segundo volume específico para esse ano, o conteúdo de reações redox aparece em quatro situações de aprendizagens. Em primeiro lugar, na situação de aprendizagem 5, sobre aplicações das transformações químicas que ocorrem com o envolvimento de eletricidade. Nessa atividade o objetivo é estudar aplicações das transformações que ocorrem com o envolvimento de eletricidade como, por exemplo, as pilhas, baterias e o processo de eletrólise. A situação de aprendizagem 6 estuda especificamente o processo da eletrólise. Primeiramente verifica-se a interação entre palha de aço e solução de sulfato de cobre, depois a interação entre placas de cobre e solução de CuSO_4 sem o fornecimento de corrente elétrica e, finalmente, a interação entre placas de cobre e solução de CuSO_4 com o fornecimento de corrente elétrica. Na situação de aprendizagem 7 é abordado o funcionamento das pilhas, com o objetivo de permitir que os alunos compreendam o funcionamento das pilhas de maneira qualitativa. Em um primeiro momento propõe-se a construção de uma pilha de Daniell e, depois, sugere-se a investigação sobre a reatividade de alguns metais em presença de soluções que contêm cátions desses metais. Nessa situação de aprendizagem são abordados os diferentes tipos de pilhas: pilha seca comum; pilha de níquel-cádmio (recarregável) e a pilha de mercúrio. A última situação de aprendizagem desse volume, é a situação 8, com o tema de impactos ambientais relacionados ao uso de pilhas e baterias e ao processo de eletrólise. Apresenta-se um texto discutindo sobre a existência de uma pilha ideal, onde se levanta os aspectos que podem ser considerados ao analisar os pontos positivos e negativos de uma bateria.

No terceiro ano, o conteúdo de reações redox aparece nos dois volumes. No primeiro volume o conteúdo em questão é retratado na situação de aprendizagem 2 em um texto sobre produção industrial da amônia pelo processo Haber-Bosch, onde são apresentadas as reações de obtenção do sulfato de amônio, do fosfato de cálcio e amônio, e do ácido nítrico, através da oxidação da amônia. Em seguida, o conteúdo é apresentado na situação de aprendizagem 9, na qual são retomadas as ideias de eletrólise, e abordado o processo de obtenção do cloreto de sódio a partir da água do mar e também o processo de obtenção do hidróxido de sódio, do gás cloro e do sódio a partir do cloreto de sódio através de processos eletrolíticos. Nessas atividades são retomados os conceitos sobre oxirredução e sobre eletrólise. No segundo volume do terceiro ano, o conteúdo de reações redox é abordado na situação de aprendizagem 2, em um texto sobre gás natural e sua purificação, citando alguns dos processos de corrosão e

na situação de aprendizado 5 em um texto sobre respiração e fotossíntese, mostrando que nesses dois processos ocorrem transformação de oxirredução, como por exemplo, na fotossíntese, onde o carbono é reduzido e o oxigênio é oxidado a dióxido de carbono.

Com exceção da coleção dos Cadernos do Estado de São Paulo, o que se observa é que, basicamente, a sequência de abordagem da eletroquímica nos livros didáticos é: transferência de elétrons; definição de oxidação e de redução; definição de agente oxidante e redutor; balanceamento de equações; pilhas; potencial padrão de redução; e eletrólise.

4.1.2.4 As representações visuais de reações redox nos livros didáticos

Nesta parte da tese, foram analisadas 299 representações visuais relacionadas com o conteúdo de reações redox (Goes, Nogueira, et al., 2018b). Para essa análise investigaram-se apenas os capítulos em que esse conteúdo é abordado com maior profundidade. Realizou-se essa consideração, pois, quando esse conteúdo é abordado dentro de outros temas, ou seja, fora do tema específico de reações redox, surge de forma mais geral, sem aprofundamento no conteúdo, muitas vezes na forma de exemplificação ou aplicação.

Como descrito anteriormente, para essa análise utilizaram-se oito descritores: sequência didática, iconicidade, funcionalidade, relação como texto principal, etiqueta verbal, níveis de representação, grau de correlação entre os diferentes níveis de representação, e evidências de orientações curriculares.

A respeito da categoria sequência didática, assumiu-se que o LD foi elaborado para se ler em sequência, dessa forma, analisaram-se os textos que antecedem e sucedem as imagens. Na Figura 11 pode-se observar que apenas LD4 inclui ilustrações em todas as possíveis unidades dessa categoria, ou seja, evocação, definição, aplicação, descrição, interpretação e problematização que já foram explicitadas no Quadro 6 deste texto.

Figura 11 - Distribuição dos recursos visuais quanto à sequência didática

Em geral, com exceção da coleção dos Cadernos do Estado de São Paulo, que apresenta um perfil diferenciado, as demais obras priorizam praticamente as mesmas unidades elementares. A unidade evocação é a unidade mais utilizada, sendo um recurso predominante no LD1, onde corresponde a 42% dos recursos visuais e, também, para o LD4, correspondendo a 36% dos recursos visuais. LD5, por sua vez, não apresentou nenhum recurso visual que se enquadrasse na unidade evocação. Por exemplo, na Figura 12A, os autores utilizam a imagem de limões para fazer referência à vitamina C e abordar seu poder antioxidante; na Figura 12B, a autora mostra um saleiro para ilustrar a equação de formação do cloreto de sódio através da eletrólise ígnea; na Figura 12C, os autores apresentam uma imagem de automóveis e suas respectivas emissões de poluentes, produzidos pela combustão incompleta; todos fatos que, até então, se supõe serem conhecidos pela maioria dos alunos.

Figura 12 - Exemplos dos recursos visuais quanto à sequência didática - unidade evocação
Fonte: A. Mortimer e Machado (2013b, p.199); B. Fonseca (2013b, p.291); C. Santos e Mól (2013, p.197).

Aplicação é a segunda unidade predominante, dessa forma os autores buscam trazer uma ilustração como um exemplo para fortalecer uma determinada definição. A Figura 13A é um exemplo de aplicação, na qual a autora a utiliza para firmar as mais diferentes finalidades das pilhas e baterias, referindo-se ao marca-passo como sendo pilhas que salvam vidas. Da mesma forma, a Figura 13B mostra a preocupação dos autores em mostrar a importância da indústria metalúrgica ao evidenciar alguns objetos fabricados a partir de alguns metais. A reação química de redução é uma etapa fundamental do processo metalúrgico. A Figura 13C também é um exemplo da utilização de recursos visuais do tipo aplicação. Pode-se observar que o autor mostra uma das diversas aplicações das reações redox, neste caso, para o funcionamento do bafômetro.

Figura 13 - Exemplo dos recursos visuais quanto à sequência didática – unidade aplicação
Fonte: A. Fonseca (2013b, p.265); B. Santos e Mól (2013, p.212); C. Antunes (2013b, p.287).

Outro ponto importante é a pouca utilização de sequências didáticas problematizadoras, sendo essa observada em apenas dois dos cinco livros analisados e, mesmo assim, em um desses livros, ocorreu em baixa frequência. Dessa forma, conclui-se que, com exceção do LD5, onde a problematização foi identificada em 15%, as demais obras tendem a utilizar as imagens de uma forma mais tradicional.

A categoria iconicidade analisa a complexidade das imagens, sendo aquelas com maior grau de iconicidade, as mais realistas e as com menor grau de iconicidade, as mais

abstratas. Analisando-se a Figura 14 percebe-se a frequente utilização de fotografias pelos livros didáticos avaliados. Com exceção de LD5, no qual essa unidade não é evidenciada, os demais livros utilizam a fotografia em mais de 50% dos recursos visuais. Essa é a unidade elementar com maior grau de iconicidade, igualando-se ao poder de resolução de um olho (Villafañe, 1988).

Figura 14 - Distribuição dos recursos visuais quanto à iconicidade

Observa-se que muitas dessas fotografias são utilizadas sem justificativas, apenas para mera observação ou exemplificação da realidade, tornando-as mais úteis à publicidade do que ao ensino (Perales & Jiménez, 2002). Esse resultado pode ser decorrente de uma tentativa dos autores em tornar a leitura mais atraente e facilitar a compreensão dos alunos pelo conteúdo. Exemplos dessa constatação podem ser observados na Figura 15.

Figura 15 - Exemplos dos recursos visuais quanto à iconicidade - unidade fotografia
 Fonte: A. Mortimer e Machado (2013b, p. 211); B. Fonseca (2013b, p. 267); C. Santos e Mól (2013, p. 279).

Também se pode observar que é frequente a utilização de desenhos esquemáticos com signos normalizados, unidade elementar com menor grau de iconicidade. Esse tipo de representação é mais abstrata e exige maior conhecimento específico, uma vez que necessita da interpretação de códigos simbólicos, que podem ser um importante recurso no ensino de Química, pois, por ser uma ciência muitas vezes abstrata, exige a capacidade dos alunos em transitar entre os níveis macroscópico, microscópico e simbólico. Exemplos dessa observação podem ser averiguados na Figura 16, na qual os livros fazem usos de códigos e símbolos específicos da Química. Ao analisar essas imagens os alunos devem ser capazes de interpretar, por exemplo, que o cilindro de aço é o polo negativo, onde ocorre a redução e que o grafite é o polo positivo onde ocorre oxidação, além de saber interpretar os sentidos das setas (Figura 16A) e compreender a função da ponte salina e do fio metálico representados no esquema (Figura 16B).

Figura 16 - Exemplos dos recursos visuais quanto à iconicidade - unidade desenhos esquemáticos com signos normalizado

Fonte: A. Santos e Mól (2013, p.275); B. Mortimer e Machado (2013b, p.222).

De acordo com a Figura 14, também é frequente a utilização de desenhos figurativos com signos normalizados. A diferença entre desenho figurativo e esquemático é que o primeiro tenta, através da representação, imitar a realidade, enquanto o segundo não se importa com detalhes. Na Figura 17 pode-se observar exemplos da unidade desenhos

figurativos com signos normalizados. Na Figura 17A, observa-se a preocupação em representar a placa de cobre com uma coloração avermelhada e a solução com coloração azul, representando a solução de cobre. Na Figura 17B, nota-se a representação de uma bateria de automóvel, e a preocupação de destacar a parte interna da bateria e a localização da solução aquosa de ácido sulfúrico.

Figura 17 - Exemplos dos recursos visuais quanto à iconicidade - unidade desenhos figurativos com signos normalizados

Fonte: A. Fonseca (2013b, p. 269); B. São Paulo (2014, p. 78).

A categoria funcionalidade analisa a função didática das imagens. A partir da Figura 18 é perceptível a predominância de representações visuais do tipo inoperante. Esse dado indica que poucas ilustrações presentes nos livros auxiliam a compreensão dos conteúdos científicos, pois são adotadas apenas para ilustrar fatos ou conceitos. Essa categoria se relaciona com a categoria iconicidade e, a partir do resultado obtido, fica mais evidente que uma das principais funções das representações é apenas chamar a atenção dos leitores.

Figura 18 - Distribuição dos recursos visuais quanto à funcionalidade

Diferentemente dos demais livros, observa-se que o L5 abrange significativamente a unidade elementar sintática, que, dentro dessa categoria é a mais complexa e possui alto valor didático, pois exige o conhecimento de normas, códigos e símbolos específicos. Entretanto, essas imagens deveriam ser acompanhadas de explicações que subsidiassem a compreensão do conceito pelos estudantes. Exemplos das unidades inoperante, operativa elementar e sintática estão representadas nas Figura 19A, Figura 19B e Figura 19C, respectivamente.

Figura 19 - Exemplos de recursos visuais quanto à funcionalidade

Fonte: A. Mortimer e Machado (2013b, p. 236); B. Fonseca (2013b, p. 283); C. São Paulo (2014, p. 82).

A Figura 19A possui uma função ilustrativa, utilizada apenas para exemplificar a utilização de peças cromadas em uma moto. Figura 19B possui elementos de representação universal, como pássaros, monte de lixo e subsolo. E a Figura 19C possui uma função didática para o ensino de reações redox, pois utiliza símbolos e representações para auxiliar na compreensão dos conceitos envolvidos.

A categoria relação com o texto principal analisa como as imagens estão conectadas em relação ao texto. Essa conexão se faz necessária, pois muitas vezes as imagens por si só não expressam o significado pretendido. Dessa maneira, as imagens podem estar isoladas no texto, apresentar alguma interação ou podem estar fortemente relacionadas com o texto principal. Conforme a Figura 20 observa-se que, com exceção do LD5 os demais livros analisados apresentaram a maioria das imagens do tipo conotativa, ou seja, imagens sem correspondência entre os seus elementos e os conteúdos abordados, e grande parte dos recursos visuais desconectados do texto principal.

Para os autores de livros didáticos, as imagens e seus significados parecem ser óbvias, entretanto, para muitos alunos esse é o primeiro contato com essas representações e a falta de informação pode dificultar o entendimento do conceito (Gibin, Kiill, & Ferreira, 2009).

Figura 20 - Distribuição dos recursos visuais quanto à relação com o texto principal

A seguir, tem-se alguns exemplos de ilustrações que apresentam uma relação denotativa. A Figura 21A está relacionada com o seguinte trecho do texto principal:

O escurecimento da maçã, quando exposta ao ar, é uma dessas evidências de que há substâncias na constituição da maçã que reagem com o oxigênio do ar, oxidando-se (Mortimer & Machado, 2013b, p. 213).

A Figura 21B estabelece relação com o texto principal também:

Atualmente, o consumo desse metal, que apresenta elevada resistência mecânica, baixa densidade ($2,698 \text{ g/cm}^3$) e elevada resistência à corrosão,

ultrapassa 38 milhões de toneladas por ano* em aplicações diversas; como tampas de iogurte, frigideiras, carrocerias de automóveis (foto) e fuselagens de aviões (Fonseca, 2013b, p. 297).

E a Figura 21C é uma representação do experimento proposto.

Figura 21 - Exemplos de recursos visuais quanto à relação com o texto – unidade denotativa
Fonte: A. Mortimer e Machado (2013b, p. 213); B. Fonseca (2013b, p. 297); C. São Paulo (2014, p. 62).

O LD2 apresenta cerca de 42% de suas imagens referentes à unidade elementar sinóptica, o que significa que a imagem está acompanhada de texto, que auxilia a sua compreensão. Um exemplo de uma ilustração com relação sinóptica é apresentado na Figura 22, após a ilustração, o texto faz referência ao observado:

(...) a oxidação do zinco metálico pelos íons $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ é um processo espontâneo. A cor menos intensa do béquer à direita indica que houve um consumo parcial de Cu^{2+} (Antunes, 2013b, p.293).

Figura 22 - Exemplo de recursos visuais quanto à relação com o texto – unidade sinóptica
Fonte: Antunes (2013b, p.293).

Em relação à categoria etiquetas verbais, foram considerados os textos inclusos nas ilustrações. De acordo com a Figura 23, nota-se que os livros didáticos apresentaram a mesma

tendência: sem etiqueta > nominativa > relacionável, novamente com exceção do LD5, que apresenta mais de 70% de suas imagens nominativa e nenhuma ilustração sem etiqueta.

Figura 23 - Distribuição dos recursos visuais quanto à etiqueta verbal

Esse resultado indica que os autores consideram que as figuras não precisam de palavras que as complementem, ou seja, que são autossuficientes. Entretanto, palavras ou textos presentes nas imagens podem ser importantes para dar ênfase a um determinado conceito ou mesmo dar sentido às figuras.

A Figura 24A é considerada relacionável, pois a autora aborda os fenômenos de redução e oxidação por meio de textos que se relacionam com os elementos da ilustração. Por outro lado, a Figura 24B é considerada nominativa, pois utiliza letras e palavras que identificam os elementos contidos na ilustração. E na Figura 24C está representada uma imagem na qual não há nenhum texto, sendo assim classificada como sem etiqueta.

Figura 24 - Exemplos de recursos visuais quanto à etiqueta verbal

Fonte: A. Fonseca (2013b, p. 292); B. São Paulo (2014, p.78); C. Santos e Mól (2013, p. 225).

4.1.2.5 As representações visuais e os níveis de representação química

Em relação aos níveis de representação (Figura 25), observa-se que a maioria das ilustrações é de nível macroscópico, estando presente em todas as coleções analisadas. Nas imagens avaliadas, há pouca representação no nível microscópico, surgindo, na maioria das vezes, apenas quando as ilustrações abordam duas ou mais representações simultaneamente. As ilustrações que contemplam apenas o nível macroscópico estão presentes em mais de 65% das representações visuais dos livros didáticos. As representações de nível macroscópico apresentam outras funções didáticas como, por exemplo, exemplificação e contextualização. Entretanto, essas representações não colaboram na transição entre os níveis representacionais.

As imagens classificadas somente no nível submicroscópico estão presentes apenas em um livro, o LD1. Esse nível de representação é importante no ensino de Química, uma vez que apresenta aspectos inobserváveis, propiciando o processo de compreensão de fenômenos químicos (Pazinato, Braibante, Miranda, & Freitas, 2016).

O nível simbólico é importante para a linguagem Química, que é formada por símbolos e códigos específicos. Dessa forma, esperava-se uma maior quantidade de imagens com representações em nível submicroscópico, mesmo que associadas aos demais níveis.

Figura 25 - Distribuição dos recursos visuais quanto aos níveis de representação

O nível submicroscópico aparece relacionado a outro nível em três livros, a saber, em LD1 associado ao nível macroscópico e em LD4 e LD5, associado ao nível simbólico. O LD5 é o que mais utiliza representações de nível macroscópico e simbólico simultaneamente. LD3 não aborda, em nenhum momento, o nível microscópico. Apenas dois livros apresentam imagens que contêm os três níveis de representação simultaneamente, LD2 e LD4. As imagens que relacionam diferentes níveis de representação podem ser boas ferramentas no processo de aprendizagem, por permitirem estabelecer relações entre a teoria e a prática (Gibin & Ferreira, 2013). Exemplos de representação macroscópica estão na Figura 26. Enquanto exemplos de representação macroscópica e simbólica estão na Figura 27.

Figura 26 - Exemplos de recursos visuais quanto ao nível de representação – macroscópico
Fonte: A. Santos e Mól (2013, p. 220); B. Fonseca (2013b, p. 293); C. Antunes (2013b, p.293).

Figura 27 - Exemplos de recursos visuais quanto ao nível de representação – macroscópico e simbólico

Fonte: A. Mortimer e Machado (2013b, p. 235); B. Fonseca (2013b, p. 270).

Exemplos de representação nos três níveis estão na Figura 28. Pode-se observar a preocupação dos autores em mostrar o nível microscópico a partir de um aumento do nível macroscópico.

Figura 28 - Exemplos de recursos visuais quanto ao nível de representação – macroscópico, microscópico e simbólico

Fonte: A. Mortimer e Machado (2013b, p. 235); B. Santos e Mól (2013, p. 270).

As representações também foram analisadas para verificar o grau de correlação entre os diferentes níveis. A Figura 29 sugere que os livros didáticos, com exceção da coleção do caderno do Estado de São Paulo, apresentam a maioria de suas múltiplas representações conectadas parcialmente. Apenas três dos livros didáticos tinham representações que estavam suficientemente ligadas, esse tipo de representação possui setas para indicar a correlação entre diferentes níveis. Mais de 50% de todas as representações múltiplas têm correlação parcialmente entre diferentes níveis. Aproximadamente 30% das ilustrações não indicam nenhuma conexão.

Figura 29 - Distribuição das representações visuais contendo dois ou mais níveis de representação em relação ao grau de correlação entre os níveis

Por exemplo, a Figura 30A mostra uma representação conectada parcialmente, porque as imagens macroscópica e simbólica são colocadas em paralelo. Os estudantes podem entender a equivalência (Gkitzia et al., 2011), mas não está claramente indicado que os símbolos do elemento são tanto os eletrodos quanto a fórmula para as soluções aquosas das substâncias correspondentes. A Figura 30B é um exemplo de níveis não conectados, uma vez que a representação macroscópica e a simbólica são meramente colocadas lado a lado. Não há indicação de onde as reações ocorrem ou qual é a relação entre esses dois níveis. Geralmente, os livros didáticos não explicam a correlação entre os diferentes níveis de representação. Isso pode ser um fator de dificuldade, essas representações, caso estivessem mostrando as conexões, facilitariam a aprendizagem dos alunos em transitar entre os diferentes tipos de representações.

Figura 30 - Exemplos de representações visuais referentes às categorias (A) Representação com conexão parcial, (B) Representação sem conexão

Fonte: Santos e Mól (2013).

4.1.2.6 As representações visuais e as evidências de orientação do currículo

Em relação às evidências de orientação do currículo apresentadas pelos livros didáticos (Goes, Chen, Nogueira, Fernandez, & Eilks, 2018), observa-se que, exceto LD1, cerca de metade das ilustrações nos livros didáticos representam teorias científicas ou fatos (Figura 31). Isso indica evidências de uma estrutura da abordagem disciplinar. Nesse caso, esperava-se encontrar mais representações submicroscópicas e com diferentes níveis de representação que acompanham o material escrito. Isto infelizmente não é o caso.

A Figura 32A dá um exemplo de uma dessas figuras. Ele mostra um experimento de laboratório que envolve a colocação de um pedaço de cobre em uma solução de nitrato de prata. A outra metade da ilustração, no entanto, aborda o conteúdo redox de forma contextualizada. A representação tenta envolver os alunos com questões relacionadas à vida cotidiana ou tecnologia e indústria. Este resultado confirma a função dominante da maioria das imagens, onde a maioria serve apenas como decoração. O fato de que cerca de metade das imagens examinadas estão relacionadas aos fatos diários e à tecnologia é corroborada pela predominância de representações no nível macroscópico. Figura 32B e Figura 32C são exemplos de tais figuras, que mostram as coisas na vida cotidiana (Figura 32B) ou na indústria (Figura 32C). Imagens focadas em questões ambientais e na história da Química são menos prevalentes. A Figura 33 apresenta dois exemplos: ambiental (A) e a história da Química (B).

Figura 31 - Distribuição das representações visuais em relação a orientação curricular

Figura 32 – Exemplos de representações de (A) orientação da estrutura da disciplina, (B) orientação da vida cotidiana e (C) orientação da indústria e tecnologia
Fonte: Santos e Mól (2013).

Figura 33 – Exemplos de representações visuais de (A) orientação do meio ambiente e (B) orientação da história da Química
Fonte: Santos e Mól (2013).

É importante enfatizar que as imagens sozinhas não podem revelar a orientação do currículo. Estas são apenas indicações de como o conteúdo pode ser abordado e utilizado no ensino pelos professores. Elas fornecem, no entanto, indicações de como o conteúdo em questão é sugerido para se tornar visualmente contextualizado. A Figura 33 fornece dois exemplos em que um está próximo da vida cotidiana dos alunos e problemas ambientais associados a eles, enquanto o outro quadro fornece um esboço histórico superficialmente, o que não contribui para o desenvolvimento histórico da ciência. Uma análise mais aprofundada seria necessária para investigar como os professores usam as imagens fornecidas nos livros didáticos.

4.1.2.7 Livros didáticos e possíveis causas de dificuldades do ensino de reações redox

Os livros didáticos podem ser um excelente material para alunos e professores, entretanto é essencial que os professores revisem os livros didáticos criticamente, para o tópico de reações redox em particular, mas também para outros conteúdos químicos em geral,

pois alguns pontos podem ser causas de algumas das dificuldades do ensino do conteúdo de reações redox. No mesmo sentido, De Jong, Veal e van Driel (2002) afirmam que refletir sobre certas deficiências nas representações nos livros didáticos é uma maneira de desenvolver o conhecimento pedagógico de conteúdo dos professores.

No caso específico de reações redox, os autores poderiam justificar a enumeração de regras para determinação do número de oxidação, ao invés de apresentá-las mecanicamente e poderiam trazer mais tipos de reações redox e enfatizar que essas reações não se limitam apenas a reações com o elemento oxigênio. Além disso, não se observou a ênfase, por parte dos livros, em ressaltar a questão da simultaneidade do processo, ou seja, que as reações de redução e de oxidação ocorrem simultaneamente. Esse ponto poderia estar evidenciado ao longo dos volumes, uma vez que é sabidamente conhecido ser a raiz de algumas das dificuldades dos alunos. Além disso, ao invés de abordar o processo de eletrólise e pilha de forma separada, seria mais proveitoso comparar esses processos, por meio da disposição de tabelas e representações que suscitasse as principais diferenças entre eles.

Os livros não apresentam uma definição de eletrodo, ou seja, se apropriam do termo e o utilizam diversas vezes ao longo do texto sem definir o que é um eletrodo. O modo como os livros abordam esse conceito pode gerar equívocos, por exemplo, afirmações do tipo “o cobre foi oxidado quando ligado ao eletrodo de prata” (Santos & Mól, 2013, p. 252) ou “No ânodo (polo positivo) poderia haver retirada de elétrons (descarga) dos ânions $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$, $\text{OH}^-(\text{aq})$, ou do próprio cobre metálico $\text{Cu}(\text{s})$, que constitui o eletrodo” (Fonseca, 2013b, p. 306) pode levar a compreensão de que os eletrodos são apenas as placas metálicas. Inclusive, esse equívoco é encontrado em um dos livros, no momento em que os autores afirmam que: “as placas de zinco e de cobre são os eletrodos da pilha”(Antunes, 2013b, p. 294), quando na verdade o eletrodo é o conjunto todo, ou seja, uma placa metálica junto com a solução.

Além disso, muitos dos livros falam de corrente elétrica sem defini-la, seria adequado definir o que é corrente elétrica, bem como a unidade para tal grandeza. E, possivelmente, rever e fazer relações de alguns conceitos básicos da Física para evitar que futuras concepções sejam criadas em virtude do distanciamento entre as disciplinas.

Normalmente, boa parte dos livros didáticos é constituída por representações visuais. Devetak e Vogrinc (2013) ao estudarem o uso da visualização e linguagem em livros didáticos, observaram que as abordagens de ensino mais voltadas para os estudantes são tipicamente representadas por livros didáticos mais ricamente ilustrados. Dessa forma, caracterizar e refletir as representações pode ajudar na compreensão do conteúdo e facilitar

seu ensino. Por exemplo, ao representar a pilha de Daniell, com uma lâmpada acesa, deve-se ressaltar que não é qualquer lâmpada que irá funcionar com a pilha de Daniell, e que este fenômeno depende da diferença de potencial e da corrente. Nas diversas representações de pilhas e eletrólises seria importante que a posição do ânodo e do cátodo variasse, desconstruindo a ideia de que a identidade do ânodo e do cátodo depende da posição das meias-células (ânodo à esquerda, cátodo à direita).

Um forte indício das possíveis dificuldades com redox é o escasso contato com o nível microscópico. Ademais, as ilustrações com duas ou mais representações simultaneamente, sem que se enfatize uma explicação sobre as mesmas, pode estar no cerne das dificuldades dos alunos.

Além disso, assim como o estudo de Österlund et al. (2010), identificou-se que a maioria dos livros didáticos não promove, nem discute o uso de modelos, ou seja, não explicam o porquê de determinado modelo ser mais adequado em um contexto particular. Geralmente, na hora de definir reações redox, utilizam o modelo de transferência de elétrons e na hora de explicar e exemplificar um exercício, utilizam o modelo de número de oxidação. O que se observa é que os autores dos livros didáticos não reconhecem o número de oxidação como um modelo, mas sim como um artifício para resolução de exercícios. Desta forma, pode ser difícil para os alunos perceberem as conexões entre os modelos e a abordagem dos livros de Química sobre processos redox podendo ser essa uma razão pela qual os alunos têm dificuldades de entender a natureza desse conceito.

4.1.3 Investigação sobre o ensino de reações redox

Nesta parte do texto descreve-se a pesquisa realizada com futuros professores e professores em serviço de Química, que teve como principal objetivo investigar as dificuldades e limitações no ensino de reações redox e o conhecimento das concepções alternativas e dificuldades de compreensão dos estudantes em relação ao conteúdo de reações.

4.1.3.1 Investigação de práticas educativas sobre reações redox

Com o objetivo de identificar práticas educativas consideradas como sendo promissoras na sala de aula e que tem dado certo em relação ao desenvolvimento do conteúdo

de oxirredução em sala de aula, investigaram-se sequências didáticas de dois professores diferentes que, por questões de confidencialidade, serão referenciados por Júlio e Claudia.

4.1.3.1.1 Professor 1 - Júlio

O professor Júlio atua na rede privada de ensino, no Ensino Médio e Ensino Técnico. É formado em Química nos cursos de Bacharelado e Licenciatura pela Universidade de São Paulo – USP. É um professor experiente, com quase 25 anos na área de ensino. Além da graduação, o professor possui Mestrado em Química Orgânica.

A investigação das aulas do professor Júlio ocorreu no colégio A localizado no bairro do Butantã, próximo ao campus da Universidade de São Paulo. A comunidade local admira a escola, que é tida como uma instituição de excelente qualidade, fato que se observa com facilidade na secretaria do colégio, devido ao grande número de pais solicitando vagas. O colégio declara como filosofia de ensino a formação de cidadãos autônomos, por meio de um ensino interdisciplinar, que conduz o estudante a construir o seu próprio saber.

O colégio A caracteriza-se como uma instituição de pequeno porte, que atua em três segmentos, Ensino Fundamental I, Ensino Fundamental II e Ensino Médio. O espaço é pequeno, cerca de cinco mil metros quadrados, com características interessantes, como o fato das salas de aula terem à sua volta um ambiente arborizado. Essa disposição e características fazem com que o ambiente favoreça a interação entre estudantes, professores e funcionários que compõem o corpus da instituição. A escola possui os seguintes recursos: três salas para o Ensino Médio, um laboratório para Ciências, Física, Química e Biologia, uma sala de informática, com microscópios acoplados aos computadores, uma sala de vídeo, uma sala de música, uma biblioteca, um ateliê de artes e duas quadras poliesportivas, sendo uma delas coberta.

Os estudantes são participativos, discutem entre si e com o professor os assuntos abordados em sala e demonstram um interesse em estudar Química, fato que fica evidente em diferentes momentos, tanto nas aulas teóricas como nas atividades experimentais.

O professor elabora seu próprio material didático, trata-se de uma apostila com o conteúdo anual a ser abordado. A apostila contempla explicações, exemplos, exercícios e até mesmo as aulas de laboratório. A produção do material pelo professor é um indício de seu trabalho de planejamento.

a. Sequência didática do professor Júlio

O conteúdo de oxirredução foi ministrado no segundo bimestre para a turma do segundo ano do ensino médio. Nessa escola a grade horária é composta por três aulas de Química por semana, com duração de 55 minutos cada. A sequência de ensino sobre oxirredução teve a duração de onze aulas. No Quadro 12 encontra-se um resumo das ações ocorridas durante as aulas filmadas.

Quadro 12 - Resumo das atividades gravadas do professor Júlio durante as aulas

Aula	Resumo das atividades ocorridas durante as aulas do Professor Júlio
01	Revisão sobre o conceito de eletronegatividade Definição do número de oxidação (Nox) Explicação para determinar o Nox a partir de fórmulas estruturais
02	Regras para determinação de Nox Exercícios para determinar o Nox
03	Definição de oxidação e redução e dos termos agente redutor e agente oxidante Exercícios para determinar o Nox de cada elemento em uma reação química
04	Correção da prova bimestral (outro conteúdo – reações químicas e balanceamento de equações)
05	Demonstração da queima da palha de aço
06	Exercícios para determinar o Nox; o agente redutor; o agente oxidante e a variação do número de elétrons em reações químicas
07	Demonstração reatividade dos metais – reações de deslocamento
08	Exercícios sobre reações de deslocamento
09	Aula de laboratório - Demonstração da Aluminotermia
10	Aula de laboratório – reações redox
11	Avaliação Individual

A partir do Quadro 12 pode-se observar que o professor se apropria, principalmente, de três estratégias instrucionais: aula expositiva, realização de exercícios e atividades experimentais.

O professor Júlio inicia sua sequência didática com a determinação do número de oxidação a partir de fórmulas estruturais, somente após os alunos compreenderem o conceito do número de oxidação (Nox) o professor elenca algumas regras para determinação do Nox para compostos inorgânicos. A definição de oxidação e redução, bem como os termos agente oxidante e agente redutor vem na terceira aula da sequência. A definição é construída em conjunto com os alunos. O professor, por meio de perguntas e momentos para que os alunos pensem e reflitam, guia os alunos para chegarem a uma definição e, assim, completarem o material didático. O professor dá espaço aos alunos para realizarem os exercícios e tirarem suas dúvidas. Durante a correção dos exercícios, o professor preocupa-se em comentar as principais dificuldades dos alunos.

Um ponto interessante do professor Júlio em relação ao conteúdo de oxirredução é o fato dele não ensinar o balanceamento de reações químicas por meio da variação do número de oxidação. O professor afirma que não é necessário explicar o balanceamento de reações químicas por oxirredução e que o método do balanceamento por “tentativa e erro” é suficiente para que os alunos consigam balancear as reações químicas. Dessa forma, infere-se que um dos objetivos principais do professor Júlio ao ensinar o conteúdo de oxirredução é que os alunos percebam que existem reações nas quais ocorre transferência de elétrons. Além disso, a partir dos experimentos propostos pelo professor, observa-se uma preocupação em mostrar aos alunos qual a importância desse grupo de reações e como e onde estão presentes no nosso dia a dia.

b. Registro audiovisual das aulas do professor Júlio

Alguns dos trechos dos registros audiovisuais das aulas do professor Júlio foram transcritos com objetivo de se investigar quais as estratégias instrucionais esse professor adota. As estratégias instrucionais foram analisadas por meio dos componentes que caracterizam o *conhecimento das estratégias instrucionais* de acordo com o modelo de PCK de Park e Oliver (Figura 2). Neste componente estão presentes duas categorias: estratégias para conteúdos específicos e estratégias para tópicos específicos (Magnusson; Krajick & Borko; 1999). As estratégias para conteúdos específicos incluem conhecimentos sobre estratégias para determinados conteúdos, que se configuram como abordagens gerais para a instrução que sejam coerentes com os objetivos do ensino de ciências, tais como a consideração de ciclos de aprendizagem, estratégias de mudança conceitual, de investigação orientada, para atividades experimentais, entre outras.

Ao observar as aulas do professor Júlio, verifica-se que em sua prática pedagógica, o professor se aproxima de uma orientação didática, uma vez que ele privilegia a transmissão de fatos relativos à ciência. Em alguns momentos Júlio faz uso de experimentos para verificar conceitos, o que o aproximaria um pouco de uma orientação do tipo rigor acadêmico. Mas, de modo geral, ele tem uma abordagem didática e apresenta as informações por intermédio de aulas expositivas, bastante centradas no professor, pois mesmo que realize questionamentos aos alunos é o professor quem determina o que e como será estudado determinado conteúdo.

As estratégias para tópicos específicos referem-se a estratégias particulares para ensinar temas específicos dentro de um domínio da ciência, ou seja, refere-se ao conhecimento que um professor possui de estratégias específicas que são úteis aos estudantes

no que se refere à compreensão de conceitos específicos de ciências. Esse conhecimento inclui representações e atividades específicas. A categoria representações está relacionada ao conhecimento dos professores acerca de diferentes meios pelos quais seja possível representar conceitos ou princípios específicos com o intuito de facilitar a aprendizagem dos seus alunos, além de determinar os pontos fortes e fracos de uma representação específica. As representações incluem ilustrações, exemplos, modelos ou analogias. As atividades estão relacionadas ao conhecimento que o professor apresenta das atividades que podem ser adotadas para ajudar os alunos na compreensão de conceitos específicos e suas relações, como problemas, demonstrações, simulações, investigações ou experimentos.

Ao observar detalhadamente cada aula do professor Júlio, pode-se verificar que em todas as suas aulas ocorre o uso de mais de uma estratégia. Em consonância, em uma de suas aulas o professor faz uso de experimentos demonstrativos:

Pessoal, eu vou fazer uma demonstração que na verdade era para ter sido feita na aula passada, eu gostaria de ter começado essa parte de *oxirredução com essa experiência. Então, vamos lá. Primeira pergunta para eu fazer é se ferro pega fogo?*

Durante a aula, Júlio começa a demonstração com um pedaço de palha de aço nas mãos e, mesmo sendo uma aula demonstrativa, dá voz aos alunos, deixando-os participarem do experimento com perguntas do tipo: “o que é isso?” e “o que tem na palha de aço?” e continua:

Ferro com quê? Ferro com carbono. A maior parte é ferro. Então ferro pega fogo sim. Mas o modo que ele está, ele pode não incendiar, que maneira que esse ferro não incendiaria? Se estivesse como o que?

O professor Júlio espera que os alunos respondam “metal” e continua sua explicação:

Mas isso é metal. O modo como ele se encontra vai influenciar se ele pega fogo ou não. Nesse caso, se pegar um pedaço de prego ele incendiaria? Não. Mas no caso da palha de aço sim. Então o metal pode pegar fogo dependendo do modo como se encontra. Se eu pegar alumínio e moer, e ter um pó de alumínio, esse pó de alumínio incendeia. Então alumínio também pega fogo. Mas se faz panela de alumínio, panela de alumínio não pegaria fogo, mas como pó pega?

Nesse trecho observa-se que o professor utiliza exemplos ao falar da panela de alumínio. Na sequência, o professor segura um pedaço de palha de aço com uma pinça e com auxílio de um isqueiro coloca fogo na ponta da palha de aço e demonstra a queima da palha de aço. Durante a queima vai chamando a atenção dos alunos:

O que é interessante é a troca de cor. Notaram isso? O cinza é mais claro porque vai virar outro material. Está virando um óxido. Porque está reagindo

com o oxigênio do ar. Agora vou fazer essa mesma reação em outro ambiente. Vou fazer essa mesma reação aqui dentro ((professor mostra um erlenmeyer)). Se esse negócio está fazendo uma reação de queima, com quem ele está reagindo? Isso. Com o oxigênio do ar. Mas o ar é oxigênio puro? O que tem no ar?

Nesse trecho, verifica-se que o professor questiona os alunos com o objetivo de que eles participem da aula. Em outro momento da regência, o professor inicia uma nova demonstração. Para tanto, adiciona água oxigenada em um erlenmeyer. Na sequência, explica que a reação de decomposição da água oxigenada é muito lenta e por isso vai acelerar a reação com auxílio de um catalisador. Novamente, o professor se utiliza de exemplificações para explicar o conteúdo:

Quando um cara coloca água oxigenada num machucado o sangue tem o mesmo efeito de catalisar a decomposição, então aquela espuminha que forma quando o cara aplica água oxigenada na ferida é saindo oxigênio, sai tanto oxigênio que chega a matar a bactéria.

Ao longo de suas aulas, o professor também adota narrativas e história para auxiliar sua explanação:

Que tipo de metal que o ácido não ataca? Imaginem... Séc. XVI, navio carregando moedas de ouro, o navio afunda. O que sobra no final? Ouro!!! Metal, ferro, enferruja completamente, se afundar, a madeira apodrece, mas o ouro fica, porque o ouro não é corroído com facilidade. Porque a tendência do ouro é ficar como átomo. Se o ouro está como átomo, é ouro zero, ele permanece ouro zero. Repare na fileira. ((aponta para projeção da fileira de reatividade)). Entre por exemplo, o ferro e o ouro. O ferro tem tendência em ficar como átomo? Ele sempre quer ser átomo? Não. Se eu colocar o ferro numa posição que não ajuda ele ficar como átomo ele pode virar o cátion. Ele pode virar o cátion dele, que é enferrujar. Agora repare a posição que o ouro se encontra. É o mais “átomo” ((faz gesto de aspas)) que ele poderia querer ficar. Qual é o outro metal que não quer virar cátion? É a prata. Então, essa palavra em química ((aponta para a expressão metais nobres)) não significa nada a ver com preço. O que significa a palavra nobre? Que não reage, que não oxida fácil.

E, durante suas narrativas, também faz uso de anedota, ou seja, uma breve narração de um caso verídico, mas pouco conhecido:

Tem ácido que ataca ouro, mas isso é um caso muito raro, chamado água régia. Essa água régia é uma mistura bem poderosa que consegue dissolver ouro. Teve até um caso, que vi na internet, que eu nem sabia disso. Quando a Alemanha teve aquela perseguição nazista, teve gente que fugiu da Alemanha ou porque era judeu, ou filho de judeu e teve que sair da Alemanha fugido. Teve um caso de um Nobel, que para não ser confiscado, a medalha do Nobel é de ouro mesmo, é uma medalha de ouro, e para o pessoal não confiscar a medalha do cara, por que ele era um Nobel premiado, antes de entrar no laboratório, pois sabia que o pessoal estava chegando, ele pegou a medalha dele e dissolveu a medalha em água régia, no

final ele tinha uma “solução de medalha”, o pessoal invadiu o laboratório, tinha uma solução na bancada e ninguém desconfiou do que era, e o pessoal não conseguiu confiscar a medalha do cara. E você tem como voltar, você tem como recuperar de novo aquele ouro metálico, claro que não volta a ser uma medalha, mas pelo menos o ouro está lá e não foi roubado pelos nazistas. E a água régia é a mistura de ácido nítrico e ácido clorídrico.

Observa-se que uma estratégia recorrente utilizada é a demonstração, e em cada demonstração apropria-se de exemplificações, seja de situações relacionadas à própria demonstração ou de situações similares como, por exemplo, da aplicação de cada reagente utilizado na reação química a ser demonstrada:

Professor: Vou fazer uma reação de oxirredução, essa reação é legal porque ela é bem faiscante, vamos dizer assim. É o seguinte, essa reação não é só bonitinha vamos dizer assim, mas ela também tem uso e vou explicar para que serve essa reação. Ela tem uso importante inclusive, para poder soldar trilho de trem. Depois vou comentar sobre isso. Como funciona essa reação? Que tipo de material vai nela? Isso daqui ((aponta para o cadinho contendo pó de alumínio)), já devo ter comentado com vocês, é alumínio. É alumínio da panela, que foi moído, vamos dizer assim, foi feito pó dele, certo? O que lembra isso aqui?

Aluno: Gliter

Professor: Isso. É o próprio gliter, sombra. Na verdade, gente, esse alumínio em pó, como o alumínio é um metal com toxicidade muito baixa, é um metal bem seguro, você pode colocar na boca, pode colocar na pele isso daqui, que não vai fazer-te mal o alumínio em pó. Sabe aquelas balinhas douradas, que pessoas confeitam para colocar em bolo, prateada, é feito de alumínio em pó. Qualquer coisa que você possa imaginar que é metalizada, o pessoal acaba utilizando isso daqui, alumínio. Então, o que você pode imaginar que vai essa cor, é alumínio em pó, vai em sombra, vai em lápis. Alguém tem um lápis aí? ((pega um lápis e mostra o objeto)) estão vendo esse tipo de tinta aqui? Que é prateada. Essa impressão prateada. Essa parte prateada é feita, geralmente, com alumínio em pó. Essas tintas prateadas, até mesmo aquele lápis meio brilhante, o pessoal mistura alumínio em pó, então é muito utilizado isso daí. Não só para essa reação, evidentemente, mas para fazer coisas desse tipo aí, enfim, tinta, etc. e etc. Isso daqui também é outra coisa muito segura, isso daqui é óxido de ferro três, que também o cara pode colocar na mão, o cara pode comer, que não vai te fazer mal isso daqui e também é utilizado para fazer maquiagem. O que lembra isso daqui?

Aluno: Blush

Professor: Blush. O pessoal pode utilizar isso daqui na maquiagem. Certo? Então temos sombra e blush aqui. ((risos generalizados)). Na verdade, maquiagem não é nem só isso ((aponta alumínio em pó)) e nem só isso ((aponta para óxido de ferro)). Na verdade, a maquiagem não é alumínio em pó puro, mesmo porque também sairia, esse negócio você começa a lavar e sai. Então a maquiagem tem um monte de coisa para manter na pele isso daí. Mas o que dá a cor do blush, um dos pigmentos utilizados é o óxido de ferro. Então o uso que esse cara tem é como pigmento, você pode colocar isso em tinta de parede, você pode colocar esse negócio em sombra, tá? Então o uso dele é como pigmento.

Outra estratégia adotada pelo professor é a simulação. O professor Júlio utiliza vídeos para ilustrar o conteúdo abordado:

Eu queria mostrar um filme sobre a térmita. Na internet tem muito filminho de gente que faz térmita, brinca com térmita e não sei o que e não sei o que... eu peguei um filmezinho que eu achei bem inspirado, um cara pegou uma panelinha e encheu de térmita. Um cara fez uma reação que detonou a panelinha, a panelinha foi derretida e o ferro metálico que forma furou a chapa metálica.

Por meio de vídeos Júlio consegue exemplificar situações nas quais o conteúdo de oxirredução é utilizado:

Eu vou mostrar um outro filme que é sobre o uso da térmita. Não tem nada de especial. Mas presta atenção. Esses caras estão juntando dois trilhos de trem. Olha os dois trilhos, você não consegue soldar esse negócio com solda normal, aquela solda que o pessoal vê soltando fogo, tipo maçarico não dá para fazer isso daí que é muito grosso o trilho. Como eles conseguem soldar com essa reação? Então tem os dois trilhos e o cara encaixa um molde, tem um molde aqui, no espaço entre os dois trilhos e ele começa a esquentar esse negócio com um maçarico, por que se estiver frio o molde e ele jogar aquele negócio muito quente destrói o molde então ele esquenta para não dar choque térmico. Aqui tá com o pó que é a térmita, que é a mistura de alumínio com o óxido de ferro. Esse vídeo é na Sibéria. Ele vai acionar uma alavanca, porque isso tem fundo falso, vai abrir uma tampa aqui e o ferro que forma aquele ferro líquido vai derramar aqui dentro, dentro do molde. E a função desse negocinho lateral é pegar o excesso, porque derrama muito mais do que precisa, então vai encher o molde de ferro e na lateral cai o excesso de ferro, aí o cara tem que esperar esfriar e ele vai tirar o molde e vai depois fazer o tratamento, alisar.

Como descrito anteriormente, o professor Júlio utiliza bastante da estratégia demonstração para abordar o conteúdo de reações redox; no trecho transcrito a seguir, observa-se a realização de outro experimento:

Eu quero mostrar uma outra reação para vocês, essa também é interessante, é mais uma brincadeira, por que eu não vou equacionar porque é bem mais complicada. Mas vou mostrar outro material para vocês. Esse material é um agente oxidante muito forte, já comentamos em sala, que é o permanganato de potássio. Esse material consegue oxidar um monte de coisa, o pessoal conhece para tomar banho com isso daqui. Alguém já tomou banho com permanganato de potássio? Para quem não conhece, quero mostrar que cor fica a água. O pessoal da farmácia vende e vem numas cápsulas, só isso consegue tingir muito a água. Isso aqui tira a coceira. Para catapora. Não é que cura, mas diminui a coceira. E esse material tem um monte de reação química importante, que o pessoal faz em laboratório, pois esse material é um pó, é fácil de manipular e ele tem um poder de oxidação muito alto. Eu vou colocar uma coisa que vocês também conhecem, que é a glicerina. O que ele fez? Incendiou a glicerina. Só para vocês verem o fenômeno, por que não vamos equacionar.

Ao longo da demonstração, o professor utiliza da explicação do conteúdo por meio da comparação do uso do reagente em outra situação, nesse caso, o tratamento da doença catapora.

De modo geral, observa-se a utilização de diferentes estratégias: demonstrações; experimentação; explicações por meio de exemplos e comparações; narrativas; simulações; além da utilização de exercícios. Teoricamente, Júlio tem um conhecimento das estratégias instrucionais para o ensino de reações redox bem desenvolvido, pois utiliza as estratégias em momentos adequados que auxiliam no entendimento dos alunos.

4.1.3.1.2 Professor 2 - Claudia

A Professora Claudia atua tanto na rede privada de ensino, quanto na rede pública, especificamente no Ensino Médio e no Ensino Técnico. É formada em Química nos cursos de Bacharelado e Licenciatura pela Faculdade Oswaldo Cruz. É uma professora experiente, com quase 27 anos na área de ensino. Atualmente leciona 45 aulas por semana, sendo distribuídas em três escolas diferentes.

A investigação das aulas da professora Claudia ocorreu no colégio B, localizado no bairro de Santo Amaro. De acordo com o colégio, os principais objetivos do ensino são: preparar o aluno para o mercado de trabalho e para formar cidadãos, além de contornar as situações de evasão, reprovação, baixo rendimento, fracasso, aprovação com dependências e repetência, que ocorrem com certa frequência na instituição de ensino.

O colégio B caracteriza-se como uma instituição de grande porte, atuando apenas no Ensino Médio. A escola adota o sistema de salas ambientes, o que significa que são os alunos que mudam de sala e não os professores. A escola possui os seguintes recursos: uma biblioteca, uma quadra poliesportiva, um laboratório de ciências e uma sala de informática. A saída e entrada na escola são bastante controladas, se não parcialmente impedidas, o que reflete em uma intolerância a alunos retardatários. A entrada e saída são feitas por meio de apenas um pequeno portão, havendo um controle do fluxo, onde as carteirinhas dos estudantes são recolhidas e devolvidas pelo professor que ministra a última aula da noite. Dessa maneira, caso um aluno não consiga chegar à escola algum dia no horário designado, por qualquer motivo, não pode entrar na escola, porque os portões estarão fechados, até mesmo o que dá acesso à secretaria, a qual é separada e tem acesso restrito, e cujo atendimento à população só ocorre durante o dia.

Durante os intervalos das aulas, pode-se observar que, muitos alunos não vão para outra sala de aula e acabam ficando no pátio da escola. Durante as aulas observadas, pode-se notar a gestão da sala de aula que a professora Claudia possui. Os alunos entram na sala agitados e falantes, quando a professora inicia a aula os alunos ficam quietos e atentos. Em conversa com a professora, ela afirma que este respeito é adquirido ao longo dos anos.

a. Sequência didática da professora Claudia

O conteúdo de oxirredução foi ministrado no segundo bimestre para as turmas dos terceiros anos do ensino médio. Nessa escola a grade horária é composta por duas aulas de Química por semana, com duração de 50 minutos cada. De acordo com a professora, esse conteúdo é usualmente ministrado no segundo ano do ensino médio, entretanto, ela não conseguiu iniciar com as turmas no ano anterior e optou por ministrar esse conteúdo no início do terceiro ano do ensino médio.

No total foram acompanhadas sete turmas de terceiro ano. Em geral, a aula da professora Claudia de uma turma para outra não varia, seguindo a mesma sequência didática, a mesma explicação, os mesmos exemplos e os mesmos exercícios. A sequência de ensino de oxirredução foi composta por oito aulas. Essa quantidade variou de uma sala para outra devido a feriados e outras atividades do âmbito escolar que ocorreram no mesmo dia em que a Professora Claudia teria aula com algum dos terceiros anos do ensino médio. Uma vez que a sequência e a abordagem não variaram de turma para turma, no

Quadro 13 encontra-se um resumo das ações ocorridas durante as gravações em uma das turmas, o 3ºH.

Quadro 13 - Resumo das atividades gravadas da professora Claudia durante as aulas do 3ºH

Turma	Aula	Resumo
3H	1	Explicação das regras para determinação de Nox Exemplo de como determinar o Nox de substâncias Exercícios para determinar o Nox de substâncias Avaliação
3H	2	Explicação de reações de redução e de oxidação Explicação dos termos agente redutor e agente oxidante Início de balanceamento por oxirredução Avaliação
3H	3	Explicação completa de balanceamento por oxirredução Avaliação
3H	4	Exercícios sobre balanceamento por oxirredução
3H	5	Exercícios sobre balanceamento por oxirredução
3H	6	Exercícios sobre balanceamento por oxirredução
3H	7	Avaliação individual
3H	8	Realização do experimento de uma pilha (demonstrativo)

A partir do Quadro 13, pode-se observar que a professora se apropria, principalmente, de duas estratégias instrucionais: aula expositiva e realização de exercícios.

A professora Claudia inicia a sequência didática sobre o conteúdo de oxirredução com a enumeração de uma série de regras para a determinação do número de oxidação (Nox). A professora afirma ter adaptado essas regras com o passar dos anos e a partir das dificuldades dos alunos com esse tema. Claudia afirma que com essas regras, a chance de os alunos errarem são mínimas. A professora se preocupa em entender a origem das dúvidas dos alunos. Por exemplo, durante uma aula um aluno questionou se quando o elemento não está na tabela o Nox dele é zero. De imediato a professora respondeu que não, sem maiores esclarecimentos ao aluno. Entretanto, nesse instante a docente percebe que essa é uma dúvida comum e que acarretou em erro na primeira atividade realizada pelos alunos. Quando corrigiu a atividade, Claudia não tinha entendido o motivo dos alunos colocarem zero para alguns elementos. Nesse momento observou-se um processo de reflexão da professora. A docente, então, falou que iria comentar isso na próxima aula para evitar futuros erros. Dessa forma, nas aulas seguintes, com todas as turmas, a professora Claudia, chamou a atenção dos alunos para não cometerem os mesmos erros.

Ao observar a sequência didática da professora, verifica-se que o objetivo do ensino de número de oxidação e de reações redox foi propiciar aos alunos uma base conceitual, para explicar o balanceamento de reações.

O experimento realizado pela professora de forma demonstrativa teve a função de apenas ilustrar uma possível aplicação de reações redox. A professora não aprofundou a explicação sobre pilhas.

b. Registro audiovisual das aulas da professora Claudia

Ao analisar as aulas da professora Claudia para o conteúdo de reações redox, observa-se que as mesmas podem ser caracterizadas como sendo eminentemente expositivas, nas quais a professora apresenta o conteúdo previamente selecionado e pontualmente realiza alguns questionamentos aos alunos, de modo a alcançar as respostas desejadas. Diferentemente do observado com outros professores, quando ocorre a troca das aulas, os alunos se apressam para chegar na sala da professora Claudia. Suas aulas estão sempre cheias, com poucos alunos ausentes. A professora dá uma tolerância de cinco minutos, após esse tempo, ela tranca a porta da sala e nenhum outro aluno entra na sala de aula. Verifica-se, nessa ação, mais um aspecto da gestão da sala de aula da professora.

Durante a aula, de modo geral, os alunos não contestam as falas da professora, permanecendo em silêncio na maioria do tempo. Pela análise dos vídeos é possível observar que esses alunos se mostram interessados e atentos às explicações oferecidas pela professora, realizando alguns questionamentos quando julgam necessário.

Verifica-se que em sua prática pedagógica, a professora segue a orientação didática, pois atribui grande importância à transmissão de fatos relativos à ciência por meio de aulas expositivas. Ao observar detalhadamente cada aula da professora Claudia pode-se verificar pouca variedade nas estratégias instrucionais, sendo que as atividades usadas pela professora apresentam grande ênfase na resolução de exercícios.

De acordo com Smith e Neale (1989), o uso ineficiente de estratégias, pode estar relacionado à falta de conhecimento do conteúdo e/ou falta do conhecimento pedagógico. Entretanto, não se tem elementos suficientes para afirmar que essa professora tem deficiência em relação aos conhecimentos pedagógicos e do conteúdo. Nessa perspectiva, mesmo com a utilização de resolução de exercícios, a professora não permite que os alunos participem da resolução das questões na lousa, ela passa o exercício, espera um tempo e depois ela mesma corrige. Nas aulas iniciais sobre o conteúdo de reações redox, após a explicação sobre o conceito de número de oxidação, por meio da realização da resolução do cálculo do número de oxidação de três substâncias, a professora diz para aos alunos:

Então vocês vão copiar o A, o B e o C (aponta na lousa os exemplos), eu vou dar alguns minutinhos para vocês realizarem o D, o E, e o F, para poder corrigir.

Após essa instrução, a professora aguarda que os alunos resolvam os exercícios. Depois de aproximadamente nove minutos, a professora retorna para a lousa e diz:

eu vou fazer a letra d agora. Se tiver alguém ainda meio que com dúvida, aí acaba de sanar as dúvidas.

A professora resolve algoritmicamente o exercício e ao terminar questiona:

quem acertou esse?

Apenas um aluno levanta a mão. A professora segue com sua aula e dá continuidade na resolução dos outros itens. Após finalizar a correção, ela propõe mais quatro itens e pede que os alunos resolvam. Ela aguarda quatro minutos e inicia a correção dos mesmos:

fizeram o itens g, h e i?

Alguns alunos respondem “não” e, mesmo assim, a professora inicia a correção dos mesmos. Em conversa com a professora, ela afirma que acredita que os alunos conseguem assimilar o conteúdo quando eles resolvem os exercícios por conta própria, por isso, ela adota essa metodologia de trabalhar com bastante resolução de exercícios.

Os exercícios propostos pela professora são, em sua totalidade, exercícios repetitivos, utilizados para a fixação do conteúdo ministrado, que levam os alunos usarem as regras apresentadas para resolvê-los, sem vínculo com a realidade, o que não contribui para o desenvolvimento de outros conhecimentos dos alunos, a não ser a repetição e imitação.

Na última aula da sequência didática sobre reações redox, a professora realiza apenas uma demonstração, referente à Pilha de Daniell. O experimento tinha como objetivo ilustrar uma das possíveis aplicações das reações redox. A professora inicia a aula:

Vocês viram o que é oxirredução, viram que oxidação significa perder elétrons, que redução significa ganhar elétrons, fizeram balanceamento, quebraram cabeça, calcularam delta, agora vamos ver pelo menos para que serve tudo isso.

Pode-se observar que, com essa afirmação, na percepção da professora os alunos haviam aprendido o conteúdo de reações redox. Entretanto, a professora Claudia não investigou se eles realmente compreenderam e assimilaram o conteúdo. Uma aula antes da demonstração foi ministrada uma avaliação individual, porém, a professora não havia realizado a correção das avaliações para verificar a aprendizagem dos conceitos e nem realizou a correção com os alunos, para eles identificarem possíveis pontos de dúvidas.

Antes de iniciar a demonstração do experimento, a professora realiza a explicação das reações que ocorrem no cátodo e no ânodo, por meio de um esquema de pilha estruturado na lousa, e nesse momento define rapidamente os termos utilizados:

O lado em que sai os elétrons é sempre chamado polo negativo, e o outro lado vai ser o polo positivo. O polo negativo sempre vai perder elétrons, o nome desse polo é ânodo. O nome do polo positivo é cátodo. No polo negativo ocorre oxidação e no polo positivo ocorre redução.

Observa-se que na narrativa da professora, não há uma explicação do porquê o cátodo apresentar sinal positivo e o ânodo apresentar sinal negativo. Após a explicação, ela mostra a pilha montada e conectada a um multímetro, e dessa forma, consegue comprovar experimentalmente a passagem de corrente elétrica por meio do sistema. Para a demonstração, poderia ter utilizado, ao invés do multímetro uma pequena lâmpada acesa, ou uma calculadora, para salientar a geração de energia e que essa energia permite o funcionamento de alguns equipamentos eletrônicos, supostamente mais comuns e conhecidos por parte dos alunos do que um voltímetro.

Nessa aula, foi a primeira vez que a professora faz uso de uma exemplificação:

vocês já ouviram as pessoas falarem, os mais antigos, né? Nossa, meu portão oxidou! Vocês sabem o que eles estão falando? Que enferrujou. Enferrujou é oxidou.

De modo geral, observa-se que as aulas da professora Claudia apresentam uma abordagem mais tradicional, numa sequência lógica de aulas expositivas com exercícios de fixação, ministrados sem nenhuma relação com aspectos mais gerais e contextualizados.

Cada professor consegue desenvolver seu conteúdo dentro de suas condições, vale ressaltar, como descrito, que as instituições eram diferentes, bem como os recursos disponíveis também. Apesar de ambos professores serem considerados experientes (mais de 25 anos de docência) observa-se que, nesse caso, a experiência não foi determinante para o desenvolvimento do componente conhecimento de estratégias. Enquanto que o professor Júlio se apropria de várias abordagens como, exemplificação, demonstrações, aulas dialogadas, explicações de fatos cotidianos, a professora Claudia apropria-se de aulas não interativas, focadas na realização de exercícios de fixação. O objetivo aqui não foi comparar os dois professores, muito menos avaliá-los. A intenção era observar as aulas ministradas sobre o conteúdo de oxirredução desses professores e verificar quais estratégias instrucionais são utilizadas para o desenvolvimento desse conteúdo. Com essas análises pode-se verificar que, apesar de contextos diferentes, a realização de exercícios é eficiente na aprendizagem dos

alunos, pois é nesse momento que os alunos expõem suas dúvidas e tentam aplicar o conceito aprendido. Entretanto, vale a pena destacar que a priorização de apenas um tipo de estratégia pode trazer implicações negativas para a aprendizagem dos alunos, uma vez que a utilização de diferentes estratégias permite que os alunos reconheçam o conteúdo em diferentes situações.

4.1.3.2 Aplicação do CoRe

4.1.3.2.1 Licenciandos em Química

Analisou-se o CoRe (Quadro 5) respondido por 14 futuros professores, cursando o último semestre da Licenciatura em Química (Goes & Fernandez, 2016). Uma vantagem de alunos no último semestre em relação aos alunos iniciantes do curso de Licenciatura é devido ao fato deles, por estarem no final do curso, já terem estudado o conteúdo de reações redox durante a graduação e já terem tido experiência em sala de aula durante os estágios obrigatórios. O objetivo da utilização do questionário CoRe não era obter o perfil individual de cada futuro professor, mas sim os conhecimentos, as estratégias, as dificuldades, que juntos, auxiliaram na construção de um questionário sobre o ensino de reações redox e que favoreceram para a criação e desenvolvimento do curso sobre reações redox.

Em um primeiro momento, as respostas aos questionários foram analisadas individualmente para verificar quais as ideias centrais que cada futuro professor citou. O entendimento das ideias centrais é importante porque representam as principais ideias ou conceitos do ensino de uma área de um conteúdo específico que pertencem ao conhecimento disciplinar do professor, normalmente acessado para planejar o ensino do tema.

Inicialmente os estudantes citaram um enorme conjunto de ideias centrais, 44 no total. Para concentrar as informações sobre cada um dos conceitos mencionados, primeiramente verificou-se aqueles que foram citados pelo menos duas vezes. Em seguida, verificou-se que alguns dos conceitos estavam intimamente ligados um ao outro como, por exemplo, pilhas e baterias; potencial de redução e potencial de oxidação, entre outros, que inicialmente foram elencados como diferentes ideias centrais. Posteriormente, esses conceitos foram reagrupados e reduzidos para sete ideias centrais, a saber: transferência de elétrons; oxidação e redução/Nox; potencial de oxidação/redução; semirreações; eletrólise, pilhas e baterias; energia; e aplicações. Depois do reagrupamento, o Quadro 14 apresenta o CoRe consensual.

Quadro 14 - CoRe Consensual sobre reações redox de 14 futuros professores de Química

Questões	Ideias Centrais						
	Transferência de elétrons	Oxidação e Redução / Nox	Potencial de oxidação / redução	Semirreações	Eletrólise/ pilhas/ baterias	Energia	Aplicações
1	Entender por que ocorre a transferência de elétrons			Representar semirreações	Saber que a transferência de elétrons gera energia		Entender o processo de corrosão e proteção
	Entender que é um processo simultâneo		Entender os potenciais de oxidação/redução			Reconhecer reações espontâneas	Entender o bafômetro
	Entender o número de oxidação				Entender o fenômeno envolvido na indústria		
	Entender o ganho e a perda de elétrons						
2	Entender reações redox				Fazer relações com o dia a dia		
	É um conhecimento base			Balancear reações	Julgar impactos ambientais e econômicos		
	Fazer relações com o dia a dia		Calcular o potencial padrão de oxidação			Conscientizar o papel da química	Relacionar oxidação e umidade
3	Corrosão metálica	Voltametria Cíclica	Equação de Nernst	Reações de desproporcionamento	Equação de Nernst	Eletromagnetismo	Processos bioquímicos
	É um conceito importante para entender outros fenômenos						
	Aplicações promissoras						
	Cinética da transferência de elétrons						
	Equação de Nernst						
4	Abstração		Energia de Gibbs	Concepções alternativas	Entender a direção dos elétrons	Abstração	Reações redox
	Relação dos conceitos microscópico/ macroscópico	Cálculo do Nox	O potencial de oxidação não depende do número de mols	Balanceamento de reações químicas		Sinais	
5	Modelo representacional		Relacionar potencial de oxidação com energia	Simultaneidade do processo	Abstração	Balanceamento de reações	Enferrujamento
	Potencial de oxidação e de redução	Oxidação somente é relacionado com ganho de oxigênio				Limitação da energia térmica	Polêmica sobre bebidas alcoólicas
	Concepções alternativas					Conhecimento em eletrônica	
6	Geração e consumo de energia	Dificuldade do conteúdo	Concepções alternativas	Estequiometria	Transferência de elétrons	Interesse em eletrônica	Curiosidades
	Ligações químicas				Equipamentos		Analogias
					Laboratório		Senso comum
7	Experiências						
	Exercícios				Estudo de campo	Relações com o dia a dia	Discussão
	Uso de tecnologia		Relações com o dia a dia				
	Relações com o dia a dia					Uso de tecnologia	
Revisão de conceitos de eletricidade	Aspectos históricos						
8	Provas escritas						Oficinas
	Exercícios						
	Relatório de laboratório		Oficinas		Relatório de laboratório		Trabalhos em grupo
		Trabalhos em grupo					

Pode-se notar que as respostas ao CoRe foram pouco elaboradas, ou seja, as respostas eram gerais e não forneceram detalhes específicos sobre a prática de sala de aula. Ao longo das oito perguntas do CoRe relacionadas com as ideias centrais que cada estudante selecionou, apenas a segunda pergunta, sobre a importância da aprendizagem, envolveu respostas mais amplas.

Apesar de saber que cada professor tem uma estrutura diferente em seu PCK, existem algumas tendências que podem ser observadas. Sendo assim, uma descrição da análise de cada componente do PCK é apresentada a seguir.

Orientação para o ensino de ciências

A primeira e a segunda questão do CoRe são um ponto de partida para investigar os propósitos e objetivos para o ensino do conteúdo de oxirredução. Pode-se notar que muitos conceitos são comuns, sendo que o conceito de transferência de elétrons é o mais citado. Os participantes esperam que os alunos compreendam que em um processo redox, há elementos que perdem elétrons enquanto outros ganham.

Entre as nove orientações para o ensino de ciências (Magnusson, et al., 1999), apenas dois surgiram a partir do CoRe: "Rigor acadêmico" e "Processo". O CoRe consensual sugere que os futuros professores acreditam que é essencial situações reais para entender o uso dos conceitos-chave.

Conhecimento do currículo de ciências

Na terceira questão do CoRe pode ser visto que os futuros professores focam principalmente em conteúdo disciplinar. É possível dizer que os participantes têm conhecimento do grande número de componentes curriculares no ensino das reações redox, como Equação de Nernst, cinética de transferência de elétrons e energia de Gibbs.

Conhecimento da compreensão dos alunos em ciências

A quarta e a quinta questão do CoRe são muito importantes para explicitar o que os professores devem saber sobre o conhecimento de seus alunos e como esse conhecimento influencia seu ensino. A abstração dos fenômenos é o principal problema relatado pelos futuros professores. Um ponto bastante importante é a consciência de que os químicos veem o mundo em três níveis e que os alunos precisam ser capazes de se deslocar entre os níveis na sua forma de pensar, a fim de compreender, por exemplo, a ligação entre o micro e o macro quando for explicar a transferência de elétrons.

Além disso, os licenciandos identificam as limitações em relação à compreensão e alguns equívocos comumente relacionados ao ensino de reações redox, como a

desconsideração da simultaneidade de processos de oxidação e redução, a confusão de oxidação com ganho de oxigênio e o significado dos termos agentes de oxidação e agentes de redução (Österlund, et al., 2010).

Conhecimento das estratégias instrucionais

A sétima questão revela o conhecimento de estratégias específicas para o ensino dos professores. Os participantes citaram algumas estratégias de ensino com uma descrição básica do que estava envolvido. A preferência é por exercícios, experimentos e a relação com os conceitos do dia a dia e a tecnologia. Entretanto, eles não explicaram as razões específicas para o uso de cada estratégia. Além disso, acredita-se que a pouca experiência acarreta em um repertório de estratégias instrucionais pobre.

Conhecimento da avaliação do ensino de ciências

A oitava pergunta é destinada para investigar como os professores monitoram a compreensão dos alunos. De acordo com o Quadro 14, observa-se que o conhecimento dos métodos de avaliação desses futuros professores é limitado. Nota-se que o conhecimento dos métodos de avaliação está de forma bem genérica, ou seja, os futuros professores não manifestam métodos de avaliação específico para o conteúdo de reações redox. A avaliação deve ser mais contínua, pois dessa forma conseguirá mostrar se o processo está indo bem ou não, ou seja, é um indício para o professor identificar se está atingindo seus objetivos de ensino. Trata-se de um momento em que o professor consegue refletir e analisar se os conceitos que ele espera que os alunos aprendam, realmente estão sendo assimilados.

A partir da análise do CoRe Consensual, foi possível observar alguns aspectos do PCK de reações redox de futuros professores. Os licenciandos têm um bom conhecimento do currículo de ciências, entretanto, demonstraram conhecimentos incipientes sobre concepções alternativas e dificuldades dos alunos com o tema redox. Além disso, seria importante os futuros professores desenvolverem o conhecimento de estratégias de ensino e como eles observam a compreensão dos alunos, porque é a partir da avaliação que conseguirão verificar se o processo de ensino está indo bem ou não. Esses pontos, provavelmente, serão melhor desenvolvidos ao longo da experiência docente.

4.1.3.2.2 Professores novatos em exercício

Analisaram-se as respostas do questionário CoRe (Quadro 5) de dezoito professores do ensino médio aplicado previamente à realização de um curso de formação continuada, cuja

temática era eletroquímica (Goes & Fernandez, 2017). Os sujeitos de pesquisa eram, em sua maioria, licenciados em Química, atuantes no ensino público e professores novatos, ou seja, com 1 a 5 anos de experiência em sala de aula. Antes dos professores responderem ao CoRe, o questionário foi apresentado e seu preenchimento explicado, questão a questão, com um exemplo de um CoRe respondido sobre outro conteúdo. Em seguida, os professores selecionaram as ideias centrais, ou seja, conceitos e/ou ideias que julgavam mais importantes no ensino de reações redox, e preencheram o resto do questionário identificando dificuldades de aprendizagem, equívocos comuns, estratégias de ensino e aprendizagem e métodos de avaliação.

Pode-se notar que as respostas às questões do questionário também aparecem de forma geral sem fornecer detalhes específicos. Observou-se que a metade dos professores citaram apenas uma ideia central, dois professores citaram duas e sete professores citaram três. Apesar de não haver um número definido para as ideias centrais, um número baixo sugere que muitas dessas ideias podem estar englobadas em uma única grande ideia (Loughran, Berry, & Mulhall, 2006). No geral, foram citadas onze ideias centrais diferentes, expostas na Tabela 4.

Tabela 4 - Frequência das ideias centrais citadas pelos dezoito professores

Ideias centrais	Frequência
Transferência de elétrons	8
Conceitos de oxidantes e redutores	6
Semirreações	5
Energia envolvida nos processos redox	5
Meio ambiente e processos redox	4
Reatividade dos metais	1
Ponte Salina	1
Importância das reações redox	1
Aplicações das reações redox	1
Importância do oxigênio	1
Interpretação	1

A ideia central mais comum referente ao conteúdo redox é a transferência de elétrons. Os professores esperam que seus alunos entendam que numa reação de oxirredução existem elementos que perdem elétrons enquanto existem elementos que ganham elétrons. Entretanto, apesar de citar esse conceito fundamental, em nenhum questionário respondido ficou salientado a importância de se explicar que ambos processos, perda e ganho de elétrons, ocorrem simultaneamente. Outra grande ideia salientada está relacionada com os conceitos de oxidantes e redutores. O Quadro 15 apresenta o CoRe consensual com as cinco ideias centrais com maior frequência.

Quadro 15 - CoRe Consensual sobre reações redox de 18 professores novatos de Química

Quadro 15 – Corte Consensual sobre Reações Redox de 18 professores novatos de Química					
Questões	Ideias Centrais				
	Transferência de elétrons	Semirreações	Agente redutor/oxidante	Energia	Meio ambiente
1	Entender a troca de elétrons entre elementos	Entender as semirreações de oxidação e redução	Identificar agente oxidante/redutor	Entender a geração de energia	Reconhecer processos de corrosão
	Diferenciar oxidante de redutor			Reconhecer reações espontâneas	
	Identificar tipos de reações químicas	Equacionar a reação global			
2	Fazer relações com o dia a dia				Proteger material da corrosão
	Para entender reações redox	Entender funcionamento de pilhas e baterias	Relacionar com os processos de oxidação/redução	Identificar novas fontes de energia	Melhorar qualidade de vida
	Conhecimento base			Despertar interesse em Química	Minimizar a corrosão
3	Reações redox	Fluxo de elétrons	Cátodo	Novas tecnologias	Eletrodeposição
	Corrosão	ddp		Células combustível	Relevância industrial
	Geração de energia		Ânodo	Alternativas para produção de energia	
	Obtenção de materiais				
	Eletrólise	Simultaneidade	Reatividade		
	Mobilidade iônica				
4	Falta de interesse dos alunos				Representar semirreações
	Excesso de cálculos				
	Balanceamento		Identificar polo negativo/positivo		Definições erradas
	Entender o Nox				
	Compreender perda e ganho de elétrons		Relacionar com o dia a dia		
	Cátions/Ânions	Abstração			Enferrujamento
5	Conhecimentos prévios				
	Teoria atômica			Conceitos de Física	Uso da tecnologia
	Ligações químicas				Escurecimento de frutas
6	Falta de estrutura				Respeito a natureza
	Falta de materiais				
	Falta de tempo				Materiais utilizados em regiões litorâneas
	Conhecimento prévio			Economia global	
7	Exercícios			Relacionar com o dia a dia	
	Vídeos		Jogos		Atividades de campo
		Pesquisas sobre o tema			
	Construção de pilha				Relacionar química/sociedade/tecnologia
	Aulas teóricas		Trabalho em grupo		
	Experimentos		Aulas teóricas		
Experimentos					
8			Provas		
	Exercícios				
	Relatórios				
	Trabalho				
	Questionários			Conversa com alunos	
	Conversa com alunos	Pesquisa			

Uma descrição da análise de cada componente do PCK, com algumas tendências observadas, é apresentada a seguir.

Orientação para o ensino de ciências

Em relação aos propósitos e objetivos de ensino, em dez dos dezoito CoRes analisados, os professores acreditam que é importante os alunos aprenderem determinados conceitos para poderem fazer relações com o seu dia a dia. Por exemplo, um professor cita: “que comecem a observar e entender os fenômenos que ocorrem próximo a eles e entendam o que está ocorrendo”. Outro participante afirma: “para eles saberem que lidam com isso no dia a dia”. Entretanto, não detalham quais relações esperam que seus alunos façam.

Conhecimento do currículo de ciências

Em relação ao conhecimento do currículo, observa-se que poucos professores manifestaram seus conhecimentos sobre o currículo. Notou-se que quase não há relação entre outros conhecimentos da área Química ou de outras áreas. Os professores ainda têm pouca clareza do que influencia a aprendizagem do aluno em reações redox e quais são os conhecimentos prévios necessários para o ensino desse conteúdo.

Conhecimento da compreensão dos alunos em ciências

Observa-se um conhecimento incipiente dos professores sobre a compreensão dos alunos em relação ao conteúdo de reações redox, muitas das respostas foram simples demais como, por exemplo: “falta de conhecimentos prévios”, “não lembram dos conteúdos básicos”. Apenas um professor cita a dificuldade dos alunos em identificar e diferenciar os polos de uma pilha e de uma eletrólise, dificuldade relatada na literatura como sendo comum no ensino de reações redox (Österlund, et al., 2010). A maior dificuldade apontada está em realizar cálculos matemáticos e falta de conhecimento de eletricidade.

Conhecimento das estratégias instrucionais

Com relação ao conhecimento das estratégias instrucionais os professores citaram poucas estratégias, sem nenhuma descrição e sem justificativas sobre o uso das mesmas. Por exemplo, alguns professores citaram a experimentação, mas, em geral, não explicam qual experimento nem como seria realizado. O único experimento específico citado foi a construção de pilha.

Conhecimento da avaliação do ensino de ciências

Pode-se observar ainda que o conhecimento dos métodos de avaliação desses professores é limitado, pois citaram poucas maneiras específicas de se avaliar a compreensão

dos alunos, sendo a maior parte avaliações gerais como provas escritas e relatórios de laboratório.

A análise dos questionários CoRe possibilitou identificar alguns aspectos do PCK dos professores de Química. Nessa perspectiva, os professores investigados não têm o domínio do conteúdo de reações redox e não apresentam um repertório de ensino desse conteúdo. Considerando que esses professores ainda estão no início de suas carreiras, possivelmente, com a experiência em sala de aula, ocorrerá algum desenvolvimento de seus respectivos PCK. Entretanto, a julgar pelas deficiências apontadas, acreditamos que esse desenvolvimento possa ser promovido com mais propriedade em cursos de formação continuada específicos para proporcionar um desenvolvimento do PCK.

4.1.3.3 Questionário sobre ensino de reações redox

4.1.3.3.1 Perfil dos participantes

O questionário (Apêndice 1) foi respondido por 29 participantes. A análise das respostas desses questionários, possibilitou identificar como esses professores abordam o conteúdo de reações redox e quais as dificuldades que eles enfrentam durante seu ensino. De acordo com a Figura 34 pode-se observar que a maior parte dos participantes é formada em Licenciatura em Química e já fizeram ou estão fazendo uma pós-graduação. Apenas um participante ainda não está formado.

Dos doze participantes que são formados no bacharelado em Química, onze também realizaram o curso de licenciatura em Química, e uma pessoa se formou apenas no bacharelado. Duas pessoas assinalaram a opção outros, uma pessoa realizou o curso de licenciatura em ciências e a outra o curso de licenciatura em física.

Figura 34 - Perfil dos participantes respondentes do questionário em relação à formação

A partir da Figura 35 pode-se observar que os professores atuam em sua maioria no ensino médio. No caso da amostragem dessa pesquisa, não há profissionais atuantes no ensino fundamental I, o que é de se esperar, pois o curso de Química, normalmente inicia-se nos anos finais do ensino fundamental II. Uma pessoa afirmou atuar nos quatro níveis de ensino. Duas pessoas atuam no ensino médio e no ensino superior. Três pessoas atuam no ensino médio e no ensino fundamental II. Treze pessoas atuam somente no ensino médio. Três pessoas atuam apenas no ensino superior. Quatro pessoas atuam apenas no ensino técnico.

Figura 35 - Perfil dos participantes respondentes do questionário em relação à atuação

Conforme a Figura 35, pode-se observar que a disciplina lecionada pela maioria dos participantes é Química, apenas um professor afirmou não estar em sala de aula atualmente. Quatro pessoas lecionam Química e Ciências. Pode-se dizer que o perfil geral dos participantes que responderam ao questionário é de professores com alguma experiência no ensino, ou seja, aqueles professores com 6 a 10 anos de experiência e professores com muita experiência no ensino, aqueles com mais de 10 anos de experiência (Schneider & Plasman, 2011). Apenas três participantes eram professores iniciantes, ou seja, com menos de um ano de experiência. Em relação ao tipo de instituição, os participantes, em sua maioria, atuam na rede pública (16 pessoas), quatro atuam tanto na rede pública quanto na rede privada e nove professores atuam somente na rede privada.

4.1.3.3.2 Análise das respostas da seção 1

Nessa seção as perguntas eram de múltipla escolha e havia espaço para os participantes justificarem suas respostas, caso quisessem. A primeira pergunta abordava a importância do ensino de oxirredução na percepção do professor. Apesar de toda a dificuldade relatada na literatura com esse conteúdo, os professores consideram seu ensino importante, todos os participantes responderam que sim, que consideram o ensino de oxirredução importante. Dos 29 professores que responderam, 21 justificaram o porquê consideram o

ensino de oxirredução importante. A justificativa mais evocada pelos professores (12) foi a importância do ensino desse conteúdo devido à sua relação com o cotidiano:

As reações de transferência de elétrons denominadas reações de oxirredução são utilizadas em diversos processos industriais e para o desenvolvimento de dispositivos úteis em nosso cotidiano. Pilhas e baterias, por exemplo, são dispositivos que geram corrente elétrica por meio de reações de oxirredução. Trata-se, portanto, de um tema de relevância social e que possibilita a abordagem da Química nos níveis macroscópico, submicroscópico e representacional (resposta do participante 3, grifo nosso).

Além da relação com o cotidiano, acreditam que seu ensino irá ajudar os alunos a compreenderem diversos fenômenos:

O ensino de oxirredução auxilia no entendimento de diversos fenômenos como por exemplo, a corrosão, fenômenos biológicos (fotossíntese, respiração celular), fenômenos relacionados à natureza (formação de minérios, extração de metais...), o uso do conceito de oxirredução implícito em dispositivos tecnológicos que convertem energia química em energia elétrica (pilhas, geradores), a obtenção de substâncias que não se encontram de forma abundante na natureza a partir de substâncias mais disponíveis (como ocorre mediante o uso de eletrólise) (resposta do participante 29).

Apenas três participantes responderam que não lecionam esse conteúdo. Um desses participantes justificou:

Não atuei como professora, apenas em atividades do Pibid, mas nunca envolveu o conteúdo de oxirredução” (resposta do participante 10).

Ressalta-se que esse participante é um aluno da licenciatura e ainda não teve experiência com o conteúdo redox em sala de aula.

A maior parte dos participantes (26) ministram ou já ministraram conteúdos relacionados à oxirredução, sendo que 15 dessas justificaram suas respostas. Observa-se que as justificativas giram em torno do material adotado apresentar esse conteúdo:

Consta no currículo do estado de SP no 2º e 3ºs anos. Nos cursos técnicos é item obrigatório em físico-química I, II e III (resposta do participante 6).

Ou ainda por ser um conteúdo que é cobrado em vestibulares:

As aulas ministradas por mim ocorreram no contexto de um curso preparatório para o vestibular, onde os conteúdos relacionados à oxirredução são exigidos em tais exames (resposta do participante 25).

Uma das justificativas fornece mais detalhes:

Sim. Principalmente quando abordo Eletroquímica. Entretanto, sinto falta deste conteúdo estar relacionado com outras frentes de conhecimento químico. Quando, por exemplo, vamos ensinar a formação de um composto como o cloreto de sódio, não costumamos mencionar os processos redox nele contido, geralmente, utilizamos as propriedades dos elementos para

justificar a transferência de elétrons, sem nos preocuparmos em inserir os conceitos de oxidação e redução presentes. Seria mais fácil para o estudante se ele fosse sendo apresentado aos conceitos de forma mais abrangente, sempre sendo reapresentado aos conteúdos ao longo de sua formação escolar (resposta do participante 29).

A partir da terceira pergunta, iniciam-se as questões relacionadas ao questionário CoRe, com algumas opções para os professores selecionarem. Na Figura 36, pode-se observar que a maioria dos professores assinalou mais de uma opção para a questão: O que você pretende que os alunos aprendam sobre o conteúdo de oxirredução? Mesmo assim, a maioria pretende que seus alunos, ao aprenderem as reações redox, consigam identificar as aplicações vinculadas a esse conteúdo. Esse resultado está de acordo com a justificativa dada para a primeira questão, na qual os participantes justificaram a importância do ensino de reações redox devido à sua relação com o cotidiano.

É interessante verificar que as opções assinaladas estão mais relacionadas com as aplicações dos conceitos como, por exemplo, o processo de corrosão e o funcionamento de uma pilha.

Figura 36 - Distribuição das respostas para a questão 3 - o que você pretende que os alunos aprendam sobre o conteúdo de oxirredução?

Poucos professores têm como prioridade que os alunos aprendam o cálculo do número de oxirredução. Um professor assinalou a opção outros, justificando que espera que os alunos consigam:

Reconhecer de que maneira o conhecimento sobre as reações de oxirredução podem nos auxiliar na resolução de problemas sociais como, por exemplo, a geração de energia, a proteção de materiais por meio da galvanização e a produção de substâncias por meio da eletrólise. Por fim, cabe destacar as implicações socioambientais do descarte de pilhas (resposta do participante 4).

Esse professor vai além das aplicações vinculadas ao ensino de oxirredução, demonstra preocupação com os possíveis impactos ambientais causados por esse tipo de reações, ao ensiná-las aos alunos.

Na questão 4 questiona-se a importância do ensino de oxirredução. Na Figura 37 observa-se que a maior parte dos professores considera que o ensino de oxirredução é importante para que os alunos sejam capazes de discutir os possíveis impactos ambientais e econômicos das aplicações desse conteúdo, que também está relacionada com a segunda opção mais assinalada que é permitir fazer relações com o seu dia a dia. O que confirma a relevância que os professores dão entre esse conteúdo e o cotidiano. Interessante notar que poucos professores se preocupam com o balanceamento de reações químicas a partir do conceito de reações redox.

Figura 37 - Distribuição das respostas para questão 4 - Por que é importante que os alunos aprendam o conteúdo de oxirredução?

Dois professores assinalaram a opção outros. Um deles justificou que o conteúdo de oxirredução é uma

base técnica de muitos processos produtivos (resposta do participante 18).

E o outro justificou tendo por base o desenvolvimento de modelos explicativos:

Acho importante, no ensino médio, que o aluno possa desenvolver modelos explicativos adequados para os fenômenos, e muitos deles, como a ferrugem, podem ser melhores explicados a partir desse conceito (resposta do participante 25).

Mesmo nessa justificativa, observa-se a relação dos conteúdos de oxirredução com os fenômenos verificados no dia a dia como, por exemplo, a ferrugem.

A questão cinco aborda o conhecimento dos professores sobre as dificuldades dos alunos com relação ao conteúdo. De acordo com a Figura 38, observa-se que os professores sabem que os alunos apresentam dificuldades com relação ao conteúdo de reações redox. A maior dificuldade assinalada foi a conceitual, ou seja, os professores consideram que os alunos têm muita dificuldade em diferenciar os termos agente oxidante e agente redutor, redução e oxidação.

Figura 38 - Distribuição das respostas para a questão 5 - Quais as principais dificuldades dos alunos associadas ao aprendizado sobre oxirredução?

A segunda maior dificuldade dos alunos, observada pelos professores é em relação ao processo de eletrólise. Um fato interessante é que, apesar dos professores não considerarem

como prioridade o ensino de balanceamento de reações redox, essa é uma das principais dificuldades apontadas pelos professores.

Três professores assinalaram a opção outros. Um desses docentes justifica que uma das principais dificuldades dos alunos é

a falta do conteúdo no ensino médio (resposta do participante 23).

Outro participante afirma que a dificuldade é proveniente de

conteúdos que não foram trabalhados ainda (resposta do participante 15).

Um terceiro professor complementa:

Por vezes os alunos apresentam dificuldades em relação a conceitos que são necessários para a compreensão do tema. Conceitos prévios, visto que o tema reações redox necessita de alguns conhecimentos prévios (resposta do participante 7).

Para esses três professores, a falta de conhecimentos prévios implica na dificuldade do ensino de reações redox.

A questão seis também aborda as dificuldades com o conteúdo redox. A partir da análise da Figura 39 observa-se que seis professores consideram que não apresentam nenhuma dificuldade em relação ao conteúdo. A maior parte dos professores considera como dificuldade a falta de tempo para abordar o conteúdo de maneira adequada.

Dez professores afirmam terem dificuldades em melhorar a relação entre os conceitos com as aplicações tecnológicas e ambientais. Esse apontamento chama atenção, pois, os professores consideram importante relacionar o conteúdo com a tecnologia e os fenômenos do dia a dia, mas ao mesmo tempo, sentem dificuldade em realizar essas correlações. Outro fato que chama atenção é que, mesmo a maioria dos professores participantes serem professores experientes, seis apontaram que sentem dificuldade com conteúdo básico de Química, o que aponta a necessidade de cursos de formação continuada para suprir essas possíveis dificuldades. Dois professores assinalaram a opção outros. Um deles justifica que:

exergo necessidades no ensino deste conteúdo, assim como, o ensino da Química em geral (resposta do participante 29).

Porém, esse professor não especifica quais são essas necessidades que possivelmente são pontos de dúvidas. O outro professor que marcou a opção outros apontou como dificuldade a

falta de material para realizar experimentos (resposta do participante 28).

Apesar de só aparecer uma vez, sabe-se que a falta de materiais é uma queixa recorrente dos professores, principalmente nas escolas públicas (Augusto & Caldeira, 2007).

Figura 39 - Distribuição das respostas para questão 6 - Quais as suas principais dificuldades associadas ao ensino de oxirredução?

A questão sete aborda os tipos de materiais curriculares que os professores comumente adotam. De acordo com a Figura 40 observa-se que a maior parte dos professores utiliza o livro didático, sendo que o livro mais citado é Química na abordagem do cotidiano dos autores Tito e Canto.

O segundo material curricular mais utilizado são os vídeos, seguido pelo uso de textos. Os professores não justificam qual tipo de vídeo e textos utilizam como material curricular. O material menos utilizado são os jogos. Sete participantes responderam a opção outros, sendo que cinco desses justificaram que também utilizam atividades experimentais e dois professores colocaram o Caderno do Estado de São Paulo como o material curricular utilizado. Esse dado é interessante, visto que, 20 professores atuam em escola pública, instituição que adota os cadernos do estado. Entretanto, apenas dois professores afirmam utilizar esse material.

Figura 40 - Distribuição para as repostas da questão 7 - Quais materiais curriculares você utiliza no ensino de oxirredução?

Na questão oito, o foco é identificar as principais estratégias no ensino de oxirredução. Ao observar o gráfico da Figura 41, observa-se que nenhuma estratégia diferente das indicadas foi sugerida pelos professores. A principal estratégia utilizada pela grande parte dos professores é a aula expositiva aliada a resolução de exercícios.

Figura 41 - Distribuição das respostas para a questão 8 - Quais estratégias você utiliza para abordar o conteúdo de oxirredução?

A segunda forma de avaliação mais utilizada é a resolução de exercícios, seguida das provas de múltipla escolha. Um professor optou pela opção outros, acrescentando a utilização de mapas conceituais e de auto avaliações. Interessante observar que boa parte dos professores afirma utilizar atividades experimentais para ensinar o conteúdo de oxirredução, o que acaba sendo contraditório, uma vez que os professores relataram falta de tempo para abordar o conteúdo e atividades experimentais demandam maior tempo de aula do que as expositivas. De qualquer forma, acredita-se que o uso de experimentação, principalmente no ensino de reações redox, pode ser bem eficiente na aprendizagem dos conceitos (Goes et al., 2016).

A adoção de questões ambientais para contextualizar o conteúdo redox é uma das estratégias mais recorrentes descritas pelos professores, o que enfatiza mais uma vez a importância que os mesmos atribuem à relação entre o conteúdo e o cotidiano. Por outro lado, verifica-se que o uso de analogias é uma estratégia pouco adotada pelos professores.

A questão nove trata das formas de avaliação. De acordo com a Figura 42, o tipo de avaliação mais utilizada pelos professores investigados são as provas dissertativas. Apesar de 23 professores afirmarem que utilizam atividades experimentais em laboratório (Figura 41) apenas 14 professores utilizam os relatórios de laboratório como forma de avaliação.

Figura 42 - Distribuição das respostas para a questão 9 - Quais as formas de avaliação você utiliza durante o ensino de oxirredução?

4.1.3.3.3 Análise das respostas da seção 2

A seção dois continha afirmações para identificar o grau de concordância dos respondentes. Na Tabela 5 pode se observar o resultado geral para cada pergunta.

Tabela 5 - Respostas dos participantes para a seção 2 do questionário (CT=concordo totalmente; C=concordo; I=indiferente; D=discordo; DT=discordo totalmente)

Seção 2 - Perguntas de 10 a 22	CT	C	I	D	DT
10 - Eu tenho conhecimento suficiente para ensinar o conteúdo de oxirredução	6	14	2	7	0
11 - Eu sinto segurança para responder as possíveis dúvidas dos alunos sobre o conteúdo de oxirredução	6	15	2	6	0
12 - Eu conheço as concepções alternativas dos alunos sobre oxirredução	3	15	5	6	0
13 - Eu utilizo diferentes abordagens de ensino em sala de aula	6	16	3	4	0
14 - Eu seleciono abordagens de ensino que visam facilitar o aprendizado do aluno	9	17	3	0	0
15 - Eu adapto minhas aulas de acordo com o conhecimento dos alunos	10	14	4	1	0
16 - Eu adapto minhas aulas considerando as diferenças entre os alunos	9	11	3	6	0
17 - Eu sei avaliar a aprendizagem do aluno na sala de aula	5	19	2	3	0
18 - Eu sei avaliar a aprendizagem dos alunos adotando diferentes estratégias	7	16	3	3	0
19 - Eu organizo e mantenho a gestão da sala de aula	10	17	2	0	0
20 - Eu revejo e analiso criticamente minhas aulas, a ponto de perceber o que deu certo ou não	13	16	0	0	0
21 - Eu sinto segurança em utilizar as mesmas estratégias que deram certo em sala de aula	9	18	1	1	0
22- Quando uma estratégia não ocorre como o esperado, eu sinto segurança em implementar novas estratégias	10	18	0	1	0

Observa-se que, nenhum dos participantes discordou totalmente das afirmações. A maioria das respostas concentrou-se na opção concordo, sendo concordo totalmente, a segunda opção mais assinalada.

Para a questão dez, (Eu tenho conhecimento suficiente para ensinar o conteúdo de oxirredução) observa-se que sete professores discordaram da afirmação. Desses sete, apenas três a justificaram. Um deles aponta sua limitação com o conteúdo ao afirmar:

Creio não dominar exaustivamente o conteúdo (resposta do participante 27).

Outro professor justifica que:

Sempre há o que ser aprendido ou interpretado (resposta do participante 29).

E o outro professor que justifica sua resposta afirma que:

O conteúdo inteiro é amplo e é necessário grande preparação do professor. Para as propostas que eu me proponho a fazer, tenho conhecimento suficiente, no entanto, teria dificuldades em ensinar balanceamento por exemplo (resposta do participante 9).

A maioria dos participantes, 14 no total, afirmam ter o conhecimento suficiente para ensinar o conteúdo. Seis justificaram suas respostas e, no geral, afirmam ter conhecimento

suficiente apenas para ensinar o conteúdo, mas que estes podem ser limitados frente a todo o tema de reações redox:

Gostaria de aprender muito mais sobre o assunto, pois sei o suficiente para o necessário em sala de aula (resposta do participante 12).

Não sou especialista na área (resposta do participante 20).

Há conhecimentos bastante avançados/profundos que, embora não sejam ensinados aos alunos de nível médio, são importantes e talvez eu não domine (resposta do participante 24).

A partir dos excertos acima, observa-se que, apesar dos participantes concordarem que tem o conhecimento suficiente, eles sabem das suas deficiências em relação a todo o conteúdo de reações redox.

Seis participantes concordam totalmente com a afirmação, o que é coerente com as respostas fornecidas para a questão seis da seção 1, onde os mesmos professores afirmaram não ter dificuldades em relação ao conteúdo de reações redox. Nenhum desses justificou sua resposta.

Para a questão onze (Eu sinto segurança para responder as possíveis dúvidas dos alunos sobre o conteúdo de oxirredução), seis participantes discordaram da afirmação, sendo que uma delas justificou que:

Me sinto seguro para responder às dúvidas mais comuns, mas as vezes surgem dúvidas que exigem relações com outras áreas e conceitos, das quais não me sinto preparado ainda (resposta do participante 5).

Observa-se que esse professor reconhece suas limitações em relação ao conteúdo. Uma das pessoas que concordou com a afirmação e justificou sua resposta diz:

Não é obrigação do professor saber tudo, mas deve sempre pesquisar se não souber e dar um retorno para os alunos” (resposta do participante 20).

Nesse caso, o professor também se sente seguro para responder às possíveis dúvidas dos alunos, entretanto, no caso de não conseguir esclarecer possíveis questões, reconhece a necessidade de o professor estar sempre em busca de atualizar seus conhecimentos.

Para a questão 12 (Eu conheço as concepções alternativas dos alunos sobre oxirredução), nenhum dos professores que discordou, justificou sua resposta. Apenas alguns dos professores que concordaram, justificaram suas respostas como, por exemplo:

Algumas sim, pois em minha época as equações pareciam ter brotado do nada e de repente se transformavam em outra. Eu me lembro de me questionar sobre as cargas + e - porque não me foi falado sobre o balanceamento (resposta do participante 12).

Um dos participantes concorda, mas faz uma ressalva:

Certamente por ser um professor iniciante a quantidade de concepções alternativas conhecidas seja menor em relação a um professor experiente (resposta do participante 25).

Dessa forma, pode-se dizer que esse grupo de professores em específico afirma conhecer as concepções alternativas em relação a esse conteúdo.

Na questão 13 (Eu utilizo diferentes abordagens de ensino em sala de aula) um dos participantes discorda e justifica:

Devido a se tratar de um cursinho pré-vestibular popular e à própria estrutura deste (sem laboratórios, reagentes, etc.), havia uma certa restrição em relação à implementação de diferentes abordagens em sala. No caso das aulas em torno das reações redox, minha estratégia para ir além do quadro de giz foi realizar em sala demonstrações de reações redox (resposta do participante 25).

Semelhante a essa justificativa, um participante que se posiciona indiferente a essa afirmação e argumenta que

O sistema de ensino é apostilado e não há laboratório (resposta do participante 10).

Ou seja, esse professor sente-se limitado ao sistema adotado pela escola em que trabalha e por isso não faz uso de diferentes abordagens de ensino. Apesar de a maioria concordar com a afirmação, apenas um participante justifica e apresenta uma das abordagens de ensino que utiliza em sala de aula

Textos porque a dificuldade de interpretação é muito grande (resposta do participante 12).

Na questão 14 (Eu seleciono abordagens de ensino que visam facilitar o aprendizado do aluno) um dos participantes que assinalou indiferente justifica:

Sempre questiono os alunos quanto a sua compreensão sobre o que está sendo explicado e quando não sinto confiança na resposta, faço uma pergunta ou um problema que necessite do conhecimento recém aplicado. Diante da resposta, sentirei a necessidade de uma nova abordagem depois das já selecionadas e realizadas anteriormente (resposta do participante 8).

Um dos participantes concorda com a afirmação, entretanto justifica que:

Em algumas aulas o tempo de preparo/execução da aula me obrigam a utilizar uma abordagem expositiva, mesmo sabendo que esta não seria minha melhor alternativa de abordagem quanto a facilitar o aprendizado do aluno (resposta do participante 5).

Observa-se que, apesar do professor acreditar em outras abordagens mais eficazes para o processo de ensino aprendizado, opta por uma abordagem expositiva. Outro participante

afirma que ajusta suas abordagens de acordo com o andamento da aula e em função das respostas da turma.

Para questão 15 (Eu adapto minhas aulas de acordo com o conhecimento dos alunos), um participante concorda totalmente e justifica:

Isso subentende respeitar o conhecimento e capacidade dos alunos, mas também estimular novas aprendizagens (resposta do participante 24).

Um dos participantes que se coloca indiferente à afirmação diz que:

Se depender disso haverá casos em sala de aula que não ensinarei nada a eles (resposta do participante 2).

Observa-se que este professor não adapta suas aulas de acordo com o contexto dos alunos e nem leva em consideração no seu planejamento o conhecimento deles.

Para questão 16 (Eu adapto minhas aulas considerando as diferenças entre os alunos) seis participantes discordaram dessa afirmação e três deles justificaram que:

Haverá necessidade de tratar todos como iguais sem diferença alguma, a não ser que seja algo extremamente na sala de aula diferente ou exceção (resposta do participante 2).

Isso deve ser levado em consideração sempre em condições ideais, mas não sei se isso é possível em salas de aula com grande número de alunos” (resposta do participante 9).

O tempo disponível para este tipo de situação não existe. Entretanto, tenho oferecido aos estudantes horários extraclasse para discussão do que não foi compreendido (resposta do participante 29).

Apesar dos professores reconhecerem a importância de se considerar as diferenças entre os alunos, ele não as consideram devido à falta de tempo.

Na questão 17 (Eu sei avaliar a aprendizagem do aluno na sala de aula), três participantes discordaram da afirmação e dois justificaram as respostas. Um desses professores afirma que:

Estou construindo minha identidade como professor em termos da avaliação da aprendizagem dos conceitos de oxirredução. Tenho utilizado vários instrumentos para que não avalie mecanicamente, mas ainda estou construindo minha avaliação sobre estas utilizações (resposta do participante 5).

O segundo docente constrói a sua justificativa argumentando que:

É complicado dizer que sabe avaliar a aprendizagem dos alunos quando não enxergamos a totalidade. Em uma sala de aula é difícil realizar este tipo de avaliação (resposta do participante 29).

Um dos participantes que se posicionou de forma indiferente afirma que:

Essa prática é muito difícil e está em constante aperfeiçoamento (creio que nunca conseguirei dizer que sei avaliar!) (resposta do participante 24).

Apenas um dos participantes que concordou com a afirmação, justificou sua resposta:

Procuro avaliá-los da melhor forma possível procurando sempre obrigá-los no bom sentido a fazerem as atividades, mesmo que errem para eu ver os erros e apontá-los é o primeiro passo para a correção (resposta do participante 12).

De modo semelhante a questão anterior, a afirmação 18 abordava a questão da avaliação (Eu sei avaliar a aprendizagem dos alunos adotando diferentes estratégias). Observa-se que as justificativas começaram a diminuir, provavelmente indicando um cansaço por parte dos participantes. Apenas um participante, que assinalou concordo totalmente, justificou sua resposta:

Não me proponho a utilizar apenas provas dissertativas e múltipla-escolha. A feira de ciências, por exemplo, pode ser um ótimo instrumento de avaliação (resposta do participante 9).

Para a questão 19 (Eu organizo e mantenho a gestão da sala de aula) foram apenas duas justificativas de pessoas que concordaram com a afirmação:

Nem sempre tenho sucesso, o que é natural (resposta do participante 20).

No primeiro dia, negociamos um acordo (resposta do participante 24).

Na questão 20 (Eu revejo e analiso criticamente minhas aulas, a ponto de perceber o que deu certo ou não) só foram obtidas respostas positivas (concordo ou concordo totalmente) e apenas dois participantes justificaram suas respostas:

Estou sempre disposta a mudar (resposta do participante 12).

Esta é a única maneira real de mudança no sentido de melhora de nossa prática docente (resposta do participante 20).

Na questão 21 (Eu sinto segurança em utilizar as mesmas estratégias que deram certo em sala de aula), um professor discordou justificando:

Nem sempre, visto que as turmas são diferentes (resposta do participante 9).

Um dos professores que concorda faz uma ressalva:

O sucesso de uma estratégia não implica que eu vá usá-la exatamente do mesmo modo todas às vezes. Há que se levar em conta o perfil dos alunos (resposta do participante 25).

De forma semelhante, a questão 22 abordava as estratégias (Quando uma estratégia não ocorre como o esperado, eu sinto segurança em implementar novas estratégias). Apenas um participante discordou da proposição, mas com uma justificativa vaga:

Esta resposta é muito relativa à situação (resposta do participante 5).

Interessante notar que essas três últimas questões foram a que tiveram mais respostas positivas, sendo que a questão 20 foi a questão em que mais professores assinalaram concordo totalmente. Esse fato se contradiz, de certa forma, com as respostas às questões anteriores, nas quais a maior parte dos professores considera a falta de tempo como um fator de dificuldade no ensino. Analisar criticamente e repensar nos planos de aulas é uma tarefa que exige tempo e dedicação. Apesar do professor justificar estar disposto a mudar e afirmar que analisar criticamente faz parte do desenvolvimento profissional, não se pode afirmar que de fato realizam essa ação. Para uma análise mais aprofundada desse fato, necessitaria uma investigação sobre como os professores refletem sobre sua prática.

Observa-se que os participantes quase não justificaram suas respostas. Mas o objetivo do questionário foi em parte alcançado, pois, com as respostas às questões fechadas, pode-se obter informações úteis para apoiar o investigado previamente na literatura. Verificou-se que, no geral, os professores verificam a importância do ensino de reações redox devido a sua aplicabilidade no dia a dia. Assim como identificado na revisão da literatura, os professores apropriaram-se principalmente da experimentação como estratégia para o ensino de reações redox. Além disso, os professores conseguem identificar algumas das dificuldades dos alunos em relação a esse conteúdo, mas dificilmente citam as concepções sobre conceitos que envolvem as reações redox. Fato também identificado na literatura, ao verificar que nem todos os trabalhos analisados sobre reações redox abordam o conhecimento dos estudantes e, quando sim, referem-se as dificuldades e não sobre concepções alternativas. Grande parte dos professores reconhece suas próprias dificuldades ao ensinar reações redox.

4.1.3.4 Análise das respostas às vinhetas

As vinhetas (Apêndice 2) foram respondidas pelos mesmos 29 participantes do questionário sobre ensino de reações redox⁷. Em geral, as respostas das vinhetas se concentraram mais no conhecimento do conteúdo, mas foi possível identificar evidências de três componentes do PCK: orientações para o ensino de ciências, conhecimento dos

⁷ Para maiores informações sobre o perfil dos participantes ver item 4.1.3.3.1, na página 130129.

estudantes e conhecimento das estratégias instrucionais (Goes & Fernandez, 2018b). As respostas das vinhetas não mostraram evidências para conhecimento de currículo e avaliação.

Entre as nove orientações para o ensino de ciências identificadas por Magnusson et al. (1999), apenas três emergiram das respostas das vinhetas: Didática, Atividade dirigida e Rigor Acadêmico. A Tabela 6 apresenta uma síntese dos dados para os componentes do PCK ao longo dos níveis de experiência docente.

Tabela 6 – Frequência da manifestação dos componentes do PCK de professores de Química nas respostas das vinhetas

Componentes do PCK	Subcomponentes	Amostra de acordo com a experiência profissional			
		< 1 ano (n=3)	1 a 5 anos (n=7)	6 a 10 anos (n=10)	>10 anos (n=9)
Orientações para o ensino de ciências	Didática	100%	71%	100%	89%
	Atividade dirigida	-	29%	10%	22%
	Rigor acadêmico	100%	43%	10%	33%
Conhecimento dos estudantes	Concepções	33%	14%	-	-
	Conhecimento prévio	33%	14%	-	-
Conhecimento das estratégias instrucionais	Demonstração	-	-	20%	11%
	Explanação	100%	71%	80%	67%
	Questionamento	33%	14%	10%	44%
	Ilustração	-	14%	-	-
	Exemplos	-	14%	10%	33%

A maioria dos professores de Química (26) respondeu às vinhetas utilizando orientações didáticas. Esse resultado é semelhante com a pesquisa de Kind (2015) em que 50% das respostas à vinheta Química foram codificadas em orientação didática. No caso de orientações didáticas, o objetivo do ensino é transmitir os fatos da ciência. Assim, o professor apresenta as informações geralmente por meio de aulas expositivas. Por exemplo:

Eu explicaria o padrão potencial de redução de cada elemento (Professor com menos de um ano de experiência - Vinheta 1).

O metal que tem o maior potencial de oxidação será o que vai oxidar perdendo elétrons (Professor com 1 a 5 anos de experiência - Vinheta 1).

O oxidante ganha elétrons e reduz; o redutor perde elétrons e oxida. (Professor com 5 a 10 anos de experiência - Vinheta 1).

Eu explicaria que o processo para obter alumínio puro (eletrolise) é mais caro (Professor com mais de dez anos de experiência - Vinheta 4).

De acordo com os trechos acima, é possível observar que os objetivos do ensino de ciências incluem transmitir informações e conceitos.

Orientações do tipo atividade dirigida são caracterizadas por atividades práticas, em outras palavras, o professor quer que os alunos sejam mais ativos:

Eu pediria a eles que pesquisassem o assunto. Vejamos a cadeia de produção do ferro e do alumínio para ver as diferenças sob o ponto de vista químico, ambiental e energético (Professor com 1 a 5 anos de experiência - Vinheta 4).

Os íons nitrato, espectadores, não participam da reação. Eu pediria que os alunos equacionassem as reações iônicas (Professor com 5 a 10 anos de experiência - Vinheta 2).

Que essa reação não envolve deslocamento (afinal as espécies estão em solução, e o ácido está ionizado), mas sim a interação com os íons nitrato em meio ácido, formando uma espécie altamente oxidante (a nitrosila). Obviamente isso não poderia ser feito a partir de uma simples explanação, é um assunto complexo e poderia ser feito de forma investigativa. Eu pediria aos alunos que escrevessem as formas iônicas das substâncias envolvidas (Professor com mais de dez anos de experiência - Vinheta 3).

Mesmo com o objetivo de fazer com que os alunos tenham uma posição mais ativa na sala de aula, realizando pesquisas ou equacionando reações químicas, observa-se que o objetivo dos professores ainda é transmitir conceitos e informações.

A orientação rigor acadêmico e a orientação didática envolvem a verificação do conhecimento. A diferença é que o rigor acadêmico é caracterizado por desafiar os alunos com problemas difíceis (Kind, 2016). Quando há aulas de laboratório, por exemplo, elas geralmente são usadas para verificar conceitos científicos:

Primeiramente, eu entenderia qual a concepção que o aluno tem sobre dissolver. Faria isso perguntando o que ele entende por dissolver? Em seguida mostraria o real conceito de dissolução. Por fim, se possível apresentaria uma solução de sulfato de cobre ao aluno e diria que essa solução também é azul e explicaria que é azul devido aos íons cobre (Professor com menos de um ano de experiência - Vinheta 2).

Eu discutiria brevemente com este aluno a ideia de custo/benefício dos diversos materiais utilizados pelo homem. Daria alguns indícios sobre isto, em relação a "vida útil" do ferro e do alumínio, quanto aos custos de produção e a viabilidade destes processos a partir da forma como são encontrados na natureza. Mas considero que esta pergunta deve ser respondida gradativamente, construindo-se conceitos e ideias que permitam o aluno compreender a completude da resposta. Uma resposta pronta nesta situação tampouco irá contribuir efetivamente para sua compreensão sobre o fato (Professor com 1 a 5 anos de experiência - Vinheta 4).

Que o esquema acima [Vinheta 1] dá uma ideia geral do problema da reatividade e que se quisermos conhecer as diferenças entre metais de um mesmo grupo, precisaremos escolher um critério de comparação mais sofisticado, lançando mão dos potenciais de oxidação e de redução. Em seguida, pode-se exemplificar com um caso envolvendo zinco e ferro, por exemplo (Professor com 5 a 10 anos de experiência - Vinheta 1).

Perguntaria ao aluno como ele acha que o alumínio e o ferro se encontram na natureza? Esta questão busca desenvolver a ideia de que os metais em geral são encontrados na forma de óxidos e precisam ser tratados para purificação. Questionaria então se o aluno conhece os métodos como são feitas as metalurgias desses metais, ou seja, como são obtidos para uso na indústria e no cotidiano (Professor com mais de dez anos de experiência - Vinheta 4).

Para o componente orientações para o ensino de ciências, conforme os trechos acima, não foi possível verificar diferenças nos objetivos do ensino entre professores com diferentes níveis de experiência. Para Kind (2016), a mudança intuitiva das orientações ainda é um grande desafio, neste sentido, os programas de formação de professores devem utilizar as orientações para auxiliar o desenvolvimento profissional dos professores.

As evidências do componente conhecimento da compreensão dos estudantes sobre a ciência foram baixas, aparecendo apenas nas respostas de professores com menos de cinco anos de experiência. Por exemplo, o conhecimento prévio dos alunos pode ser observado na seguinte resposta:

Espera-se que o aluno tenha algum conhecimento sobre a tabela periódica (Professor com menos de um ano de experiência - Vinheta 1).

O conhecimento das concepções dos alunos pode ser percebido na seguinte declaração:

Ficaria claro que ele não distingue entre a substância cobre metal e a substância cobre sal, e que cada uma tem propriedades químicas e físicas muito diferentes (Professor com 1 a 5 anos de experiência - Vinheta 2).

O fato de a maioria dos professores não mencionar o conhecimento dos alunos em suas respostas pode estar relacionado à natureza das vinhetas. Cada vinheta apresenta uma situação de sala de aula, para investigar as ações dos professores. Isso pode, sem querer, levar a uma resposta científica.

Dentre as diferentes estratégias instrucionais relatadas na literatura, nesta pesquisa, foi possível identificar cinco: explicações, demonstração, questionamento, ilustração e exemplos. A maioria dos professores de Química (22) respondeu às vinhetas usando explicações como estratégias instrucionais:

Eu explicaria que o alumínio não é encontrado na forma pura e há um processo químico para obtê-lo na forma pura que é mais cara (Professor com menos de um ano de experiência - Vinheta 4).

Eu explicaria que a reação ocorreu porque o ácido nítrico tem alto poder de ionização (Professor com 1 a 5 anos de experiência - Vinheta 3).

Eu responderia que esta série de reatividade é apenas uma forma de generalização (agrupamento em reatividade similar) dada a quantidade de elementos químicos conhecidos e que é útil quando se comparam elementos

de diferentes categorias. Para decidir qual é o mais reativo dentro do mesmo grupo é necessário conhecer o potencial de redução dos elementos (Professor com 5 a 10 anos de experiência - Vinheta 1).

Eu mostraria ao aluno o potencial de oxidação e também diria que, neste caso, não há formação de gás hidrogênio (Professor com mais de 10 anos de experiência - Vinheta 3).

A demonstração apareceu apenas nas respostas de professores com mais de cinco anos de experiência:

Conhecendo o potencial de oxidação/redução seria possível prever se a reação ocorreria. Em laboratório, isto poderia ser testado até mesmo antes desta explicação acontecer. A partir das evidências poderíamos observar a ocorrência (ou não da reação) (Professor com 5 a 10 anos de experiência - Vinheta 2).

A partir de um experimento demonstrativo, eu levaria o aluno a desenvolver sua proposição no sentido de perceber que a cor azul é uma característica macroscópica relacionada ao conjunto de íons Cu(II) e sua interação com a solução, e que o nitrato não exerce papel nesse sentido (Professor com mais de 10 anos de experiência - Vinheta 2).

O questionamento foi a segunda estratégia mais citada pelos professores:

Eu faria isso perguntando o que ele entende por dissolver (Professor com menos de um ano de experiência - Vinheta 2).

Poderíamos questionar se o cobre metálico ficaria azul em uma solução com cloreto de sódio (Professor com 1 a 5 anos de experiência - Vinheta 2).

Através da resposta do aluno eu incentivaria para ele tentar melhorar a resposta. Eu questionaria a resposta no contexto da oxidorredução (Professor com 5 a 10 anos de experiência - Vinheta 2).

Eu ia propor perguntas para ele refletir: “Quem seria esse íon? como se tornou íon? só íons é responsável pela cor?” (Professor com mais de 10 anos de experiência - Vinheta 2).

A ilustração apareceu como uma estratégia apenas para um professor:

Eu tentaria usar um esquema de ilustração, trazendo a ideia do papel dos íons nessa reação (Professor com 1 a 5 anos de experiência - Vinheta 3).

O uso de exemplos apareceu com mais frequência nas respostas de professores com mais de dez anos de experiência:

Dentro do mesmo grupo, existem os mais fracos e os mais fortes. Eu forneceria alguns exemplos para explicar essa questão (Professor com mais de 10 anos de experiência - Vinheta 1).

Eu explicaria que o ácido nítrico age como um oxidante, mas nem todos os ácidos agem dessa maneira. Eu procuraria mais exemplos (Professor com mais de 10 anos de experiência - Vinheta 3).

Poderia ainda explorar a reação ocorrida com os alunos, mostrando as variações de Nox das espécies para compreender melhor o fenômeno (Professor com mais de 10 anos de experiência - Vinheta 3).

De acordo com os trechos acima, há uma expansão no conhecimento de estratégias instrucionais, desde professores iniciantes até professores experientes. O que se observa é que professores mais experientes citam mais estratégias de ensino, isso pode ser uma possível indicação de que os professores considerados experientes (mais de dez anos de experiência) demonstraram mais conhecimento de estratégias instrucionais do que os outros professores. Esse resultado é semelhante aos identificados por van Driel et al. (2002), que também encontraram ganhos no crescimento do conhecimento das estratégias por meio de experiências de ensino. Entretanto, o conhecimento dos alunos referente às dificuldades desse conteúdo não foi manifestado pelos sujeitos participantes e as concepções foram identificadas apenas em professores com menos de cinco anos de experiência. Esse resultado pode ser indício que ou os professores não tem o conhecimento da compreensão dos alunos ou, caso tenham, não integram esses conhecimentos às estratégias de ensino.

4.1.3.5 Questionário sobre o conteúdo de reações redox

Com o intuito de se investigar o conhecimento do conteúdo (neste caso reações redox) e as possíveis limitações de cursos de formação continuada, participou-se da elaboração e da implementação de um curso de extensão envolvendo os conteúdos de reações redox com os professores de Química da rede pública do Estado de São Paulo, intitulado: “Eletroquímica: Fundamentos e Aplicações”. O curso teve uma professora especialista em eletroquímica como responsável e ocorreu em janeiro de 2016, dentro do 11º Encontro USP-Escola⁸. Nesse curso, por meio da experimentação, objetivou-se auxiliar os professores a superar as dificuldades em ensinar reações redox e trabalhar com as possíveis concepções alternativas dos alunos sobre esse conteúdo, mapeadas no levantamento bibliográfico.

Durante o desenvolvimento do curso, foram utilizadas algumas estratégias, a saber: aulas expositivas, aulas de laboratório, aulas de exercícios e discussão de artigos. Os tópicos abordados no curso estão descritos no Quadro 16.

⁸ O Encontro USP-Escola é um evento promovido pela Comissão de Cultura e Extensão da Universidade de São Paulo e ocorre duas vezes ao ano, em janeiro e em julho, no período de férias dos professores. É destinado a professores da rede pública e particular atuantes na educação básica. Usualmente, ao longo do curso, são promovidas palestras envolvendo questões sobre a educação. Essas palestras são para todos os cursos, depois os participantes se dividem nas partes específicas, a cada edição, em média, são oferecidos 15 cursos que ocorrem em diferentes institutos da Universidade de São Paulo.

Quadro 16 – Tópicos abordados em cada aula do curso de extensão realizado em 2016

Aula	Tópicos
Aula 1	Reações redox
Aula 2	Soluções eletrolíticas: conceitos e propriedades
Aula 3	Eletrodo – conceito, tipos, potencial, f.e.m.
Aula 4	Série de reatividade eletroquímica, pilhas
Aula 5	Eletrólise

Na Figura 43 observa-se que a maioria dos participantes possuía licenciatura em Química e era professor iniciante, ou seja, com menos de cinco anos de experiência, atuante, principalmente, em instituições públicas de ensino.

Figura 43 - Perfil dos professores participantes do curso de Eletroquímica

Antes do início do curso, com o objetivo de se verificar o nível de conhecimento sobre o conteúdo a ser abordado, foi utilizado um questionário (Apêndice 3) e as respostas às questões foram utilizadas para o replanejamento do curso (Goes, Fernandez, & Agostinho, 2016). O questionário foi respondido por dezessete professores participantes. Cada professor respondeu de forma individual e sem nenhuma fonte de consulta. Após a coleta de dados, as respostas foram analisadas individualmente e sistematizadas de acordo com a semelhança entre elas. Após a sistematização das respostas, as mesmas foram categorizadas em correta, parcialmente correta, errada e não respondida. As respostas consideradas parcialmente corretas foram aquelas que continham uma afirmação correta sem justificativas, ou, acompanhada de termos em que os professores entravam em contradição. O emprego de

termos oxida/ é oxidado ou reduz/ é reduzido como sinônimos servem de exemplos de uma linguagem eletroquímica equivocada.

O primeiro bloco de questões (1 a 7) corresponde à definição de termos relacionados ao conteúdo de eletroquímica. Para a primeira questão foram obtidos seis diferentes tipos de respostas, descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Sistematização das respostas da questão 1 - defina reações redox

Defina reações redox	Resposta	Quantidade de respostas	
	Transferência de elétrons	8	Certo
	Variação do número de oxidação	5	Certo
	Reação com Oxigênio	1	Errado
	Perda e ganho de elétrons	1	Certo
	Ocorre oxidação e redução	1	Certo
	Produz corrente	1	Errado

De acordo com a Tabela 7 pode-se observar que a maioria das respostas dadas pelos professores foi considerada correta e apenas duas respostas foram consideradas erradas. Não é correto definir reações redox como sendo a reação que produz corrente, pois nem toda a reação de oxirredução produz corrente elétrica. Para que isso aconteça é necessário que haja eletrodos e que as reações se deem na interface, como ocorrem em células galvânicas e em células eletrolíticas. Além disso, processos de corrosão, mesmo ocorrendo em interfaces, e reações que ocorrem em uma fase única não geram uma corrente líquida.

Pode-se observar a existência da concepção alternativa de que reações redox são aquelas reações que necessitam do oxigênio para ocorrer. Essa definição não é correta, uma vez que reações que envolvam o elemento oxigênio podem não ser consideradas reações redox (serve de exemplo a desidratação de um álcool, que é uma reação ácido-base (Mohrig, Hammond, Morrill, & Neckers, 1998) e existem outros oxidantes diferentes do oxigênio como, por exemplo, o cloro, o íon permanganato (Atkins, 1997).

Para a questão 2, foram obtidos oito diferentes tipos de respostas, descritas na Tabela 8. Para essa questão, uma mesma resposta foi sistematizada em dois ou mais tipos de respostas, fazendo com que a soma total de respostas seja diferente de 17. Isso ocorreu, pois, para uma mesma resposta, observaram-se duas ideias como, por exemplo, um dos participantes apenas respondeu “oxidante é quando ganha elétron”, enquanto outro participante respondeu: “é a substância que sofre redução, ou seja, ganha elétron”. O que fez com que se desdobrasse esse tipo de resposta em duas respostas distintas: substância que sofre redução e ganha elétron.

Tabela 8 - Sistematização das respostas da questão 2 - defina o termo oxidante

Defina o termo oxidante	Resposta	Quantidade de respostas	
	Ganha elétron	5	Certo
	Aumento do Nox	4	Errado
	Substância que sofre redução	4	Certo
	Perde elétron	3	Errado
	Polo positivo	1	Errado
	Elemento que quebra ligação	1	Errado
	Provoca redução	1	Errado
	Ânodo	1	Errado

De acordo com a Tabela 8 pode-se observar que as respostas consideradas corretas se concentraram em duas expressões: “ganho de elétrons” e “substância que sofre redução”. Nota-se que mais da metade das respostas foram consideradas erradas, pois:

- nem todo oxidante atua quebrando ligação química. Serve de exemplo, a ação oxidante do íon ferro (III) sobre o íon estanho (II);
- o oxidante ganha elétrons;
- a polaridade não tem relação com oxidante ou com redutor. Os polos positivos e negativos não estão vinculados a ânodo e cátodo. Em células galvânicas o ânodo é o polo negativo e em células eletrolíticas o cátodo é o polo negativo;
- o oxidante atua aumentando o número de oxidação de outro elemento e ele causa a oxidação;
- por definição, ânodo é sempre o eletrodo em que ocorre oxidação (Burrows, Holman, Parsons, Pilling, & Price, 2012).

Para a questão 3 também foram obtidas oito diferentes respostas (Tabela 9). Igualmente ao caso da questão 2, houve mais respostas do que o total de participantes devido a uma mesma resposta corresponder a duas ideias diferentes, por exemplo, um participante respondeu: “redutor é a substância que sofre oxidação, ou seja, perde elétron”, enquanto outro participante respondeu apenas que “perde elétron”.

A partir da Tabela 9 observa-se a mesma tendência analisada para a questão 2. A maioria dos professores definiu redutor de forma errada, enquanto apenas nove das vinte respostas foram consideradas corretas.

Tabela 9 - Sistematização das respostas da questão 3 - defina o termo redutor

Defina o termo redutor	Resposta	Quantidade de respostas	
	Perde elétron	5	Certo
	Substância que sofre oxidação	4	Certo
	Diminui Nox	4	Errado
	Ganha elétron	3	Errado
	É o oxigênio	1	Errado
	Polo negativo	1	Errado
	Provoca oxidação	1	Errado
	Cátodo	1	Errado

As respostas para as questões 2 e 3 confirmam os dados encontrados na literatura em relação às dificuldades dos alunos para o conteúdo de oxirredução. Observa-se que os professores também apresentam dificuldades em relação aos termos, e podem ser provenientes do emprego da linguagem eletroquímica de forma equivocada como, por exemplo: oxida / é oxidado; reduz / é reduzido como se tivessem o mesmo significado. O que age como redutor, reduz outra espécie química, portanto, não é reduzido.

Para a questão 4 foram obtidas sete diferentes respostas (Tabela 10), sendo que cinco dos participantes não a responderam.

Tabela 10 - Sistematização das respostas da questão 4 - defina o termo eletrodo

Defina o termo eletrodo	Resposta	Quantidade de respostas	
	Troca de elétron	3	Errado
	Conduz corrente	3	Errado
	Material que faz oxirredução	2	Errado
	Mede o potencial	1	Errado
	Dispositivo bipolar	1	Errado
	Material utilizado	1	Errado
	Metais que doam ou recebem elétron	1	Errado
	Não respondeu	5	

De acordo com a Tabela 10 verifica-se que nenhuma das respostas foi considerada correta. E, com esse resultado, pode-se inferir que os professores apresentam bastante dificuldade em definir o que é eletrodo. O conceito comum de eletrodo é o que prevalece, pois, os livros didáticos não definem eletrodo conforme se entende em eletroquímica. O senso comum admite como eletrodo qualquer placa de um condutor eletrônico, seja de metal ou de grafite. Em eletroquímica, entende-se por eletrodo a interface entre um condutor eletrônico e um condutor iônico. Nesta interface necessariamente existe uma diferença de potencial, causada pela distribuição não homogênea de cargas.

Para a questão 5 foram obtidas sete diferentes respostas (Tabela 11) e, da mesma forma que a questão 4, cinco participantes também não a responderam. Novamente, uma mesma resposta foi desdobrada em duas ou mais diferentes respostas, totalizando um número de respostas maior do que o número de participantes que responderam ao questionário.

Tabela 11 - Sistematização das respostas da questão 5 - defina o termo pilha			
Resposta		Quantidade de respostas	
Defina o termo pilha	Geram eletricidade	5	Certo
	Transforma energia química em elétrica	4	Certo
	Troca de elétron	3	Errado
	Conduz corrente	3	Errado
	Onde ocorre redox espontânea	2	Parcial
	Acumulador de carga elétrica	1	Errado
	Dispositivo que conduz elétron	1	Errado
	Não respondeu	5	

De acordo com a Tabela 11 verifica-se que apenas nove das respostas foram consideradas corretas, enquanto que oito respostas foram consideradas erradas e duas foram consideradas parcialmente corretas. As respostas foram consideradas erradas ou parcialmente corretas, pois:

- na pilha ocorre um processo espontâneo que pode gerar energia elétrica. A condução eletrônica, pelo circuito externo, quando o circuito é fechado, é uma consequência;
- processos redox espontâneos também são observados na corrosão e em reações eletroquímicas em meio homogêneo, não se caracterizando como pilha;
- pilha e capacitores são dois conceitos distintos: na pilha as cargas se movimentam enquanto que nos capacitores, as cargas são armazenadas (Purcell, 1973); acumuladores são células galvânicas recarregáveis, serve de exemplo, o acumulador ácido de chumbo;
- a troca de elétrons ocorre em qualquer processo redox, não apenas em pilhas;
- no caso da condução de corrente elétrica, são válidos os mesmos aspectos considerados na condução eletrônica.

Para a questão 6 foram obtidas seis diferentes respostas (Tabela 12). Para essa questão, o número de participantes que não a respondeu foi elevado, totalizando oito participantes.

Tabela 12 - Sistematização das respostas da questão 6 - defina o termo célula eletrolítica

Defina o termo célula eletrolítica	Resposta	Quantidade de respostas	
	Decomposição por corrente	3	Errado
	Precisa de energia para ocorrer redox	2	Certo
	Onde um sofre oxidação e o outro redução	1	Parcial
	Composta por polo positivo e negativo	1	Errado
	Pilha	1	Errado
	Armazena elétron	1	Errado
	Não respondeu	8	

Como se pode observar na Tabela 12 uma resposta foi considerada parcialmente correta, duas foram consideradas corretas, enquanto seis foram consideradas erradas. Em relação ao conceito de célula eletrolítica, há alguns pontos a se considerar:

- na célula eletrolítica ocorrem processos de oxidação e redução à custa de uma fonte externa de tensão;

- a ocorrência de reações de oxidação e de redução não se dá apenas em células eletrolíticas: ocorrem em células galvânicas, em processos de corrosão e em meio homogêneo.

- a decomposição por corrente é um processo e se chama eletrólise e não um sistema, ao qual se dá o nome de célula eletrolítica;

Os demais conceitos considerados errados foram analisados anteriormente.

Para a questão 7 foram obtidas seis diferentes respostas (Tabela 13), sendo que cinco participantes não a responderam.

Tabela 13 -- Sistematização das respostas da questão 7 - defina o termo ponte salina

Defina o termo ponte salina	Resposta	Quantidade de respostas	
	Balanço iônico	5	Parcial
	Água salgada em dois eletrodos	3	Errado
	Transmite corrente	1	Certo
	Permite o fluxo de cargas	1	Certo
	Transforma ácido em sal	1	Errado
	Fluxo de elétrons	1	Errado
	Não respondeu	5	

Conforme observado na Tabela 13 cinco respostas foram consideradas erradas, enquanto que apenas duas foram consideradas corretas. Por outro lado, cinco respostas foram consideradas parcialmente corretas. Analisando as respostas dadas pelos participantes, verifica-se o aparecimento de outra concepção alternativa relatada na literatura, em que a

ponte salina auxilia o fluxo de elétrons. Além disso, algumas das respostas foram consideradas erradas ou parcialmente corretas, pois:

- a ponte salina não é um reagente para transformar ácido em sal;
- a ponte salina contém um eletrólito, onde cátions e ânions, sob a ação de um campo elétrico aplicado entre os dois eletrodos, migram por ação desse campo, para o cátodo e para o ânodo, respectivamente, completando o circuito da corrente elétrica. Este circuito é fechado pelos elétrons, presentes nos condutores eletrônicos (terminais dos eletrodos e fiação).

É importante destacar que não há elétrons livres no circuito da ponte salina, apenas cátions e ânions contribuem para a corrente total. A corrente elétrica na ponte salina é igual à soma das correntes devida aos cátions e aos ânions, pois eles têm cargas e direções opostas. Esta corrente total iônica na ponte salina é igual à corrente elétrica transportada pelos elétrons no circuito eletrônico, lembrando que os elétrons se movimentam no sentido contrário à corrente elétrica convencional (Burrows, et al., 2012).

O segundo bloco de questões (8 a 11) correspondem a questões relacionadas à força eletromotriz (f.e.m.). Para a primeira questão, 8, foram obtidas sete diferentes respostas, descritas na Tabela 14.

Tabela 14 - Sistematização das respostas da questão 8 - O que se entende por força eletromotriz (f.e.m.) de uma pilha?

O que se entende por força eletromotriz (f.e.m.) de uma pilha?	Resposta	Quantidade de respostas	
	Energia gerada	3	Errado
	DDP	3	Parcial
	Força que movimenta elétron	2	Errado
	Maior DDP	1	Certo
	Espontaneidade	1	Errado
	Capacidade de transformar eletricidade	1	Errado
	Energia para reação	1	Errado
	Não respondeu	5	

De acordo com a Tabela 14 apenas uma resposta foi considerada correta, três parcialmente corretas, oito foram consideradas erradas e cinco participantes não responderam.

O conceito de força eletromotriz causa muita dúvida entre os professores pela própria semântica (“força eletromotriz”). Trata-se da diferença de potencial máxima que uma célula galvânica apresentaria se no circuito não passasse corrente elétrica. Essa diferença de potencial máxima corresponde à diferença entre os potenciais de equilíbrio do cátodo e do ânodo. Na prática, a medida da diferença de potencial se aproxima da força eletromotriz quando se emprega um voltímetro de alta resistência interna, da ordem de $M\Omega$.

A questão 9 foi a questão com maior variedade de respostas obtidas, totalizando nove diferentes respostas (Tabela 15).

Tabela 15 - Sistematização das respostas da questão 9 - Como se mede a força eletromotriz (f.e.m.)?

Como se mede a força eletromotriz (f.e.m.)?	Resposta	Quantidade de respostas	
	$E_{\text{red}} - E_{\text{oxi}}$	2	Parcial
	$V = E - r.i$	2	Parcial
	Voltímetro	2	Certo
	Cátodo - ânodo	1	Errado
	Em V	1	Errado
	Amperímetro	1	Errado
	Entre a diferença entre duas células	1	Errado
	$i = \Delta Q / \Delta t$	1	Errado
	Fluxo de elétrons	1	Errado
	Não respondeu	5	

Como se observa na Tabela 15, duas respostas foram consideradas corretas, seis respostas foram consideradas erradas, quatro consideradas parcialmente corretas e cinco participantes não responderam.

Continuando a discussão feita sobre a Tabela 14 tem-se a acrescentar:

- a resposta voltímetro foi considerada correta, pois este é um instrumento de medida da força eletromotriz;

- a força eletromotriz sendo igual a $E_{\text{red}} - E_{\text{oxi}}$ pode ser considerada uma resposta correta se E_{red} e E_{oxi} corresponderem, respectivamente, aos potenciais de equilíbrio, no sentido da redução, do cátodo (onde ocorre redução) e do ânodo (onde ocorre oxidação), o que não foi explicado pelos participantes que assim responderam;

- a equação $V = E - r.i$ é apresentada em disciplinas de física e corresponde a uma resposta correta se V for a f.e.m., E for a diferença de potencial medida nos terminais da célula galvânica quando o circuito é atravessado por uma corrente diferente de zero, i for a corrente e r a resistência elétrica total do circuito (Purcell, 1973). Como os participantes não esclareceram, a questão foi considerada parcialmente correta.

Para a questão 10 foram obtidas cinco diferentes respostas (Tabela 16). Para essa questão, também se obteve um alto índice de respostas em branco, totalizando oito participantes. Observa-se que apenas uma resposta foi considerada correta, enquanto oito foram consideradas erradas.

Tabela 16 - Sistematização das respostas da questão 10 - De que grandeza depende a força eletromotriz (f.e.m.) de uma pilha?

De que grandeza depende a força eletromotriz (f.e.m.) de uma pilha?	Resposta	Quantidade de respostas	
	V	4	Errado
	Fluxo de elétrons	2	Errado
	DDP	1	Errado
	Potencial de redução	1	Certo
	Força	1	Errado
	Não respondeu	8	

Nota-se que o conceito termodinâmico de força eletromotriz, ligado à variação da energia livre de Gibbs da reação não faz parte do conhecimento dos professores. O potencial de eletrodo e a energia livre de Gibbs dependem da temperatura e da atividade das espécies envolvidas no processo de oxirredução (Atkins, 1997).

E, para a última questão, 11, foram obtidas cinco diferentes respostas (Tabela 17) e cinco respostas em branco.

Tabela 17 - Sistematização das respostas da questão 11 - Como se calcula a força eletromotriz (f.e.m.) de uma pilha?

Como se calcula a força eletromotriz (f.e.m.)	Resposta	Quantidade de respostas	
	Ered - Eoxi	6	Parcial
	DDP	2	Errado
	$U = E - r \cdot i$	2	Parcial
	Voltímetro	1	Errado
	Corrente elétrica e DDP	1	Errado
	Não respondeu	5	

Observam-se quatro respostas erradas e oito parcialmente corretas. Para a Tabela 17, são válidas as mesmas considerações feitas para a Tabela 15.

A partir das respostas dadas pelos professores, pode-se observar que os participantes apresentaram dificuldades em relação aos conceitos envolvendo o conteúdo de eletroquímica. Eletrodo, célula galvânica, célula eletrolítica e força eletromotriz são conceitos fundamentais em que os professores apresentaram maiores dificuldades, sendo que, a maior dificuldade indicada pelos professores se refere aos conceitos de eletrodo e de força eletromotriz. Muitas das respostas dos professores se dão através de algoritmos, onde não existe a preocupação em dar significado às grandezas e aos termos envolvidos.

Após o curso, aplicou-se o mesmo questionário inicial para verificar se houve algum indício de melhora nos conceitos vistos ao longo durante a semana (Goes et al., 2016). Da mesma forma, as respostas foram categorizadas em correta, parcialmente correta, não

respondida, e errada. Nessa análise, para cada uma das respostas foram atribuídos os seguintes valores, a saber: correta: 2; parcialmente correta: 1; não respondida: -1; errada: -2. Os valores das respostas corretas e parcialmente corretas foram somados e considerados como respostas favoráveis, e os valores das respostas erradas e não respondidas foram somadas e consideradas como respostas desfavoráveis. A partir da Figura 44 e Figura 45 podem-se verificar algumas diferenças entre os dois momentos: antes e após o curso.

Figura 44 - Distribuição das respostas para cada questão do questionário realizado antes do curso

Figura 45 - Distribuição das respostas para cada questão do questionário realizado depois do curso

Para a questão 4, que pergunta sobre a definição de eletrodo, observa-se que inicialmente todas as respostas foram consideradas desfavoráveis, enquanto que após o curso,

houve uma leve melhora, com algumas respostas favoráveis. Inicialmente obtivemos respostas do tipo:

É o material utilizado, ex. eletrodo de zinco ou de cobre (resposta de um participante para o questionário antes do curso)

Na qual se observa uma concepção alternativa, em que muitos consideram o eletrodo como sendo a própria placa metálica. Após o curso, já foi possível encontrar respostas mais completas e corretas:

É uma interface entre um condutor iônico e um condutor eletrônico gerando uma diferença de potencial (resposta de um participante para o questionário após o curso).

Também se observa uma melhora na questão 5 (definição de pilha), inicialmente as respostas consideradas favoráveis equivaliam-se às consideradas desfavoráveis. Após o curso, esse cenário mudou e as respostas favoráveis aumentaram. No questionário inicial verificamos respostas do tipo:

Dispositivo que conduz elétrons (resposta de um participante para o questionário antes do curso).

Enquanto no final do curso já se pode notar respostas mais completas, onde o participante se utiliza de termos científicos para definir pilha:

É uma célula galvânica onde o processo é espontâneo, com ΔE maior que zero (resposta de um participante para o questionário após o curso).

Da mesma forma, para definição de célula eletrolítica (questão 6), inicialmente 8 participantes deixaram a questão em branco e os que responderam, apresentaram respostas do tipo: “pilha” ou “armazena energia”. Após o curso, observa-se que todos os participantes tentaram definir célula eletrolítica, muitos com respostas corretas, o que aumentou a quantidade de respostas favoráveis, como:

É um processo não espontâneo, onde é necessário fornecer energia para que a reação ocorra (resposta de um participante para o questionário após o curso).

A questão 8 (o que se entende por f.e.m.) inicialmente apresentou um número alto de respostas desfavoráveis como, por exemplo:

É a força que movimenta os elétrons de um ponto a outro (resposta de um participante para o questionário antes do curso).

Após o curso, esse perfil alterou, passando a ter mais respostas consideradas favoráveis:

É a tensão máxima que uma pilha pode fornecer (resposta de um participante para o questionário após o curso).

Após a realização do curso, observaram-se algumas mudanças em relação à compreensão e à assimilação do conteúdo e ficou ressaltada a importância da experimentação no ensino de eletroquímica. Entretanto, existem alguns conceitos que não foram bem assimilados e que os professores participantes ainda apresentam dificuldades como, por exemplo: eletrodo; célula galvânica; célula eletrolítica; corrente elétrica e força eletromotriz.

De modo geral, de acordo com a Figura 46, pode-se perceber que houve um aumento da quantidade de respostas corretas ao se compararem os dois momentos. Além disso, verifica-se uma diminuição das respostas erradas e a porcentagem de questões não respondidas foi reduzida em quase 80%.

Figura 46 - Porcentagem de respostas ao questionário antes e após o curso de formação continuada
Nota: C=Correta; PC=Parcialmente Correta; E=Errada; NR=Não Respondida

Vale ressaltar que, afirmar que houve melhora dos conceitos é uma afirmação superficial, pois, os professores vieram para o curso durante cinco dias seguidos e estavam em contato com o conteúdo todos esses dias, então, era de se esperar que conseguissem responder de forma mais positiva ao questionário no final do curso. Para se obter um diagnóstico mais apurado, seria prudente acompanhar esses professores após um tempo da realização do curso, para verificar se realmente houve uma compreensão dos conteúdos trabalhados. De qualquer forma, esse diagnóstico serviu para apontar conceitos que ainda devem ser melhor trabalhados e também apontar a necessidade da realização de um curso de formação continuada com maior duração, onde esses conteúdos poderiam ser abordados de modo mais apropriado. Com esse curso, foi possível descobrir possíveis pontos fracos e problemas em potencial, para que sejam resolvidos antes da implementação do curso de formação continuada.

4.1.4 Contribuições da formação de professores em contextos internacionais

Nesta parte do texto descreve-se a pesquisa realizada na Universidade de Bremen, na Alemanha, que teve como principal objetivo investigar o PCK em professores de Química alemães ao longo de sua formação inicial e continuada. Uma vez que as discussões e estudos sobre a adoção do PCK na formação de professores ainda são escassos no contexto brasileiro, optou-se por aprofundar as reflexões nessa área com o apoio de um grupo de pesquisa e uma orientação específica sobre este tema.

4.1.4.1 Formação de professores na Alemanha

A formação de professores alemães consiste em duas fases, a primeira delas ocorre na universidade e é dividida em duas seções: Bacharelado (seis semestres) e Mestrado em Educação (quatro semestres). O segundo acontece em uma instituição de formação de professores com um programa de estágio (*Referendariat* em alemão) (principalmente dezoito meses) (Cortina & Thames, 2013).

Tanto o Bacharelado (BSc) como o Mestrado em Educação (MEd) incluem o estudo de conteúdo específico de duas disciplinas escolares e cursos adicionais em educação e psicologia. Futuros professores estudam ambas as disciplinas na mesma medida e podem decidir em quais deles irão escrever suas dissertações de mestrado e bacharelado. O programa de estágio inclui a observação de outros professores em serviço, o ensino sob a supervisão de professores experientes e o ensino independente. Nesta fase, os alunos são obrigados a lecionar 12 horas por semana em suas duas disciplinas escolares. Além disso, os alunos assistem semanalmente ao seminário de pedagogia e dos conteúdos específicos. Na maioria das cidades alemãs, os seminários específicos são alternados quinzenalmente entre as duas disciplinas escolares.

Durante a formação inicial, os conteúdos relacionados ao conceito de reações redox são ensinados principalmente durante os cursos de bacharelado como Química geral, química inorgânica e físico-química e os conteúdos relacionados aos componentes do PCK são

ensinados principalmente durante os cursos de BSc e MEd como *Fachdidaktik* 1 e *Fachdidaktik* 2⁹.

Em relação às escolas secundárias na Alemanha, existem tradicionalmente três tipos de acordo com as formas de preparação: *Hauptschule*, *Realschule* e *Gymnasium* (Cortina & Thames, 2013; Risch, 2010). A *Hauptschule* enfatiza uma educação prática e não acadêmica. O *Gymnasium* é mais dedicado a uma formação acadêmica onde os alunos se formam após o 12º ano com o *Abitur*, o que lhes permite estudar em uma universidade alemã. A *Realschule* é uma composição entre a *Hauptschule* e o *Gymnasium*. Depois do 10º ano, os alunos da *Realschule* tradicionalmente entram em um programa de aprendizado de 3 anos que combina prática com instrução teórica.

No nível secundário, os conteúdos relacionados ao conceito de reações redox são ensinados, na maioria das cidades alemãs, a partir do 7º ano. No 7º e 8º anos, supõe-se que as reações redox sejam ensinadas em termos de extração de metais, combustão de metais e reações com a transferência do átomo de oxigênio. No 9º ano, as reações redox são explicadas como reações entre doadores e receptores de elétrons. A partir do 10º ano, o conceito redox é estendido às reações eletroquímicas (Landesinstitut für Schule, 2006).

Em relação à formação continuada, os cursos oferecidos eram pontuais e de curta duração, ocorridos em apenas um período (manhã ou tarde).

4.1.4.2 O desenvolvimento do PCK sobre conceitos relacionados a reações redox no contexto alemão

Neste estudo, investigou-se como o PCK dos professores alemães variam entre as diferentes fases da formação de professores: desde o início de seus estudos universitários até a fase em serviço de suas carreiras (Goes, Fernandez, & Eilks, 2018). O questionário sobre o ensino de reações redox foi respondido por 62 participantes e 12 deles concordaram em participar de uma entrevista.

De acordo com a Tabela 18, a maioria dos participantes (33) tinha menos de um ano de experiência docente, quinze professores tinham entre 1 a 5 anos de experiência, dois entre 6 e 10 anos, cinco entre 11 e 20 anos e sete professores com mais de 20 anos de experiência.

⁹ O termo alemão *Fachdidaktik* é difícil de traduzir devido a diferenças linguísticas e culturais (van Dijk & Kattmann, 2007). Ele lida com todos os domínios da educação química a partir de uma perspectiva teórica e prática.

Dez nunca ensinaram reações redox antes. A maioria dos participantes (38) atualmente ensina (ou já ensinou) conteúdos relacionados a reações redox. Dos 24 professores em serviço, apenas um nunca ensinou esse conteúdo.

Tabela 18 – Perfil dos professores e futuros professores alemães participantes do estudo

Nível da Carreira	N (%)	Anos de experiência	N (%)	Experiência com o ensino de reações redox	N (%)
Bacharelado	14 (22%)	Sem experiência	8 (57%)	Sim	3 (21%)
		< 1 ano	6 (43%)	Não	11 (79%)
Mestrado em Educação	11 (18%)	Sem experiência	2 (18%)	Sim	3 (27%)
		< 1 ano	9 (82%)	Não	8 (73%)
Estágio	13 (21%)	< 1 ano	8 (62%)	Sim	9 (64%)
		1 – 5 anos	5 (38%)	Não	4 (29%)
Em serviço	24 (39%)	1 – 5 anos	10 (42%)	Sim	23 (96%)
		6 – 10 anos	2 (8%)		
		11 – 20 anos	5 (21%)	Não	1 (4%)
		Mais de 20 anos	7 (29%)		

A partir dos dados analisados, não foi possível chegar a nenhuma inferência com relação a orientação para o ensino de ciências e o conhecimento de avaliação, no sentido de analisar as diferenças entre os componentes do PCK. No entanto, em relação aos outros três componentes, foram observadas algumas diferenças. Umas mais sutis, como no caso do conhecimento do currículo, e outras são mais marcantes, como no caso do conhecimento de estratégias.

Com relação ao conhecimento do currículo, observou-se que os professores menos experientes conhecem vários aspectos do plano teórico, mas os professores experientes são capazes de diferenciar e classificar tópicos relacionados a reações redox do mais importante para o menos importante. Além disso, os professores em serviço explicaram melhor a relação das reações redox com os outros conceitos presentes no currículo. Quando os estudantes de bacharelado, com suas experiências limitadas de apenas alguns estágios, foram questionados sobre a sequência de ensino em relação ao conteúdo das reações redox, eles mostraram uma falta de conhecimento dos programas que são relevantes para ensinar reações redox:

Eu não tenho certeza do que eles aprenderam antes. Estou começando com o meu 8º ano. Eu estou começando a oxidação do jeito mais fácil, no qual falo sobre a reação do metal com o oxigênio. Isto é o que eu faço. Eu comecei agora mesmo. Hoje fiz a reação do ferro mais oxigênio (estudante de bacharelado A).

Este estudante de bacharelado não conhece os conceitos que os alunos aprenderam anteriormente, também não forneceu mais detalhes sobre o que os alunos aprenderão em seguida. No exemplo a seguir, similar à citação acima, o aluno relatou apenas o que faz, sem fornecer mais informações, mesmo quando questionado em que ponto do curso as reações redox devem ser ensinadas:

No oitavo ano você tem que ensinar metais, como ferro e cobre, e algo assim. E o que acontece quando você coloca na água. É assim que começo a reação redox no oitavo ano, mas não a chamamos de reação redox. Nós chamamos isso de metal e oxigênio (estudante de bacharelado B).

Os alunos de mestrado e professores em estágio também não mostraram confiança ao longo das entrevistas quando falaram sobre o conhecimento necessário para o ensino de reações redox, mas listaram mais conceitos:

Talvez eles [alunos] precisem conhecer a tabela periódica. Eles precisam saber sobre íons e reações químicas. É bastante necessário conhecer o básico sobre reações redox (estudante de mestrado A).

Eles [alunos] devem saber a configuração da camada eletrônica. Eles devem conhecer a tabela periódica, os grupos e as famílias, e eles já devem conhecer a regra do octeto (estudante de mestrado B).

Talvez eles tenham que entender o modelo atômico porque, então, eles sabem o que acontece durante as reações redox. Talvez o conceito das palavras cátions e ânions, talvez isso seja importante no nono ano (professor em estágio A).

Professores em serviço expressaram mais seus conhecimentos sobre currículo. No questionário, justificaram que a sequência pode mudar de acordo com as dificuldades e aprendizado de seus alunos:

O planejamento também inclui diagnósticos de processo, o que influencia o ensino subsequente (professor em serviço 20).

Às vezes você tem que mudar o planejamento espontaneamente quando ocorrem dificuldades de aprendizagem (professor em serviço 23).

Além disso, durante as entrevistas, professores em serviço falaram sobre esse tópico com mais certeza e conseguiram fornecer mais detalhes sobre como o conteúdo das reações redox são ensinados ao longo dos anos em diferentes níveis e apontaram alguns conteúdos de que os alunos precisam antes de aprender reações redox:

Eles [alunos] precisam saber sobre a tabela periódica, eles precisam saber sobre os grupos na tabela periódica, como eles estão, porque o primeiro grupo é o primeiro grupo, quantos elétrons eles têm. Eles precisam saber sobre modelos, então precisam saber sobre diferentes configurações eletrônicas. Eu não sei se eles chamam de camada, mas você sabe o que quero dizer. Então, eles podem realmente prever como ocorre uma reação de

redução. Então, esse é o básico que eles precisam saber (professor em serviço E).

Algo sobre números de oxidação. Eu acho que é obrigatório entender, quero dizer, não é obrigatório entender, mas aprender as reações redox em detalhes. Em detalhes significa com equações de reações. Quero dizer, você também pode ensinar a maneira qualitativa que significa que você pode ver que existem diferenças entre antes e depois e então você vê uma reação, mas você não pode descrevê-la. Se você quiser descrevê-la, você tem que fazê-la com equações de reação, então você precisa dos números de oxidação. E, claro, como ler equações de reação. No nono ano, ensinamos a estrutura atômica, íons e sais. No décimo ano, ensinamos reações ácido-base. No décimo primeiro ano, você pode ir mais longe, porque até o décimo ano você tem alguns alunos que saem da escola. Isso significa que eles farão trabalhos simples. Porque nós temos três níveis diferentes que você pode alcançar. Se você quer ensinar Química na 10ª série, você tem todos os três grupos juntos (professor em serviço F).

Os professores em serviço conectam o conteúdo das reações redox com o que é representado no currículo. Eles acreditam que há certos tópicos que os alunos devem conhecer antes de iniciar o aprendizado sobre as reações redox para facilitar sua compreensão. Além disso, um professor reconheceu que até o 10º ano (correspondente ao primeiro ano do ensino médio no Brasil), há alunos com diferentes perspectivas educacionais na mesma sala de aula e é importante pensar sobre o conteúdo e a maneira de ensiná-lo para os vários alunos.

Com relação ao conhecimento dos estudantes, foi possível identificar que, em geral, os professores e futuros professores conhecem algumas das concepções e dificuldades dos alunos em relação ao conceito de reações redox. A diferença observada foi na capacidade dos professores em serviço de usá-los na sala de aula. Tanto os estudantes de bacharelado como os de mestrado não comentaram suas respostas sobre as dificuldades dos alunos no questionário, mas durante as entrevistas, eles puderam fornecer mais detalhes sobre os obstáculos comuns relacionados às reações redox:

Começamos no oitavo ano com a reação de ferro ou cobre com oxigênio. Eu não concordo com a nossa escola. Porque esse é o começo de um pensamento errado, ou algo assim. Eu não concordo com isso, mas tenho que fazer isso por causa da escola (estudante de bacharelado B).

A maioria dos estudantes acha que o oxigênio precisa fazer parte das reações redox. E quando eles veem uma reação sem oxigênio, pensam ou dizem diretamente que isso não pode ser uma reação redox. Os alunos não pensam nas outras partes que são importantes. E quando você fala sobre reações redox, na maioria das vezes a redução está faltando e o foco está na oxidação (estudante de mestrado A).

Eu acho que, no sétimo ano, eles aprendem que a oxidação é um metal que reage com o oxigênio. E acho que isso é realmente confuso. Eu ensinaria isso depois. Então, você poderia dizer que a oxidação do nome vem da primeira reação redox que foi descrita ou descoberta. Então, acho que é

importante mencionar isso depois. Quando você faz isso, metal e oxigênio, você explica que o metal sofre oxidação, mas eles não aprendem nada sobre redução. E depois eles aprendem a redução. Então, acho que é confuso. Mas, de qualquer maneira, minha opinião não importa, porque está no currículo oficial (estudante de mestrado B).

Equívoco com a teoria do oxigênio em nosso planejamento. Então, estamos discutindo isso e é interessante que somos cerca de cinco professores de Química aqui. Todo mundo faz isso à sua maneira e há alguns professores que dizem: "Eu estou ensinando isso da maneira antiga, então estou dizendo que reações redox acontecem com o oxigênio" e um ano depois eu tenho que dizer: "oh, há novas teoria e com elétrons" (professor em serviço A).

Você tem esse conflito com o oxigênio. Você sabe o que acontece com o oxigênio. Na maioria das vezes sabemos o que outros colegas estão fazendo aqui. Na maioria das vezes, a coisa mais difícil é que todos se concentram apenas na reação de oxigênio e oxigênio com alguma coisa (professor em serviço B).

Todos eles mencionam a mesma fonte de problemas: a compreensão de que uma reação redox é definida como uma perda ou um ganho de oxigênio (Österlund et al., 2010). Os professores concordam que iniciar com essa explicação não é uma boa abordagem. No entanto, não mudam seu modo de ensinar, porque sentem a necessidade de seguir o currículo oficial e ensinar de acordo com o que os professores de outras escolas geralmente estão lecionando.

Da mesma forma que a literatura aponta, professores experientes mostraram mais conhecimento sobre estratégias instrucionais (Schneider & Plasman, 2011; van Driel, et al., 1998). As justificativas dos professores em serviço sobre as estratégias utilizadas são mais detalhadas e esses foram capazes de justificar quando e por que não usam estratégias diferentes. Nas entrevistas, os estudantes de bacharelado afirmaram que uma estratégia apropriada é trabalhar com experimentos para motivar os alunos:

Eu quero motivá-los e estimulá-los sobre Química (estudante de bacharelado A).

Eu mostraria a eles algumas experiências talvez do que eles têm que saber, talvez. E, então, eu perguntaria algumas coisas sobre isso e, então, eu começaria. No entanto, não sei exatamente como. Eu quero motivar os alunos a pensar sobre isso (estudante de bacharelado B).

Os alunos de mestrado e professores em estágios forneceram outros exemplos além da experimentação:

Eu uso mais do que apenas o quadro branco. Mas gosto de usar cores diferentes porque ajuda os alunos. Não tenho certeza se os vídeos são bons. Mas gosto de permitir que os alunos façam seus próprios vídeos e tentem explicar o conteúdo. Eu também escolho algumas experiências para explicar o conteúdo (estudante de mestrado B).

Eu começaria com um pequeno experimento para motivar os alunos. Por exemplo, queimando alguns metais, então você tem reações redox, então você pode explicar e descrever o que eles viram. Se às vezes uma experiência não funcionar, você pode usar o vídeo para mostrá-la aos alunos. Mas eu não gosto de vídeos do *YouTube*, porque na maioria das vezes eles não explicam o conceito da maneira certa. Animações também são muito legais. Temos computadores e *tablet* na escola. E, então, os alunos podem trabalhar com essa técnica e visualizar o que está acontecendo durante as reações redox. A transferência de elétrons pode ser mostrada durante as animações. Se você explicar apenas com duas fotos, por exemplo, talvez os alunos não saibam o que acontece. Eu acho que essa estratégia pode ajudar os alunos a entender isso (professor em estágio A).

Eu começo a ensinar reações redox com uma história em quadrinhos. É sobre cobre e oxigênio. Eu começo com os quadrinhos para fazer uma pergunta “o que acontece?” E os alunos precisam pensar sobre isso. Em seguida, fazemos o experimento e os alunos respondem à pergunta no final do experimento (professor em estágio B).

A experimentação foi a estratégia mais mencionada por todos os grupos, no entanto, os professores em serviço sugerem usar a experimentação em uma abordagem mais investigativa:

Eu prefiro experimentação. Um experimento de demonstração. Eu mostro este experimento, ou eu dou um experimento que podemos discutir para a hipótese: “o que acontecerá nesse experimento?” E então faremos as conclusões. Eu, às vezes, uso pequenos filmes para mostrar ou às vezes trabalhamos com alguns textos. Nós não trabalhamos sempre com um livro de Química, em nossa escola, nem todo aluno tem seu próprio livro de Química. Nós não temos tantos livros, então podemos dar a eles algumas vezes na classe, então fazemos alguns exercícios (professor em serviço A).

Além de reconhecer a importância do uso de experimentos, os professores em serviço também demonstram o conhecimento de outras estratégias para o ensino de reações redox:

Eu mostro um experimento onde é possível mostrar que ambas as reações acontecem juntas. Eu tento usar tantas coisas diferentes quanto possível. Livros didáticos, experimentos, ver o que acontece através de vídeos ou vídeos feitos por eles mesmos. Tanto quanto possível. Se você acabou de ler o livro, às vezes eles não entendem e quando você usa coisas diferentes eles dizem “Sim! Fácil! Agora eu entendo”. A maioria das coisas diferentes também não funciona apenas com o livro didático. Você pode trabalhar em grupos e depois eles podem explicar um para o outro. Às vezes, eles têm medo de fazer perguntas ao professor, quando trabalham em grupos, podem perguntar aos colegas (professor em serviço C).

Eu uso tudo. Eu sou amigo de experimentos. Não apenas experimentos de demonstração, mas também experimentos conduzidos pelos alunos. Caso contrário, é até mesmo muito chato para mim quando você só usa a lousa. No entanto, não podemos apenas fazer experimentos. Mas, também, usamos vídeos, por exemplo, especialmente se você não puder realizar o experimento porque você não tem os reagentes ou se é muito perigoso fazer isso aqui. Além disso, vídeos sobre como ele reage em um nível atômico. Eu

acho que a combinação de tudo. As pessoas são diferentes, a maioria dos alunos gosta de experiências, mas há alunos que não gostam disso. Alguns alunos podem aprender um pouco mais rápido se lerem, alguns podem aprender mais rápido se virem. Então, se você combina estratégias diferentes, você tem ofertas diferentes para todos (professor em serviço F).

Com relação ao conhecimento da avaliação, observou-se nos questionários que, em geral, os participantes não conseguiram dar qualquer justificativa para a questão relacionada à avaliação do entendimento dos alunos, e referiram-se apenas aos métodos de avaliação geral:

Eu posso usar testes, portfólios, trabalhos em grupo, entre outros. Desta forma, pontos fortes e fracos também são identificados individualmente (estudante de bacharelado 4).

O progresso da aprendizagem dos alunos também deve ser levado em conta (estudante de mestrado 7).

Por exemplo, usando pequenos testes e/ou discussões individuais ou em pequenos grupos durante o planejamento do trabalho (estudante de mestrado 4).

Eu uso desenhos, por meio dos quais eu diagnostico a aprendizagem do aluno; também, mapas conceituais são usados para descrever o progresso da aprendizagem (professor em serviço 9).

Há muito material de diagnóstico que pode ser usado para determinar anonimamente o nível de competência de cada aluno. Antes, durante e depois (professor em serviço 12).

Testes orais, testes escritos, observando o comportamento dos alunos (professor em serviço 14).

Devolutiva, participação, pesquisas, testes e trabalho em sala de aula (professor em serviço 16).

Durante as entrevistas tentou-se obter mais informações sobre o conhecimento da avaliação, entretanto, a maioria dos participantes estava familiarizada apenas com a avaliação tradicional:

Fazemos provas escritas, mas estou considerando testes, mais testes, que são muito curtos, mas eu posso ver quantos alunos têm problemas e quantos não têm. Mas não estou completamente certo sobre esse método (estudante de bacharelado A).

Algumas perguntas ou teste escrito ou você pode usar algumas fotos relacionadas ao fenômeno, e fotos com alguns pequenos detalhes e os alunos precisam saber qual imagem está relacionada a qual fenômeno (estudante de mestrado A).

Normalmente, fazemos alguns exercícios sobre o conteúdo, eles fazem alguns exercícios em casa e fazemos uma prova escrita (professor em estágio B).

Teste escrito. Então você vê o que eles entenderam ou não. Bem, eles têm que fazer um teste escrito, porque faz parte da avaliação deles no final do

semestre. Então, eles recebem uma devolutiva porque recebem o teste de volta, têm que fazer a correção e é isso (professor em serviço B).

Conforme identificado no questionário, futuros professores e professores em serviço sugeriram usar provas escritas para avaliação. Além disso, a partir dos excertos acima, observou-se que a maioria dos exemplos dados são relacionados a conhecimentos pedagógicos gerais, em vez de conhecimento de avaliação de um conteúdo específico. Isso ficou claro durante as entrevistas:

Sim, eu avalio a compreensão dos meus alunos. Mas acho que isso é o mesmo para todas os conteúdos. Sempre pergunto, no final do conceito, o que eles entenderam e, se entenderem, tento aprofundar o conteúdo ou, se não entenderam, eu explico de outra forma, de uma forma diferente (professor em estágio A).

Teste escrito. Um é obrigatório. Um teste escrito em meio ano. Eu não sou fã de pequenos testes, devido ao fato de que eles [alunos] têm vários testes em vários assuntos. Eu quero evitar que eles fiquem aborrecidos com o assunto da Química. E, se você faz muitos testes, eles realmente não gostam mais desse assunto. Eles fazem planilhas, alguns alunos têm que apresentar e digamos, esse é um teste pequeno e eu faço isso regularmente. Não é um teste onde você tem que escrever e todo aluno recebe uma nota. Isto é o que quero dizer com teste. Mas, é claro, se eles apresentam algo, trabalham em grupo, estão sempre sendo avaliados. No final, costumo fornecer uma devolutiva. E eles também têm a opção para me avaliar (professor em serviço F).

Esse estudo foi importante para reforçar a ideia de que a experiência pode influenciar o desenvolvimento do PCK. No entanto, somente com esse estudo, não se pode afirmar com certeza que a experiência é o único fator determinante, pois as diferenças encontradas neste estudo podem ser devidas a outros aspectos. Assim como apontadas na revisão teórica dessa tese, o desenvolvimento do PCK pode estar relacionado com diversos fatores: reflexão sobre práticas de ensino, experiência de ensino, programas de desenvolvimento profissional, supervisão de um tutor, conhecimento da compreensão dos alunos. Nesse sentido, Kind (2009) identifica três fatores comuns que parecem contribuir para o crescimento do PCK: i) possuir um bom conhecimento do tema; ii) experiência em sala de aula; iii) possuir atributos emocionais como a autoconfiança pessoal. Em uma análise mais ampla, quando a complexidade do PCK é considerada, podemos estabelecer que quando um componente do conhecimento se desenvolve, ele pode influenciar o desenvolvimento dos outros. Por exemplo, se um determinado professor desenvolve o conhecimento do currículo, isso pode influenciar outras categorias, como o conhecimento do entendimento do aluno.

A primeira fase da formação de professores parece desempenhar um papel particularmente importante no desenvolvimento do conteúdo e a experiência parece contribuir

para o desenvolvimento do PCK. Futuros professores podem se beneficiar das oportunidades durante as aulas que planejam, conduzem e avaliam. Assim, a formação inicial de professores deve oferecer mais oportunidades para obtenção de experiências práticas. Os futuros professores em Bremen, no entanto, têm estágios escolares e lecionam ao mesmo tempo, mas essas são experiências únicas em determinados tópicos. A questão a ser feita é se deve se intensificar os períodos de estágios ao longo da formação inicial. Seria importante, no entanto, questionar se isso, por sua vez, levaria a uma perda na preparação de conhecimento de conteúdo, base para o desenvolvimento do PCK. Assim, o investimento em programas de desenvolvimento profissional contínuo com foco no conteúdo específico, por exemplo, de reação redox pode ser uma solução para acompanhar o desenvolvimento do PCK com base na experiência prática.

Existem algumas limitações desse estudo. Os resultados são baseados em um estudo de nível cruzado, portanto, interpretações causais sobre a mudança individual do conhecimento do professor não são garantidas. Pesquisas futuras devem ser baseadas em uma abordagem de estudo longitudinal para abordar essas limitações e para entender melhor como ocorre o desenvolvimento do PCK aos longos dos anos. No entanto, um desenho longitudinal não teria sido viável, pois teria que passar décadas para refletir o desenvolvimento sobre as diferentes fases da carreira docente. Nesse estudo, foi possível investigar as diferenças e semelhanças entre os futuros professores e professores em serviço.

4.2 MOMENTO 2: PLANEJAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO CURSO DE FORMAÇÃO CONTINUADA

4.2.1 O planejamento de um curso de formação continuada

Os resultados e as discussões apresentadas nos itens anteriores deste texto (4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3) subsidiaram o planejamento de um curso de formação continuada. A seguir, apresenta-se de que maneira os resultados obtidos influenciaram na elaboração do curso.

A literatura examinada destaca a importância do conteúdo de reações redox, principalmente pela interação com situações do dia a dia. A maior parte dos trabalhos analisados foca na aplicação desses conceitos e, também, nas questões ambientais envolvidas. Dessa forma, durante o curso, promoveram-se discussões sobre a importância do conteúdo redox, sua relação com fatos do cotidiano e as implicações ambientais decorrentes dos processos redox.

As dificuldades e concepções identificadas na literatura foram utilizadas para promover uma discussão com os professores participantes. Além disso, exemplos das dificuldades e concepções relatadas foram selecionados para exemplificar algumas das principais concepções alternativas de reações redox.

De acordo com a literatura investigada, a principal estratégia para desenvolver o conceito de reações redox é a experimentação, sendo que a experimentação com a utilização de materiais alternativos é a segunda categoria mais evidente em ambos os contextos (nacional e internacional). Levando em consideração que o público alvo seriam professores da rede pública do estado de São Paulo, e que a maioria das escolas carece de espaço físico e de reagentes para realizarem experimentação, os relatos e pesquisas em cima de materiais alternativos seria uma boa estratégia para apresentar aos professores e mostrar que é possível utilizar experimentação. Dessa forma, apropriou-se dessas estratégias apresentadas na literatura para propor alguns experimentos durante o curso.

A partir da análise crítica dos livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2015 e da proposta curricular de Química do Estado de São Paulo foi possível fazer uma explanação para evidenciar as principais características de cada livro didático, ressaltar

a consonância com os documentos oficiais, mostrar como o conceito de reações redox aparece ao longo dos livros didáticos, identificando a sequência didática e como os três níveis de representação da química são utilizados nas ilustrações sobre esse conceito.

Da análise dos questionários e do CoRe, pode-se observar que os professores possuem um PCK e até mesmo um conhecimento do conteúdo insuficiente sobre reações redox. Em relação ao conhecimento do conteúdo, foi possível verificar que os professores reconhecem suas limitações, mas, muitas vezes não identificam suas próprias dificuldades. Observou-se que alguns professores apresentam dificuldades consideradas básicas, por exemplo, em definir e reconhecer o agente redutor e o agente oxidante em uma reação química. Além disso, os professores não conseguem definir o que é eletrodo e muitas vezes têm dificuldades em diferenciar célula galvânica de célula eletrolítica. Por essa razão, optou-se por abordar esses conceitos, inclusive conceitos prévios de Química, relatados de dificuldade por alguns professores.

Com base na análise das respostas dos professores às vinhetas e da investigação de práticas educativas sobre o conteúdo de reações redox pode-se verificar estratégias instrucionais normalmente adotadas para abordar esse conteúdo, tais como: demonstrações; experimentação; explicações através de exemplos e comparações; narrativas; simulações; além da utilização de exercícios. Essas estratégias serviram como apoio para o planejamento do curso. Isso se faz importante pois, a maioria dos professores foca apenas em aulas expositivas e em exercícios numéricos. Mesmo em uma aula expositiva, podem-se agregar outros recursos estratégicos, como as narrativas e exemplificações. Além de fornecer essas estratégias ao longo do curso, o objetivo foi instigar a reflexão dos professores sobre cada estratégia, o porquê utilizá-las e o objetivo esperado com elas.

Sendo assim, foi possível planejar um curso de formação continuada com o objetivo principal de suprir possíveis dificuldades dos professores em relação ao ensino de reações redox e fornecer subsídios para que esses pudessem desenvolver o conhecimento do conteúdo e o conhecimento pedagógico do conteúdo sobre reações redox.

4.2.2 Implementação da intervenção piloto

A primeira implementação do curso foi considerada uma intervenção piloto e foi oferecida no segundo semestre de 2016 em parceria com a Diretoria de Ensino Zona Norte 2. O curso foi intitulado: “A Química por meio da experimentação: propostas para o ensino de reações redox” e o objetivo principal foi proporcionar o desenvolvimento profissional de professores de Química do Ensino Médio. Como objetivos específicos tiveram-se:

- Promover reflexões sobre a experimentação no ensino de Química.
- Discutir as dificuldades de professores do ensino médio em relação ao ensino de reações redox.
- Discutir de que forma esse conteúdo é abordado por esses professores em termos de estratégias instrucionais, materiais curriculares utilizados, formas de avaliação, dificuldades dos seus alunos.
- Discutir práticas educativas em relação ao desenvolvimento desse conteúdo em sala de aula.

O curso compreendeu uma carga horária total 36 horas, sendo 30 horas presenciais divididas em 5 encontros, com duração de 6 horas cada, e 6 horas à distância em um ambiente virtual de aprendizagem, onde foram compartilhados semanalmente artigos científicos para instigar a discussão entre os professores participantes com relação aos conceitos referentes a reações redox. As atividades previstas estão descritas no Quadro 17.

Quadro 17 - Visão geral das ações e dos objetivos previstos para cada encontro da intervenção piloto

(Continua)

	Ações previstas	Objetivo geral das ações
1º Encontro	Apresentação dos ministrantes e dos objetivos do curso	Construir um ambiente agradável de aprendizagem e facilitar a interação entre os agentes do curso
	Socialização	Conhecer os professores, suas motivações para a escolha do curso, interesses e expectativas sobre as reflexões que serão provocadas a partir do curso.
	Apresentação teórica sobre formação continuada, o conteúdo de oxirredução e o papel da experimentação	Apresentar aos professores a importância da formação continuada; sistematizar a importância do conteúdo de oxirredução e da experimentação no ensino de Química; discutir como esse conteúdo aparece nos documentos oficiais (LDB, Parâmetros Curriculares, Caderno do Estado de SP) e nos livros didáticos.

Quadro 17 - Visão geral das ações e dos objetivos previstos para cada encontro da intervenção piloto

(Conclusão)

	Ações previstas	Objetivo geral das ações
1º Encontro	<u>Atividade 1 – Planejamento de um plano de aula</u>	Propor que os professores elaborem um plano de aula para o assunto de eletroquímica.
	<u>Atividade 2 – Levantamento sobre o ensino de eletroquímica</u>	Propor que os professores respondam ao questionário CoRe.
2º Encontro	<u>Atividade 3 – Experimento envolvendo reações redox</u>	Demonstrar algumas reações redox.
	Apresentação teórica sobre reações redox	Apresentar aos professores o conceito e definição de reações redox; analisar criticamente cada um dos modelos conceituais.
	<u>Atividade 4 – Exercícios sobre representação química</u>	Propor que os professores representem algumas transformações químicas na forma de equações iônicas.
	Discussão de artigo científico	Discutir com os professores um artigo científico que aborda uma metodologia para o ensino de oxirredução
3º Encontro	<u>Atividade 5 – Experimento sobre natureza elétrica de substâncias puras e em solução</u>	Determinar a condutividade elétrica de substâncias puras em diferentes estados físicos
	Apresentação teórica sobre soluções eletrolíticas	Apresentar aos professores o conceito e definição de soluções eletrolíticas; discutir quais substâncias produzem soluções eletrolíticas
	<u>Atividade 6 – Experimento sobre Série de Reatividade Eletroquímica</u>	Demonstrar algumas reações redox que envolvem vários metais e íons metálicos. Determinar as forças relativas dos metais como agentes redutores e dos íons metálicos como agentes oxidantes.
	Apresentação teórica sobre reatividade eletroquímica	Apresentar aos professores o conceito de potencial de eletrodo; diferenciar processos espontâneos e não espontâneos.
4º Encontro	Discussão de artigo científico	Discutir com os professores um artigo científico que aborda as dificuldades e as concepções alternativas dos alunos sobre o conteúdo de oxirredução
	<u>Atividade 7 – Experimento sobre Pilhas e Eletrólise</u>	Construção e determinação de ddp de pilhas; construção da pilha de Daniel; construção da pilha de Daniel e realização de eletrólise
	Apresentação teórica sobre pilhas e eletrólise	Apresentar aos professores o conceito de pilhas e eletrólise; diferenciar esses dois processos.
5º Encontro	<u>Atividade 8 – Reavaliando o planejamento elaborado na atividade 1, realizada no primeiro momento.</u>	Oferecer aos professores a oportunidade de reavaliar as sequências didáticas elaborados na atividade 2, considerando os pressupostos apresentados durante o curso.
	<u>Atividade 9 – Verificação da aprendizagem</u>	Os professores vão responder ao questionário CoRe para se verificar os indícios de aprendizagem.
	Avaliação coletiva do curso de formação continuada.	Discutir com os participantes sobre o curso e sobre possíveis sugestões de melhoria

4.2.2.1 Perfil dos participantes da intervenção piloto

No total, dez professores participaram da intervenção piloto, contudo, apenas nove professores estiveram presentes nos cinco encontros e realizaram as atividades referentes à coleta de dados (questionário CoRe e plano de aula - PA). De acordo com a Figura 47, sete participantes possuíam ensino superior completo e dois possuíam pós-graduação completa. Três se formaram apenas no bacharelado em Química e seis são formados em licenciatura em Química, sendo que quatro deles também concluíram o bacharelado.

Figura 47 – Perfil dos participantes da intervenção piloto quanto à formação

A partir da Figura 48, observa-se que todos os participantes atuam somente no ensino médio, sendo que todos trabalham na rede pública de ensino. Dos nove professores, seis lecionam somente Química, dois lecionam Química e Física e um leciona Química e Matemática. Em relação ao tempo de atuação como professor, a maioria apresentava mais de 5 anos de experiência, sendo dois professores com 6 a 10 anos, quatro com 11 a 16 anos, e dois com mais do que dezessete anos de experiência. Todos ensinam (ou já ensinaram) conceitos relacionados às reações redox.

Figura 48 – Perfil dos participantes da intervenção piloto quanto à atuação

4.2.2.2 Limitações da intervenção piloto

Ao comparar o momento inicial (CoRe1 + PA1) com o momento final (CoRe2 + PA2) da intervenção piloto, observa-se mais manifestações dos componentes do PCK no momento final. No último dia do curso evidenciaram-se mais indícios das orientações dos professores e de seus conhecimentos das dificuldades dos alunos. De acordo com a Tabela 19, observa-se que houve um aumento de manifestações específicas para o conteúdo de reações redox entre o início e o final da intervenção.

Tabela 19 - Segmentos codificados em relação aos componentes do PCK na intervenção piloto em dois momentos distintos

Componentes do PCK	Início	Final
Avaliação - geral	7	5
Avaliação - específico	1	3
Dificuldades - geral	3	4
Dificuldades - específico	2	10
Estratégia - geral	7	4
Estratégia - específico	2	7
Orientação - centrado no professor	4	10
Orientação - centrado no aluno	0	1

O componente do PCK com mais codificações no final da intervenção piloto refere-se às dificuldades. Observa-se que a intervenção contribuiu para uma melhora do

conhecimento dos professores participantes das dificuldades dos estudantes sobre o conteúdo redox. Entretanto, não foi identificada manifestação referente ao conhecimento das concepções dos alunos sobre esse conteúdo. Outro componente que apresentou um aumento no número de segmentos codificados foi referente às orientações para o ensino de ciências. Apesar da intervenção piloto colaborar para que os professores expressassem mais seus objetivos de ensino, suas orientações, em sua maioria, ainda estão centradas no professor.

De acordo com a Tabela 20, no primeiro plano de aula, os professores consideraram em sua elaboração somente os conceitos químicos e as estratégias de ensino adotadas. Apenas um professor citou aspectos sobre avaliação. Por outro lado, no segundo plano de aula, todos professores indicaram os conceitos e as estratégias, dois professores manifestaram seus objetivos educacionais e as dificuldades dos estudantes. Em relação à avaliação, sete professores a consideraram na elaboração do segundo plano de aula.

Tabela 20 - Aspectos considerados na elaboração dos planos de aula durante a intervenção piloto pelos nove professores de Química

Aspectos	PA1	PA2
Conceitos	8	9
Objetivos	0	2
Dificuldades dos estudantes	0	2
Estratégias	4	9
Avaliação	1	7

Apesar das manifestações específicas terem aumentado, não se observou uma integração dos componentes do PCK no momento de reelaboração do plano. Conforme a Tabela 20 observa-se que somente dois professores consideraram as dificuldades dos estudantes no plano de aula 2, e mesmo tendo considerado, não justificam as estratégias adotadas com base nessas dificuldades. Além disso, somente dois professores explicitaram seus objetivos de ensino na elaboração do plano de aula. Independentemente de nas respostas ao questionário CoRe ser possível identificar aspectos relacionados às orientações e dificuldades, os professores não utilizam esses conhecimentos em suas práticas.

Algumas dificuldades dos professores com relação ao conteúdo puderam ser observadas ao longo dos encontros. Na aula de soluções eletrolíticas, quando questionados sobre o que aconteceu quando se adicionou o sal cloreto de sódio (NaCl)

na água, os professores não conseguiram explicar o fenômeno. Nesse sentido, dispõe-se no trecho abaixo a resposta de um dos professores:

O sal dissolve e abre os íons (P1 – Encontro 2).

Observa-se que o professor não consegue explicar a ionização do cloreto de sódio em água. Na continuidade da aula, ao retomar as questões de ligações químicas, quando se questionou o tipo de ligação existente na molécula de ácido clorídrico, um dos professores afirmou que:

Tem ligação iônica, por isso a lâmpada acendeu (P4 – Encontro 2).

A partir do excerto acima, observa-se a dificuldade do professor em diferenciar as ligações químicas e suas características. Durante a aula sobre reações entre metais e seus íons metálicos, após a experimentação, ao se discutir sobre as semirreações que foram observadas, os professores tiveram dificuldades em equacionar as semirreações e em explicar o fluxo de elétrons. Uma professora manifestou sua dificuldade:

Desde quando eu fui aluna eu sempre tive dificuldade, eu via essas semirreações, e depois as equações, aí eu pensava, nossa da onde surgia o sulfato, os livros não mostravam, eu ficava meio perdida. Até hoje, eu sinto dificuldade em explicar para os alunos o papel do sulfato na reação (P3 – Encontro 3).

Em outro encontro, abordando teoricamente a função da ponte salina, os professores não conseguiram elencar a principal função da ponte salina. Para os docentes, a única função da ponte salina é fechar o circuito.

Em vista dessas observações, acredita-se que a falta de integração dos componentes do PCK dos professores pode ser reflexo das lacunas no conhecimento do conteúdo, pois considera-se que esse conhecimento é um pré-requisito necessário para o desenvolvimento do PCK (Rollnick, et al., 2008).

4.2.3 Implementação do curso de formação continuada

Após a intervenção piloto, observou-se que apesar dos professores terem apresentado mais manifestações de seus conhecimentos relativos aos componentes do PCK, os mesmos não conseguiram utilizá-los no momento da reelaboração do plano de aula, ou seja, os professores não conseguiram integrar os componentes do PCK. Nessa perspectiva, decidiu-se abordar as concepções, as dificuldades e as estratégias aula a

aula e enfatizar que as estratégias devem ser selecionadas com o propósito de evitar as concepções e minimizar as dificuldades de um conceito específico. Por esse motivo, optou-se por modificar a sequência e construir todo o curso tendo como base o tópico de células galvânicas. Ao selecionar um único tópico, células galvânicas, é possível separar alguns dos conceitos relacionados ao tópico, por exemplo, soluções eletrolíticas, reações redox e ponte salina, e abordar as concepções, as dificuldades dos estudantes e as estratégias de ensino para cada um desses conceitos. Além disso, optou-se por elaborar o curso somente sobre células galvânicas em detrimento das células eletrolíticas pois, com foco em um tópico específico é possível discutir com mais profundidade esse determinado tópico e suprir possíveis deficiências no conhecimento do conteúdo. Também, decidiu-se trabalhar com encontros quinzenais, ao invés de semanais, e implementar atividades para serem realizadas entre os encontros presenciais, pois, dessa forma, além dos professores poderem estar em contato frequentemente com o conteúdo por um tempo maior, também é possível identificar as concepções e dificuldades que eles apresentam em relação ao conteúdo nas atividades desenvolvidas entre os encontros presenciais.

De modo geral, na Figura 49, pode-se observar de que maneira a análise da investigação do cenário junto com as limitações da intervenção piloto contribuíram na elaboração e implementação do curso.

Figura 49 - Relação entre a investigação do cenário com a elaboração e a implementação do curso de formação continuada

Na intervenção piloto, observou-se que os professores não conseguiram desenvolver o conhecimento referente à compreensão dos estudantes sobre os conceitos relacionados a reações redox. Por isso, optou-se por desenvolver três questionários nos quais seria possível investigar esse componente do PCK de reações redox e, ao mesmo

tempo, identificar as próprias concepções e dificuldades dos professores sobre esse conceito. Os três questionários envolviam os conceitos de soluções eletrolíticas, reações redox e ponte salina. As questões foram desenvolvidas de acordo com as principais dificuldades e concepções identificadas na literatura como, por exemplo, a diferenciação entre ionização, dissociação e dissolução (Cassiano, Mesquita, & Ribeiro, 2016), a definição de reações redox como a adição e a remoção de oxigênio (Österlund & Ekborg, 2009), a simultaneidade dos processos de oxidação e redução (Garnett & Treagust, 1992a) a concepção de que os elétrons entram na solução pelo cátodo, viajam através da solução e da ponte salina, e emergem no ânodo para completar o circuito (Sanger & Greenbowe, 1997b), e a dificuldade em descrever o fluxo de elétrons (Özkaya, Uce, Saricayir, & Sahin, 2006).

A análise dos livros didáticos usados pelos professores sugere uma fonte dessas dificuldades e concepções: erros óbvios ou declarações enganosas nos textos, que podem ser mal interpretados ou generalizados em situações inapropriadas. Um exemplo é a definição de eletrodo, por isso, incluiu-se no curso atividades que enfatizassem o conceito de eletrodo. Além disso, os livros trazem informações importantes sobre o uso de representações, como a priorização do nível macroscópico. Nesse sentido, com o intuito de promover a reflexão dos professores desse material didático acrescentaram-se duas atividades relativas a análise do livro didático utilizado pelos professores. A partir dessa análise foi possível fazer uma discussão crítica sobre como o conteúdo é abordado no livro didático e a utilização de representações no ensino de Química.

Por meio da intervenção piloto, notou-se que os professores ainda não identificam a principal função da ponte salina no funcionamento de uma pilha. Por isso, incluiu-se uma experimentação específica, na qual a construção de diferentes pilhas com e sem ponte salina foram propostas. Além dessa experimentação, a abordagem dos outros experimentos foi modificada, incorporando as instruções laboratoriais baseadas em histórias em quadrinhos.

4.2.3.1 Estrutura do curso

Com base na análise dos dados e a partir das limitações observadas na intervenção piloto, algumas modificações foram feitas na intervenção piloto implementada em 2016 e um outro curso de formação continuada foi proposto e

implementado nos meses de março a maio de 2018 em parceria com o Instituto de Química, a Pró-Reitoria de Cultura e Extensão Universitária, ambos da Universidade de São Paulo, e a Secretária de Educação do Estado de São Paulo (SEESP). O curso foi intitulado "Química através da experimentação: propostas para o ensino de reações redox - segunda edição". Teve carga horária total de 40 horas, sendo dividido em seis encontros presenciais de 5 horas cada, ocorridos quinzenalmente, e 10 horas de atividades a distância, em um ambiente virtual de aprendizagem. O principal objetivo foi fornecer um engajamento explícito da transformação pedagógica do conhecimento do conteúdo, usando conceitos de reações redox. Dessa forma, os objetivos específicos foram:

- Discutir as dificuldades de professores do ensino médio em relação ao ensino de reações redox.
- Discutir de que forma esse conteúdo é abordado pelos professores em termos de estratégias instrucionais e materiais curriculares utilizados.
- Discutir sobre as concepções e dificuldades dos alunos sobre esse conteúdo.

A transformação nesta intervenção ocorreu por meio de atividades e discussões sobre as reações redox, tendo como base os cinco componentes do PCK, com ênfase no conhecimento das estratégias instrucionais e no conhecimento da compreensão dos estudantes (Quadro 18). Embora esses componentes tenham sido discutidos individualmente é importante observar que ao longo da intervenção colocou-se destaque na integração dos componentes.

Quadro 18 - Visão geral dos cinco componentes do PCK e do conhecimento do conteúdo abordados durante o curso de formação continuada oferecido em 2018

		Intervenção
Componentes do PCK	Orientações para o ensino de ciências [OEC]	Planejamento de um plano de aula, no qual os professores anotaram seus objetivos e seus propósitos para ensinar pilha e explicaram os porquês dessas escolhas.
	Conhecimento do currículo de ciências [CCC]	Identificação e discussão dos conceitos subordinados correspondentes a pilha, do sequenciamento para aprendizagem, revisão dos conceitos básicos necessários antes de ensinar pilha.
	Conhecimento da compreensão dos estudantes [CCE]	Apresentação e discussão sobre as concepções alternativas e dificuldades amplamente divulgadas na literatura sobre eletroquímica.
	Conhecimento das estratégias instrucionais [CEI]	A ênfase em estratégias específicas ao invés de pedagógicas gerais. Discussão e conscientização em selecionar estratégias de ensino para confrontar possíveis concepções alternativas.
	Conhecimento da avaliação da aprendizagem [CAA]	Discussão e conscientização em selecionar métodos de avaliação específicos, justificando como e quando usar.
Conhecimento do conteúdo [CC]		Discussão dos conceitos sobre eletroquímica

Para enfatizar os componentes do PCK e aprofundar o conhecimento do conteúdo, diferentemente da intervenção piloto, optou-se por planejar seis encontros organizados por tópicos relacionados às células galvânicas, em específico reações redox (Quadro 19).

Quadro 19 – Uma visão geral dos tópicos abordados em cada encontro do curso de formação continuada oferecido em 2018

Encontro	Tópicos
1	Ensino de reações redox
2	Soluções eletrolíticas
3	Reações redox
4	Reações redox
5	Ponte Salina
6	Papel da reflexão sobre a prática

Os encontros foram, geralmente, estruturados em quatro partes, a saber:

- Parte 1: discussão das atividades realizadas ao longo dos quinze dias.
- Parte 2: revisão e discussão do conhecimento do conteúdo de eletroquímica.
- Parte 3: discussão das dificuldades e concepções alternativas relatadas na literatura sobre os conceitos abordados
- Parte 4: proposição de estratégias para abordar os conceitos discutidos.

Esta organização formou a estrutura básica de todas os encontros. Uma descrição da intervenção por encontro é fornecida no Quadro 20.

Quadro 20 - Visão geral dos encontros, com as atividades e objetivos da intervenção do curso de formação continuada oferecido em 2018

(Continua)

	Ações previstas	Objetivo geral das ações
1º Encontro	Apresentação dos ministrantes e dos objetivos do curso	Construir um ambiente agradável de aprendizagem e facilitar a interação entre os agentes do curso.
	Socialização	Conhecer os professores, suas motivações para a escolha do curso, interesses e expectativas sobre as reflexões que serão provocadas a partir do curso.
	Apresentação teórica sobre PCK e seus componentes	Mostrar aos professores um dos conhecimentos base para a formação de professor.
	Apresentação teórica sobre papel da experimentação	Apresentar aos professores a importância da experimentação no ensino de Química.
	Atividade 1 – Planejamento de um plano de aula	Propor que os professores elaborem um plano de aula para o conteúdo de reações redox.
	Atividade 2 – Levantamento sobre o ensino de reações redox	Propor que os professores respondam ao questionário CoRe.
	Representação de uma pilha	Mostrar a representação de uma pilha e apontar os principais componentes de uma pilha.
2º Encontro	Apresentação teórica sobre reações redox	Apresentar aos professores uma sistematização da importância das reações redox; discutir como esse conteúdo aparece nos documentos oficiais (Parâmetros Curriculares, Caderno do Estado de SP) e nos livros didáticos.
	Atividade 3 – Experimento sobre natureza elétrica de substâncias puras e em solução	Determinar a condutividade elétrica de substâncias puras em diferentes estados físicos e em solução aquosa.
	Apresentação teórica sobre soluções eletrolíticas	Apresentar aos professores o conceito e definição de soluções eletrolíticas; discutir quais substâncias produzem soluções eletrolíticas.
	Discussão sobre dificuldades e concepções	Discutir com os professores sobre as concepções e dificuldades sobre soluções eletrolíticas.
	Atividade 4 – Níveis de especificidade	Propor uma atividade no qual os professores consigam diferenciar o nível geral do específico.
3º Encontro	Apresentação teórica sobre reações redox	Apresentar aos professores o conceito e definição de reações redox; analisar criticamente cada um dos modelos conceituais. Definir número de oxidação (Nox).
	Atividade 5 – Exercícios sobre Nox	Propor a determinação do cálculo do número de oxidação a partir da eletronegatividade.
	Atividade 6 – Experimento sobre Reatividade de metais	Determinar as forças relativas dos metais e dos íons metálicos a partir de algumas reações redox.
	Discussão sobre o experimento	Discutir com os professores as reações realizadas no experimento e propor que as equacionem na forma de semirreações.
	Discussão sobre dificuldades e concepções	Discutir com os professores sobre as concepções e dificuldades sobre reações redox e Nox.

Quadro 20 - Visão geral dos encontros, com as atividades e objetivos da intervenção do curso de formação continuada oferecido em 2018

(Conclusão)

4º Encontro	Atividade 7 – Questionário CoRe	Propor que os professores respondam ao questionário CoRe em dupla.
	Apresentação teórica sobre espontaneidade	Apresentar aos professores o conceito de potencial de eletrodo; diferenciar processos espontâneos e não espontâneos.
	Apresentação teórica sobre pilha	Apresentar aos professores a questão histórica sobre pilhas e discutir a representação de pilha.
5º Encontro	Atividade 8 – Experimentação sobre ponte salina	Construir diferentes tipos de pilha e observar a função da ponte salina.
	Discussão sobre o experimento	Elencar as principais funções da ponte salina. Representar as reações ocorridas.
	Discussão sobre dificuldades e concepções	Discutir com os professores sobre as concepções e dificuldades sobre ponte salina e pilhas.
6º Encontro	Atividade 9 – Questionário CoRe	Os professores vão responder ao questionário CoRe.
	Atividade 10 – Reavaliando o planejamento elaborado na atividade 1.	Oferecer aos professores a oportunidade de reavaliar os planos de aula elaborados na atividade 1.
	Avaliação coletiva do curso de formação continuada.	Discutir com os participantes sobre o curso e sobre possíveis sugestões de melhoria

Além das informações que constam no Quadro 20, atividades adicionais foram realizadas pelos professores por meio de um ambiente virtual de aprendizagem: um fórum de debates; questionários específicos sobre o tema eletroquímica; questionário específico sobre o tópico células galvânicas (Castro, Gastaldo, Goes, Nogueira, & Fernandez, 2018) e questionários sobre o uso do livro didático (Apêndice 7 e Apêndice 9).

A seguir, é detalhado cada encontro, evidenciando *[entre colchetes]* qual componente do PCK foi trabalhado em cada ação ocorrida. Para isso, utilizaram-se as siglas para os componentes do PCK descritas no Quadro 18 (OEC, CCC, CCE, CEI, CAA). Aquelas ações que envolviam todos os componentes do PCK foram destacadas com a própria sigla do constructo: *[PCK]* e aquelas ações que foram propostas para abordar o conhecimento do conteúdo foram identificadas com *[CC]*.

1º Encontro: O ensino de reações redox

Inicialmente foram apresentados os objetivos do curso e houve a apresentação de cada professor, espaço em que eles falaram sobre suas motivações para a escolha do curso, interesses e expectativas. Em seguida, foi realizada uma breve explanação sobre

os conhecimentos necessários sobre a formação docente, destacando o PCK e seus principais componentes: i) conhecimento do currículo, ii) conhecimento das estratégias, iii) conhecimento da compreensão dos estudantes, e iv) conhecimento da avaliação [PCK]. Logo após, foi realizada uma apresentação teórica sobre o papel da experimentação no ensino de Química [CEI], ressaltando que existem diferentes tipos de abordagens experimentais como demonstração, verificação, investigação (Araújo & Abib, 2003) e diferentes graus de liberdade relacionados com a quantidade de responsabilidade relativa professor/aluno (Carvalho, 2012). Além disso, foi explicado que o professor deve ter clareza dos objetivos e da experimentação abordada para favorecer o aprendizado dos alunos [OEC].

Posteriormente, os professores foram questionados a respeito de como ensinam o conteúdo de reações redox. Nesse momento foi solicitado que descrevessem, por escrito, um plano de aula sobre esse conteúdo e que justificassem o que eles consideraram na hora do planejamento [PCK]. Finalizada essa etapa, o questionário CoRe foi explicado e exemplificado de modo que os professores entendessem seu preenchimento. Depois os professores, individualmente, responderam ao CoRe para conteúdos relacionados às reações redox [PCK].

No final da aula, foi projetada uma representação de uma pilha [CEI] com o intuito de discutir com os professores alguns dos principais conceitos inerentes a uma célula galvânica que iriam nortear as próximas aulas: soluções eletrolíticas, reações redox e ponte salina [CC].

Para esse primeiro encontro, as questões do fórum foram: Quais as ideias centrais ao ensinar reações redox? e Por que essas ideias são importantes? [OEC]. No ambiente virtual de aprendizagem os professores deveriam responder ao questionário sobre ensino de reações redox (Apêndice 1) [PCK]. Além disso, foi disponibilizado um artigo científico sobre soluções eletrolíticas e solicitado que, após a leitura, os professores respondessem a um questionário sobre soluções eletrolíticas (Apêndice 5) [CC, CEI e CCE].

2º Encontro: Soluções eletrolíticas

Primeiramente apresentou-se uma nuvem de palavras referente às questões apresentadas para as perguntas do fórum e foi feita uma discussão sobre as ideias apresentadas pelos professores participantes [OEC e CCC]. Em seguida, foi

apresentada uma sistematização da importância das reações redox e discutido como esse conteúdo aparece nos documentos oficiais (Parâmetros Curriculares, Caderno do Estado de SP) e nos livros didáticos [CCC].

Posteriormente, foi proposto um experimento investigativo para discutir a natureza elétrica de substâncias puras em diferentes estados físicos e em solução aquosa [CEI]. Para esse primeiro experimento foi entregue um roteiro, o qual já continha o problema, a hipóteses e o plano de trabalho. Após a discussão sobre a experimentação, na qual foram discutidas quais substâncias produzem ou não soluções eletrolíticas, foi apresentado o conceito e definição de soluções eletrolíticas [CC]. Nesse momento, foi feita uma revisão sobre o conceito de ligações químicas, evidenciando a importância de conceitos prévios [CC e CCC]. Logo depois, mostraram-se aos professores duas alternativas para essa experimentação, caso não fosse possível realizá-la nas escolas [CEI]. Primeiro, a utilização de um vídeo, ressaltando os cuidados a serem tomados na escolha desse material, para não gerar concepções alternativas [CCE]. Nesse caso, optou-se por um vídeo¹⁰ no qual não tem áudio e o professor pode ir explicando à medida que as imagens vão aparecendo no vídeo com os resultados do teste de condutividade de cada substância. E, como outra alternativa, apresentou-se o denominado “laboratório de papel”¹¹, no qual os professores podem utilizar com o mesmo objetivo de se verificar a condutividade elétrica de diferentes materiais e soluções. Em seguida, foi discutido com os professores o artigo disponibilizado no ambiente virtual e o questionário respondido [CC, CCE e CCC]. Nesse momento, apresentaram-se as principais concepções alternativas sobre soluções eletrolíticas relatadas na literatura [CCE]. No final da aula, uma atividade referente a níveis de especificidade foi proposta. Nessa atividade, os professores recebiam uma tabela em branco e vários pedaços de papéis e deveriam colar na coluna onde julgavam ser mais adequado. Os escritos dos papéis correspondiam às próprias respostas dos professores referentes ao questionário CoRe preenchido no primeiro encontro [PCK].

Para esse segundo encontro, as questões do fórum foram: Qual o papel da experimentação no ensino de reações de oxirredução? Quais outras possíveis estratégias de ensino para esse conteúdo? [CEI]. No ambiente virtual de aprendizagem os

¹⁰ Para maiores informações <http://pontociencia.org.br/experimentos/visualizar/testador-de-condutividade/203>

¹¹ Nome dado ao recurso didático desenvolvido pelo PEQuim

professores deveriam responder ao questionário sobre reações redox (Apêndice 6) [CC e CCE] e realizar uma atividade referente à análise do livro didático adotado e utilizado em suas escolas. (Apêndice 7) [CCC].

3º Encontro: Reações redox

Inicialmente apresentou-se uma nuvem de palavras referente às questões apresentadas para as perguntas do segundo fórum e foi feita uma discussão sobre as ideias apresentadas pelos professores participantes, retomando a importância da especificidade ao se pensar no ensino de um determinado conteúdo [CEI].

Em seguida, foram discutidas as respostas concedidas para o questionário sobre reações redox [CC e CCE] e logo após apresentaram-se os quatro modelos conceituais existentes na literatura para definição de reações redox [CC]. Sendo a variação do número de oxidação um dos modelos, iniciou-se uma exposição teórica sobre o conceito de número de oxidação, tendo como base o conceito de eletronegatividade [CC]. Depois, foi proposta uma atividade na qual os professores deveriam determinar o número de oxidação dos elementos por meio de suas estruturas moleculares [CC]. Posteriormente, foi abordada a série de reatividade eletroquímica a partir de uma experimentação investigativa [CEI]. Para essa atividade foi entregue um roteiro, no qual incorporou-se as instruções laboratoriais baseadas em histórias em quadrinhos (Affeldt, Meinhardt, & Eilks, 2017). Essa experimentação apresenta um grau de liberdade maior quando comparada com a primeira. Nesse caso, só são apresentados o problema e as hipóteses, sendo responsabilidade dos alunos elaborarem o plano de trabalho e coletarem os dados. Em seguida, discutiu-se com os professores as reações realizadas no experimento e foi proposto que representassem as semirreações na forma de equações [CC e CEI]. Como alternativa ao experimento, foi apresentado um vídeo com a demonstração de algumas reações entre metais e os íons metálicos [CEI]. Não foi possível discutir as concepções sobre reações redox e número de oxidação, ficando para o quarto encontro.

Para esse terceiro encontro, as questões do fórum foram: Como é possível avaliar a aprendizagem dos alunos sobre reações de oxirredução? Quais as estratégias de avaliação para esse conteúdo? [CAA]. No ambiente virtual de aprendizagem, os professores deveriam responder ao questionário sobre reações redox e a ponte salina

(Apêndice 8) [CC e CCE], e realizar uma segunda atividade referente à análise do livro didático (Apêndice 9) [CCC].

4º Encontro: Reações redox

Iniciou-se o quarto encontro com a apresentação da nuvem de palavras referente ao terceiro fórum e uma discussão com relação à reflexão acerca de avaliações específicas para um determinado conteúdo [CAA]. Logo após, discutiu-se sobre as concepções de reações redox e número de oxidação [CCE]. Em seguida, foi proposto que os professores respondessem novamente ao questionário CoRe, porém dessa vez que o respondessem em dupla [PCK]. Depois, o conceito de potencial de eletrodo foi apresentado e foi discutido como diferenciar processos espontâneos e não espontâneos. Logo em seguida foi exemplificada uma reação muito energética - reação aluminotérmica - e suas aplicações. Posteriormente, introduziu-se o conceito de pilhas por meio da contextualização histórica. Discutiu-se a representação de uma pilha, diferenciou-se força eletromotriz (f.e.m.) de diferença de potencial, mostrou-se a equação de Nernst para evidenciar do que depende a f.e.m., e, a partir da equação fundamental para a energia livre de Gibbs justificou-se o porquê da f.e.m. ser zero quando a reação global em uma célula galvânica alcança o equilíbrio [CC].

Para esse quarto encontro, a questão do fórum foi: Quais as dificuldades relacionadas ao ensino e a aprendizagem do conteúdo de reações redox? [CCE]. No ambiente virtual de aprendizagem os professores deveriam responder as vinhetas sobre reações redox (Figura 7) [PCK e CC].

5º Encontro: Ponte salina

No quinto encontro, o curso foi voltado para o entendimento e compreensão da função da ponte salina. Iniciou-se a aula com a discussão sobre o fórum, retomando as principais dificuldades em relação ao ensino de conceitos sobre reações redox [CCE]. Em seguida foi proposto um experimento sobre pilha, no qual os professores deveriam construir diferentes tipos de pilha e observar a função da ponte salina [CEI]. Para isso, foi entregue um roteiro no qual somente o problema era apresentado, ficando como responsabilidade dos professores a elaboração das hipóteses e do plano de trabalho, e a tarefa de manipular os experimentos para a obtenção de dados. Após a experimentação,

foi realizada uma discussão sobre o experimento [CEI] e elencaram-se as principais funções da ponte salina, além de representar as reações ocorridas [CC]. Nesse momento os professores foram lembrados do conceito de potencial de junção [CC]. Como alternativa ao experimento, foi proposto um vídeo sobre a construção e o funcionamento de uma pilha¹² [CEI]. Logo em seguida, discutiu-se com os professores sobre as concepções e dificuldades sobre ponte salina e pilhas, trazendo exemplos apresentados na literatura de respostas de alunos e evidências das concepções [CCE].

Para o quinto encontro, a questão do fórum foi: Qual é o papel da reflexão na profissão professor? [PCK]. No ambiente virtual de aprendizagem os professores deveriam responder um teste validado para acessar o PCK de células galvânicas [PCK]. (Castro, et al., 2018).

6º Encontro: Papel da reflexão sobre a prática

No sexto e último encontro, foi discutida a questão do fórum sobre reflexão [PCK]. Retomaram-se os objetivos iniciais evidenciando tudo que tinha sido abordado ao longo dos encontros. Os professores responderam ao questionário CoRe para se verificar os indícios de desenvolvimento do PCK e, além disso, o CoRe os auxilia no planejamento [PCK]. Nesse dia, os professores reavaliaram os planos de aula elaborados no primeiro encontro, dessa vez, considerando os pressupostos apresentados durante o curso [PCK]. Em seguida, foi feita uma avaliação coletiva na qual se discutiu com os participantes sobre críticas e possíveis sugestões de melhoria.

4.2.4 Investigação do desenvolvimento do PCK

Nesta parte do texto descreve-se a pesquisa realizada durante o curso de formação continuada, que teve como principal objetivo investigar os indícios de desenvolvimento do PCK sobre conceitos relacionados a reações redox em professores de Química ao longo do curso.

¹² https://www.youtube.com/watch?v=8Qxu__Pq8Ms

4.2.4.1 Perfil dos participantes do curso de formação continuada

O curso envolveu a participação de 40 professores, entretanto, para a análise dos dados direcionou-se o olhar para 20 professores, em virtude de terem realizado as atividades que contemplaram a coleta de dados (pré e pós CoRe, pré e pós plano de aula, questionário sobre ensino de reações redox) e participado dos seis encontros presenciais.

De acordo com a Figura 50, metade dos professores concluíram uma pós-graduação. Dezoito professores são formados em licenciatura em Química, sendo que nove também se formaram em bacharelado. Apenas um dos participantes é formado somente em bacharelado em Química e outro é graduado em Engenharia Química.

Figura 50 - Perfil dos participantes do curso quanto à formação

Em relação à atuação desses professores, pode-se observar que, conforme a Figura 51, todos atuam no ensino médio, sendo que cinco também lecionam no ensino fundamental e três também lecionam no ensino técnico. Todos lecionam Química, dois lecionam Química e Ciências, dois lecionam Química e Física e dois lecionam Química e Matemática. Em relação à experiência, a maior parte dos participantes são professores experientes, pois apresentam mais de 11 anos de atuação na docência (Schneider, 2011). Todos os professores atuam em instituições públicas, sendo que sete também lecionam em instituições privadas.

Figura 51 - Perfil dos participantes do curso quanto à atuação

4.2.4.2 Desenvolvimento por componente do PCK

Ao comparar o momento inicial (CoRe1 + PA1) com o momento final (CoRe 2 + PA2) do curso, observam-se mais manifestações em relação aos componentes do PCK no final do curso (Tabela 21). No último dia pôde-se obter mais informações sobre as orientações dos professores. Além disso, os participantes manifestaram terem ampliado seus conhecimentos de avaliação, de dificuldades e concepções dos alunos. Entretanto, a partir da Tabela 21, observa-se que em nenhum dos planos de aulas houve indícios do conhecimento das dificuldades e/ou concepções sobre eletroquímica, sendo esses manifestados somente nas respostas ao questionário CoRe.

Tabela 21 - Visão geral da codificação entre componentes do PCK

	CoRe1	PA1	CoRe2	PA2	SOMA
Avaliação	64	2	73	22	161
Dificuldades e Concepções	78	-	86	-	164
Estratégia	65	28	67	36	196
Orientações	72	26	96	41	235
SOMA	335		421		

Segundo a Tabela 22, no primeiro plano de aula, apenas um professor considerou os objetivos de ensino, enquanto que no segundo plano de aula, treze professores manifestaram seus objetivos. Outro fator de destaque é a questão da

avaliação, considerada inicialmente por apenas dois professores e posteriormente por quinze professores. Nessa perspectiva, da mesma forma que os resultados apontados por Bilican et al. (2012), observa-se que os professores levaram em consideração mais aspectos na hora do replanejamento do plano de aula, do que os considerados na primeira elaboração.

Tabela 22 - Segmentos codificados nos diferentes aspectos considerados na elaboração dos planos de aula durante o curso

Plano de aula		
Aspectos	PA1	PA2
Avaliação	2	15
Conceitos	18	20
Conhecimento prévio	2	6
Estratégia	15	17
Materiais curriculares	4	11
Objetivo	1	13
Público Alvo	0	4
Tempo	1	13

Entretanto, olhar apenas para a frequência dos componentes não é suficiente para afirmar se houve ou não um desenvolvimento dos componentes do PCK. Era de se esperar que com um curso de formação continuada os professores mostrassem alguma melhora, o que precisa se verificar e analisar é a qualidade dessas manifestações. Nesse sentido, Abell (2008) destaca a necessidade de encontrar a relação do PCK com a prática docente em termos de qualidade e quantidade. De acordo com a Tabela 23, observa-se que entre o início e o final do curso houve um aumento de manifestações específicas para o conteúdo de reações redox.

Tabela 23 - Visão geral da codificação entre componentes específicos e gerais

	CoRe1	CoRe2	PA1	PA2
Avaliação – geral	60	60	1	7
Avaliação – específico	4	13	1	15
Dificuldades – geral	42	29	-	-
Dificuldades - específico	30	49	-	-
Estratégia – geral	54	33	14	9
Estratégia – específico	11	34	14	27
Orientação – centrado no professor	56	62	25	27
Orientação – centrado no aluno	16	34	1	14

A análise do conhecimento docente dos professores participantes foi realizada, por meio dos cinco componentes do PCK referentes ao modelo de Park e Oliver (2008). Os indícios de cada componente do conhecimento docente dos professores serão apresentados a seguir.

4.2.4.2.1 Orientações para o ensino de ciências

As orientações para o ensino de ciências compreendem o conhecimento e as crenças do professor sobre os propósitos e objetivos do ensino da ciência. Além disso, incluem as ideias dos professores sobre a natureza do ensino e da aprendizagem da ciência. Assim como relatado na literatura, é difícil acessar as orientações dos professores (Schneider & Plasman, 2011) e, ao longo do curso, tentou-se trabalhar com os professores para que externalizassem seus objetivos de ensino. Embora não tenha sido possível identificar claramente as crenças dos participantes, juntamente com as respostas ao questionário, foi possível encontrar algumas indicações sobre os objetivos para o ensino de reações redox. Um ponto de partida foi em relação à importância do ensino de reações redox. A maior parte dos professores (11) consideram o ensino desse conteúdo muito importante, quatro professores consideram extremamente essencial e cinco consideram o ensino importante. Nenhum professor o considera sem importância. As justificativas apresentadas para a importância das reações redox referiram-se às aplicações da vida diária:

A principal questão é que é algo ligado ao cotidiano e entender a reação redox é importante para relacionar com o cotidiano (P2, questionário).

Porque ela ocorre no nosso dia-a-dia, e a maioria das vezes não percebemos (P6, questionário).

As reações redox estão presentes no dia a dia de todos, com pilhas, baterias, etc. (P9, questionário).

O ensino de reações redox descreve fenômenos do cotidiano, principalmente a parte de pilhas e baterias que possibilita contextualização e discutir problemáticas do cotidiano, como o descarte inadequado de pilhas e baterias, envolver questões de meio ambiente e socialização legislação.” (P19, questionário).

Essas justificativas estão de acordo com as respostas à pergunta sobre a importância de os alunos aprenderem o conteúdo de reações redox, no qual onze

professores afirmaram que é importante para os discentes fazerem relações com o seu dia a dia (Tabela 24).

Tabela 24 – Distribuição das respostas dos professores em relação à importância de os alunos aprenderem reações redox

Importância de os alunos aprenderem as reações redox	Frequência
Para fazerem relações com o seu dia a dia	11
Para discutirem possíveis impactos ambientais e econômicos das aplicações desse conteúdo	6
É um conteúdo básico	4
Para aprenderem a identificar reações espontâneas	4
Para aprenderem a balancear equações químicas	2

Entretanto, a partir da nuvem de palavras obtidas para a questão do primeiro fórum (Figura 52), sobre as ideias centrais para o ensino de reações redox, observa-se que a maior frequência das palavras se referem a conceitos químicos, como oxidação, redução, transferência de elétrons e número de oxidação:

Acho que as ideias centrais são o processo de oxidação e redução; que os mesmos são complementares, um não ocorre sem o outro e que isto é notado pela transferência de elétrons (P7, fórum).

Entendo que os alunos devam saber calcular o número de oxidação, conhecer a fila de reatividade e os conceitos de oxidação e redução (P15, fórum).

Conceitos relacionados às aplicações da vida diária não foram frequentes e quando apareceram foram de forma secundária, após os conceitos químicos:

Processos de oxidação e redução, transferências de elétrons, associar essas reações ao cotidiano do educando (P9, fórum).

De acordo com a Tabela 25, pode-se observar especificamente que tipos de orientações foram manifestadas pelos professores ao longo do curso.

Didática e rigor acadêmico são orientações centradas no professor (Friedrichsen, et al., 2011). A orientação mais explicitada pelos professores foi a didática, na qual os professores têm como objetivo transmitir os fatos da ciência:

Explicar que o processo do alumínio é mais caro (P1, Vinheta 3).

Aprender o que é oxidação/redução (P5, CoRe1).

Reações químicas não são só rearranjo de átomos, ocorre transferência de elétrons (P7, CoRe 1).

Substância doa e que substância recebe elétron (P10, Fórum).

Ponte salina é essencial para o funcionamento da pilha de Daniell (P7, CoRe2).

Eletrodo é o catodo e o outro é o anodo (P9, CoRe 2).

Conceituar oxidação e redução (P1, PA2).

Rigor acadêmico é um outro tipo de orientação centrada no professor para o ensino de ciências. Um professor com essa orientação tem o objetivo representar um determinado corpo de conhecimento e usam instruções como problemas e atividades, para verificar conceitos científicos:

Calcular o NOX (P14, CoRe 1).

Diferenciar o fenômeno da eletrólise da pilha (P17, CoRe 1).

Diferenciar processos espontâneos de não espontâneos (P17, CoRe 2).

As orientações processo, atividade dirigida e mudança conceitual são orientações centradas no aluno. Um professor com orientação processo tem como objetivo “ajudar os estudantes a desenvolver as habilidades para o processo da ciência” (Magnusson, et al., 1999, p. 100) e os alunos participam em atividades que desenvolvem o processo de pensamento:

Entender limitações de aparelhos eletrônicos (P1, CoRe 1).

Identificar fenômenos de oxidação e redução que ocorrem no dia a dia (P14, CoRe1).

Os alunos têm que pesquisar as diferenças de reatividades em uma tabela mais detalhada (P12, Vinheta).

Compreender o funcionamento de uma pilha (P4, CoRe2).

Apenas um segmento foi codificado como sendo uma orientação do tipo atividade dirigida, na qual o professor tem como objetivo que os estudantes sejam ativos:

Atividade experimental realizada pelos alunos, guiada por um roteiro com orientações e questionamentos (P4, PA2).

Três segmentos identificam mudança conceitual como orientação, outro tipo de orientação centrada no aluno, no qual o professor tem como objetivo confrontar as ideias dos estudantes através de discussões:

Será que esta reação não ocorreu entre o cobre e outro elemento? (P1, Vinheta).

Fazer o aluno buscar novos caminhos (P2, Vinheta).

Que ele precisaria ser mais específico, iria orientar ele nesse sentido (P16, Vinheta).

Outro indício das orientações dos professores é em relação às respostas ao segundo fórum, sobre o papel da experimentação. A partir da nuvem de palavras (Figura 53) observa-se que o principal objetivo ao utilizar a experimentação é facilitar o aprendizado dos alunos.

Figura 53 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao segundo fórum: Qual o papel da experimentação no ensino de reações de oxirredução?

Nas respostas dos professores observa-se uma orientação mais didática, na qual o objetivo é utilizar a experimentação como uma estratégia para transmitir fenômenos da ciência:

A experimentação é uma maneira de demonstrar um caminho para justificar o fenômeno (P1, fórum).

A experimentação deixa mais real e palpável para os alunos, o que muitas vezes temos dificuldades em transmitir em sala de aula (P9, fórum).

O papel da experimentação, principalmente nas reações, é fundamental para que o aluno entenda o funcionamento do processo, agindo como um facilitador da aprendizagem (P17, fórum).

Esses dados corroboram Kind (2015), Geddis, et al. (1993) e Friedrichsen, et al. (2009) em encontrar dominância na orientação didática. Além disso, o que se observa é que desenvolvimento desse componente do PCK está ligado a mudanças nas orientações dos professores na direção do ensino centrado no aluno para a maioria dos professores em serviço.

4.2.4.2.2 *Conhecimento do currículo de ciências*

O conhecimento do currículo de ciências corresponde ao conhecimento que os professores têm sobre programas, documentos nacionais e materiais relevantes para o ensino de um determinado conteúdo científico. Assim, o conhecimento do currículo dos professores deve incluir o conhecimento dos objetivos gerais do currículo, bem como as atividades e materiais para realizar esses objetivos. Em relação aos conceitos relacionados às reações redox, a partir da frequência de palavras utilizadas no questionário CoRe, pode-se inferir a influência do curso nesse componente do conhecimento docente dos professores. De acordo com a Tabela 26 observa-se que no início do curso alguns conceitos não foram citados ou foram pouco citados, por exemplo, ponte salina não foi referenciada inicialmente no curso, entretanto, no final do curso, foi uma das expressões mais recorrentes nas respostas dos professores. Isso se deve ao fato de um dos encontros, ter sido especialmente planejado para abordar e discutir os conceitos sobre ponte salina e suas funções.

Tabela 26 - Frequência de palavras mais citadas no CoRe1 e no CoRe2

Palavras	Frequência das palavras	
	CoRe1	CoRe2
oxidação / redução / oxirredução / redox	102	92
pilha	25	88
ponte salina	0	67
elétron	23	28
solução	1	26
energia	25	17
Nox	19	11

Outro conceito que teve pouca atenção dos professores inicialmente foi soluções, aparecendo apenas uma vez. Por outro lado, no final do curso, soluções foi citada 26 vezes nas respostas ao CoRe2. A frequência da palavra pilha também teve um aumento expressivo.

A ênfase dada na explicação de conceitos e na aplicação do conteúdo é praticamente a mesma. De acordo com a Tabela 27, os professores consideram, por exemplo, que o cálculo do número de oxidação é tão importante quanto a identificação das aplicações vinculadas ao conteúdo redox.

Tabela 27 - Ênfase dos professores sobre o que eles pretendem que os alunos aprendam sobre reações redox

O que você pretende que os alunos aprendam sobre o conteúdo de reações redox?	Ênfase dada
O processo de transferência de elétrons	73%
O processo de corrosão	73%
O funcionamento de uma pilha	73%
A identificação das aplicações vinculadas ao conteúdo de reações redox	68%
O cálculo do número de oxidação (NOx)	68%
A identificação de reações redox	65%
O conceito de potencial de oxidação / potencial de redução	63%
A representação de semirreações	45%

Observa-se que a importância ambiental e a aplicabilidade desse conceito estão presentes em todos os momentos do curso:

Explicação sobre regeneração de material (P13, CoRe1).

Começo falando da questão ambiental, poluição que o descarte inadequado de pilhas e baterias pode provocar no meio ambiente (PA5, PA1).

Questionar se as pilhas e baterias podem ser descartadas no lixo de casa (P13, PA1).

Possibilitar a contextualização e discutir problemáticas do cotidiano, como o descarte inadequado de pilhas e baterias, envolver questões de meio ambiente e socialização legislação (P19, Fórum).

Neste momento, abordaria conceitos sobre reatividade e o impacto ambiental (P5, PA2).

Depois do uso da pilha, como você descarta? (P13, PA2).

Evolução tecnológica das pilhas (P1, CoRe2).

Obtenção corrente elétrica (P2, CoRe2).

Esse tipo de reação química pode gerar energia elétrica (P3, CoRe2).

Não foi possível identificar conhecimento do currículo vertical dos professores, ou seja, o conhecimento dos conceitos necessários antes do ensino de reações redox e dos conceitos que irão dar continuidade a esse conteúdo. Mesmo ao longo das aulas, quando questionados os professores não manifestaram os conceitos que os alunos aprenderam anteriormente, e também não forneceram mais detalhes sobre o que os alunos aprenderão em seguida.

No questionário sobre ensino de reações redox, quando os professores foram questionados sobre se seus conhecimentos seriam suficientes para ensinar reações redox, alguns professores descrevem suas dificuldades:

O motivo por qual eu me interessei pelo curso é porque não me sinto confortável com esse conteúdo, não é uma questão de atualização é entendimento mesmo (P2, questionário).

Acho que sei o essencial, mas preciso me aprimorar porque no ensino mesmo, preciso saber com propriedade, sem titubear. Penso que não passo segurança quando abordo o tema (P7, questionário).

Tenho informações sobre o conteúdo, porém há dificuldade em ensinar e identificar estratégias que possam facilitar o ensino o conteúdo e relacionar com os demais conceitos (P5, questionário).

Essas dificuldades também foram manifestadas no primeiro dia do curso, quando os professores relataram suas motivações para se inscrever no curso:

Eu tenho defasagem no conteúdo, eu quero aprender mais. Quero saber usar experimentos para o ensino desse conteúdo (P1, encontro 1).

Sinceramente, eu tenho dificuldades nesse tópico. Quando eu tenho que ensinar, eu ensino superficialmente. Não sinto segurança, por isso quero aprender mais (P5, encontro 1).

Tenho dificuldade no conteúdo. Quero aprender integrar experimentação com teoria (P14, encontro 1).

Com relação aos recursos curriculares adotados pelos professores, o livro didático é o material mais adotado, dos 20 sujeitos analisados, 18 professores afirmam utilizar livro didático como um recurso (Tabela 28). A tendência observada é a preferência pelos vídeos e textos. Em geral, os participantes não explicaram os motivos de suas escolhas.

Tabela 28 - Recursos curriculares adotados pelos professores

Recursos curriculares	Quantidade
Livros Didáticos	18
Vídeos	10
Textos	8
Jogos	5
Simuladores	4
Artigos Científicos	4

Dos livros utilizados pelos professores, dois professores adotam o Química Cidadã (LD1), dois o Química de Mortimer e Machado (LD2), três o Química de Martha Reis (LD3), um o Ser Protagonista (LD4), dois Química de Ciscato, Pereira, Chemello e Proti e seis adotam o Vivá, de Novais Tissoni¹³. Nenhum professor afirma utilizar os cadernos do Estado de São Paulo (LD5).

A partir da análise das atividades referentes aos livros didáticos, o que se observou é que grande parte dos professores participantes não conhecem o material adotado pelas suas escolas. Primeiramente pelo fato de ao se perguntar em qual volume das coleções aparecem conceitos relacionados a reações redox, os professores não conseguem identificar os conceitos ao longo dos diferentes volumes. Com exceção da coleção Química Cidadã (LD1) que o conceito se concentra no terceiro volume, os demais livros apresentam os conceitos aos longos dos três volumes, principalmente no segundo volume. Segundo, ao se questionar a definição dos principais conceitos relacionados às reações redox (oxidação, redução, agente oxidante, agente redutor), os professores acabam por utilizar seus conhecimentos ao invés de verificarem o que realmente está escrito no livro didático. Essa afirmação se faz com base no fato de se verificar definições erradas respondidas pelos professores, o que não confere com a análise dos livros didáticos (nenhum livro didático apresenta erros conceituais em relação a esses conceitos citados). Além disso, ao se questionar os recursos didáticos utilizados para abordar o conceito de reações redox, nenhum professor ressalta a presença considerável de representações visuais.

¹³ Vale ressaltar que o curso foi oferecido no primeiro semestre de 2018, ano em que entrou em vigor o novo triênio dos livros didáticos aprovados no PNLD2018. Todas as coleções do PNLD2015 analisadas para essa tese foram aprovadas e duas novas coleções também foram aprovadas, a saber: Vivá, de Novais e Tissoni, e Química de Ciscato, Pereira, Chemello e Proti.

Baseado nesses fatos, observa-se que os professores não estão familiarizados com os livros didáticos de Química.

4.2.4.2.3 *Conhecimento da compreensão dos alunos em ciências*

Este componente é muito importante para destacar o que os professores sabem sobre o conhecimento de seus alunos e como esse conhecimento influencia seu ensino, além disso, mostra o conhecimento dos professores sobre as dificuldades e as concepções dos alunos. Na Tabela 29, observa-se que esse conhecimento não foi manifestado no momento da elaboração dos planos de aula e nem nas respostas às vinhetas. De modo geral, os segmentos codificados relacionados às dificuldades e concepções variaram pouco, de 78 segmentos codificados no início para 86 segmentos codificados no final. Entretanto, nota-se que a frequência de dificuldades consideradas gerais diminuiu e a de dificuldades consideradas específicas aumentou.

Tabela 29 - Segmentos codificados no componente Dificuldades e Concepções em três momentos distintos

Dificuldades e Concepções		Geral	Específico	SOMA
Início	PA1	0	0	0
	CoRe1	47	31	78
Durante	Fórum	4	22	26
	Questionário	0	1	1
	Vinhetas	0	0	0
Final	CoRe2	29	57	86
	PA2	0	0	0

Mais uma vez, apenas contabilizar a frequência não indicará necessariamente um desenvolvimento desse componente, para isso, analisou-se a qualidade das respostas e das manifestações dos professores. As dificuldades aparecem principalmente nas respostas ao questionário CoRe e ao longo das aulas. Inicialmente as dificuldades relatadas são gerais, muitos professores citam apenas “conhecimentos prévios” ou “alunos não entendem”, “dificuldade de interpretação”, “não são comprometidos com o estudo”, “dificuldades em operações matemáticas”, “dificuldade na linguagem”, enquanto que no final, alguns professores já conseguem dar mais detalhes, por exemplo, sobre quais conhecimentos prévios são de dificuldade:

Conhecimento prévio de ligações químicas (P6, CoRe2).

E conseguem explicar melhor quais dificuldades os alunos apresentam em relação a linguagem:

Devidos aos termos, os alunos confundem agente oxidante com agente redutor (P2, CoRe2).

Confundem agente oxidante com agente redutor devido as cargas opostas (P2, CoRe2).

Ao longo do curso também pode-se perceber manifestações sobre o conhecimento da dificuldade dos alunos. De acordo com a Figura 54, observa-se que o conceito de agente redutor e oxidante, uma dificuldade específica para o ensino de reações redox, foi o mais citado ao longo das discussões do fórum.

Figura 54 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao quarto fórum: Quais as dificuldades relacionadas ao ensino e a aprendizagem do conteúdo de reações redox?

Nas discussões do fórum, também se observa que os professores citam dificuldades relacionadas aos conceitos prévios, mas de modo mais específico e associam com o assunto a ser ensinado:

Acredito que a identificação e compreensão de agente redutor e oxidante (P4, fórum).

Acredito que o fato de não terem conhecimento prévio sobre o que é um íon, ou não conseguirem identificar um agente redutor ou oxidante, faz com que o professor utilize várias aulas para tentar introduzir os conceitos básicos (P5, fórum).

Acho que o aluno pode ter dificuldade em compreender que quem sofre oxidação é o agente redutor (e vice-versa). Outra dificuldade seria identificar quais espécies sofreram oxidação e quais sofreram redução (P7, fórum).

Acredito que aprender os conceitos opostos geram dúvidas. Oxidação/redução, agente oxidante /agente redutor, carga positiva /carga negativa (P15, fórum).

Durante as aulas, a dificuldade em diferenciar agente redutor e agente oxidante também foi uma das mais citadas:

Por exemplo, a gente fala para os alunos, um metal foi oxidado, perdeu elétrons, perdeu, quer dizer, quando você perde, você fica negativo, e ele ficou dois mais, por exemplo, então, como ele perdeu e ficou positivo? Você dá um nó na cabeça do aluno. Ele ganhou e perdeu. Ganhou é positivo. Perdeu é negativo (P6, Encontro 2).

Os alunos não conseguem diferenciar o anodo e o catodo, se ele não tem isso fortalecido na cabeça dele [do aluno], ele vai se confundir mesmo. Eles têm dificuldade em escrever as equações e não conseguem identificar os agentes redutores e oxidantes (P16, Encontro 5).

Na Tabela 30, apresenta-se a distribuição das respostas dos professores para o questionário de ensino de reações redox, respondido durante o curso, e pode-se verificar que a dificuldade mais apontada pelos professores se relaciona ao balanceamento de equações, conceito também citado no fórum, seguido das dificuldades conceituais, em diferenciar agente redutor de agente oxidante e/ou oxidação de redução.

Tabela 30 - Distribuição das respostas dos professores em relação às dificuldades sobre reações redox

Dificuldades dos alunos	Quantidade
O balanceamento de equações de reações redox	18
Dificuldades conceituais (agente redutor, agente oxidante, redução, oxidação)	15
A representação de semirreações	14
O processo da eletrólise	13
A representação de reações redox	11
A identificação de reações redox	10
O cálculo de diferença de potencial	10
O processo de transferência de elétrons	9
O funcionamento de pilhas	8
O significado de número de oxidação	6

A partir da análise, observa-se que de modo geral o conhecimento das dificuldades relacionada com o tópico apresentou uma melhora. Em relação às concepções, os professores demonstram pouco conhecimento de concepções

alternativas sobre o conteúdo de eletroquímica. De Jong et al. (1995) afirmam que tomar consciência das concepções dos alunos não é algo fácil, nem para professores experientes. No início do curso, de acordo com a Tabela 31, a maioria discorda sobre a afirmação de conhecer as concepções alternativas dos alunos.

Tabela 31 – Distribuição do grau de concordância referente a afirmação “Eu conheço as concepções alternativas dos alunos sobre reações redox”

Grau de concordância	Quantidade
Discordo totalmente	0
Discordo	12
Indiferente	3
Concordo	5
Concordo totalmente	0

Aqueles professores que justificaram suas posições, afirmam que:

As turmas mudam e assim sempre tem concepções diferentes (P4, questionário).

Não conheço as concepções alternativas dos alunos, pois um indivíduo não é igual ao outro mais conforme vão surgindo, nós vamos nos adaptando (P17, questionário).

A partir dos excertos acima, observa-se que os professores afirmam não elencar as concepções por que as mesmas dependem de aluno para aluno, entretanto, caso as conhecessem, os docentes poderiam citar as concepções mais conhecidas, as que tiveram contato durante suas aulas e até mesmo as mais relatadas na literatura. Além disso, ao analisar as justificativas dos professores, no momento em que afirmam que “as concepções mudam porque as turmas mudam”, o que se observa é que os docentes confundem concepção alternativa com conhecimento prévio. Infere-se que os professores podem não manifestar o conhecimento de concepções, por não saberem o que são concepções alternativas e até mesmo as evocarem durante o ensino do conteúdo redox.

Esse fato é intrigante, uma vez que 18 dos 20 professores são formados em licenciatura em Química e dez deles possuem pós-graduação. Isso implica que, provavelmente, esses professores não tiveram esse conhecimento ao longo de suas formações iniciais. Nessa perspectiva, inicialmente os docentes não conheciam os modelos redox. Ao se perguntar qual modelo de reações redox é apresentado majoritariamente nos livros didáticos, nenhum dos professores soube reconhecer um dos

quatro modelos científicos para as reações redox. Em uma das atividades realizadas ao longo do curso, apresentavam-se nove equações e questionava-se se as equações eram ou não reações redox e solicitava-se que os professores justificassem a resposta (Apêndice 6). O observado é que a maior parte dos professores justificam utilizando o conceito de número de oxidação e depois a transferência de elétrons:

Porque o Nox do Cr é zero (P2).

Não é redox, nenhum dos elementos variaram o nox (P6).

O nox do Manganês também modificou de +2 para +4 (P17).

Porque quando reduzido, cada átomo de Cr ganha três elétrons, como mostrado na equação (P1)

Algumas das explicações dos professores utilizaram os dois modelos:

O Cr aumentou o nox e ganhou elétrons (P6).

O átomo de Cr ganhou 3 elétrons, ele reduziu, e seu número de oxidação ficou igual a zero (P15).

O nox do Mn vai de +2 para +4, perdeu elétrons (P18).

Além disso, muitos dos professores não justificam com nenhum modelo redox (Goes, Castro, & Fernandez, 2018):

Não ocorre redox, esta reação é de neutralização; óxido básico e ácido (P1).

Quando o álcool se torna cetona é uma oxidação (P7).

É redox pois há um agente redutor e um outro oxidante (P19).

Na atividade sobre reações redox e ponte salina, algumas concepções foram abordadas em forma de afirmações e os professores deveriam verificar se as afirmações eram verdadeiras ou falsas e justificar suas respostas (Apêndice 8). Sete professores afirmaram que os elétrons caminham pela ponte salina. Por exemplo, para a afirmação: “Os elétrons se movem através da solução pela atração de um íon pelo outro”, muitos dos professores afirmaram que essa é uma afirmação verdadeira e justificam:

Verdadeira, os elétrons migram da solução para os eletrodos (P4, questionário)

Verdadeira, pois os elétrons se movem pela solução (P13, questionário).

Verdadeira, os elétrons entram na solução pelo cátodo, viajam através da solução e da ponte salina, e emergem no ânodo para completar o circuito (P9, questionário).

Poucos professores reconhecem que a afirmação é falsa, um deles complementou que essa concepção é difícil de ser verificada nos alunos pois:

Eles [os alunos] não falam sobre os elétrons “nadando” em solução. O maior índice de erro está na polaridade dos eletrodos, uma vez que explicada a eletrólise. Eles esquecem de ver o fluxo de elétrons para determinar os polos nos eletrodos, e ou invertem-os (P17, questionário).

Ao longo das discussões no ambiente virtual e no final do curso, principalmente nas respostas ao questionário CoRe, observou-se uma melhora do conhecimento dos professores sobre as concepções sobre os conceitos redox. A principal concepção citada é em relação ao fluxo de elétrons:

Fluxo de elétrons que passa pelo condutor e não na solução (P8, CoRe 2).

Entender que somente elétrons caminham no fio metálico (P13, CoRe 2).

Pensamento que os elétrons são conduzidos na ponte salina (P14, CoRe 2).

Alunos pensam que elétrons nadam (P18, CoRe 2).

Outra concepção apresentada associava-se à presença indispensável do elemento oxigênio nas reações redox:

Oxirredução, não são apenas os que tem oxigênio envolvido (P9, Fórum).

Alunos tem dificuldade em entender que quem sofre Oxirredução, não são apenas os que tem oxigênio envolvido (P9, Fórum)

As dificuldades que o aluno pode apresentar acontece com as palavras oxidação e o elemento oxigênio (P13, Fórum).

Outra coisa, o metal foi oxidado, aí meu aluno fala: “então ele reagiu com oxigênio”, “oxidou tem oxigênio”. Eles se confundem aí (P10, encontro 2).

Um professor citou a concepção sobre a representação de uma pilha e o posicionamento do catodo e do anodo:

Na hora de escrever a notação da pilha, por convenção, é oxidação e depois redução, mas na hora que eu for representar eu não preciso desenhar nessa ordem. Os alunos pensam que sempre é assim. Se eu inverte, eles erram (P17, Encontro 4).

Nesse momento, chamou-se atenção para o fato dos livros sempre adotarem essa representação e, cabe aos professores explicarem aos alunos para evitar essa concepção.

4.2.4.2.4 Conhecimento das estratégias instrucionais para o ensino de ciências

O conhecimento das estratégias instrucionais é a ideia dos professores sobre os métodos ou atividades específicas para tornar-se um assunto compreensível para seus alunos, também inclui como e quando usá-las. De acordo com a Tabela 32, no total foram 268 segmentos codificados em 120 documentos, sendo 93 segmentos codificados em 40 documentos iniciais (CoRe1 e PA1) e 103 segmentos codificados em 40 documentos finais (CoRe2 e PA2). Ao longo do curso, foi possível identificar indícios de estratégias a serem utilizadas principalmente nas respostas às vinhetas, sendo 58 segmentos codificados em 20 documentos. Pode-se observar que as estratégias consideradas específicas para o ensino de reações redox aumentaram ao longo do curso, principalmente quando manifestadas nas respostas das vinhetas.

Tabela 32 - Segmentos codificados no componente Estratégias em três momentos distintos

		Estratégia		
		Geral	Específico	SOMA
Início	PA1	14	14	28
	CoRe1	54	11	65
Durante	Fórum	10	4	14
	Vinhetas	1	57	58
Final	CoRe2	33	34	67
	PA2	9	27	36

Conforme a Tabela 33, a experimentação é a estratégia mais utilizada pelos professores, seguida pela utilização de exercícios. Entretanto, os professores apenas afirmam em termos gerais, sem especificar que tipo de experimentação ou quais materiais a serem usados. Da mesma forma ocorre com a utilização de exercícios, os professores citam sem fornecer nenhum detalhe sobre o tipo de exercício.

Tabela 33 – Visão geral das estratégias consideradas gerais utilizadas pelos professores no curso

		PA1	CoRe1	Fórum	Vinhetas	CoRe2	PA2	Total
Geral	experimentação	1	15	0	0	8	0	24
	exercícios	2	7	2	0	7	3	21
	vídeo	3	7	1	0	3	1	15
	textos	2	5	1	0	2	2	12
	aula teórica	3	5	0	0	2	0	10
	simulação geral	0	4	3	0	2	1	10
	debate em sala	1	2	0	0	3	1	7
	trabalho	0	3	0	0	4	0	7
	jogos	1	2	2	0	1	0	6
	questionamentos	0	1	0	0	1	0	2
	analogia	0	0	0	1	0	0	1
	atividades	0	1	0	0	0	0	1
	conhecimentos prévios	0	1	0	0	0	0	1
	laboratório virtual	0	0	1	0	0	0	1
	mapa conceitual	1	0	0	0	0	0	1
	notação química	0	0	0	0	0	1	1
	resolução de problemas	0	1	0	0	0	0	1
	Total	14	54	10	1	33	9	121

Com relação às estratégias consideradas específicas, a partir da Tabela 34, observa-se que explicações referentes ao conteúdo foram as mais utilizadas pelos professores, seguido da construção de uma pilha.

Tabela 34 - Visão geral das estratégias consideradas específicas utilizadas pelos professores no curso

	PA1	CoRe1	Fórum	Vinheta	CoRe2	PA2	Total
explicações especificadas	0	0	0	37	0	0	37
construção de pilha	6	2	0	0	4	9	21
exemplo especificados	0	1	0	18	1	0	20
representação pilha de Daniell	0	0	0	0	5	4	9
aula teórica especificada	1	1	0	0	3	2	7
simulador de funcionamento de pilha	1	0	1	0	4	1	7
experimentação condutividade	0	1	0	0	3	3	7
exercícios cálculo NOx	1	1	0	0	1	1	4
experimento sobre ponte salina	0	0	0	0	4	0	4
cálculo de potencial	0	0	0	0	1	2	3
exercícios com reações redox	1	0	1	0	0	1	3
experimentação com enferrujamento prego	2	1	0	0	0	0	3
questionamento sobre uso de pilhas	1	0	0	0	2	0	3
abordagem histórica pilha	0	0	0	0	2	0	2
conhecimento prévio dos alunos de fatos cotidianos referente a pilhas	0	2	0	0	0	0	2
simulação de condutividade	0	0	0	0	1	1	2
vídeo sobre construção de pilha	0	0	0	0	1	1	2
questionamentos especificados	0	0	0	2	0	0	2
experimentação sobre eletrodeposição	1	1	0	0	0	0	2
exercícios distribuição eletrônica	0	1	0	0	0	0	1
laboratório sobre corrosão	0	0	0	0	1	0	1
representação imagens corrosão	0	0	0	0	1	0	1
seminários sobre temas específicos de eletroquímica	0	0	1	0	0	0	1
texto sobre pilhas	0	0	0	0	0	1	1
vídeo sobre soluções eletrolíticas	0	0	0	0	0	1	1
experimentação metais em soluções	0	0	1	0	0	0	1
Total	14	11	4	57	34	27	147

As estratégias de ensino se relacionam com as orientações, pois as escolhas acerca das estratégias têm que estar de acordo com o objetivo de ensino. Por exemplo, o professor que apresenta uma orientação didática, vai utilizar mais estratégias centradas neles, como sugere os trechos abaixo:

O ouro tem o maior preço de venda entre os três metais, mais nobre (P1, Vinheta).

É importante explicar que processos de eletrólise gastam bastante energia e tem altos custos (P14, Vinheta).

Dando as explicações pertinentes ao processo de oxirredução (P15, vinheta).

Os professores que apresentam uma orientação processo adotam estratégias centradas nos alunos, com objetivo de desenvolver alguma habilidade:

Construção de pilhas com diversos materiais (P2, CoRe2).

Vídeos mostrando construção de pilha (P6, CoRe2).

Montagem de uma pilha de Cu e Zn (P7, PA2).

Agora, com o desenho pronto, vamos indicar os sentidos dos elétrons, o cátodo e o anodo (P10, PA2).

Montagem da pilha de Daniell (P17, PA2).

Nas discussões do fórum (Figura 55), a simulação foi a estratégia mais apontada pelos professores para abordar o conteúdo de reações redox:

A simulação é outro modo de estratégia de ensino com uso de softwares (P11, fórum).

Eu utilizo também alguns laboratórios virtual, e jogos (P16, fórum).

Jogos *on-line* e experimentação online, além do laboratório de papel, são outros mecanismos de aprendizagem que podemos utilizar abordar o conteúdo (P17, Fórum).

Figura 55 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao segundo fórum: Quais outras possíveis estratégias de ensino para esse conteúdo?

Outro professor cita a questão da existência dos objetos educacionais digitais¹⁴ nas coleções dos livros aprovados no PNLD:

A maioria das editoras hoje, o diferencial deles, é o pacote digital, quer dizer, cada vez mais oferecem aos professores, de alguma

¹⁴ Os objetos educacionais digitais são vídeos, animações, simuladores, imagens, jogos, textos, entre outros itens para auxiliar na aprendizagem

maneira, todas essas facilidades, você entra lá [no ambiente digital] e tem um monte de coisa. Se você adotar o livro, você já tem acesso a essa parte digital (P14, Encontro 3).

Entretanto, quando os professores foram questionados se usam as simulações eles responderam que apenas conhecem, mas não a utilizam em sala de aula:

Eu não utilizo por que tenho a dificuldade de não ter acesso a internet na escola, e muitas das simulações precisa da internet (P11, Encontro 3).

Na minha escola não tem sala de informática, o que dificulta a utilização desse tipo de estratégia (P18, Encontro 3).

A partir dos excertos acima, observa-se que uma das problemáticas que influencia na escolha das estratégias de ensino dos professores é a falta de equipamentos e o acesso à internet. A falta de laboratórios para experimentação ou de uma sala de informática para utilização de simuladores, faz com que os professores não adotem outros tipos de estratégias. O conhecimento dos materiais curriculares e o conhecimento das estratégias estão relacionados entre si. O material utilizado depende da estratégia adotada. Desta forma, se o professor não souber qual estratégia é mais adequada para o conteúdo que pretende ensinar, não saberá como escolher o melhor material.

Assim como relatado na literatura (Henze, et al., 2008; van Driel & De Jong, 2001; van Driel, et al., 1998), o componente conhecimento de estratégias instrucionais foi o componente observado com maior desenvolvimento ao longo do curso.

4.2.4.2.5 Conhecimento da avaliação da aprendizagem em ciências

Este componente está relacionado às estratégias para avaliar o pensamento do aluno. Além disso, inclui como e quando usar as avaliações. De acordo com a Tabela 35, foram codificados 180 segmentos referentes à avaliação, sendo 66 relacionados ao início do curso, 19 ao longo do curso e 95 ao final do curso. A questão da avaliação não foi manifestada ao longo das respostas às vinhetas.

Tabela 35 - Segmentos codificados no componente Avaliação em três momentos distintos

		Avaliação		
		Geral	Específico	SOMA
Início	PA1	1	1	2
	CoRe1	60	4	64
Durante	Fórum	17	2	19
Final	CoRe2	60	13	73
	PA2	7	15	22

A maior manifestação sobre avaliação é mais expressiva nos aspectos gerais da avaliação. Nesse sentido, os professores apenas citam estratégias gerais para avaliar a compreensão do conteúdo, por exemplo, “atividades”, “atividades escritas”, “atividades práticas”, “exercícios”, “questionários”, “experimentos”; “relatórios” ou “avaliação com questão do Enem”.

Esses resultados assemelham-se com os encontrados por Aydin, Friedrichsen, Boz e Hanuscin (2014). Os autores sugeriram que os professores geralmente não possuem PCK de domínio específico para avaliação no campo da compreensão eletroquímica. Conforme a Figura 56, nota-se que a estratégia mais utilizada para avaliação da compreensão do conteúdo é exercícios.

Figura 56 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao terceiro fórum: Quais as estratégias de avaliação para esse conteúdo?

Ao longo das discussões do fórum as formas de avaliação mais citadas foram gerais:

Avaliar continuamente é a melhor maneira, para isso eu faço exercícios, grupos de trabalho com relatórios, provas. (P1, fórum).

Para avaliar se os alunos aprenderam acredito que a resolução exercícios é bastante adequada. Essa seria a estratégia para avaliá-los (P7, fórum).

Alguns dos professores descrevem os conceitos que avaliariam e que estratégia adotaria para os avaliar, como denota o trecho:

Através de exercícios com reações redox, onde o aluno indica que elemento reduziu e que elemento oxidou e também através de relatórios de aula prática (P10, fórum).

Quando o professor descreve que utiliza a experimentação como uma forma de avaliar a compreensão dos alunos, exemplifica qual a experimentação realiza e como avalia o aluno, como suscita o trecho:

Geralmente consigo avaliar melhor, quando eles apresentam experimento do tipo pilha de limão, de batata, etc. pois com a apresentação sempre surgem discussão (P5, fórum).

Consistente com uma orientação didática, os participantes perceberam a avaliação principalmente como sumativa, consistindo em exercícios e provas para investigar o que os alunos aprenderam. Na Tabela 36, agruparam-se os métodos de avaliação, sendo que exercícios é o método de avaliação geral mais utilizado pelos professores, seguido por prova e discussão. Esse resultado assemelha-se ao encontrado por Tacoshi e Fernandez (2014), no qual os professores preferem avaliações mais formais (escritos) do que as não formais (questões orais, observação do comportamento).

Em relação às avaliações específicas, a mais utilizada é a discussão da experimentação realizada:

Retomada das ideias acerca do experimento (P18, CoRe2).

Atividade em grupo de discussão sobre o experimento (P9, PA2).

Discussão geral sobre o experimento (P3, PA2).

Discussões e explicações sobre o experimento (P17, PA2).

É proposto que cada estudante formule um questionamento sobre o que foi observado e discutido nas duas aulas (P4, PA2).

O segundo tipo de avaliação mais utilizado é a construção de pilha:

Mostre seu passo a passo por desenhos e descrevendo o motivo da montagem (P17, PA2).

Reconstrução de uma pilha (P5, CoRe2).

No momento final do curso, quando os professores utilizam exercícios como uma forma de avaliação, conseguem ser mais específicos sobre os tipos de exercícios:

Lista de exercícios sobre o conceito de pilha (P8, PA2)

Exercícios característicos de reações de oxidação e redução e classificação de agente oxidante e agente redutor (P11, PA2)

Exercícios em sala de aula sobre conceitos de redox, soluções eletrolíticas e pilhas, buscando o entendimento do conteúdo (P9, PA2).

Tabela 36 - Visão geral das estratégias de avaliação utilizadas pelos professores no curso

		PA1	CoRe1	Fórum	CoRe2	PA2	Total
Geral	Exercícios	0	16	6	18	2	42
	Prova	0	8	2	10	2	22
	Discussão	0	8	1	12	1	22
	Atividades	0	9	0	9	2	20
	Relatório	1	8	5	4	0	18
	Trabalhos	0	9	2	3	0	14
	Exercícios do Enem	0	0	0	3	0	3
	Mapa conceitual	0	1	1	0	0	2
	Auto avaliação	0	0	0	1	0	1
	Projeto social	0	1	0	0	0	1
Específico	Discussão sobre a experimentação realizada	0	1	0	3	6	10
	Construção pilha	0	1	2	3	1	7
	Exercícios para identificar agente redutor/oxidante	0	1	0	0	3	4
	Questionário especificado	1	0	0	1	2	4
	Representação pilha	0	0	0	3	1	4
	Exercícios do cálculo potencial padrão	0	0	0	3	0	3
	Exercícios do cálculo do nox	0	1	0	0	1	2
	Escrever semirreações	0	0	0	0	1	1
Total		2	64	19	73	22	180

Mesmo os docentes sendo mais específicos, a quantidade de segmentos codificados em avaliação geral ainda é alta. Além disso, não se obteve informações de quando e porque os professores usariam essas avaliações. De forma geral, nos planos de aula elaborados, a avaliação era o último aspecto descrito. No campo da pesquisa, há muito sobre o que os professores compreendem e pouca pesquisa sobre o que eles entendem sobre avaliação (Schneider & Plasman, 2011). O que se sabe é que o

conhecimento da avaliação é importante, mas entender os papéis dela não ocorre espontaneamente (Tacoschi & Fernandez, 2014).

4.2.4.3 Reunindo os componentes para desenvolvimento do PCK

A integração entre os componentes do PCK é essencial para ser um professor de sucesso (Fernández-Balboa & Stiehl, 1995). A falta de coerência entre os componentes pode ser problemática, afinal o PCK deve ser visto como um todo e não como componentes separados (Aydin & Boz, 2013). Em outras palavras, no desenvolvimento de PCK, os componentes precisam estar conectados entre si para permitir que toda a estrutura do PCK funcione e auxilie o aprendizado do aluno. Como discutido anteriormente, um número maior de manifestações indicou um desenvolvimento individual dos componentes do PCK de reações redox. Para investigar um possível desenvolvimento do PCK, analisaram-se os segmentos que revelavam a integração de dois ou mais componentes do modelo pentágono. Apesar dos professores não considerarem os conhecimentos dos estudantes na reelaboração do plano de aula, observa-se a integração de outros componentes, como as orientações e o conhecimento das estratégias instrucionais. Além disso, nas respostas do questionário CoRe2 também foi possível identificar mais integrações entre os componentes. De acordo com a Tabela 37, verifica-se os segmentos codificados que apresentam integração entre os componentes do PCK. Observa-se que a maior integração contempla as orientações e as estratégias instrucionais.

Tabela 37 - Segmentos codificados de acordo com a integração entre os componentes do PCK

		Componentes do PCK				
		Avaliação	Currículo	Alunos	Estratégia	Orientação
Componentes do PCK	Avaliação	0	5	2	5	5
	Currículo	5	0	5	13	12
	Alunos	2	5	0	6	8
	Estratégia	5	13	6	0	18
	Orientação	5	12	8	18	0

Em alguns casos, a integração foi simples, na qual um componente do PCK informou outro (Figura 57).

Figura 57 - Exemplos de integrações simples entre os componentes do PCK

P1, nas respostas ao CoRe final (CoRe2) lista como ideia central a montagem dos eletrólitos e apresenta como objetivo que os alunos diferenciem qual substância conduz ou não corrente elétrica. Para desenvolver essa ideia propõe como estratégia uma aula expositiva com os conceitos de solução eletrolítica, seguida de um experimento demonstrativo para a verificação de condutividade elétrica de diferentes soluções. Observa-se que a orientação do professor sugere a adoção da estratégia.

P6 também integra esses dois componentes do PCK. Na resposta ao CoRe2, propõe a utilização de vídeos sobre a construção de pilhas para que os alunos entendam o funcionamento de uma pilha.

Da mesma forma, P8 manifesta a integração entre sua orientação com a estratégia adotada ao utilizar um experimento demonstrativo para que os alunos compreendam a função e o conceito da ponte salina.

P7, na sua reelaboração do plano de aula (PA2), afirmou que para abordar o tópico de células galvânicas, primeiramente faria uma sondagem oral, perguntando aos alunos se eles sabem o que são pilhas, se já utilizaram alguma vez e onde e se sabem qual o princípio do funcionamento de uma pilha, após esse levantamento das ideias prévias dos alunos, o professor iria explicar todos os conceitos envolvidos em uma pilha, para depois iniciar detalhadamente as reações redox. Nesse exemplo, o conhecimento prévio dos alunos sugere a seleção dos conteúdos.

P10, ao responder o questionário CoRe no final do curso (CoRe2), elenca com uma das ideias centrais “a finalidade da ponte salina” e descreve que os alunos têm

difículdade em entender a função da ponte salina, por isso o professor sugere que seja feito um experimento com a construção de uma pilha com e uma pilha sem ponte salina, para discutirem o papel dela. Nesse exemplo, o conhecimento dos alunos direciona a utilização de uma estratégia.

P11 também manifesta uma integração entre o conhecimento dos estudantes e o conhecimento das estratégias no CoRe2, ao afirmar que os alunos apresentam dificuldades em diferenciar o que é redução e o que é oxidação e adotaria uma música sobre esses dois conceitos para abordar o assunto e minimizar essa dificuldade.

P15, no seu segundo plano de aula (PA2), elencou todos os conceitos a serem abordados naquela aula e descreveu que a avaliação seria um questionário específico com todos os conceitos vistos em sala. Nesse exemplo, o conhecimento do currículo indicou o uso da avaliação.

Alguns professores manifestaram a integração entre três componentes do PCK (Figura 58).

Figura 58 – Exemplos de integração entre três componentes do PCK

P3, na elaboração do segundo plano de aula (PA2), aponta como objetivo que os alunos identifiquem nas equações químicas quais elementos oxidam, quais elementos reduzem, qual é o agente oxidante e qual é o agente redutor. Para atingir esse objetivo, o

professor propõe uma aula expositiva com a utilização de vários exemplos de equações químicas e identifica, em cada uma, o número de oxidação dos elementos envolvidos e os agentes oxidantes e redutores. Para avaliar a compreensão ou não dos alunos, propõe um exercício no qual os alunos devem identificar quais elementos sofrem oxidação e quais sofrem redução, bem como identificar os agentes redutores e oxidantes. Verifica-se que a orientação do professor influenciou a escolha da estratégia que por sua vez definiram a avaliação.

P12, no segundo plano de aula (PA2), elencou todos os conceitos a serem abordados naquela aula e apresentou como objetivo que os alunos verifiquem e compreendam o funcionamento de uma pilha, para isso, após uma aula teórica expositiva, propõe um experimento demonstrativo da pilha de Daniell. Nesse caso, o conhecimento do currículo acompanhado das orientações do professor sugere a escolha da estratégia.

P14, no CoRe2, manifesta a integração de três componentes do PCK. Esse professor aponta como uma ideia central o funcionamento de uma pilha e define seu objetivo de ensino que é os alunos entenderem o fluxo de elétrons. P14 tem a consciência da concepção dos alunos que “os elétrons podem fluir na ponte salina pela solução aquosa” e adota como estratégia uma aula teórica na qual representaria duas células galvânicas, uma com ponte salina e outra sem para enfatizar o papel da ponte salina. Nesse exemplo, o conhecimento das concepções dos alunos junto com a orientação do professor, definem a escolha da estratégia. Assim como apontado por Aydin e Boz (2013), observa-se que a orientação didática desse professor moldou a maneira de abordar a concepção dos alunos. Assim como proposto pelo P10, o professor poderia ter utilizado de uma experimentação com e sem ponte salina, para os alunos verificarem na prática a função dela.

P5, em seu segundo plano de aula (PA2), propõe a mesma experimentação para verificar a função da ponte salina. Entretanto, o que se observa nesse caso é que a orientação do professor molda a escolha da estratégia que por sua vez sugere a avaliação.

Em outros casos observa-se a integração entre quatro componentes do PCK (Figura 59).

Figura 59 - Exemplos de integração entre quatro componentes do PCK

P4 reelabora seu plano de aula para o tópico de soluções eletrolíticas, apontando os conceitos a serem trabalhados na aula, com o objetivo principal de os alunos identificarem a natureza elétrica de diferentes substâncias. Para isso, pretende que os alunos realizem uma experimentação na qual terão que testar a condutividade de diferentes materiais em diferentes estados físicos. Para avaliar a compreensão dos alunos, pretende realizar uma discussão sobre o experimento e verificar a capacidade de os alunos explicarem o fenômeno. Nesse exemplo, verifica-se que o conhecimento do currículo sugere a adoção de uma estratégia que por sua vez direciona a avaliação. Mais uma vez, a orientação do professor moldou a maneira da escolha da estratégia.

P18 elenca em seu segundo questionário CoRe (CoRe2) a ideia de ponte salina, com o objetivo de que os alunos entendam a função da ponte salina. Além disso, o professor tem o conhecimento da concepção de que “os elétrons nadam e, então, podem fluir na ponte salina pela solução aquosa”. Para isso, P18 propõe uma atividade prática para demonstrar que em uma pilha, com dois compartimentos separados, se não tiver a ponte salina, a pilha não funciona e a partir do experimento discute o fluxo de elétrons. Para avaliar a compreensão dos alunos, o professor sugere uma discussão sobre o experimento e que, posteriormente, eles representem uma pilha, indicando o fluxo de elétrons e de íons. Nesse exemplo, o conhecimento da compreensão dos alunos, unido com a orientação do professor moldaram a adoção de uma estratégia que por sua vez direciona a avaliação.

Apenas dois professores manifestaram a integração entre os cinco componentes do PCK (Figura 60).

Figura 60 – Exemplo de integração entre os cinco componentes do PCK

P9, nas respostas do questionário CoRe2, também elencou como uma ideia central a função da ponte salina, tendo como objetivo que os alunos identifiquem a função da ponte salina no funcionamento de uma pilha. Como destacado previamente, o conceito de ponte salina foi o mais evidenciado ao longo do curso. P9 mostra seus conhecimentos do conteúdo ao dizer que a ponte salina retarda a velocidade da reação e aumenta o tempo de reação da pilha. Além disso, o professor afirma que os estudantes não sabem o porquê a ponte salina é utilizada ao se montar uma pilha e, também, adiciona que os alunos apresentam a concepção que os elétrons caminham pela ponte salina. Para suprir essas questões o professor sugere uma atividade experimental no qual se monte uma pilha com ponte salina e uma pilha sem ponte salina. Com esse experimento será possível esclarecer a função da ponte salina e enfatizar que não existem elétrons em solução. Com o intuito de identificar a compreensão dos alunos, propõe questões sobre o experimento e que os alunos representem uma pilha, indicando o caminho de elétrons e de íons. Nesse exemplo, a orientação do professor unida com o conhecimento do currículo e conhecimento dos estudantes influenciou a escolha da estratégia que por sua vez direcionou a avaliação.

P17, na resposta ao CoRe2, seleciona como ideia principal o funcionamento de uma pilha. Para isso, o professor elenca os conteúdos prévios necessários, aponta as dificuldades comuns dos estudantes relacionadas aos conceitos envolvidos, seleciona uma atividade demonstrativa e a escolha da avaliação é coerente com sua orientação e com as estratégias adotadas. Dessa forma, o professor conseguiu integrar os cinco componentes do PCK.

A partir dos exemplos acima, observa-se que, apesar de diferentes tipos de integração, a maioria dos professores foi capaz de integrar os componentes do PCK. Entretanto, percebe-se que o nível de complexidade das integrações pode variar.

Ficou claro que CEI foi o componente do PCK mais frequentemente conectado do que outros. Dessa forma, pode-se inferir que CEI foi um aspecto influente no curso

de formação continuada dos professores. Por outro lado, similar a Padilla e van Driel (Padilla & van Driel, 2011), CAA estava menos frequentemente conectado com outros componentes do PCK. Existem algumas explicações possíveis para esse fenômeno: durante o curso de formação continuada esse componente não foi enfatizado; o conhecimento da avaliação é complexo, envolvendo as crenças e valores sobre avaliação (Tacoshi & Fernandez, 2014); e os professores em serviço apresentam dificuldades na implementação de avaliações (Aydin, et al., 2015). Também está claro que o desenvolvimento de um componente não significa que outros se desenvolvam.

A menor conexão foi entre CCE e CAA. Por exemplo, a única integração entre esses dois componentes foi indireta, na qual o conhecimento das concepções dos alunos informava o conhecimento das estratégias que, por sua vez, informava o conhecimento da avaliação. As integrações ausentes podem indicar que os professores necessitam de mais apoio nesses componentes do que os outros. Se, ao longo da formação, o professor for auxiliado, é provável que consiga utilizar mais componentes do PCK simultaneamente (Aydin & Boz, 2013).

O componente OEC aparece principalmente na tomada de decisão, moldando a escolha das estratégias dos professores. Nesse sentido, a escolha do professor é filtrada por meio de sua orientação.

A reflexão pode ajudar os professores na integração dos componentes do PCK. Assim, após a reflexão, os professores poderiam usar os resultados da avaliação para revisar suas estratégias e melhorar a compreensão dos alunos.

No último fórum os professores discutiram sobre o papel da reflexão na profissão professor. Conforme a Figura 61, observa-se que a principal função na opinião deles é melhorar, no sentido de se desenvolver. Além disso, eles justificam suas respostas:

Considero a reflexão o ponto alto do desenvolvimento do professor... acredito que através da reflexão o professor se reconstrói, na sua prática em ensinar e na sua relação com o aluno. O conteúdo pode ser o mesmo ano a ano, mas a forma de abordagem pode ser outra, o aluno é outro. A reflexão é que permite o professor se analisar dentro do cenário o qual ele atua (P2, Fórum).

A reflexão é parte importante do processo evolutivo do professor como profissional. Para saber o que é relevante no processo de ensino aprendizagem é necessária reflexão sobre as interações professor-aluno-meio escolar. É necessário ter claro quais objetivos se pretende alcançar e como alcançar (P4, fórum).

Não imagino uma prática onde não reflitamos acerca das nossas dificuldades do ensino... e o que podemos fazer para melhorarmos (P18, fórum).

Figura 61 - Nuvem de palavras obtida a partir das respostas ao quinto fórum: Qual é o papel da reflexão na profissão professor?

Nas respostas dos professores sobre o papel da reflexão é possível identificar alguns dos componentes do PCK:

Considero a reflexão fundamental para o ensino em geral. Cada aluno tem uma percepção ou uma dificuldade em relação a um mesmo assunto, sendo papel do professor, refletir e entender estas necessidades, refletir sobre sua abordagem e qual a melhor técnica para trazer este conteúdo e principalmente qual a importância para o aluno (P9, fórum, grifo nosso).

Refletir sobre a escolha do conteúdo pois com apenas duas aulas sempre fica faltando abordar algum tema. Reconhecer o conhecimento prévio do aluno e perceber que estamos nos comunicando numa linguagem fora do seu cotidiano e trazendo-o para um mundo novo. Procurar conhecer cada aluno individualmente e trabalhar com suas qualidades positivas e negativas. Planejar as aulas os experimentos e os processos de avaliação. E principalmente motivar o aluno e criar valores que irão norteá-lo (P15, Fórum, grifo nosso).

A partir dos excertos acima, observa-se que os professores julgam a importância de se refletir para ter claro seus objetivos de ensino e poder selecionar as estratégias e avaliações de forma coerente.

Certamente, nem todo participante individual do curso desenvolveu os componentes e o seu PCK da maneira descrita. Assim como os resultados de Aydin e Boz (2013) e Park e Chen (2012) observa-se que a integração dos componentes é idiossincrática e apresenta diferentes níveis de complexidade, o que reafirma a

complexidade do PCK. A intenção desse estudo não foi investigar o PCK de cada professor, mas sim, verificar se o curso de formação continuada, estruturado para o desenvolvimento do PCK, forneceu elementos para permitir que os componentes do PCK desenvolvessem e proporcionar a integração dos mesmos.

As descrições dadas acima para a discussão de cada componente do PCK e da integração de seus componentes são uma reflexão da intervenção como sendo um processo explícito e interativo, que foi a intenção do estudo. As descrições apresentadas constituem-se de uma síntese dos resultados da pesquisa em relação aos professores participantes do curso. Ao longo do curso, os professores em serviço se beneficiaram da revisão de aspectos conceituais detectados como faltosos ou mal compreendidos. Além disso, foram desafiados a raciocinar sobre sua compreensão conceitual do tópico o que possibilitou um desenvolvimento conceitual. A ideia de transformar conteúdos para fins de ensino por meio de considerações de aspectos relacionados a concepções alternativas, dificuldades de aprendizagem, materiais curriculares, representações e estratégias para o ensino foi relevante. Enquanto evidências do desenvolvimento do PCK não foram tão expressivas, o impacto da intervenção é identificado na melhora dos componentes desse constructo. Pode-se observar que os professores desenvolveram os componentes do PCK, mesmo que em níveis diferentes. Por exemplo, o conhecimento das estratégias mostrou-se mais desenvolvido do que o conhecimento de avaliações. Além do progresso em relação aos componentes, também se notou a integração deles, evidenciando uma possível melhora do PCK sobre reações redox. Dessa forma, contribui-se para um dos objetivos iniciais de pesquisa sobre a possibilidade de desenvolvimento do PCK do conteúdo reações redox em um curso de formação continuada.

CONCLUSÕES

Este estudo investigou o potencial para que cursos de formação continuada sejam usados como uma ferramenta no desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK) e, conseqüentemente, no desenvolvimento profissional dos professores. Especificamente, o estudo foi conduzido pela questão de pesquisa sobre o impacto de um curso de formação continuada no desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo sobre conceitos relacionados a reações redox de professores de Química em serviço. Para chegar a uma resposta a esse questionamento se fez necessário uma investigação prévia do cenário sobre ensino e aprendizagem sobre os conceitos de reações redox. Os resultados obtidos com a investigação do cenário foram essenciais para a elaboração do curso de formação continuada fundamentado, principalmente, no desenvolvimento e integração dos componentes do PCK.

Ao cogitar a possibilidade de promover o desenvolvimento do PCK por meio de um conteúdo específico, optou-se pelo conteúdo de reações redox, pois é um conteúdo que está presente em processos naturais e em diversas aplicações cotidianas. Além disso, trata-se de um assunto relatado como de grande dificuldade tanto para ensinar quanto para aprender.

Primeiramente, investigou-se como os conceitos de reações redox aparecem nos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLD2015. Em relação à presença do conteúdo, verifica-se que na maioria das coleções, o conceito redox aparece principalmente no segundo volume, sendo que sequência de abordagem é: transferência de elétrons, definição de oxidação e de redução, definição de agente oxidante e redutor, balanceamento de equações, pilhas, potencial padrão de redução e eletrólise. Em relação aos modelos redox, observa-se que os livros utilizam majoritariamente a transferência de elétrons para definir reações redox, entretanto, na explicação e exemplificação de exercícios adotam o modelo do número de oxidação. O problema aqui não está em utilizar diferentes modelos, mas sim, em transitar entre os modelos sem uma explicação. Os livros utilizam o modelo do número de oxidação com uma série de regras para o cálculo do Nox de um átomo e/ou o equilíbrio de equações redox. Desse modo, a adoção do modelo de número de oxidação fica meramente limitada para promover a

explicação do balanceamento de equações químicas. Os livros poderiam explicitar as limitações e potencialidades de cada modelo. Por exemplo, explicar o porquê em reações inorgânicas utiliza-se mais o modelo de transferência de elétrons e de número de oxidação, enquanto que em reações orgânicas o ganho e perda de oxigênio é mais utilizado. Nesse sentido, os autores de livros didáticos poderiam mostrar como os vários modelos redox estão conectados e, dessa forma, fornecer elementos para uma compreensão mais clara do conteúdo.

Na análise dos livros, observa-se a utilização frequente de representações visuais e uma investigação mais profunda sobre a características e funções dessas representações foi realizada. Dessa forma, investigou-se como o conteúdo de reações redox está representado visualmente nos livros didáticos de Química. As representações foram analisadas em oito indicadores diferentes. Os resultados mostram que o uso de representações visuais nos quatro livros didáticos é muito semelhante e tendem a confirmar tendências já identificadas na literatura. Em relação à sequência didática, o que se observou é que a unidade evocação é a mais utilizada, ou seja, ao longo do texto presente no livro didático, o autor faz referência a um fato do cotidiano ou a um conceito que se supõe conhecido do aluno e apresenta uma representação sobre isso. Com relação à complexidade das imagens, observa-se que a grande maioria das representações são fotografias, utilizadas em mais de 50% das imagens relacionadas às reações redox dos livros de Química aprovados no PNLD2015. Quanto à funcionalidade das representações, mais de 55% das representações visuais serviram apenas para uma função decorativa, sendo categorizadas como inoperantes, ou seja, as ilustrações não auxiliam na compreensão do conteúdo. Fica evidente que uma das principais funções ao se utilizar uma ilustração é meramente a observação ou exemplificação da realidade, chamando a atenção do leitor e tornando o livro mais atraente e colorido. Ao se analisar a relação das representações com o texto principal, verifica-se que apenas 17% das representações estavam completamente relacionadas ao texto em questão, desta forma, fica difícil para os alunos entenderem o que a imagem envolve e qual é o objetivo dela. Assim, os autores de livros didáticos precisariam refletir ao vincular quaisquer imagens ao texto. Quanto aos textos presentes nas representações, observa-se a maioria sem etiqueta verbal, ou seja, os autores consideram que as figuras são autossuficientes, sem a necessidade de palavras ou frases para completá-las.

Da mesma forma, a literatura revela uma priorização entre os livros didáticos de dois dos níveis de representação: o macroscópico e o simbólico. Enquanto o conteúdo das reações redox abrange muitos conceitos abstratos, as ilustrações no nível submicroscópico são muito menos frequentes, representando menos de 2% do total. O conceito de reações redox deve ser representado nos livros de forma mais completa usando imagens em diferentes níveis representacionais. Dessa forma, os alunos podem imaginar melhor o conceito na conexão entre os diferentes níveis. Representações que combinam dois ou mais níveis representacionais são frequentemente empregadas sem enfatizar adequadamente ou explicar a conexão dos níveis. Apenas 11% das ilustrações poderiam ser caracterizadas como suficientemente conectadas. No entanto, para melhorar a compreensão dos alunos sobre as reações redox, há a necessidade de os livros didáticos usarem e explicarem a conexão entre as representações em vários níveis representacionais.

Geralmente, as ilustrações se concentram em uma estrutura da abordagem disciplinar, mas também fornecem referências da vida cotidiana e da indústria e tecnologia. As orientações da vida cotidiana e da indústria de tecnologia proporcionam uma excelente maneira para os alunos perceberem a importância das reações redox e de suas aplicações difundidas em suas próprias vidas. Os resultados mostram que os livros didáticos estão preocupados com a contextualização e tentam envolver os alunos com questões relacionadas à vida e ao ambiente em que vivem. Observa-se que aspectos históricos, ambientais e sócio científicos são raros. A utilização de tais abordagens poderia apoiar e enriquecer os contextos abordados nos livros didáticos de Química, mesmo se outro foco curricular para o ensino de reações redox for escolhido.

Com base na pesquisa realizada com os conceitos de reações redox nos livros didáticos de Química, também se investigou a influência de livros didáticos sobre a seleção desses pelos professores. O observado foi que os professores não conhecem os livros adotados, por mais que afirmam utilizar em sala de aula, eles desconhecem a sequência e até mesmo o modo como o conteúdo em questão é abordado nos livros. Em relação ao uso de representações, não houve nenhuma manifestação sobre essa questão por parte dos professores.

Posteriormente, investigou-se o conhecimento de professores de Química do ensino médio sobre como ensinar reações redox, com foco em seu conhecimento do entendimento do aluno, uso de representações, seleção de recursos e de estratégias

instrucionais. Por meio de questionários, uso de vinhetas, CoRe e observação de aulas de professores de Química foi possível identificar que prioritariamente os professores adotam explicações teóricas seguida de estratégias experimentais para o ensino de reações redox. Além disso, apesar dos professores manifestarem a importância de conectar o conteúdo com o cotidiano, elencam a transferência de elétrons como a ideia central para o ensino desse conceito. A maior parte dos professores apresentaram uma orientação didática, onde o ensino está centrado no professor e seu principal objetivo é transmitir fatos da ciência. Em relação à questão sobre o que os professores de Química sabem sobre concepções alternativas e dificuldades de compreensão dos estudantes em relação ao conteúdo de reações redox, observa-se que os professores investigados demonstram pouco conhecimento sobre a compreensão dos alunos sobre esse conceito, apontando poucas concepções alternativas, e a dificuldade mais relatada é em relação aos conceitos, por exemplo, diferenciar oxidação e redução e/ou agente oxidante e agente redutor.

Da mesma forma, pode-se investigar as dificuldades de professores do ensino médio em relação ao conteúdo de reações redox. Os resultados mostraram que os professores apresentam dificuldade em relação ao conteúdo, tanto expresso nas respostas dos questionários, quanto manifestados ao longo da intervenção piloto. Os professores, apesar de conseguirem definir reações redox, confundem termos como oxidante e redutor. Além disso, poucos professores sabem o conceito de eletrodo e a função da ponte salina. Foi possível identificar que alguns professores também apresentam concepções alternativas em relação ao conteúdo redox, no que se refere ao caminho dos elétrons no funcionamento de uma célula galvânica.

Ao se investigar cursos de formação continuada, notou-se que eles apresentam resultados positivos em relação ao desenvolvimento do conhecimento do conteúdo dos professores, principalmente quando elaborados com a utilização da experimentação.

Tanto em contexto nacional como internacional, observa-se que professores mais experientes apresentam um PCK de reações redox mais desenvolvido. Apesar de não se identificar grandes diferenças em relação às orientações e ao conhecimento da avaliação, verificou-se algumas diferenças sutis entre o conhecimento do currículo, indicando que professores experientes apresentam um melhor conhecimento do currículo e, também, diferenças mais marcantes, indicando que o conhecimento de

estratégias instrucionais é mais desenvolvido em professores com mais anos de experiência docente.

Com base nesse estudo prévio sobre o ensino e aprendizagem de reações redox e sobre o conhecimento dos professores em relação a esse conteúdo, elaborou-se um curso de formação continuada com o propósito de desenvolver o PCK de professores de Química. A intenção principal foi abordar questões relacionadas ao conhecimento da compreensão dos alunos, como conhecimento de dificuldades e concepções e ampliar o conhecimento de estratégias instrucionais, discutindo as possíveis estratégias para o ensino de reações redox.

A princípio, era de se esperar que o curso de formação continuada impactasse nos cinco componentes do PCK dos professores. E os resultados indicam que este foi realmente o caso. Ao olhar para as cinco dimensões do PCK, a análise mostra diferenças na medida em que elas foram influenciadas durante o curso de formação continuada. Observou-se que os professores fizeram consideravelmente mais declarações insinuando a influência em seu conhecimento dos alunos e seu conhecimento de estratégias instrucionais do que nos outros três componentes. Isso não foi uma surpresa, já que o curso de formação continuada foi baseado, principalmente, no conhecimento dos professores sobre as concepções dos alunos e se concentrou especialmente em compartilhar novas estratégias instrucionais sobre o conteúdo. Além disso, a partir da análise dos dados, foi possível concluir que, durante o curso de formação continuada, todos os professores revisitaram o conhecimento do conteúdo de reações redox, o que levou a uma compreensão mais profunda dos conceitos.

Em relação às orientações para o ensino, observa-se um aumento das orientações centradas no aluno. Com as discussões e atividades desenvolvidas ao longo do curso, os professores foram capazes de melhor expor seus objetivos de ensino e se permitirem pequenas mudanças no sentido de mudar suas estratégias e avaliações, normalmente centradas no professor, para estratégias centradas no aluno. Não houveram muitas manifestações relacionadas ao conhecimento do currículo. O que se observa é que, apesar dos professores indicarem o uso de livros didáticos, nota-se que eles não conhecem esse material e, portanto, não discutiram nem refletiram antes da escolha do livro. O conhecimento da compreensão dos alunos foi um dos componentes com melhor desenvolvimento. No início do curso poucos professores demonstraram conhecimento

das concepções, já no final, foi possível identificar algumas concepções e mais conhecimento das dificuldades.

Em relação ao conhecimento das estratégias, o curso foi importante para que os professores diferenciasssem estratégias gerais de específicas. Dessa forma, os professores conseguiram pensar na melhor forma que aquele conceito poderia ser abordado. No final do curso, houve mais manifestações sobre estratégias específicas. Apesar dos professores não apresentarem conhecimento da compreensão dos alunos na elaboração do plano de aula, observa-se que eles conseguiram fazer integração entre as dificuldades e concepções com a escolha das estratégias e seleção dos conceitos. Dessa forma, pode-se afirmar que houve uma melhora do PCK sobre reações redox.

Diante do exposto, e considerando que no Brasil, cursos de formação continuada são a opção mais escolhida para o desenvolvimento profissional, é possível promover um desenvolvimento do conhecimento pedagógico do conteúdo por meio de cursos voltados especificamente para este fim focados num determinado conteúdo específico. Vale ressaltar que, no contexto brasileiro, tais cursos não podem desconsiderar as falhas com o conteúdo específico que os professores apresentam e que necessitam também ser solucionadas. No momento há necessidade dos cursos de formação continuada se focarem primeiramente no conteúdo específico, mas, sem perder de vista o foco nos conhecimentos necessários para o ensino desse mesmo conteúdo, ou seja, o PCK.

REFERÊNCIAS¹⁵

- Abell, S. K. (2008). Twenty Years Later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405-1416. doi: 10.1080/09500690802187041
- Affeldt, F., Meinhart, D., & Eilks, I. (2017). *The use of comics in experimental science instructions in a non-formal learning environment*. Paper presented at the European Science Education Research Association (ESERA), Dublin, Ireland.
- Antunes, M. T. (2013a). *Ser Protagonista: Química 1* (2 ed. Vol. 1). São Paulo: Edições SM.
- Antunes, M. T. (2013b). *Ser Protagonista: Química 2* (2 ed. Vol. 2). São Paulo: Edições SM.
- Araújo, M. S., & Abib, M. L. (2003). Atividades experimentais no ensino da Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(2), 176-194.
- Atkins, P. W. (1997). *Físico-Química* (H. Macedo, Trans. Vol. 3). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Augusto, T. G. d. S., & Caldeira, A. M. d. A. (2007). Dificuldades para a implantação de práticas interdisciplinares em escolas estaduais, apontadas por professores da área de ciências da natureza. *Investigações em Ensino de Ciências*, 12(1), 139-154.
- Aydin, S., & Boz, Y. (2013). The nature of integration among PCK components: A case study of two experienced chemistry teachers. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 615-624. doi: 10.1039/C3RP00095H
- Aydin, S., Demirdogen, B., Akin, N. F., Uzuntiryaki-Kondakci, E., & Tarkin, A. (2015). The nature and development of interaction among components of pedagogical content knowledge in practicum. *Teaching and Teacher Education*, 46(Supplement C), 37-50. doi: https://doi.org/10.1016/j.tate.2014.10.008
- Barke, H. D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in Chemistry*. Berlin: Springer.
- Barral, F. L., Fernández, E. G. R., & Otero, J. R. G. (1992). Secondary students' interpretation of the process occurring in an electrochemical cell. *Journal of Chemical Education*, 69(8), 655-657.
- Benite, C. R. M. (2006). *Avaliação de tecnologias educacionais no ensino de química em nível médio*. Especialização, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Bernardino, M. A. D., Rodrigues, M. A., & Bellini, L. M. (2013). Análise crítica das analogias do livro didático público de química do estado do paran. *Cincia e Educao*, 19(1), 133-150.
- Bilican, K., Tekkaya, C., & Cakiroglu, J. (2012). Pre-service science teachers' instructional planning for teaching nature of science: a multiple case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 31, 468-472.

¹⁵ De acordo com o estilo APA – American Psychological Association

- Bocanegra, C. H. (2012). *Aspectos conceituais e epistemológicos do tema eletroquímica nos livros didáticos de química aprovados pelo programa nacional do livro didático para o ensino médio - pnlem (2007)*. Mestre em Educação, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP. Retrieved from http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90098/bocanegra_ch_me_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Boz, N., & Boz, Y. (2008). A Qualitative Case Study of Prospective Chemistry Teachers' Knowledge About Instructional Strategies: Introducing Particulate Theory. *Journal of Science Teacher Education*, 19(2), 135-156. doi: 10.1007/s10972-007-9087-y
- Brasil. (1999). *Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (Parte III: Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias)*. Brasília: MEC/Semtec Retrieved from <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>.
- Brasil. (2002). *PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias*. Brasília: MEC/Semtec Retrieved from <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>.
- Brasil. (2006). *Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC/Semtec Retrieved from http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf.
- Brasil. (2009). *Programa Nacional do Livro Didático*. Brasília: MEC / Secretária da Educação Básica Retrieved from <http://www.fnde.gov.br/arquivos/category/125-guias?download=9010:pnld-2015-quimica>.
- Brasil. (2014). *Guia de Livro Didático: PNLD 2015: química: ensino médio*. Brasília: MEC/Secretária da Educação Básica Retrieved from <http://www.fnde.gov.br/arquivos/category/125-guias?download=9010:pnld-2015-quimica>.
- Bucat, R. (2004). Pedagogical content knowledge as a way forward: Applied research in chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 215-228.
- Burrows, A., Holman, J., Parsons, A., Pilling, G., & Price, G. (2012). *Química3: introdução à química inorgânica, orgânica e físico-química*. (C. d. S. Edilson, Trans.). Rio de Janeiro: LTC.
- Canhota, C. (2008). Qual a importância do estudo piloto? In E. E. Silva (Ed.), *Investigação passo a passo: perguntas e respostas para investigação clínica* (pp. 69-72). Lisboa: APMCG.
- Carlsen, W. (1999). Domains of Teacher Knowledge. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education* (pp. 133-144). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Cassiano, K. F. D., Mesquita, N. A. d. S., & Ribeiro, P. G. (2016). Conhecimento pedagógico e conhecimento químico na formação de professores: a construção da identidade docente. *Química Nova*, 39(2), 250-259.
- Cássio, L. F., Cordeiro, D. S., Corio, P., & Fernandez, C. (2012). O protagonismo subestimado dos íons nas transformações químicas em solução por livros didáticos e estudantes de química. *Revista Electrónica de las Ciencias*, 11, 595-619.
- Castro, P., Gastaldo, B., Goes, L. F., Nogueira, K. S. C., & Fernandez, C. (2018). *Validating an instrument for assessing the PCK of Galvanic Cells*. Paper presented at the 14th European Conference on Research in Chemical Education, University of Warsaw.

- Chan, K. K. H., & Yung, B. H. W. (2015). On-Site Pedagogical Content Knowledge Development. *International Journal of Science Education*, 37(8), 1246-1278. doi: 10.1080/09500693.2015.1033777
- Cooper, R., Loughran, J., & Berry, A. (2015). Science teachers' PCK: Understanding sophisticated practice. In A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education*. New York: Routledge.
- Cortina, K. S., & Thames, M. H. (2013). Teacher Education in Germany. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Eds.), *Cognitive Activation in the Mathematics Classroom and Professional Competence of Teachers: Results from the COACTIV Project* (pp. 49-62). Boston, MA: Springer US.
- Coutinho, L. G. R., Oliveira, E., Rocha, G. D., Guedes, G. P., Silva, J. L. S., Ferreira, M. M., . . . Nunes, R. (2005). *Articulando o Ensino da Eletroquímica na Escola Média Utilizando Sucos de Frutas como Solução Eletrolítica*. Paper presented at the 28º Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Poços de Caldas.
- Creswell, J. W. (2012). *Educational Research: planning, conducting and evaluating quantitative and qualitative research* (4 ed.). Boston: Pearson Education.
- De Jong, O., Acampo, J., & Verdonk, A. (1995). Problems in Teaching the Topic of Redox Reactions: Actions and Conceptions of Chemistry Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(10), 1097-1110. doi: 10.1002/tea.3660321008
- De Jong, O., & Treagust, D. F. (2002). The teaching and learning of electrochemistry. In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. van Driel (Eds.), *Chemical Education: towards research-based practice* (pp. 317-337). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- De Jong, O., & van Driel, J. H. (2001). The Development of Prospective Teachers' Concerns about Teaching Chemistry Topics at a Macro-micro-symbolic Interface. In H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. Gräber, M. Komorek, A. Kross & P. Reiska (Eds.), *Research in Science Education - Past, Present, and Future* (pp. 271-276). Dordrecht: Springer Netherlands.
- De Jong, O., & van Driel, J. H. (2005). Exploring the Development of Student Teachers' PCK of the Multiple Meanings of Chemistry Topics. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(4), 477. doi: 10.1007/s10763-004-4197-x
- De Jong, O., van Driel, J. H., & Verloop, N. (2005). Preservice teachers' pedagogical content knowledge of using particle models in teaching chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(8), 947-964. doi: 10.1002/tea.20078
- De Jong, O., Veal, W., & van Driel, J. H. (2002). Exploring chemistry teachers' knowledge base. In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 369-390). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Devetak, I., & Vogrinc, J. (2013). The Criteria for Evaluating the Quality of the Science Textbooks. In M. S. Khine (Ed.), *Critical Analysis of Science Textbooks: Evaluating instructional effectiveness* (pp. 3-15). Dordrecht: Springer.
- Eames, C. (2016). Exploring Teacher Pedagogical Content Knowledge (Pck) Development Using Cores (Content Representations). In D. S. P. Gedera & P. J. Williams (Eds.), *Activity Theory in Education: Research and Practice* (pp. 169-181). Rotterdam: SensePublishers.
- Eilks, I., Rauch, F., Ralle, B., & Hofstein, A. (2013). How to Allocate the Chemistry Curriculum Between Science and Society. In I. Eilks & A. Hofstein (Eds.), *Teaching Chemistry – A Studybook* (pp. 1-36). Rotterdam: Sense.

- Elias, P. G. (2011). *Indícios do conhecimento pedagógico do conteúdo de licenciandos em química durante o estágio supervisionado*. Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Retrieved from <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81132/tde-31052012-102511/pt-br.php>
- Fernández-Balboa, J.-M., & Stiehl, J. (1995). The generic nature of pedagogical content knowledge among college professors. *Teaching and Teacher Education*, 11(3), 293-306. doi: [https://doi.org/10.1016/0742-051X\(94\)00030-A](https://doi.org/10.1016/0742-051X(94)00030-A)
- Fernandez, C. (2014a). *A base de conhecimentos para o ensino e o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK) de professores de Química*. Tese de Livre Docência, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Fernandez, C. (2014b). 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*, 60, 79-100.
- Fernandez, C. (2015). Revisitando a Base de Conhecimentos e o Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK) de professores de ciências. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(2), 500-528. doi: 10.1590/1983-21172015170211
- Fernandez, C., & Goes, L. F. (2014). Conhecimento pedagógico do conteúdo: estado da arte no ensino de ciências e matemática. In A. Garritz, S. F. D. Rosales & M. G. Lorenzo (Eds.), *Conocimiento Didáctico del Contenido. Una perspectiva Iberoamericana* (Vol. 1, pp. 65-99). Saarbrücken: Editorial Académica Española.
- FNDE. (2017). *Sobre os Programas do Livro*. Retrieved from <http://www.fnde.gov.br/programas/programas-do-livro/>.
- Fonseca, M. R. M. (2013a). *Química 1* (1 ed. Vol. 1). São Paulo: Editora Àtica.
- Fonseca, M. R. M. (2013b). *Química 2* (1 ed. Vol. 2). São Paulo: Editora Àtica.
- Fracalanza, H. (1992). *O que sabemos sobre os livros didáticos para o ensino de Ciências no Brasil*. Doutorado em Educação, Unicamp, Campinas.
- Freire, L. I. F., & Fernandez, C. (2014). Professores novatos de química e o desenvolvimento do PCK de oxidorredução: influências da formação inicial. *Educación Química*, 25(3), 312-324. doi: 10.1016/S0187-893X(14)70547-6
- Friedrichsen, P., Abell, S. K., Pareja, E., Brown, P., Lankford, D., & Volkmann, M. (2009). Does teaching experience matter? Examining biology teachers' prior knowledge for teaching in an alternative certification program. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 357-383.
- Friedrichsen, P., & Dana, T. M. (2005). Substantive-level theory of highly regarded secondary biology teachers' science teaching orientations. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 218-244. doi: 10.1002/tea.20046
- Friedrichsen, P., van Driel, J. H., & Abell, S. K. (2011). Taking a closer look at science teacher orientations. *Science Education*, 95(2), 358-376. doi: 10.1002/sce.20428
- Garnett, P. J., & Treagust, D. F. (1992a). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electric circuits and oxidation-reduction equations. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(2), 121-142. doi: 10.1002/tea.3660290204
- Garnett, P. J., & Treagust, D. F. (1992b). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(10), 1079-1099. doi: 10.1002/tea.3660291006
- Garritz, A., & Trinidad-Velasco, R. (2006). El conocimiento pedagógico de La estructura corpuscular de la matéria. *Educación Química*, 17, 114-141.

- Geddis, A. N., Onslow, B., Beynon, C., & Oesch, J. (1993). Transforming Content Knowledge: Learning to Teach about Isotopes. *Science Education*, 77(6), 575-591.
- Gess-Newsome, J. (1999). Secondary Teachers' Knowledge and Beliefs about Subject Matter and their Impact on Instruction. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge: The Construct and its Implications for Science Education* (pp. 51-94). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Gibin, G. B., & Ferreira, L. H. (2013). Avaliação dos estudantes sobre o uso de imagens como recurso auxiliar no ensino de conceitos químicos. *Química Nova na Escola*, 35(1), 19-26.
- Gibin, G. B., Kiill, K. B., & Ferreira, L. H. (2009). Categorização das imagens referentes ao tema equilíbrio químico nos livros aprovados pelo PNLEM. [Categorization of the images regarding the subject chemical equilibrium in the books approved by the PNLEM]. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 711-721.
- Giroto Junior, G., & Fernandez, C. (2013). 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*, 55, 57-73.
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2011). Development and application of suitable criteria for the evaluation of chemical representations in school textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 5-14. doi: 10.1039/C1RP90003J
- Goes, L. F. (2014). *Conhecimento Pedagógico do Conteúdo: Estado da arte no campo da educação e no ensino de química*. Mestrado em ensino de ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Retrieved from <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/81/81132/tde-30042015-154835/pt-br.php>
- Goes, L. F., Castro, P., & Fernandez, C. (2018). *Teachers understanding in redox reactions: redox models, simultaneity and reducing agent*. Paper presented at the 14TH European Conference on Research in Chemical Education, Warsaw, Poland.
- Goes, L. F., Chen, X., Nogueira, K. S. C., Fernandez, C., & Eilks, I. (2018). *An analysis of the visual representation of redox reactions and related content in Brazilian secondary school chemistry textbooks*. [Submetido].
- Goes, L. F., & Fernandez, C. (2016). Using CoRes for capturing Pedagogical Content Knowledge of redox reactions. In J. Lavonen, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto & K. Hahl (Eds.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2015 Conference. Science education research: Engaging learners for a sustainable future* (pp. 2163-2173). Helsinki, Finland: University of Helsinki.
- Goes, L. F., & Fernandez, C. (2017). Investigando o conhecimento pedagógico do conteúdo sobre reações de oxirredução de professores de química. In M. I. Cebreiros, P. Membiela, N. Casado & M. Vidal (Eds.), *La práctica docente en la enseñanza de las ciencias* (Vol. 1, pp. 551-556). Vigo: Educación Editora.
- Goes, L. F., & Fernandez, C. (2018a). Reflexões metodológicas sobre pesquisas do tipo estado da arte: investigando o conhecimento pedagógico do conteúdo. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 94-118.
- Goes, L. F., & Fernandez, C. (2018b). Using vignettes to assess Pedagogical Content Knowledge of redox reactions. In O. E. Finlayson, E. McLoughlin, S. Erduran & P. Childs (Eds.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2017 Conference. Research, Practice and Collaboration in Science Education* (pp. 1995-2004). Dublin, Ireland: Dublin City University.

- Goes, L. F., Fernandez, C., & Agostinho, S. M. L. (2016). *Concepções e dificuldades de um grupo de professores de química sobre conceitos fundamentais de eletroquímica*. Paper presented at the XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química, Florianópolis.
- Goes, L. F., Fernandez, C., & Eilks, I. (2018). *A case study on the development of pedagogical content knowledge about teaching redox reactions in german teacher education*. [Submetido].
- Goes, L. F., Nogueira, K. S. C., & Fernandez, C. (2018a). *An investigation of pre-service chemistry teachers' pedagogical content knowledge through reports of supervised internship*. Paper presented at the 14th European Conference on Research in Chemical Education, University of Warsaw.
- Goes, L. F., Nogueira, K. S. C., & Fernandez, C. (2018b). A Representação das Reações Redox através das Imagens em Livros Didáticos Brasileiros de Química. *Revista Acta Scientiae*, 20(2), 135-153.
- Goes, L. F., Nogueira, K. S. C., & Fernandez, C. (2018c). *Research and trends in teaching of redox reactions from 2000 to 2016: an analysis of publications in journals of science education*. [submetido].
- Goes, L. F., Vairolette, L., Albuquerque, G. Z. C., Bloisi, G. D., Fernandez, C., & Agostinho, S. M. L. (2016). *Reflexos de um curso de formação contínua em Eletroquímica em um grupo de professores do Ensino Médio*. Paper presented at the 39a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, Goiânia.
- Goldschmidt, P., & Phelps, G. (2010). Does teacher professional development affect content and pedagogical knowledge: How much and for how long? *Economics of Education Review*, 29(3), 432-439. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2009.10.002>
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: teacher and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Grossman, P. L., Wilson, S. M., & Shulman, L. S. (1989). Teachers of substance: subject matter knowledge for teaching. In M. C. Reynolds (Ed.), *Knowledge Base for the Beginning Teacher* (pp. 23-36). Oxford: Pergamon Press.
- Hanuscin, D. L., Cisterna, D., & Lipsitz, K. (2018). Elementary Teachers' Pedagogical Content Knowledge for Teaching Structure and Properties of Matter. *Journal of Science Teacher Education*, 1-28.
- Hashweh, M. Z. (2005). Teacher pedagogical constructions: A reconfiguration of pedagogical content knowledge. *Teachers and Teaching*, 11(3), 273-292.
- Henze, I., van Driel, J. H., & Verloop, N. (2008). Development of Experienced Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Models of the Solar System and the Universe. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1321-1342. doi: 10.1080/09500690802187017
- Huddle, P. A., White, M. D., & Rogers, F. (2000). Using a teaching model to correct known misconceptions in electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 77(1), 104-110. doi: 10.1021/ed077p104
- Hume, A. (2010). Investigating Content Representations (CoRes) as Pedagogical Tools for Science Teacher Education. *TDU Talk*, 5, 28-40.
- Hume, A., & Berry, A. (2011). Constructing CoRes - a strategy for building PCK in pre-service science: teacher education. *Research in Science Education*, 41(3), 341-355.

- Hume, A., & Berry, A. (2013). Enhancing the Practicum Experience for Pre-service Chemistry Teachers Through Collaborative CoRe Design with Mentor Teachers. *Research in Science Education*, 43(5), 2107-2136. doi: 10.1007/s11165-012-9346-6
- IUPAC. (2012). *Compendium of Chemical Terminology Gold Book*: International Union of Pure and Applied Chemistry.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75-83.
- Justi, R., & van Driel, J. H. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573. doi: 10.1080/0950069042000323773
- Khaddoor, R., Al-Amoush, S., & Eilks, I. (2017). A comparative analysis of the intended curriculum and its presentation in 10th grade chemistry textbooks from seven Arabic countries. [10.1039/C6RP00186F]. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(2), 375-385. doi: 10.1039/c6rp00186f
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: perspectives and potential for progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169-204. doi: 10.1080/03057260903142285
- Kind, V. (2015). Preservice Science Teachers' Science Teaching Orientations and Beliefs About Science. *Science Education*, 100(1), 122-152. doi: 10.1002/sce.21194
- Kotz, J. C., & Treichel, P. M. (2002). *Química e reações químicas* (J. R. P. Bonapace, Trans. 4 ed. Vol. 1). Rio de Janeiro: LTC.
- Landesinstitut für Schule. (2006). Naturwissenschaften, Biologie - Chemie - Physik: Bildungsplan für das Gymnasium Jahrgangsstufe 5 -10 Retrieved 26 nov, 2017, from <http://www.lis.bremen.de/>
- Lee, E., & Luft, J. A. (2008). Experienced Secondary Science Teachers' Representation of Pedagogical Content Knowledge. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1343-1363.
- Lee, S. J. (2007). Exploring students' understanding concerning batteries - Theories and practices. *International Journal of Science Education*, 29(4), 497-516. doi: 10.1080/09500690601073350
- Lima, V. A., & Marcondes, M. E. R. (2005). Atividades experimentais no ensino de química: Reflexões de um grupo de professores a partir do tema Eletroquímica. *Enseñanza de las Ciencias, extra*, 1-4.
- Loguercio, R. d. Q., Samrslá, V. E. E., & Pino, J. C. D. (2001). A dinâmica de analisar livros didáticos com os professores de Química. *Química Nova*, 24, 557-562.
- Lopes, A. R. C. (1992). Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química – Obstáculos animistas e realistas. *Química Nova*, 15(3), 254-261.
- Lopes, A. R. C. (1996). Potencial de redução e eletronegatividade - obstáculo verbal. *Química Nova na Escola*, 4, 22-23.
- Loughran, J., Berry, A., & Mulhall, P. (2006). *Understanding and developing science teachers' pedagogical content knowledge*. Netherlands: Sense Publishers.
- Loughran, J., Mulhall, P., & Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370-391. doi: 10.1002/tea.20007

- Luft, J. A., & Hewson, P. W. (2014). Research on teacher professional development programs in science. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. 2). New York: Routledge.
- Mackey, A., & Gass, S. (2005). Common data collection measures. In K. Debot, R. Ginsberg & C. Kramsch (Eds.), *Second language research: methodology and design* (pp. 45-99). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Magnusson, S., Krajcik, L., & Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge: the construct and its implications for science education* (pp. 95-132). Dordrecht: Kluwer Academics.
- Mahan, B. H. (1978). *Química: um Curso Universitário*. São Paulo: Edgard Blucher.
- Mamlok-Naaman, R., Rauch, F., Markic, S., & Fernandez, C. (2013). How to keep myself being a professional chemistry teacher. In A. Hofstein & I. Eilks (Eds.), *A practical guide and textbook for student teachers, teacher trainees and teachers* (pp. 269-297): Sense Published.
- Marcon, D., Graça, A. B. S., & Nascimento, J. V. (2011). O Conhecimento do contexto na formação inicial em Educação Física. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 27(4), 663-645.
- Marks, R. (1990). Pedagogical content knowledge: From a Mathematical case to a Modified Conception. *Journal of Teacher Education*, 41(3), 3-11.
- Martínez-Gracia, M. V., Gil-Quílez, M. J., & Osada, J. (2003). Genetic engineering: A matter that requires further refinement in Spanish secondary school textbooks. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1148-1168. doi: 10.1080/0950069022000038222
- Matiello, J. R., & Bretones, P. S. (2010). *Teses e Dissertações sobre o Ensino de Química no Brasil: análises preliminares*. Paper presented at the Encontro Nacional de Ensino de Química, Brasília.
- Mavhunga, E. (2012). *Explicit inclusion of topic specific knowledge for teaching and the development of pck in pre-service science teachers*. Doctor of Philosophy, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- Mavhunga, E. (2016). Transfer of the pedagogical transformation competence across chemistry topics. [10.1039/C6RP00095A]. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(4), 1081-1097. doi: 10.1039/c6rp00095a
- Mavhunga, E., Ibrahim, B., Qhobela, M., & Rollnick, M. (2016). Student Teachers' Competence to Transfer Strategies for Developing PCK for Electric Circuits to Another Physical Sciences Topic. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 1-15. doi: 10.1080/18117295.2016.1237000
- Mavhunga, E., & Rollnick, M. (2013). Improving PCK of Chemical Equilibrium in Pre-service Teachers. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 17(1-2), 113-125. doi: 10.1080/10288457.2013.828406
- Mavhunga, E., & Rollnick, M. (2016). Teacher- or Learner-Centred? Science Teacher Beliefs Related to Topic Specific Pedagogical Content Knowledge: A South African Case Study. *Research in Science Education*, 46(6), 831-855. doi: 10.1007/s11165-015-9483-9
- McNeill, K. L., & Knight, A. M. (2013). Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Scientific Argumentation: The Impact of Professional Development on K-12 Teachers. *Science Education*, 97(6), 936-972. doi: 10.1002/sce.21081
- Megid Neto, J. (1999). *Tendências da pesquisa acadêmica sobre o ensino de Ciências no nível fundamental*. Doutorado em Educação, Unicamp, Campinas.

- Melo, M. V. (2006). *Três décadas de pesquisa em Educação Matemática: um estudo histórico a partir de teses e dissertações*. Mestrado em Educação, Unicamp, Campinas.
- Mendonça, R. J. (2002). *O conceito de oxidação nos livros didáticos de Química Orgânica do Ensino Médio*. Mestrado em Ensino de Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Mendonça, R. J., Campos, A. F., & Jófili, Z. M. S. (2004). O conceito de oxidação-redução nos livros didáticos de química orgânica do ensino médio. *Química Nova na Escola*, 20, 45-48.
- Mohrig, J. R., Hammond, C. N., Morrill, T. C., & Neckers, D. C. (1998). *Experimental Organic Chemistry*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Monteiro, I. G., & Justi, R. (2000). Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(2), 48-79.
- Morais, P. V., Moreira, M. D., & Sales, N. L. L. (2012). *Análise de erros conceituais e desatualizações de livros de ciências e geografia após a análise do pnld* Paper presented at the II Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, São Paulo - SP.
- Moreira, M. A. (2011). Abandono da narrativa, ensino centrado no aluno e aprender a aprender criticamente. *REMPEC - Ensino, Saúde e Ambiente*, 4(1), 2-17.
- Mortimer, E. F. (1988). A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário. *Em Aberto*, 7(40), 25-41.
- Mortimer, E. F., & Machado, A. L. (2013a). *Química 2: ensino médio* (2 ed. Vol. 2). São Paulo: Scipione.
- Mortimer, E. F., & Machado, A. L. (2013b). *Química 3: ensino médio* (2 ed. Vol. 3). São Paulo: Scipione.
- Niaz, M. (2002). Facilitating conceptual change in students' understanding of electrochemistry. *International Journal of Science Education*, 24(4), 425-439. doi: 10.1080/09500690110074044
- Niaz, M., & Chacón, E. (2003). A conceptual change teaching strategy to facilitate high school students' understanding of electrochemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 12(2), 129-134. doi: 10.1023/A:1023983626388
- Nilsson, P. (2008). Teaching for Understanding: The complex nature of pedagogical content knowledge in pre-service education. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1281-1299. doi: 10.1080/09500690802186993
- Nilsson, P., & Loughran, J. (2012). Exploring the Development of Pre-Service Science Elementary Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Science Teacher Education*, 23(7), 699-721. doi: 10.1007/s10972-011-9239-y
- Nilsson, P., & Vikström, A. (2015). Making PCK Explicit—Capturing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) in the Science Classroom. *International Journal of Science Education*, 37(17), 2836-2857. doi: 10.1080/09500693.2015.1106614
- Nogueira, K. S. C. (2018). *Reflexos do Pibid na prática pedagógica de licenciandos em química envolvendo o conteúdo oxirredução*. Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Nogueira, K. S. C., Goes, L. F., & Fernandez, C. (2017a). As limitações de ensino-aprendizagem associadas ao conteúdo redox nos eventos brasileiros. *Enseñanza de las Ciencias, Extra*, 4197-4202.
- Nogueira, K. S. C., Goes, L. F., & Fernandez, C. (2017b). O estado da arte sobre o ensino de reações redox nos principais eventos na área de educação no Brasil. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 410-434.

- Novais, R. M., & Fernandez, C. (2013). O acesso ao conhecimento pedagógico do conteúdo de “cinética enzimática” de um professor do ensino superior a partir de narrativas sobre sua prática docente. *Enseñanza de las Ciencias, Extra*, 3801-3806.
- OECD. (2009). The Professional Development of Teachers. In Secretary-General of the OECD (Ed.), *Creating Effective Teaching and Learning Environments: First Results from TALIS*: OECD.
- Österlund, L.-L., Berg, A., & Ekborg, M. (2010). Redox models in chemistry textbooks for the upper secondary school: friend or foe? [10.1039/C005467B]. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(3), 182-192. doi: 10.1039/c005467b
- Österlund, L.-L., & Ekborg, M. (2009). Students' Understanding of Redox Reactions in Three Situations. *Nordic Studies in Science Education*, 5(2), 115-127.
- Özkaya, A. R. (2002). Conceptual difficulties experienced by prospective teachers in electrochemistry: Half-cell potential, cell potential, and chemical and electrochemical equilibrium in galvanic cells. [Article]. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 735-738.
- Özkaya, A. R., Uce, M., Saricayir, H., & Sahin, M. (2006). Effectiveness of a Conceptual Change-Oriented Teaching Strategy to Improve Students' Understanding of Galvanic Cells. *Journal of Chemical Education*, 83(11), 1719-1723.
- Padilla, K., & van Driel, J. H. (2011). The relationships between PCK components: the case of quantum chemistry professors. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(3), 367-378. doi: 10.1039/c1rp90043a
- Park, S., & Chen, Y.-C. (2012). Mapping Out the Integration of the Components of Pedagogical Content Knowledge (PCK): Examples From High School Biology Classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 922-941.
- Park, S., & Oliver, J. S. (2008a). National Board Certification (NBC) as a Catalyst for Teachers' Learning about Teaching: The Effects of the NBC Process on Candidate Teachers' PCK Development. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(7), 812-834. doi: 10.1002/tea.20234
- Park, S., & Oliver, J. S. (2008b). Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261-284.
- Pazinato, M. S., Braibante, M. E. F., Miranda, A. C. G., & Freitas, R. T. G. d. (2016). Análise dos recursos visuais utilizados no capítulo de ligações químicas dos livros didáticos do PNLD 2015. *Acta Scientiae*, 18(121-144), 121.
- Perales, F. J., & Jiménez, J. d. D. (2002). Las ilustraciones en las enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Investigación Didáctica*, 20(3), 369-386.
- Posada, J. M. (1997). Conceptions of high school students concerning the internal structure of metals and their electric conduction: structure and evolution. *Science Education*, 81, 445-467.
- Purcell, E. M. (1973). *Curso de Física de Berkeley: eletricidade e magnetismo* (W. Wiktor, Trans.). São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA.
- Ringnes, V. (1995). Oxidation-reduction: Learning difficulties and choice of redox models. *School Science Review*, 77, 74-78.
- Risch, B. (2010). Germany: Basic Structure of the Educational System. In B. Risch (Ed.), *Teaching Chemistry around the World* (pp. 267-279). Berlin: Waxmann.

- Rollnick, M., Bennett, J., Rhemtula, M., Dharsey, N., & Ndlovu, T. (2008). 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*, 30(10), 1365-1387.
- Rollnick, M., & Mavhunga, E. (2014). PCK of teaching electrochemistry in chemistry teachers: A case in Johannesburg, Gauteng Province, South Africa. *Educación Química*, 25(3), 354-362. doi: 10.1016/S0187-893X(14)70551-8
- Roseman, J. E., Stern, L., & Koppal, M. (2010). A method for analyzing the coherence of high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(1), 47-70. doi: 10.1002/tea.20305
- Roth, K. J., Garnier, H. E., Chen, C., Lemmens, M., Schwille, K., & Wickler, N. I. Z. (2011). Videobased lesson analysis: Effective science PD for teacher and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(2), 117-148. doi: 10.1002/tea.20408
- Rozenszajn, R., & Yarden, A. (2014). Expansion of Biology Teachers' Pedagogical Content Knowledge (PCK) During a Long-Term Professional Development Program. [journal article]. *Research in Science Education*, 44(1), 189-213. doi: 10.1007/s11165-013-9378-6
- Salazar, S. F. (2005). El conocimiento pedagógico del contenido como categoría de estudio de La formación docente. *Actualidades investigativas en educación*, 5(2), 1-19.
- Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (1997a). Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 377-398. doi: 10.1002/(SICI)1098-2736(199704)34:4<377::AID-TEA7>3.0.CO;2-O
- Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (1997b). Students' Misconceptions in Electrochemistry Regarding Current Flow in Electrolyte Solutions and the Salt Bridge. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 819-823. doi: 10.1021/ed074p819
- Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (1999). An Analysis of College Chemistry Textbooks As Sources of Misconceptions and Errors in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 76(6), 853-860.
- Sanger, M. J., & Greenbowe, T. J. (2000). Addressing student misconceptions concerning electron flow in aqueous solutions with instruction including computer animations and conceptual change strategies. *International Journal of Science Education*, 22(5), 521-537.
- Sanjuan, M. E. C., Dos Santos, C. V., Maia, J. d. O., Da Silva, A. F. A., & Wartha, E. J. (2009). Maresia: Uma Proposta para o Ensino de Eletroquímica. *Química Nova na Escola*, 31(3), 190-197.
- Santos, W. L., & Mól, G. S. (2013). *Química Cidadã* (2 ed. Vol. 3). São Paulo: AJS Ltda.
- São Paulo. (2011). *Currículo do Estado de São Paulo*. São Paulo: Secretária da Educação do Estado de São Paulo Retrieved from <http://www.educacao.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/235.pdf>.
- São Paulo. (2014). *Química: Ciências da Natureza - Ensino Médio 1ª Série*. São Paulo: Secretária da Educação do Estado de São Paulo.
- Schmidt, H. J., Marohn, A., & Harrison, A. G. (2007). Factors that prevent learning in electrochemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 258-283.
- Schneider, R. M., & Plasman, K. (2011). Science Teacher Learning Progressions: A Review of Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Development. *Review of Educational Research*, 81(4), 530-565.

- Sesen, B. A., & Tarhan, L. (2013). Inquiry-based laboratory activities in electrochemistry: High school students' achievements and attitudes. *Research in Science Education*, 43, 413-435. doi: 10.1007/s11165-011-9275-9
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22. doi: 10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411
- Shulman, L. S. (2015). PCK: Its genesis and exodus. In P. J. F. A. Berry, Patricia J., Loughran, J. (Ed.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 3-13). New York, NY: Routledge.
- Silva, G. S., Braibante, M. E. F., & Pazinato, M. S. (2013). Os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos: uma análise nos livros didáticos de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(2), 159-182.
- Silva, M. R. E., & Cintra, E. P. (2013). *Experimentação e simulações: contribuições para o ensino e aprendizagem das reações redox*. Paper presented at the IX Congresso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias, Girona.
- Silverstein, T. P. (2011). Oxidation and Reduction: Too Many Definitions? *Journal of Chemical Education*, 88(3), 279-281.
- Smith, P. S., & Banilower, E. R. (2015). Assessing PCK: A new application of the uncertainty principle. In P. J. F. A. Berry, & J. J. Loughran (Ed.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 88-103). New York, NY: Routledge.
- Soudani, M., Sivade, A., Cros, D., & Mèdimagh, M. S. (2000). Transferring knowledge from the classroom to the real world: redox concepts. *School Science Review*, 82(298), 65-92.
- Souza, K. A. F. D., & Porto, P. A. (2012). Chemistry and Chemical Education Through Text and Image: Analysis of Twentieth Century Textbooks Used in Brazilian Context. [journal article]. *Science & Education*, 21(5), 705-727. doi: 10.1007/s11191-012-9442-z
- Stadler, J. P., Sousa Júnior, F. S., Gebara, M. J. F., & Hussein, F. R. G. S. (2012). Análise de obstáculos epistemológicos em livros didáticos de química do ensino médio do PNLD 2012. *HOLOS*, 28(2), 234-243.
- Stern, L., & Roseman, J. E. (2004). Can middle-school science textbooks help students learn important ideas? Findings from project 2061's curriculum evaluation study: Life science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(6), 538-568. doi: 10.1002/tea.20019
- Tacoshi, M. M. A., & Fernandez, C. (2014). Knowledge of assessment: an important component in the PCK of chemistry teachers. *Problems of Education in the Twenty First Century*, 62, 124-147.
- Talanquer, V. (2004). Qué conocimiento distingue a los Buenos maestros de química? *Educación Química*, 15(1), 52-58.
- Tavares, L. H. W. (2009). Possibilidades de deformação conceitual nos livros didáticos de Química brasileiros: o conceito de substância. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 1004-1018.
- Tiedemann, P. W. (1998). Conteúdos de Química em livros didáticos de Ciências. *Ciência & Educação*, 5(2), 15-22.
- Valk, T. A. E. V. D., & Broekman, H. H. G. B. (1999). The Lesson Preparation Method: a way of investigating pre-service teachers' pedagogical content knowledge. *European Journal of Teacher Education*, 22(1), 11-22.

- van Driel, J. H., & De Jong, O. (2001). *Investigating the Development of Preservice Teachers' Pedagogical Content Knowledge*. Paper presented at the 2001 Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, St. Louis.
- van Driel, J. H., De Jong, O., & Verloop, N. (2002). The development of preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge. *Science Education*, 86(4), 572-590. doi: 10.1002/sce.10010
- van Driel, J. H., Verloop, N., & de Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695. doi: 10.1002/(SICI)1098-2736(199808)35:6<673::AID-TEA5>3.0.CO;2-J
- Veal, W. R. (2004). Beliefs and knowledge in chemistry teacher development. *International Journal of Science Education*, 26(3), 329-351. doi: 10.1080/0950069032000097389
- VERBI. (2018). MAXQDA Analytics Pro 2018. Retrieved from <https://www.maxqda.com>
- Villafañe, J. (1988). *Introducción a la Teoría da la Imagem*. Madrid, Espanha: Pirâmide.
- Villegas-Reimers, E. (2003). *Teacher professional development: An international review of the literature*. Paris: OECD, International Institute for Educational Planning.
- Williams, J., Eames, C., Hume, A., & Lockley, J. (2012). Promoting pedagogical content knowledge development for early career secondary teachers in science and technology using content representations. *Research in Science & Technological Education*, 30(3), 327-343. doi: 10.1080/02635143.2012.740005
- Wirzbicki, S. M., Pansera-De-Araújo, M. C., & Pino, J. C. D. (2014). Categorias de análise a partir de descritores de “energia” nos livros didáticos de biologia. *Revista da SBEnBio*, 7, 6765-6775.

APÊNDICE 1 - QUESTIONÁRIO SOBRE ENSINO DE REAÇÕES REDOX

Seção 1 - Inicialmente, gostaria de saber sua opinião sobre o Ensino do conteúdo de oxirredução:

1 - Você considera importante o ensino de oxirredução?

() Sim () Não

Se puder, justifique sua resposta para questão 1.

2 – Durante suas aulas, você ministra/ministrou conteúdos relacionados a oxirredução?

() Sim () Não

Se puder, comente sua resposta para questão 2

3 - O que você pretende que os alunos aprendam sobre o conteúdo de oxirredução?

- (...) O processo de transferência de elétrons
- () O funcionamento de uma pilha
- () O processo de corrosão
- () O conceito de potencial de oxidação / potencial de redução
- () Calcular o número de oxidação (Nox)
- () Identificar reações redox
- () Representar semirreações
- () Identificar as aplicações vinculadas ao conteúdo de oxirredução
- () Outros

4 - Por que é importante que os alunos aprendam o conteúdo de oxirredução?

- () É um conteúdo básico
- () Para balancear reações químicas
- () Para identificar reações espontâneas
- () Para fazer relações com o seu dia a dia
- () Discutir possíveis impactos ambientais e econômicos
- () Outros

5 - Quais as principais dificuldades dos alunos associadas ao aprendizado sobre oxirredução?

- () Dificuldades conceituais (agente redutor, agente oxidante, redução, oxidação)
- () O processo de transferência de elétrons
- () O significado de número de oxidação

- ☐ Identificação de reações redox
- ☐ Representação semirreações
- ☐ Representação de reações redox
- ☐ Balanceamento de reações redox
- ☐ Cálculo de diferença de potencial
- ☐ Funcionamento de pilhas
- ☐ Eletrólise
- ☐ Os alunos não apresentam dificuldades
- ☐ Outros

6 - Quais as suas principais dificuldades associadas ao ensino de oxirredução?

- ☐ Dificuldades em conteúdos básicos de Química
- ☐ Falta de tempo para abordar de maneira adequada o conteúdo
- ☐ Necessidade de integração de conceitos de diversas áreas da química
- ☐ Melhorar a compreensão de conceitos de química através das suas relações com aplicações tecnológicas e questões ambientais
- ☐ Não tenho dificuldades

7 - Quais materiais curriculares você utiliza no ensino de oxirredução?

- ☐ Livros Didáticos
- ☐ Artigos Científicos
- ☐ Vídeos
- ☐ Textos
- ☐ Simuladores
- ☐ Jogos
- ☐ Materiais didáticos próprios

Caso utilize livro didático, qual é o livro adotado?

--

8 - Quais estratégias você utiliza para abordar o conteúdo de oxirredução?

- ☐ Aulas expositivas
- ☐ Resolução de exercícios
- ☐ Análise de casos reais
- ☐ Uso de questões ambientais como contexto
- ☐ Debates sobre novas tecnologias – abordagem de aspectos controversos.
- ☐ Resoluções de problemas
- ☐ Aulas experimentais em laboratório
- ☐ Aulas em laboratório de informática
- ☐ Uso de analogias

9 - Quais as formas de avaliação você utiliza durante o ensino de oxirredução

- ☐ Provas dissertativas
- ☐ Provas de múltipla escolha
- ☐ Exercícios
- ☐ Trabalhos escritos
- ☐ Discussões

- ☐ Seminários
- ☐ Relatório de laboratório

Seção 2 - Nesta parte, gostaria de saber seu grau de concordância com as seguintes afirmações:

10 - Eu tenho conhecimento suficiente para ensinar o conteúdo de oxirredução

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo
- ☐ Indiferente
- ☐ Discordo
- ☐ Discordo totalmente

11 - Eu sinto segurança para responder as possíveis dúvidas dos alunos sobre o conteúdo de oxirredução

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo
- ☐ Indiferente
- ☐ Discordo
- ☐ Discordo totalmente

12 - Eu conheço as concepções alternativas dos alunos sobre oxirredução

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo
- ☐ Indiferente
- ☐ Discordo
- ☐ Discordo totalmente

13 - Eu utilizo diferentes abordagens de ensino em sala de aula

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo
- ☐ Indiferente
- ☐ Discordo
- ☐ Discordo totalmente

14 - Eu seleciono abordagens de ensino que visam facilitar o aprendizado do aluno

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo
- ☐ Indiferente
- ☐ Discordo
- ☐ Discordo totalmente

15 - Eu adapto minhas aulas de acordo com o conhecimento dos alunos

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo
- ☐ Indiferente
- ☐ Discordo
- ☐ Discordo totalmente

16 - Eu adapto minhas aulas considerando as diferenças entre os alunos

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo
- ☐ Indiferente
- ☐ Discordo
- ☐ Discordo totalmente

17 - Eu sei avaliar a aprendizagem do aluno na sala de aula

- ☐ Concordo totalmente
- ☐ Concordo
- ☐ Indiferente
- ☐ Discordo
- ☐ Discordo totalmente

18 - Eu sei avaliar a aprendizagem dos alunos adotando diferentes estratégias

☐ Concordo totalmente

☐ Discordo

☐ Concordo

☐ Discordo totalmente

☐ Indiferente

19 - Eu organizo e mantenho a gestão da sala de aula

☐ Concordo totalmente

☐ Discordo

☐ Concordo

☐ Discordo totalmente

☐ Indiferente

20 - Eu revejo e analiso criticamente minhas aulas, a ponto de perceber o que deu certo ou não

☐ Concordo totalmente

☐ Discordo

☐ Concordo

☐ Discordo totalmente

☐ Indiferente

21 - Eu sinto segurança em utilizar as mesmas estratégias que deram certo em sala de aula

☐ Concordo totalmente

☐ Discordo

☐ Concordo

☐ Discordo totalmente

☐ Indiferente

22 - Quando uma estratégia não ocorre como o esperado, eu sinto segurança em implementar novas estratégias

☐ Concordo totalmente

☐ Discordo

☐ Concordo

☐ Discordo totalmente

☐ Indiferente

APÊNDICE 2 – VINHETAS ENVOLVENDO O CONCEITO DE REAÇÕES REDOX

Como você responderia essas questões sobre o conteúdo de reações redox?

Vinheta 1

Durante uma aula inicial sobre reações redox, um professor mostra aos alunos a fila de reatividade dos metais contida no material didático adotado:

Acrescenta que na categoria “outros metais” encontram-se o ferro, o zinco e o estanho, enquanto que na categoria “metais nobres” encontram-se o ouro, a prata e o cobre. O professor explica que em uma reação entre um metal e um íon metálico, aquele correspondente ao elemento mais reativo tende a oxidar e ao menos reativo tende a reduzir. Neste momento um aluno pergunta: “Professor, mas e se os dois elementos estiverem dentro do mesmo grupo, se os dois forem nobres, como eu vou saber quem oxida e quem reduz?” Como você responderia ao aluno?

Vinheta 2

Durante uma aula de química, um professor realiza um experimento no qual adiciona um pedaço de cobre metálico em uma solução de nitrato de prata. Após a reação, o professor questiona os alunos: “O que está causando a cor azul?” E um aluno responde: “O cobre foi dissolvido na solução, ele faz um íon com o nitrato e torna azul”. O que você diria a esse aluno?

Vinheta 3

Um professor realiza um experimento, no qual adiciona ácido nítrico concentrado a uma moeda de cobre. Os alunos verificam a formação de um gás castanho e a coloração azul da solução. Nesse momento, um aluno questiona: "Professor, aprendemos em reações de deslocamento que o cobre não desloca o "H" do ácido. Por que nesse experimento ocorreu uma reação?" O que você responderia a esse aluno?

Vinheta 4

Na aula de Química, um professor mostra uma lista com a abundância de alguns elementos na crosta terrestre. Nessa lista, encontram-se o alumínio (8,3%) e o ferro (6,2%). Nesse momento, um aluno questiona: "Professor, então por que o alumínio é mais caro que o ferro já que existe mais alumínio do que ferro?" O que você responderia a esse aluno?

APÊNDICE 3 – QUESTIONÁRIO SOBRE O CONTEÚDO DE REAÇÕES REDOX

Questionário de avaliação

As questões abaixo correspondem a uma avaliação sobre o conteúdo Eletroquímica.

Questões:

Dê o significado dos seguintes termos:

1. Reação de oxirredução

2. Oxidante

3. Redutor

4. Eletrodo

5. Pilha

6. Célula Eletrolítica

7. Ponte Salina

Responda:

8. O que se entende por força eletromotriz (fem) de uma pilha?

9. Como se mede a fem?

10. De que grandeza depende a fem de uma pilha?

11. Como se calcula a fem de uma pilha?

APÊNDICE 4 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, permito, de maneira voluntária, o registro audiovisual de minha participação no curso “A Química por meio da experimentação: propostas para o ensino de Reações Redox”, elaborado por Luciane Fernandes de Goes e Carmen Fernandez, integrantes do grupo PEQuim – Pesquisa em Ensino de Química, do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, SP, e que podem ser contatadas pelos e-mails luciane@iq.usp.br e/ou carmen@iq.usp.br ou pelo telefone (11) 3091-3865. Esse registro audiovisual tem como objetivo produzir vídeos, in lócus, das atividades realizadas durante o curso, que serão utilizados para investigar e analisar o desenvolvimento profissional de professores de Química do Ensino Médio através de um curso de formação continuada de professores sobre o conceito de reações redox.

Minha participação consistirá em conceder o direito de uso de minhas imagens e sons produzidos durante as atividades que foram registradas em áudio e vídeo durante o curso, as transcrições resultantes e as respostas às atividades realizadas durante a disciplina. Compreendo que essas imagens, transcrições e respostas serão utilizadas apenas para fins de pesquisa acadêmica e que os dados não serão utilizados para exposição dos sujeitos envolvidos, sendo a minha imagem e identidade preservadas de acordo com as diretrizes éticas da pesquisa¹. Além disso, compreendo que todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais, sendo que somente a pesquisadora e a orientadora terão conhecimento dos dados.

Assim, declaro que sou maior de idade e que minha participação é voluntária, não havendo nenhum tipo de despesa, remuneração ou compensação pelo uso dos vídeos produzidos. E AUTORIZO, exclusivamente para fins acadêmicos, a utilização total ou parcial dos vídeos e respostas às atividades produzidos durante minha participação no curso.

Assinatura

São Paulo, _____ de _____ de 2018.

¹ Comissão de Ética na pesquisa da FEUSP – <http://www4.fe.usp.br/pesquisa/comissao-de-etica>. Acesso 19/08/2016.

APÊNDICE 5 - QUESTIONÁRIO SOBRE SOLUÇÕES ELETROLÍTICAS

Q1. O que você entende por uma solução eletrolítica?

Q2. De que maneira uma solução pode conduzir eletricidade?

Q3. Para você, qual a diferença entre dissociação e dissolução?

Q4. Analise a equação: $\text{NaCl(s)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$. Quimicamente, o que esta equação representa?

Q5. Qual a diferença entre eletrólito fraco, eletrólito forte e não eletrólito?

Q6. Quais concepções seus alunos apresentam sobre essas questões?

APÊNDICE 6 – QUESTIONÁRIO SOBRE REAÇÕES REDOX

Q1. Qual(is) das seguintes conversões descrevem uma oxidação? Justifique sua resposta.

- a) $\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{MnCl}_2$
- b) $\text{MnO}_4^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-}$
- c) $\text{Mn(OH)}_2 \rightarrow \text{MnO}_2$
- d) $\text{Mn}^{3+} \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3$

Q2. Qual(is) das seguintes conversões descrevem uma oxidação? Justifique sua resposta.

- a) $\text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}$
- b) $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr} + 3\text{e}^-$
- c) $\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}^-$
- d) $\text{Cr} + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Cr}^{3+}$

Q3. Das reações representadas a seguir, quais são reações redox? Como você chegou a essa conclusão? Justifique sua resposta para cada reação.

- a) $2\text{HCl} + \text{Mg} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2$

- b) $2\text{HCl} + \text{MgO} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Q4. Analise as situações apresentadas na tabela abaixo, nas quais ocorrem reações redox. Preencha a tabela indicando, em cada uma das situações, quem é o agente oxidante, quem é o agente redutor e quais os produtos das reações. Posteriormente justifique suas respostas.

	Agente redutor	Agente oxidante	Produtos	Justificativa
a) Pregos de ferro em ambiente natural				
b) Pregos de ferro envolvidos com fio de cobre em ambiente natural				
c) Pregos de ferro em água				
d) Pregos de ferro envolvidos com fio de cobre em água				

Q5. Durante uma aula de química, dois alunos estão discutindo, conforme mostrado abaixo:

Aluno A: Nas reações redox, como o nome diz, primeiro ocorre redução e depois oxidação.

Aluno B: Não! O certo são reações de oxirredução, e primeiro ocorre oxidação e depois redução.

Quais dos alunos está correto? Como você mediará esta discussão?

--

APÊNDICE 7 – ANÁLISE DO LIVRO DIDÁTICO – PARTE 1

- 1) Qual livro didático é adotado na sua escola?

- 2) Em que volume o seu livro didático apresenta o conteúdo de reações redox?

- 3) Como o livro aborda inicialmente este conteúdo? (Por exemplo: inicia o conteúdo com exemplos do cotidiano, ou relaciona o conteúdo com aspectos industriais, ou inicia com o conceito químico?)

- 4) O livro realiza algum tipo de revisão de conceitos? (Por exemplo: existe alguma revisão sobre eletronegatividade, ou sobre soluções eletrolíticas, ou ligações químicas)

- 5) Como o livro define os seguintes conceitos de reações redox?

a. Reação redox:

b. Oxidação:

c. Redução:

d. Agente oxidante:

e. Agente redutor:

APÊNDICE 8 - QUESTIONÁRIO SOBRE REAÇÕES REDOX E PONTE SALINA

1) Analise as afirmações abaixo e diga se são verdadeiras ou falsas. Justifique sua resposta para cada afirmação.

- a. Os elétrons se movem através da solução pela atração de um íon pelo outro.

- b. Os elétrons se movem através da solução por se anexarem aos íons do cátodo, os quais são carregados para o ânodo.

- c. Os elétrons entram na solução pelo cátodo, viajam através da solução e da ponte salina, e emergem no ânodo para completar o circuito.

- d. Os ânions na ponte salina e no eletrólito transferem os elétrons do cátodo para o ânodo.

- e. Os cátions na ponte salina e no eletrólito transferem os elétrons do cátodo para o ânodo.

- f. Os elétrons podem fluir através da solução aquosa sem a ajuda dos íons.

- g. Somente íons carregados negativamente constituem o fluxo da corrente no eletrólito e na ponte salina.

- h. O ânodo é positivamente carregado porque ele perde elétrons; o cátodo é negativamente carregado porque ele ganha elétrons.

2) Das afirmações falsas mostradas na primeira questão, quais seus alunos já apresentaram?

3) Qual seria a fonte dessas afirmações falsas? Como seria possível evitá-las?

4) A respeito da ponte salina, responda:

- a. Qual(is) a(s) sua(s) função(ões)?

- b. Quais os melhores sais utilizados? Justifique.

APÊNDICE 9 – ANÁLISE DO LIVRO DIDÁTICO – PARTE 2

- 1) No livro didático adotado em sua escola, qual modelo de reações redox é apresentado majoritariamente?

- 2) De que maneira são apresentadas as equações redox? Cite um exemplo.

- 3) Quais os recursos (vídeos, experimentos, textos) que o livro sugere para abordar o conteúdo de reações redox?

- 4) Seria possível adaptar alguns desses recursos para o formato de história em quadrinhos?