

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS:
QUÍMICA DA VIDA E SAÚDE

Ângela Malvina Durand

**MODELOS MENTAIS DE REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO:
UM ESTUDO EXPLORATÓRIO DE EGRESSOS DO CURSO DE
QUÍMICA LICENCIATURA**

Santa Maria, RS
2021

Ângela Malvina Durand

**MODELOS MENTAIS DE REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO: UM ESTUDO
EXPLORATÓRIO DE EGRESSOS DO CURSO DE QUÍMICA LICENCIATURA**

Tese apresentada ao curso de Doutorado, do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para a obtenção do grau de **Doutora em Educação em Ciências.**

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Isabel Krey Garcia

Santa Maria, RS
2021

Durand, Ângela Malvina
MODELOS MENTAIS DE REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO: UM ESTUDO
EXPLORATÓRIO DE EGRESSOS DO CURSO DE QUÍMICA LICENCIATURA
/ Ângela Malvina Durand.- 2021.
246 p.; 30 cm

Orientadora: Isabel Krey Garcia
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e
Saúde, RS, 2021

1. Reações de Oxirredução 2. Representações Mentais 3.
Modelos Mentais 4. Modelos conceituais I. Garcia, Isabel
Krey II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, ÂNGELA MALVINA DURAND, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Ângela Malvina Durand

**MODELOS MENTAIS DE REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO: UM ESTUDO
EXPLORATÓRIO DE EGRESSOS DO CURSO DE QUÍMICA LICENCIATURA**

Tese apresentada ao curso de Doutorado do
Programa de Pós-Graduação em Educação em
Ciências: Química da Vida e Saúde, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,
RS), como requisito para a obtenção do grau de
Doutora em Educação em Ciências.

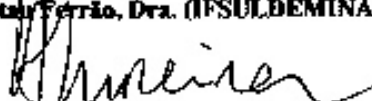
Aprovado em 08 de outubro de 2021:

Isabel Krey Garcia, Dra. (UFSM)

(Presidente/Orientadora)

Martha Behrer Adaine, Dra. (UFSM)

Naima Soltan Ferrão, Dra. (IFSULDEMINAS)





Marco Antonio Mercia, Dr. (UNIVATES)

José Cláudio Del Pino, Dr. (UFRGS)

Santa Maria, RS

2021

NUP: 23081.088204/2021-40		Prioridade: Normal
Homologação de Ata 010 - Organização e Funcionamento		
COMPONENTE		
Ordem	Descrição	Nome do arquivo
2	Folha de Aprovação de Tese	Folha_Aprovacao_Angela_Durand.pdf
Assinaturas		
08/10/2021 14:17:14 ISABEL KREY GARCIA (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR) 02.10.22.00.0.0 - CURSO-PROGRAMA PG EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E ENSINO DE FÍSICA - CPPGEM&EF		
08/10/2021 14:43:40 MARTHA BOHRER ADAIME (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR) 01.01.00.00.0.0 - GABINETE DO REITOR - GR		
09/10/2021 08:53:53 NAÍMA SOLTAU FERRÃO (Pessoa Física) Usuário Externo (821.***.***.*)"		
11/10/2021 15:09:47 José Claudio Del Pino (Pessoa Física) Usuário Externo (183.***.***.*)"		
		
Código Verificador: 930364		
Código CRC: ed1eb6e		
Consulte em: https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html		

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de tudo, por ter me feito acreditar que, “Antes de ser nosso, o sonho é d’Ele”.

A minha vó Nilza, por ter me ensinando o verdadeiro amor de mãe e ter me amado tanto.

A minha mãe do coração, minha Diva, por ter me auxiliado a chegar aqui.

A minha irmã Neida e ao presente lindo que ela nos deu, o nosso pequeno Théo. Mesmo não convivendo frequentemente, tem um lugar enorme no meu coração (até mesmo quando brigamos).

Ao meu melhor amigo e companheiro de vida, Diego. Obrigada por ter sido meu alicerce durante esse período e por todo carinho que recebi. Nenhuma palavra será capaz de expressar minha gratidão. Amo-te.

A família do meu namorado, a qual tenho um carinho enorme.

Ao meu tio Antônio. Obrigada por tantas vezes me ver de chinelo de dedo (no frio) e sempre me dizer: Vina, estuda! Obrigada por enxergar um futuro onde nem mesmo eu enxergava.

As minhas amigas-irmãs: Ana Cristina, Greyce e Sabrina. Não somos de sangue, mas nossa irmandade não precisa de DNA para provar que nem o tempo e a distância podem nos separar.

A minha bebezona, Daniela. De colegas de apartamento para irmãs inseparáveis.

As minhas amigas: Valesca, Carline e Michele. Com o tempo acabamos nos separando um pouco, mas mesmo assim nossa amizade sempre será como antigamente.

A professora Isabel. És um grande exemplo para mim. Muito obrigada pela orientação e grandes contribuições no decorrer deste trabalho e, além disso, por toda acolhida e carinho durante toda essa trajetória.

Aos meus colegas e demais professores do GPEACIM. Obrigada pelas discussões, contribuições, conversas e risadas. Aprendi infinitamente com vocês.

Aos professores que se disponibilizaram a ler o meu trabalho e aceitaram a compor a banca avaliativa do mesmo: Marco Antonio Moreira, José Claudio Del Pino, Martha Bohrer Adaime, Naíma Soutau Ferrão, Maria Cecília Pereira Santarosa e Suziane Bopp Antonello.

Aos demais professores do PPGECQVS, pelos ensinamentos proporcionados no decorrer desses quatro anos de pesquisa, em especial à Prof. Cristiane.

Ao secretário do PPGEQVS, Gisandro Cunha Ilha, por sua competência e ajuda de sempre.

A cada experiência que pude vivenciar por meio do nosso PPG.

A todas Políticas Públicas que me auxiliaram e proporcionaram a chegar onde estou.

À UFSM e a CAPES pelo auxílio da bolsa!

A todos os citados, e aqueles que me ajudaram e estiveram comigo no decorrer dessa trajetória,

Meus sinceros agradecimentos, reconhecimento e gratidão

.

RESUMO

MODELOS MENTAIS DE REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO DE EGRESSOS DO CURSO DE QUÍMICA LICENCIATURA

AUTORA: Ângela Malvina Durand
ORIENTADORA: Isabel Krey Garcia

As pessoas vivem em um mundo que gira em torno do conhecimento. No entanto, o que é o conhecimento? O que é aprender? Aprender está diretamente relacionado à aprendizagem, um processo gradual e pessoal, que modifica o comportamento. Assim, aprender a refletir, a raciocinar, a utilizar estratégias de resolução de problemas que façam o processo ser mais significativo, é uma necessidade e a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird possibilita isso. No âmbito educacional, esses modelos ajudam os indivíduos a representarem internamente os modelos conceituais, como, por exemplo, as reações químicas de oxirredução. Desta forma, esta pesquisa divide-se em duas etapas: pesquisa bibliográfica e entrevistas. Logo, por mais que se tenha um número considerável de artigos nos principais periódicos do Ensino de Ciências e de Química, poucos são os que contribuem para esta pesquisa, verificando-se uma carência de artigos brasileiros que enfatizam a relação dos modelos mentais com as reações de oxirredução, justificando, assim, sua importância para o Ensino de Química. Quanto à segunda etapa, ou seja, às entrevistas, cujo objetivo baseia-se na investigação dos modelos mentais de egressos do Curso de Química Licenciatura, da Universidade Federal de Santa Maria, sobre as reações químicas de oxirredução, três modelos mentais foram obtidos: modelo mental incompleto, parcial e completo, os quais expõem uma relação gradual entre os modelos mentais dos sujeitos e o modelo conceitual de oxirredução, isto é, o primeiro está muito distante do modelo conceitual, enquanto que o último está muito próximo, havendo neste indícios de aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Reações de Oxirredução. Representações Mentais. Modelos Mentais. Modelos conceituais.

ABSTRACT

MENTAL MODELS OF OXIREDUCTION REACTIONS: AN EXPLORATORY STUDY OF UNDERGRADUATE CHEMISTRY GRADUATES

AUTHOR: Ângela Malvina Durand
ADVISOR: Isabel Krey Garcia

People live in a world that revolves around knowledge. However, what is knowledge? What is learning? Learning is directly related to learning, a gradual and personal process that modifies behavior. Thus, learning to reflect, to reason, to use problem-solving strategies that make the process more meaningful, is a necessity, and Johnson-Laird's Theory of Mental Models makes this possible. In the educational realm, these models help individuals internally represent conceptual models, such as, for example, chemical oxireduction reactions. Thus, this research is divided into two stages: bibliographic research and interviews. Therefore, although there is a considerable number of articles in the main journals of Science and Chemistry Teaching, there are few that contribute to this research, verifying a lack of Brazilian articles that emphasize the relationship of mental models with oxireduction reactions, thus justifying its importance for the Teaching of Chemistry. As for the second stage, i.e., the interviews, whose objective is based on the investigation of the mental models of graduates of the Undergraduate Chemistry Course at the Universidade Federal de Santa Maria, about the chemical reactions of oxireduction, three mental models were obtained: incomplete, partial and complete mental models, which expose a gradual relationship between the mental models of the subjects and the conceptual model of oxireduction, i.e., the former is very distant from the conceptual model, while the latter is very close, with evidence of significant learning.

Keywords: Oxireduction reactions. Mental Representations. Mental Models. Conceptual Models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema das teorias cognitivas de aprendizagem	16
Figura 2 - Mapa conceitual sobre a Teoria dos Modelos mentais a partir da visão da autora	43
Figura 3 - Representação visual da reação química entre o magnésio metálico e o gás oxigênio	53
Figura 4 - Representação visual da reação química entre o zinco metálico e uma solução de sulfato de cobre (II)	55
Figura 5 - Números de oxidação dos elementos químicos, sendo que os números de oxidação mais comuns estão na cor vermelha	62
Figura 6 - Série de atividade dos metais em ordem decrescente de oxidação (poder redutor)	64
Figura 7 - Sugestão de passos para a realização de uma pesquisa bibliográfica	70
Figura 8 - Organização do conteúdo de Eletroquímica estabelecido por Chang e Goldsby (2013)	128
Figura 9 - Breve explanação sobre reações redox apresentada por Chang e Goldsby (2013)	128
Figura 10 - Introdução das reações redox apresentada por Chang e Goldsby (2013) nos Fundamentos e seus respectivos conceitos abordados	129
Figura 11 - Esquema construído pelo sujeito S ₁	140
Figura 12 - Esquema construído pelo sujeito S ₂ para explicar oxirredução.....	141
Figura 13 - Representação do sujeito S ₂ para o modelo atômico	142
Figura 14 - Exemplo de reação química de oxirredução utilizada pelo sujeito S ₂	142
Figura 15 - Ilustração da reação química entre o zinco metálico e a solução de sulfato de cobre utilizada pelo sujeito S ₂	143
Figura 16 - Semirreações construídas pelo sujeito S ₂	145
Figura 17 - Esquema dos processos de oxidação e redução elaborado pelo sujeito S ₄	147
Figura 18 - Regras dos números de oxidação, segundo o sujeito S ₄	148
Figura 19 - Definição de número de oxidação e semirreação da redução da prata, de acordo com o sujeito S ₅	150
Figura 20 - Esquema dos processos de oxidação e redução elaborado pelo sujeito S ₆	151
Figura 21 - Pilha de Daniell construída pelo sujeito S ₆ para exemplificar e explicar o conteúdo	152
Figura 22 - Cálculo feito pelo sujeito S ₆ da diferença de potencial da Pilha entre zinco e cobre	153
Figura 23 - Semirreações do cobre e do cloro fornecidas pelo sujeito S ₇	155
Figura 24 - Reação global entre o zinco e o cobre fornecida pelo sujeito S ₈	156
Figura 25 - Camada de valência do ferro e suas semirreações de ganho e perda de elétrons, segundo o sujeito S ₉	157
Figura 26 - Exemplos de processos de oxidação e redução e suas respectivas semirreações, segundo o Sujeito S ₁₀	159
Figura 27 - Relação entre a atonicidade e a formação de cargas positivas e negativas em átomos, de acordo com o Sujeito S ₁₀	161
Figura 28 - Valores dos NO _x estabelecidos pelo Sujeito S ₁₀	161
Figura 29 - Semirreações do cobre e do zinco, segundo o Sujeito S ₁₁	163
Figura 30 - Reação global entre o cobre e o zinco, segundo o Sujeito S ₁₁	163
Figura 31 - Exemplo de reação de oxirredução a partir de uma pilha entre o zinco e o cobre formada pelo Sujeito S ₁₁	165
Figura 32 - Reação de oxidação do etanol, segundo o sujeito S ₁₂	165
Figura 33 - Questionamentos utilizados para introduzir o conteúdo de oxirredução, de acordo com o sujeito S ₁₃	166

Figura 34 - Resumo sobre reações de oxirredução na perspectiva do sujeito S ₁₃	167
Figura 35 - Explicação da formação da ferrugem, de acordo com o sujeito S ₁₃	168
Figura 36 - Representação do experimento, segundo o sujeito S ₁	175
Figura 37 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₁ para a Situação 1.....	175
Figura 38 - Representação do experimento, segundo o sujeito S ₂	176
Figura 39 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₂ para a Situação 1.....	178
Figura 40 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₄ para a Situação 1.....	179
Figura 41 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₅ para a Situação 1.....	181
Figura 42 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₈ para a Situação 1.....	182
Figura 43 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₁₀ para a Situação 1.....	184
Figura 44 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₁₁ para a Situação 1.....	185
Figura 45 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₁₂ para a Situação 1.....	186
Figura 46 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₁₂ para a Situação 1.....	188
Figura 47 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₁ para a Situação 2.....	192
Figura 48 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₂ para a Situação 2.....	193
Figura 49 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₃ para a Situação 2.....	194
Figura 50 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₄ para a Situação 2.....	195
Figura 51 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₅ para a Situação 2.....	196
Figura 52 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₆ para a Situação 2.....	197
Figura 53 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₈ para a Situação 2.....	198
Figura 54 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₁₁ para a Situação 2.....	201
Figura 55 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₁₂ para a Situação 2.....	202
Figura 56 - Resultados obtidos pelo sujeito S ₁₃ para a Situação 2.....	203
Figura 57 - Modelos mentais formados e os sujeitos presentes em cada um deles.....	208

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Trabalhos realizados no Ensino de Ciências a partir dos modelos mentais.....	18
Quadro 2 - Características das linhas 1 e 2 a respeito das imagens e das representações proposicionais.....	30
Quadro 3 - Subcategorias dos modelizadores e não modelizadores e suas respectivas descrições.....	39
Quadro 4 - Relação das disciplinas que contemplam as reações químicas de oxirredução e suas respectivas sugestões de bibliografias no curso de Química licenciatura da UFSM.....	46
Quadro 5 - Livros selecionados sobre reações de oxirredução.....	48
Quadro 6 - Relação dos conceitos gerais analisados nos livros de Atkins e Jones; Brown et al e Canhg e Goldsby.....	56
Quadro 7 - Definições utilizadas para explicar os processos de oxidação e redução.....	57
Quadro 8 - Regras de atribuição dos números de oxidação dos elementos químicos a partir das três obras utilizadas.....	60
Quadro 9 - Etapas de desenvolvimento da pesquisa.....	68
Quadro 10 - Conjunto de Palavras-chave.....	72
Quadro 11 - Identificação dos periódicos Qualis A1 e A2 obtidos na Seleção 1.....	73
Quadro 12 - Artigos Qualis A1 e A2 obtidos na Seleção 2.....	74
Quadro 13 - Critérios de análise estabelecidos para os Processos de Fichamento 1 e 2.....	79
Quadro 14 - Questões que compõem a entrevista dos egressos de Química Licenciatura.....	83
Quadro 15 - Natureza dos artigos analisados.....	92
Quadro 16 - Foco dos artigos de natureza prática analisados.....	93
Quadro 17 - Subáreas da Química apresentadas por cada artigo prático.....	93
Quadro 18 - Identificação dos artigos por Nível de aprofundamento.....	97
Quadro 19 - Resumo das categorias e subcategorias do Nível 1.....	98
Quadro 20 - Exemplos citados nos artigos presentes no Nível 1 a partir da Categoria 3.....	107
Quadro 21 - Resumo das categorias e subcategorias do Nível 2.....	109
Quadro 22 - Resumo das categorias presentes no Nível 3.....	114
Quadro 23 - Exemplos citados nos artigos presentes no Nível 3.....	118
Quadro 24 - Identificação, idade e tempo de formação dos egressos de Química Licenciatura.....	122
Quadro 25 - Categorias criadas a partir das respostas obtidas pelos sujeitos sobre a importância das reações de oxirredução.....	123
Quadro 26 - Relação dos sujeitos que tiveram ou não experiência com o conteúdo de reações de oxirredução como docentes.....	131
Quadro 27 - Categorias obtidas a partir da experiência ou não dos egressos em relação às reações de oxirredução.....	132
Quadro 28 - Interpretações dada pelos sujeitos que fazem parte do modelo mental parcial em relação à Questão 1.....	211
Quadro 29 - Interpretações dada pelos sujeitos que fazem parte do modelo mental parcial em relação às Situações 1 e 2.....	212
Quadro 30 - Interpretações dada pelos sujeitos que fazem parte do modelo mental completo para a Questão 1.....	217
Quadro 31 - Interpretações dada pelos sujeitos que fazem parte do modelo mental completo para as Situações 1 e 2.....	217

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação do nº de publicações nos últimos 10 anos em periódicos destinados ao Ensino de Química e Ciências, Qualis A1 e A2.....	94
Gráfico 2 - Idiomas dos artigos analisados.....	95
Gráfico 3 - Relação do número de publicações por periódicos nos últimos 10 anos em a) Qualis A1 e b) Qualis A2.....	96

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	15
2	CAPÍTULO I – A TEORIA DOS MODELOS MENTAIS DE JOHNSON-LAIRD	21
2.1	MODELOS MENTAIS E MODELOS CONCEITUAIS: UM CAMINHO À APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	35
3	CAPÍTULO II – REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO COMO MODELO CONCEITUAL	45
3.1	REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO NOS LIVROS UTILIZADOS DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA DA UFSM	47
3.1.1	<i>Aspectos gerais dos três livros</i>	<i>47</i>
3.1.2	<i>Conceitos básicos das reações de oxirredução na perspectiva do Livro 1 - Atkins e Jones (2012).....</i>	<i>49</i>
3.1.3	<i>Conceitos básicos das reações de oxirredução na perspectiva do Livro 2 - Brown et al. (2016)</i>	<i>51</i>
3.1.4	<i>Conceitos básicos das reações de oxirredução na perspectiva do Livro 3 - Chang e Goldsby (2013).....</i>	<i>52</i>
3.1.5	<i>Discussão dos conceitos gerais a partir dos três livros.....</i>	<i>56</i>
3.1.6	<i>Identificando as Reações de Oxirredução a partir das três obras.....</i>	<i>58</i>
3.1.7	<i>Reatividade dos metais em reações de oxirredução na perspectiva das três obras. 62</i>	<i>62</i>
4	CAPÍTULO III – CAMINHO METODOLÓGICO DA PESQUISA.....	67
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	67
4.2	CONTEXTO DA PESQUISA	68
4.3	INSTRUMENTOS PARA COLETA DOS DADOS	69
4.4	DESENVOLVIMENTO DAS ETAPAS DA PESQUISA	70
5	CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	91
5.1	ETAPA 2 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	91
5.1.1	<i>CrITÉrios I e II – “Natureza” e “Foco”</i>	<i>91</i>
5.1.2	<i>CrITÉrios III e IV – “Ano de publicação” e “idioma”</i>	<i>94</i>
5.1.3	<i>CrITÉrios V e VI – “Modelos mentais” e “reações químicas de oxirredução”....</i>	<i>96</i>
5.1.3.1	<i>Nível 1 - Conjuntos 1 e 2 com pouco aprofundamento.....</i>	<i>97</i>
5.1.3.2	<i>Nível 2 - Conjunto 1 com pouco ou nenhum aprofundamento e Conjunto 2 com elevado aprofundamento.....</i>	<i>109</i>
5.1.3.3	<i>Nível 3 - Conjunto 2 com pouco aprofundamento e Conjunto 1 com elevado aprofundamento</i>	<i>114</i>
5.1.3.4	<i>Nível 4 - Conjuntos 1 e 2 com aprofundamento elevado</i>	<i>118</i>
5.2	ETAPA 2 – ENTREVISTAS.....	121
5.2.1	<i>Parte 1 - Identificação.....</i>	<i>121</i>
5.2.2	<i>Parte 2 - Importância do conteúdo</i>	<i>123</i>
5.2.2.1	<i>Categoria 1: ENEM</i>	<i>123</i>
5.2.2.2	<i>Categoria 2: Fenômenos do cotidiano</i>	<i>124</i>
5.2.2.3	<i>Categoria 3: Relação com outros conteúdos.....</i>	<i>127</i>
5.2.2.4	<i>Categoria 4: Fenômenos Macroscópicos</i>	<i>129</i>
5.2.2.5	<i>Categoria 5: Química orgânica</i>	<i>130</i>
5.2.3	<i>Parte 3 - Experiência com o Conteúdo</i>	<i>131</i>
5.2.3.1	<i>Categoria 1: Abordagem teórica.....</i>	<i>132</i>
5.2.3.2	<i>Categoria 2: Dificuldade.....</i>	<i>132</i>
5.2.4	<i>Parte 4 – Conhecimento do conteúdo</i>	<i>137</i>
5.2.4.1	<i>Análise individual.....</i>	<i>138</i>

5.2.4.2	Questão 1) Modelo conceitual de oxirredução	138
5.2.4.3	Questão 2) Situação 1	174
5.2.4.4	Questão 3) Situação 2	190
5.2.4.5	Representações mentais em relação às Situações 1 e 2	205
5.2.4.6	Análise comum e confiabilidade dos resultados	207
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	223
7	REFERÊNCIAS	229
8	APÊNDICES.....	239

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Desde o início da existência humana, a fascinação pelo universo se faz presente. Mais do que buscar, as pessoas são instigadas constantemente a entender como tudo acontece e funciona, pois vivem em um mundo que gira em torno do conhecimento. Mas o que é o conhecimento? O que é aprender?

Lefrançois (2016) defende a ideia de que o ato de aprender envolve a aquisição de conhecimentos, levando à modificação do comportamento. Logo, aprender é toda mudança relativamente permanente relacionada ao comportamento, humano ou não, como resultado da experiência, sendo estas mudanças evidências da ocorrência da aprendizagem.

A aprendizagem, segundo Rodrigues (2016), é um processo gradual e pessoal, que modifica o comportamento a partir de um processo ativo e construtivo, possibilitando ao aprendiz manipular estrategicamente os recursos disponíveis a ele, criando novos conhecimentos, atitudes e emoções. Assim, aprender a refletir, a raciocinar, a utilizar estratégias de resolução de problemas que façam o aluno aprender mais e de uma forma melhor, tornando o processo mais significativo, é uma necessidade e a tarefa mais importante do processo do ensino e aprendizagem (FONSECA, 2017).

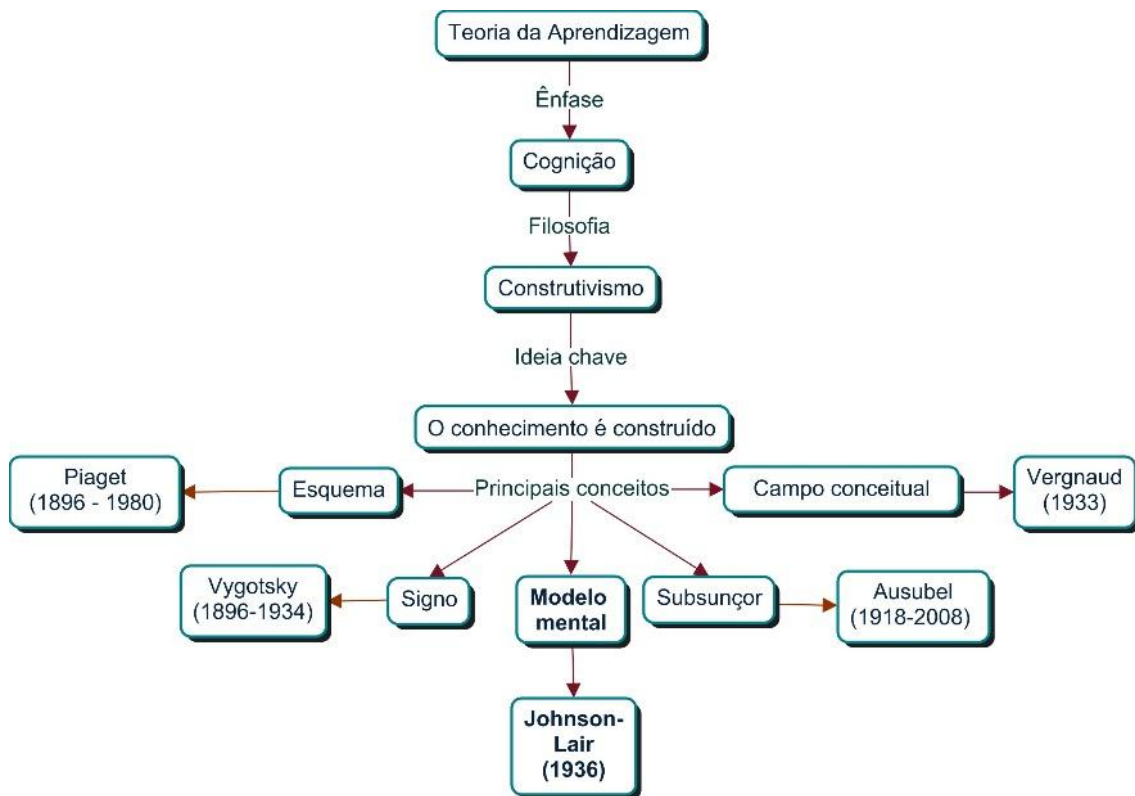
Illeris (2013) afirma que muitas teorias tentam explicar a aprendizagem por meio destas mudanças, controlando e apontando previsões a respeito do comportamento. Para Moreira (1999), algumas definições de aprendizagem centram-se em: condicionamento, aquisição de informação, mudança comportamental, uso do conhecimento na resolução de problemas, construção de novos significados e de estruturas cognitivas, modelos mentais, etc.

Por se auto relacionarem, Moreira e Massoni (2015) apontam que as teorias de aprendizagem são amplamente utilizadas no contexto do ensino e da aprendizagem, visto que não existe uma única teoria capaz de explicar a complexidade da mente e da aprendizagem, mas sim que busca abordar os aspectos do processo de aprender como facilitadores da aprendizagem.

Subjacentes às teorias, encontram-se os sistemas de valores (filosofias) – comportamentalista, cognitivista e humanista (MOREIRA, 1999). O primeiro centra-se na ação das pessoas, desconsiderando qualquer discussão sobre a mente. A filosofia cognitiva enfatiza a cognição, isto é, os processos mentais, preocupando-se em como o ser humano conhece e interpreta o mundo, não somente respondendo a ele. Já o último, vê o ser que aprende como pessoa, como um todo – sentimentos, pensamentos e ações – e não apenas o intelecto (MOREIRA, 2016).

A Figura 1 traz um esquema conceitual, apontando as principais teorias cognitivistas de aprendizagem, bem como os autores, as ênfases, os conceitos e as ideias. Nesta pesquisa, no entanto, será abordada somente a corrente cognitiva, com ênfase no teórico Johnson-Laird, cuja teoria baseia-se nos Modelos Mentais.

Figura 1 - Esquema das teorias cognitivas de aprendizagem



Fonte: adaptado de MOREIRA (1999).

Uma teoria cognitiva explica a aprendizagem através do raciocínio, em que o indivíduo visualiza as possibilidades e é por meio destas que ele constrói modelos para derivar conclusões e compreender os eventos que acontecem ao seu redor a partir da percepção. Ou seja, os seres humanos não aprendem o mundo de forma direta, mas possuem uma representação interna dele que, pela percepção, possibilita a construção de um modelo do mundo (JOHNSON-LAIRD, 2010).

Moreira (1996) relata que todo indivíduo, a partir de sua relação com o mundo, é capaz de “re-presentar” internamente o mundo externo por meio de seus modelos mentais, os quais necessitam integrar a informação de todos os sentidos e do conhecimento em geral. Além da percepção, Johnson-Laird (1983) afirma que a construção de modelos mentais também pode

resultar do discurso linguístico, pois representam situações verdadeiras ou imaginárias como, por exemplo, quando um aluno de química recebe de seu professor uma descrição da molécula da cafeína e precisa formar um modelo mental dela sem nunca a ter visto antes.

Para Krey (2000), isso acontece porque os modelos mentais geralmente não são tecnicamente precisos, mas funcionais para o indivíduo. A autora complementa ainda que a visão de mundo das pessoas, seja de si mesmas, de suas capacidades, das tarefas que realizam ou que aprendem, depende das conceitualizações que trazem consigo, pois, a interação com o ambiente, com os outros e com os artefatos da tecnologia, contribuem para que formem modelos mentais internos de si mesmas e de tudo com o que interagem, e estes modelos possuem poder preditivo e explicativo para entender a interação.

No âmbito educacional, a utilização de modelos tem como função facilitar a compreensão. Logo, os modelos mentais têm papel importante ao permitirem aos estudantes de construir suas próprias representações em torno de um determinado conteúdo. Para isso, os conhecimentos prévios são fundamentais, pois os modelos mentais possibilitam trabalhar com os conhecimentos já existentes, sendo estes as estruturas cognitivas internas de cada indivíduo para ver e entender as coisas, levando-o a compreensão e aquisição do conhecimento (GIBIN; FERREIRA, 2010).

Desta forma, os modelos mentais têm sido vistos como aliados na construção do conhecimento ao permitirem que os estudantes representem internamente os modelos conceituais trabalhados em sala de aula, sendo estas ferramentas para a compreensão ou o ensino de sistemas físicos, a partir dos seus modelos mentais. Para diferenciá-los, Paz (2017, p. 4) afirma que,

Da mesma forma como os físicos constroem modelos da natureza, os alunos também constroem seus modelos. Contudo, há uma diferença fundamental: os modelos físicos são modelos conceituais, ou seja, modelos inventados por pesquisadores para facilitar a compreensão ou o ensino de sistemas físicos, desta forma, são representações precisas, consistentes e completas de fenômenos físicos. Contudo, os modelos dos alunos, ou de qualquer pessoa, inclusive os que criam modelos conceituais, são modelos mentais, ou seja, modelos que as pessoas constroem para representar fenômenos físicos ou fenômenos abstratos. Estes modelos não precisam ser precisos ou completos, como geralmente não o são, mas devem ser necessariamente funcionais, evoluindo naturalmente. Interagindo com o sistema, o indivíduo modifica seu modelo mental a fim de alcançar e manter sua funcionalidade.

Em virtude disso, as pesquisas sobre os modelos mentais estão cada vez mais presentes nas mais variadas áreas do conhecimento, como: Administração (BIGUETI, 2007; DIAS; TONI, 2016), Economia (FELIPE, 2008), Psicologia (AZINHEIRA, 2012), Direito (CIDADE et al., 2011). Todavia, o principal destaque, considerando a área de abrangência desta pesquisa,

está no Ensino de Ciências, com trabalhos relacionados ao ensino de Biologia, de Física e de Química. Isso ocorre porque a usabilidade dos modelos mentais aborda, principalmente, a relação do processo de ensino e aprendizagem, podendo ocasionar uma aprendizagem significativa (AUSUBEL,1983) ao relacionar os modelos mentais e os modelos conceituais. O quadro 1 apresenta alguns exemplos de trabalhos do Ensino de Ciências nestas três áreas, relacionados aos modelos mentais, os quais salientam a importância destes para o processo de ensino e de aprendizagem.

Quadro 1 - Trabalhos realizados no Ensino de Ciências a partir dos modelos mentais

Área	Trabalhos	Autores	Ano
Biologia	Modelos e outras representações mentais no estudo do DNA em alunos do ensino médio	Tauceda e Del Pino	2010
	Papel da inferência na relação entre modelos mentais e modelos científicos de células	Fogaça	2006
	Modelos mentales vs esquemas de célula	Palmero e Moreira	2002
Física	Representações mentais dos alunos em mecânica clássica: três casos	Moreira e Lagreca	1998
	Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird	Moreira e Krey	2006a
	Modelos mentais e resolução de problemas em física	Costa e Moreira	2005
Química	Estudo do desenvolvimento de modelos mentais sobre o conceito de ligações químicas e sua relação com obstáculos epistemológicos	Marques	2015
	A formação inicial em química baseada em conceitos representados por meio de modelos mentais	Gibin e Ferreira	2010
	Atividades experimentais investigativas como contribuição ao desenvolvimento de modelos mentais de conceitos químicos	Gibin	2013

Fonte: Autora (2019).

No ensino de Química, Lima e Neto (1999) afirmam que muitos conteúdos desta área corroboram para que o estudante, tanto do ensino médio quanto universitário, passe a imaginar a Química como uma Ciência abstrata, dificultando consideravelmente o aprendizado, além de transmitir o conceito errôneo de que o seu estudo é meramente decorativo.

Estas dificuldades acabam gerando muitas lacunas nos estudantes, diminuindo a compreensão de muitos conteúdos, como em relação às Reações Químicas de Oxirredução, uma classe de reações muito importante por fazerem parte do cotidiano de toda a sociedade, como

na corrosão de pilhas e baterias, nas reações de combustão, no escurecimento de alimentos e até mesmo nas reações químicas presentes no processo de envelhecimento, entre tantos outros.

Para que uma reação de oxirredução aconteça, é necessário haver transferência de elétrons de uma espécie para outra, resultando na variação do número de oxidação das espécies químicas envolvidas, pois a perda de elétrons na oxidação está associada ao aumento do número de oxidação, enquanto que na redução este número diminui em virtude do ganho de elétrons (ATKINS; JONES, 2012; BROWN et al., 2005; CHANG, 2010; CHANG; GOLDSBY, 2013; LEWIS; EVANS, 2014). É exatamente essa transferência eletrônica, a qual gera modificação no número de oxidação, que acaba contribuindo para que estudantes de diferentes níveis, bem como os próprios docentes, tenham dificuldade nos conceitos envolvidos neste conteúdo (AKRAM; SURIF; ALI, 2014; DE JONG; ACAMPO; VERDONK, 1995; FERREIRA et al., 2018; FREIRE; JUNIOR; SILVA, 2011; GOES; FERNANDEZ; AGOSTINHO, 2016; KLEIN, 2015; SANJUAN et al., 2009, etc.).

Em seu trabalho, Krey (2000) afirma que o referencial teórico de Johnson-Laird é uma possibilidade para investigar as dificuldades e a compreensão na aprendizagem a partir do estudo dos modelos mentais. Desta forma, o fenômeno de interesse que originou o presente trabalho são os modelos mentais de egressos de Química Licenciatura da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) sobre as Reações Químicas de Oxirredução, um conteúdo abordado na grande maioria das disciplinas ofertadas por este curso.

Logo, o ponto de partida desta pesquisa tem por fundamentação o seguinte questionamento: **“Qual (ais) os modelos mentais que egressos do Curso de Química Licenciatura da UFSM utilizam ao explicar situações envolvendo as reações químicas de oxirredução?”**.

Desta forma, esta pesquisa tem por objetivo geral, investigar os modelos mentais destes egressos ao abordarem situações envolvendo as reações químicas de oxirredução. Para que este objetivo seja alcançado, os objetivos específicos são:

- Investigar como os conceitos de denominação, definição, oxidação, redução, agente oxidante e redutor, reatividade de metais e potencial padrão de redução são abordados nos livros utilizados no Curso de Química da UFSM;
- Identificar na literatura as principais dificuldades apontadas pelos pesquisadores a respeito das reações químicas de oxirredução;
- Averiguar como os principais periódicos de Ensino de Química e de Ciências vêm relacionando os modelos mentais e conceituais das reações químicas de oxirredução;

➤ Investigar os modelos mentais dos Egressos de Química Licenciatura sobre as reações químicas de oxirredução, analisando e interpretando os dados obtidos a partir do referencial teórico de Johnson-Laird.

Esperamos que, ao investigar os modelos mentais utilizados pelos egressos, possamos obter subsídios para contribuir na melhoria do ensino dos conceitos envolvidos nas reações químicas de oxirredução, e para o Ensino de Química em geral.

Além da presente Introdução, este trabalho encontra-se organizado em 5 capítulos, os quais serão aqui brevemente apresentados:

Os capítulos 2 e 3 têm como intuito construir o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento da presente pesquisa em relação aos modelos mentais e também sobre as reações químicas de oxirredução, respectivamente. Assim, o capítulo 2, intitulado “**A teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird**” abrange a *Teoria dos Modelos Mentais*, cujo referencial teórico está centrado na perspectiva de Johnson-Laird e tem como objetivo apresentar sua perspectiva, bem como mostrar as relações e diferenças entre modelos mentais e modelos conceituais, finalizando com um mapa conceitual, construído pela autora, sobre esta teoria. Por sua vez, o capítulo 3 “**Reações de oxirredução como modelo conceitual**” apresenta a construção dos modelos conceituais das reações químicas de oxirredução a partir de um levantamento sobre estas reações nos principais livros utilizados pelo Curso de Química Licenciatura da UFSM, além de buscar elencar as principais dificuldades encontradas em diferentes pesquisas na área do Ensino de Química e de Ciências.

O capítulo 4, “**Caminhos Metodológicos da pesquisa**”, descreve o tipo de pesquisa e a forma como as duas Etapas da pesquisa (Pesquisa bibliográfica e Entrevista com os Egressos) foram desenvolvidas.

Quanto ao capítulo 5, “**Resultados e Discussões**”, nele são apresentados os resultados obtidos no decorrer da Etapa 1 e 2, ou seja, da Pesquisa Bibliográfica sobre como os principais periódicos de Ensino de Química e de Ciências relacionam os modelos mentais e conceituais das reações químicas de oxirredução, bem como os resultados encontrados a partir das entrevistas realizadas com os egressos de Química Licenciatura da UFSM a respeito dos modelos mentais envolvendo o presente conteúdo.

Para finalizar, encerra-se com as “**Considerações Finais**”, traz as considerações sobre os resultados encontrados em ambas as Etapas realizadas, bem como as perspectivas da mesma.

2CAPÍTULO I – A TEORIA DOS MODELOS MENTAIS DE JOHNSON-LAIRD

De origem italiana, a palavra modelo provém de *módello* que deriva do latim vulgar *modellus*, alterada do latim *modulus*, cujo diminutivo “modus”, significa medida. Desta forma, o termo “modelo” possui dois significados importantes: 1. Forma ideal - como um objeto ou uma pessoa que serve de parâmetro para a construção ou criação de outros ou que se torna inspiração ou ideal a ser imitado; 2. Teórico - são construções que buscam explicar algo hipoteticamente ou teoricamente, dando suporte para analisar ou avaliar uma realidade concreta. Logo, um modelo estuda a relação entre um sistema formal e sua interpretação (JAPIASSU; MARCONDES, 1989, p. 132).

Deste modo, na construção do conhecimento científico, o uso de modelos como suporte para a compreensão de determinado assunto é extremamente importante, além de ter papel fundamental para a Ciência, possibilitando aprender o “real” teoricamente (BUNGE, 1974).

Nas diferentes áreas da Ciência, Justi (2010, p. 211) relata não existir uma única definição para o termo, todavia é preciso saber o que pode e o que não pode ser um modelo. Este, não pode ser uma reprodução de algo e nem algo padrão a ser seguido fielmente e muito menos algo que não pode ser modificado. Ou seja, pode-se dizer que um modelo é uma representação parcial de uma entidade, elaborado com um ou mais objetivos específicos e que pode ser modificado.

Ainda segundo esta autora (op. cit. p. 211), um modelo é uma representação parcial por não ser considerado a realidade em si e muito menos uma cópia da realidade, além de ter limitações. Por ser elaborado, significa que é construído pela mente humana, não existindo pronto na natureza (op. cit. p. 211). Em relação aos objetivos, cada área terá os seus, mas na Química, a autora relata que os principais objetivos dos modelos são: simplificar entidades complexas; favorecer a comunicação de ideias; facilitar a visualização de entidades abstratas; fundamentar a proposição e a interpretação de experimentos sobre a realidade; ser um mediador entre a realidade modelada e teorias sobre elas. Quanto ao fato de serem modificáveis, isso pode acontecer quando o conhecimento da realidade é alterado; quando as explicações e/ou previsões são percebidas como inadequadas e quando novas formas de representações são disponibilizadas (op. cit. p. 211).

Gouveia Jr (1999) aponta que para um modelo ser considerado bom ou ruim, depende se seu uso, dentro do espaço teórico para o qual foi criado, é passível de mapeamento. Isto é, quanto maior o seu uso prático, possibilidade de previsão e similaridade com o fenômeno proposto, melhor ele será, porque estará funcionado para os fins propostos.

Um exemplo é o átomo, o qual possui vários modelos explicativos e que com o passar do tempo evoluíram para melhor integrar a teoria com os experimentos. Alguns dos modelos atômicos utilizados na construção do conhecimento científico são: de Dalton, de Thompson, de Rutherford, de Bohr e o modelo atômico atual, baseado na mecânica quântica.

É válido ressaltar ainda que, embora novos modelos atômicos tenham surgido, trazendo novas colaborações para a Química, mais especificamente, nenhum deles foi excluído. Todos eles continuam sendo utilizados no meio científico, principalmente entre os químicos pois, por mais que existam modelos mais modernos, cada um dos modelos existentes continua mostrando-se funcional dentro de determinadas exigências e o uso destes depende do objetivo do pesquisador ou do professor.

Em relação à Ciência, segundo Moreira (2014), praticamente todo conhecimento produzido depende do uso de modelos, sendo que teorias são consideradas mais do que modelos. Todavia, o uso de modelos não ocorre somente no meio científico, visto que todo indivíduo é capaz de produzi-los em sua mente e de forma abstrata, sendo estes conhecidos como modelos mentais.

As pessoas raciocinam utilizando seus modelos mentais, pois estes são como blocos de construção cognitivos que podem ser combinados e recombinaados, de acordo com a necessidade. Formados na mente, os modelos mentais possuem várias utilizações e podem ser definidos como uma forma de representar ideias, sistemas, objetos, eventos, etc. (BORGES, 1998; MOREIRA; LAGRECA, 1998).

Cada pessoa é capaz de produzi-los em sua imaginação, conforme a necessidade para determinado trabalho. Ao executar tarefas diárias, como passar café, utilizar o celular, dirigir, etc., ou então em tarefas mais elaboradas, como planejar um móvel sob medida (por um arquiteto), utilizar um método de ensino durante uma aula (por um professor), cortar o cabelo (por um cabeleireiro), etc. Em todos estes casos, cada pessoa precisa elaborar seus modelos mentais para que as tarefas possam ser realizadas.

Destaca-se aqui que, por serem pessoais, se distintos indivíduos realizarem a mesma tarefa, como dirigir uma moto, cada um deles formará um modelo mental diferente sobre esta ação, pois cada um estruturará em sua mente qual a melhor forma para fazer a moto andar. Além disso, quanto mais vezes a ação for realizada, melhor será este modelo mental quando comparado com alguém que realizou a ação uma única vez, por exemplo (JOHNSON-LAIRD, 1983). Baseando-se nisso, Norman (1983) afirma que os modelos formados em uma determinada tarefa não são precisos, pois muitas vezes as pessoas possuem dúvida e ficam

inseguras de seu próprio conhecimento e, por serem idiossincráticos, possuem conhecimentos ou crenças pessoais.

Assim, quando algo novo é apresentado a alguém, é preciso compreensão linguística e percepção de acordo com o grau de abstração para a elaboração dos seus respectivos modelos mentais, pois, segundo Johnson-Laird (2004, p. 179) “as percepções levam a um modelo mental, compreensão linguística leva a um modelo mental, e pensamento e raciocínio são manipulações internas dos modelos mentais”. Isso ocorre porque a visão que as pessoas têm do mundo, das suas capacidades e das tarefas que desenvolvem, depende dos seus modelos mentais. Ao interagirem com o ambiente e com os elementos pertencentes a esse, modelos mentais internos são formados constantemente na mente delas. Pode-se dizer então que estes são ferramentas mentais utilizadas para guiar o uso das coisas ou entender os fenômenos que os rodeiam, representando o modo como cada indivíduo compreende e interpreta o mundo (AZINHEIRA, 2012).

Segundo Moreira, Greca e Palmeiro (2002), o início dos estudos envolvendo os modelos mentais deu-se em 1983, quando dois livros intitulados “Mental Models” foram publicados. Um escrito por Philip Johnson-Laird (1983), o qual propõe a teoria de modelos mentais e o segundo de Gentner e Stevens (1983), falando do conhecimento que as pessoas desenvolvem sobre os fenômenos físicos e sobre os dispositivos mecânicos e tecnológicos.

Por mais que estes dois livros tenham sido os pioneiros em publicar sobre os modelos mentais, Johnson-Laird, Girotto e Legrenzi (1998) relatam que ninguém sabe ao certo a origem desses, mas apontam que um dos primeiros trabalhos a contribuir para o desenvolvimento dos modelos mentais, mesmo que de forma indireta, deu-se pela pesquisa de Kenneth Craik (1943) durante a Segunda Guerra Mundial, ao falar sobre a capacidade que a mente humana tem de construir modelos sobre a realidade. No livro intitulado “The nature of explanation”, Craik atribui ao uso das representações algumas vantagens, como pode ser observado no trecho a seguir,

Se o organismo carrega um "modelo em pequena escala" da realidade externa e de suas próprias ações possíveis em sua cabeça, é capaz de experimentar várias alternativas, concluir qual é a melhor delas, reagir a situações futuras antes que surjam, utilizar o conhecimento de eventos passados para lidar com o presente e o futuro, e de todas as formas reagir de maneira muito mais completa, mais segura e mais competente às emergências que o enfrentam. (CRAICK, 1943, p. 61, tradução nossa).

Isto é, para ele, quando o modelo da realidade externa é formado na cabeça de um indivíduo, ele poderá reagir diante de suas próprias ações, sejam elas, atuais ou futuras, e isso

só será possível ao raciocinar de modo a manipular suas representações internas do mundo. Craik deu os primeiros passos à construção da teoria dos modelos mentais, mas por falecer aos 31 anos, deixou suas ideias para outros cientistas cognitivos seguirem e uma das contribuições às suas ideias foi que a mente constrói modelos como resultado da percepção, imaginação, conhecimento e compreensão do discurso, levando ao desenvolvimento de representações mentais (JOHNSON-LAIRD, GIROTTO; LEGRENZI, 1998; JOHNSON-LAIRD, 2004).

Desde a década de setenta as ideias de Craik passaram a fazer parte das pesquisas de Johnson-Laird, fazendo-o publicar, em 1980, seu primeiro trabalho sobre os modelos mentais. Entretanto, este destacava que o conceito atrelado aos modelos mentais ainda precisava ser analisado detalhadamente, pelo fato de assemelhar-se muito à concepção de uma imagem (JOHNSON-LAIRD, 1980). Três anos mais tarde, um novo trabalho foi por ele divulgado e o que era apenas um conceito em 1980, passou a embasar uma nova teoria cognitiva.

Assim, o pressuposto que guia a Teoria dos Modelos Mentais é que os indivíduos raciocinam tentando visualizar as possibilidades compatíveis com o que sabem ou acreditam. Quando os humanos percebem o mundo, a visão produz um modelo mental de quais são as coisas na cena em frente a elas. Da mesma forma, ao entenderem uma descrição do mundo, passam a construir uma representação semelhante, embora menos rica, um modelo mental do mundo baseado no significado da descrição e também em seu conhecimento (JOHNSON-LAIRD, 1983, 2013; 2010), isto é, “os indivíduos constroem um modelo do mundo em suas mentes, para que possam simular eventos futuros e, assim, tomar decisões prescientes” (JOHNSON-LAIRD; GOODWIN; KHEMLANI, p.346, 2017)

Castilho (2014) afirma que, dentro da psicologia, esta teoria é referência para a compreensão do raciocínio humano, sendo os erros e acertos de cada indivíduo justificados em função dos tipos de representações mentais formuladas na mente.

A teoria dos modelos mentais, na perspectiva do teórico Johnson-Laird (2010, p. 2), apresenta três suposições principais:

1) Cada modelo mental representa o que é comum a um conjunto distinto de possibilidades. Por exemplo, você tem dois modelos mentais para sua renda: um em que você gasta menos do que sua renda e outro em que gasta mais. Mas o que acontece quando sua despesa é igual à sua renda?

2) Os modelos mentais são icônicos na medida em que podem ser. Isto é, significa que a estrutura de uma representação corresponde à estrutura do que ela representa;

3) Modelos mentais de descrições podem representar o que é verdadeiro à custa do que é falso. Este princípio da verdade reduz a carga que os modelos colocam em nossa memória

de curto prazo, também conhecida como memória de trabalho, na qual mantemos nossos pensamentos enquanto refletimos sobre eles, mas ao mesmo tempo ocasiona erros.

Em relação à terceira suposição, pode-se dizer que, ao raciocinar, busca-se conclusões verdadeiras ou que sejam prováveis, isto é, novas conclusões, e não apenas que repitam uma premissa ou acrescentem uma alternativa às possibilidades às quais as premissas se referem (JOHNSON-LAIRD, 2010). Mais do que isso, é preciso uma nova relação ou propriedade de algo que não foi exposto nas premissas. Para Johnson-Laird (1983), isso acontece porque, durante o raciocínio, as intuições não fazem uso da memória de curto prazo e acabam gerando um único modelo mental, além de serem muito rápidas, visto que muitas das inferências não levam mais de um segundo ou dois. Entretanto, a intuição nem sempre é suficiente para a racionalidade, pois quando um único modelo mental é formado, este nem sempre poderá ser o correto.

Em um primeiro contato com os modelos mentais, as pessoas acham que não são mais do que meras imagens mentais ou imagens e de fato o são. Porém, são uma noção mais geral, porque alguns modelos não podem ser visualizados (JOHNSON-LAIRD; GIROTTO; LEGRENZI, 1998). Um exemplo é quando uma pessoa gira uma imagem de um objeto tridimensional. Na verdade, ela não gira uma imagem bidimensional da imagem, mas um modelo subjacente do objeto tridimensional, e as operações que são realizadas em imagens correspondem às transformações visuais, enquanto as operações realizadas em modelos, a processos conceituais (JOHNSON-LAIRD; GIROTTO; LEGRENZI, 1998).

Percebe-se aqui que o raciocínio é parte fundamental do pensamento, mas compreender como tudo isso acontece, ainda é uma incógnita. Johnson-Laird, Goodwin e Khemlani (2017) mencionaram que o raciocínio é um processo sistemático que inicia com uma informação semântica em um conjunto de premissas e a transfere a uma conclusão e isso acontece porque as pessoas pensam em possibilidades e as representam a partir dos seus modelos mentais.

Ser racional, segundo Johnson-Laird (2010), é ser capaz de raciocinar, pois o raciocínio depende de visualizar as possibilidades - uma percepção do mundo, um conjunto de afirmações, uma memória ou alguma mistura delas - contribuindo para a construção dos modelos mentais de cada possibilidade e suas possíveis conclusões. Com o raciocínio, busca-se conclusões que são verdadeiras, ou pelo menos prováveis, dadas as premissas (JOHNSON-LAIRD; GOODWIN; KHEMLANI, 2017). Mas, também, buscam-se novas conclusões que possam trazer outras informações e isso tem levado inúmeros cientistas cognitivos a pesquisarem sobre quais inferências são racionais, como os processos mentais fazem essas inferências e como esses processos são implementados no cérebro (JOHNSON-LAIRD, 2010).

Para ilustrar o raciocínio baseado em modelos mentais, Johnson-Laird (2010, p. 2) dá as seguintes premissas: “*Ou o mercado tem um desempenho melhor ou não posso me aposentar*” e “*Eu poderei me aposentar*”. Para o autor, os dados principais na construção de modelos mentais são os significados das premissas, logo, a primeira premissa leva a dois modelos: um do mercado com melhor desempenho e outro do de não poder se aposentar, enquanto que a segunda premissa exclui esse segundo modelo e o primeiro modelo sustenta: o mercado tem um desempenho melhor.

Na perspectiva de Johnson-Laird, Goodwin e Khemlani (2017), o raciocínio humano não é simples, limpo e impecável, e muito menos semelhante a uma prova de lógica. Todavia, também não distingue dedução, indução e abdução, porque tenta explorar o que o indivíduo sabe. Johnson-Laird (2010) expõe que o raciocínio é muito mais parecido com uma simulação do mundo com todo o conhecimento relevante do que uma manipulação formal de sentenças da lógica, ou seja, os modelos mentais são construídos para representar diferentes possibilidades, baseando-se as conclusões nelas.

De acordo com Thagard (1998), o principal objetivo da ciência cognitiva é explicar como as pessoas chegam a seus diferentes tipos de pensamento, não apenas descrevendo as formas de resolução e aprendizado de problemas, mas também buscando explicar como a mente realiza tais operações. Nesse contexto, compreender o funcionamento da mente é importante para muitas atividades, como por exemplo, no âmbito educacional, pois em qualquer nível de ensino, o professor precisa buscar conhecer a natureza do pensamento dos estudantes para poder planejar melhores formas de ensiná-los.

Com base no exposto, percebe-se uma íntima relação dos modelos mentais com o raciocínio e, por isso, esta teoria classifica-se como cognitivista. Além do mais, conforme já mencionado, por serem considerados “*representações psicológicas*” é pertinente analisar a definição do termo “*representação*”, o qual significa qualquer notação, signo ou conjunto de símbolos que representam algum aspecto do mundo externo ou do interior, isto é, da imaginação, pois as pessoas não captam o mundo exterior diretamente, mas constroem representações mentais (internas) dele (LAGRECA, 1997; MOREIRA; GRECA; PALMERO, 2002).

Cognitivamente, Johnson-Laird, (1983) menciona que uma das grandes diferenças entre seres humanos e animais é que estes não têm vida mental, reagem ao mundo apenas fisicamente, porque seus comportamentos independem de representações internas do mundo externo. Por outro lado, os seres humanos reagem das duas formas ao mundo, mas também procuram antecipá-lo por meio do sistema perceptivo que passam a formar as representações do mundo

(JOHNSON-LAIRD, 1983). Complementando, o autor afirma que o mundo não é percebido de forma direta. O que cada indivíduo experimenta depende de um modelo do mundo. Assim, quando as percepções atingem os órgãos dos sentidos, a informação contida nessas é usada pelo sistema nervoso para construir um modelo.

Baseando-se nisso, alguns teóricos defendem que a informação colide com o sistema nervoso; outros, que a percepção do mundo depende de um grande corpo de conhecimento a priori de cada indivíduo. Ramos (2014) afirma que, nos seres humanos, as representações mentais ocorrem em duas etapas. Primeiro, é preciso uma estrutura cerebral suficientemente complexa para estabelecer conexões entre os eventos externos e os internos. Segundo, a validade dessas representações ocorre gradualmente, confrontando-as com o ambiente, pois a capacidade de gerar fenômenos mentais elaborados, como crenças e desejos, é evolutiva, isto é, as representações partem de comportamentos interativos simples, mas devido a capacidade de usar a linguagem e interagir em grupos sociais, os fenômenos mentais vão se tornando mais complexos de forma gradual. Com isto, o autor conclui que as representações mentais são formadas a partir da aprendizagem e da interação social.

Logo, uma representação mental “representa” uma coisa real, mas esta não é a coisa real propriamente dita, porque a natureza da mente e seu sistema perceptivo exercem um efeito decisivo sobre a percepção do mundo de uma pessoa e, conseqüentemente, sobre a forma como a representará (JOHNSON-LAIRD, 1983). Por exemplo, quando um químico se refere a algo real, como um tubo de ensaio, ou algo abstrato, como o átomo, a visão de mundo dele afetará diretamente a forma como ele representará cada um destes, pois a visão do mundo depende tanto do modo como o mundo é quanto do modo como as pessoas são. Ou melhor, todo o conhecimento do mundo depende da capacidade de cada indivíduo construir modelos dele e, uma vez que essa capacidade é um produto da seleção natural, o conhecimento depende de fato, da constituição biológica e também das coisas em si (JOHNSON-LAIRD, 1983).

As representações mentais dividem-se em externas e internas, sendo que os indivíduos transformam as representações externas em internas e, conseqüentemente, as utilizam para raciocinar sobre o mundo externo (JOHNSON-LAIRD, 1983; SANTOS, 2014).

As representações externas são incorporações de ideias ou conceitos, que permitem olhar ou analisar algo através da percepção, como mapas, diagramas, pinturas, manuais, descrições escritas, símbolos, gráficos, equações matemáticas, físicas e químicas, etc., ou seja, estão relacionadas com os modelos científicos. Estas, possuem como principal função transmitir algum tipo de mensagem (JOHNSON-LAIRD, 1983; OZGUM-KOCA, 1998; PRIETO, 1973, p. 10; SANTOS, 2014). Eisenck e Keane (1990, apud MOREIRA, 2016a) afirmam existir duas

classes de representações externas: pictóricas (pictóricas ou diagramáticas) e linguísticas (utilizam palavras ou notações simbólicas).

As representações internas, também chamadas de representações mentais, são modelos cognitivos idiossincráticos, isto é, são imagens construídas na mente por cada indivíduo sobre uma dada realidade. Estas representações não são observáveis de forma direta, e dificilmente serão inferidas pelo comportamento observado do indivíduo ou pela sua interação com as representações externas. Todavia, possibilitam ao indivíduo "re-presentar" internamente o mundo ao seu redor, pois normalmente este não detém o mundo externo precisamente, mas constrói uma representação do que vê num primeiro momento (GOLDIN, 2008; MOREIRA; LAGRECA, 1998; SANTOS, 2014). Estas representações classificam-se em localizadas e distribuídas.

As representações distribuídas abordam o conexionismo e estão diretamente relacionadas à inteligência artificial ao utilizarem modelos computacionais com redes de unidades "tipo-neurônio", pois são usadas para representar objetos ou eventos a partir de uma determinada rede (MOREIRA, 2016a).

Poersch (2004) explica que o conexionismo se baseia numa inspiração neuronal, isto é, o cérebro possui processadores interligados - os neurônios - formando uma rede complexa que operam simultaneamente e de forma cooperativa durante o processamento da informação e, por isso, constitui um processador distribuído, propenso a armazenar conhecimento experiencial e torná-lo utilizável. Para ele, o conexionismo assemelha-se ao cérebro sob dois aspectos: o conhecimento é adquirido pela rede através da aprendizagem; e as forças de conexão interneuronal, armazenam o conhecimento. Souza, Imbricado e Gabriel (2011) mencionam ainda que o conexionismo visa entender a cognição humana por meio da utilização de simulações da atividade neuronal, fundamentando-se nos estudos do cérebro humano desenvolvidos pelas neurociências.

Já em relação às representações localizadas, estas são denominadas de simbólicas, embora as representações distribuídas também envolvam símbolos. Logo, para diferenciar as representações simbólicas das distribuídas, Eisenck e Keane (1990, p. 241 apud MOREIRA, 2016a) usam uma rosa como exemplo. No primeiro caso, a visão e o perfume de uma rosa podem ser "re-presentados" por uma imagem e/ou por um símbolo, ou seja, a rosa. Já na representação distribuída, a informação armazena-se nas intensidades das conexões entre unidades "tipo-neurônio", possibilitando "re-criar" tanto a imagem como o perfume da rosa, por meio da ativação das conexões. Isto é, não é possível armazenar a imagem de uma rosa e nem o seu perfume, mas sim as intensidades de determinadas conexões entre unidades "tipo-

neurônio". Quando tais conexões são ativadas em certas intensidades, a imagem da rosa e seu perfume são "re-criados" ou "re-presentados".

Moreira (2016a) relata que, para compatibilizar estes dois enfoques às representações mentais, considera-se que o simbólico caracteriza a macroestrutura da representação cognitiva, enquanto que o conexionismo, a microestrutura.

As representações simbólicas, segundo Johnson-Laird (1983), operam sob três formas: representação proposicional, representação analógica e modelo mental.

A representação proposicional é uma cadeia de códigos que corresponde à linguagem e é representada em forma de palavras, podendo ou não estar em concordância com o estado das coisas do mundo a partir de situações hipotéticas ou imaginárias. São representações de significados, uma linguagem discreta (individual) da mente, além de ser abstrata e organizada segundo regras rígidas, que detêm o conteúdo ideacional da mente em qualquer língua e através de qualquer um dos sentidos humanos. São "tipo-linguagem", no sentido de que captam os conceitos subjacentes a uma situação, não porque sejam necessariamente constituídas de palavras (JOHNSON-LAIRD, 1983; MOREIRA, 1996; MOREIRA; LAGRECA, 1998).

Esse tipo de representação, pode ser pensada como uma função que leva a um estado de coisas (percebido, recordado ou imaginário) ou como um argumento com um valor de verdade. E por ser uma função, nem sempre será avaliada toda vez que for trazida à mente, pois muitas proposições não produzem valor de verdade (JOHNSON-LAIRD, 1983). Todavia, algumas vezes devem ser avaliadas, para retornar ao valor de verdade, isto é, se uma proposição é uma função, então sua representação é a representação de uma função. A maneira de representar uma função é pela linguagem e é útil pensar em uma proposição como uma linguagem mental (JOHNSON-LAIRD, 1980, p. 96). Voltando-se para a Química, as fórmulas químicas são exemplos de representações proposicionais, que representam determinados conceitos, repletos de outros conhecimentos importantes que ajudarão a dar sentido às fórmulas químicas.

Já as representações analógicas são não-discretas e organizam-se por meio de regras de combinações, concretas e específicas da modalidade por meio da qual a informação é recebida (JOHNSON-LAIRD, 1983). A imagem visual é um exemplo típico, mas há outras como as auditivas, as olfativas e as tácteis. Portanto, as imagens mentais são uma forma de representar visualmente o modelo mental, sob um determinado ponto de vista, resultando da imaginação do indivíduo, isto é, são representações que retêm muitos dos aspectos perceptivos de determinados objetos ou eventos, vistos de um ângulo particular (JOHNSON-LAIRD, 1983; MOREIRA, 1996).

Para Johnson-Laird (1980, p. 92), muitas pessoas afirmam ser capazes de formar e manipular imagens mentais na ausência de estímulos visuais correspondentes. No entanto, existem duas vertentes, a primeira argumenta que uma imagem é diferente de uma proposição (linha 1) e, a segunda, afirma que uma imagem é representada por proposições (linha 2). O Quadro 2 apresenta as características de cada linha, a primeira diz respeito às imagens, enquanto a segunda às representações proposicionais.

Quadro 2 - Características das linhas 1 e 2 a respeito das imagens e das representações proposicionais

Linha 1	Linha 2
1. O processo mental subjacente a uma imagem é semelhante àquele subjacente à percepção de um objeto ou uma imagem.	1. O processo mental subjacente a uma proposição é semelhante àquele subjacente à percepção de um objeto ou imagem.
2. Uma imagem é uma representação coerente e integrada, onde o elemento representado ocorre com todas as suas relações com outros elementos acessíveis.	2. O mesmo elemento ou parte de um objeto pode ser referido por diferentes proposições que constituem a descrição do objeto.
3. Uma imagem é passível de transformações mentais contínuas, como rotações ou expansões, nas quais os estados intermediários correspondem a estados intermediários de um objeto real passando pela transformação física correspondente. Uma pequena alteração na imagem corresponde a uma pequena alteração no objeto (ou sua aparência).	3. Uma representação proposicional é discreta e digital, e não contínua. Mas pode representar processos contínuos por pequenos incrementos sucessivos de sua (s) variável(eis), como o ângulo do eixo maior de um objeto para um quadro de referência. Uma pequena alteração na representação pode corresponder a uma pequena alteração no objeto (ou sua aparência).
4. Imagens representam objetos. São análogos, na medida em que as relações estruturais entre suas partes correspondem àquelas entre as partes dos objetos representados. Há de fato um isomorfismo entre uma imagem e seu objeto. Embora essa afirmação só faça sentido com respeito a um objeto visto como decomposto em partes com relações particulares entre elas.	4. Proposições são verdadeiras ou falsas de objetos. Suas representações são semelhantes, pois não se assemelham a palavras ou imagens. Embora possam ser necessários para fornecer uma interlíngua entre eles. Sua estrutura não é análoga à estrutura dos objetos que eles representam.

Fonte: Elaborada pela autora a partir da referência: Johnson-Laird (1980).

A partir destas características, Johnson-Laird (1980, p. 93) menciona que, ainda que os dois tipos de representações tenham várias propriedades compartilhadas, acabam diferenciando-se principalmente na quarta característica listada.

Por último, tem-se o modelo mental, que de acordo com Johnson-Laird (1983) é um terceiro construto representacional, que transita entre as representações proposicionais e as

analógicas. Um modelo mental pode ser total ou parcialmente analógico, ou ainda, parcialmente proposicional, isto é, ser diferente de uma imagem, mas estar relacionado a ela.

Por conta disto, é preciso relacionar as representações proposicionais e analógicas aos modelos mentais. Moreira e Lagreca (1998) deixam claro que um modelo mental pode ter proposições, mas que estas podem existir apenas como uma representação mental, sem fazer parte de um modelo mental, ou seja, uma proposição será verdadeira ou falsa em relação a um modelo mental. Já as imagens correspondem a “vistas” dos modelos (MOREIRA; LAGRECA, 1998). Resumidamente, as proposições são cadeias de símbolos que correspondem à linguagem, modelos mentais são análogos estruturais do mundo e imagens são modelos vistos de um determinado ponto de vista.

Todavia, Johnson-Laird (1983) deixa claro que mesmo que a representação analógica seja uma condição necessária e até mesmo suficiente para que um modelo mental exista, ambos são diferentes, pois as imagens representam aspectos particulares em relação a algo, enquanto um modelo mental pode ser caracterizado como uma representação mais ampla e genérica, como por exemplo, tem-se um modelo mental de um quadro no aspecto geral, mas, uma imagem remeteria a um quadro em específico. Assim, segundo o autor, os modelos mentais,

[...] desempenham um papel central e unificador na representação de objetos, estados de coisas, sequências de eventos, a maneira como o mundo é e as ações sociais e psicológicas da vida cotidiana. Eles permitem que os indivíduos façam inferências e previsões, compreendam os fenômenos, decidam qual ação tomar e controlar sua execução e, acima de tudo, experimentar eventos por procuração; permitem usar a linguagem para criar representações compatíveis àquelas derivadas do conhecimento direto do mundo; e relacionam as palavras com o mundo por meio de conceitos e percepção (JOHNSON-LAIRD, 1983, p. 397, tradução nossa).

Os modelos mentais são representações psicológicas de situações reais, hipotéticas ou imaginárias, cuja estrutura corresponde à estrutura do que eles representam e, por isso, podem ser comparados aos modelos arquitetônicos de edifícios de um engenheiro civil, aos modelos de moléculas complexas de um químico ou aos diagramas de interação de partículas dos físicos (JOHNSON-LAIRD; GIROTTO; LEGRENZI, 1998). Krey complementa que,

A capacidade de visualizar o mundo pode parecer ilimitada, mas a vasta potencialidade de um modelo mental é construída a partir de significados finitos: símbolos primitivos e processos básicos que operam com eles. Assim como, por mais completa que uma biblioteca seja, esta possui um número limitado de livros, a mente não pode conter um número infinito de símbolos pré-existentes (KREY, 2000, p. 25).

Ao perceber o mundo, a visão de cada indivíduo produz um modelo mental de tudo que está presente à sua frente. Da mesma forma, ao entender uma descrição do mundo, poderá construir uma representação semelhante, embora menos rica, um modelo mental do mundo baseado no significado da descrição e em seu conhecimento (JOHNSON-LAIRD, 2010).

Por isso que, de acordo Johnson-Laird (1980), os modelos mentais e as representações proposicionais diferem em sua função, isto é, como os seres humanos apreendem o mundo diretamente e possuem representações internas dele, uma proposição será verdadeira ou falsa em relação a um modelo mental do mundo, enquanto que os modelos mentais representam um estado de coisas e sua estrutura não é arbitrária como a de uma representação proposicional, mas desempenha uma representação direta ou um papel analógico.

Outra diferença é que as proposições não possuem características arbitrárias, enquanto que os modelos mentais, baseados em descrições verbais, sim. Na frase "dois garotos beijaram uma garota" contêm dois elementos que representam os garotos e um elemento que representa a garota, além da proposição que significa a relação entre eles, o "beijo". Aqui, tem-se uma característica analógica: dois elementos que representam dois meninos e um elemento que representa uma garota. Logo, é preciso de uma heurística inferencial para maximizar o número de identidades, visto que existem entidades a serem identificadas. Ou seja, exige-se modelos, pois neste exemplo não se pode usar uma representação proposicional de uma fórmula, como por exemplo: beijo, menino, menina (JOHNSON-LAIRD, 1980, p. 98).

As funções e os significados destas representações ajudam a diferenciá-las, sendo as imagens e os modelos mentais representações de alto nível, essenciais para a compreensão da cognição humana, mas ambas são instáveis e, a partir de novas experiências, percepções e interpretações, são modificadas e, por isso, é impossível existir um único modelo mental para um determinado estado de coisas, mas sim vários, mesmo que apenas um deles represente de maneira ótima esse estado de coisas (MOREIRA, 1996; MOREIRA; LAGRECA, 1998).

Resumidamente, para que as representações mentais sejam feitas, de acordo com cada indivíduo, pode-se dizer que as representações proposicionais possibilitam a construção de um determinado modelo mental, sendo a imagem uma possibilidade de visualizar tal modelo.

Após realizar algumas pesquisas envolvendo um elevado número de pessoas, Norman (1983, p. 8) aponta as características gerais em relação aos modelos mentais. Para estes autores,

- 1) *Os modelos mentais são incompletos*: Não existe um único modelo sobre determinada situação, mas podem existir vários. Conforme cada indivíduo vai recebendo estímulos, seus modelos vão se modificando, ou seja, evoluindo;

2) *A habilidade que cada indivíduo tem em “rodar” seus modelos mentais é limitada*: isto é, esta característica está relacionada com a capacidade limitada que os indivíduos possuem em mudar seus modelos mentais, tornando-os cada vez mais elaborados;

3) *Modelos mentais são instáveis*: As pessoas acabam esquecendo alguns detalhes dos seus modelos mentais ou até mesmo todo, principalmente quando não são utilizados durante um certo tempo;

4) *Modelos mentais não apresentam limites*: Isso possibilita que dispositivos e operações parecidas sejam confundidos uns com os outros;

5) *Modelos mentais são “não-científicos”*: Por serem idiossincráticos, possuem como bases diversas formas e tipos de conhecimento e, por isso, as pessoas preferem manter padrões de comportamento “supersticiosos”, mesmo sabendo que não são necessários, pois sabem que não precisam de muito esforço físico e mental;

6) *Modelos mentais são parcimoniosos*: Muitas vezes as pessoas preferem fazer operações físicas extras ao invés de planejamentos mentais que lhes permitiram evitar tais ações. Elas preferem gastar mais energia física em troca de um modelo mental menos complexo.

Visando diferenciar os modelos mentais das demais formas postuladas de representações mentais, Johnson-Laird (1983, p. 397-398) propõe uma sequência de princípios para estes:

1) *Princípio da computabilidade*: modelos mentais são computáveis e, portanto, é possível descrevê-los na forma de procedimentos efetivos que podem ser executados por uma máquina;

2) *Princípio da finitude*: Pelo fato de o cérebro ser um organismo finito e os modelos mentais serem construídos nele, estes também serão finitos em tamanho e não podem representar diretamente um domínio infinito;

3) *Princípio do construtivismo*: modelos mentais são constituídos de elementos básicos, organizados em uma certa estrutura para representar determinado estado de relações;

4) *Princípio da economia*: Uma descrição de um único estado de coisas é representada por um único modelo mental, mesmo que a descrição seja incompleta ou indeterminada. Assim, o conteúdo capturado em um modelo mental - sua importância - é uma função do modelo e dos processos que o avaliam. Um modelo mental único pode representar um número infinito de possíveis estados de coisas, porque o modelo pode ser revisado recursivamente. A cada nova asserção descritiva de um estado de coisas pode implicar na revisão do modelo para acomodá-la. Este princípio refere-se à construção de modelos a partir do discurso, pois este é sempre indeterminado e compatível com muitos estados de coisas

diferentes e para contornar isso, a mente constrói um modelo mental inicial e o revisa recursivamente conforme necessário;

5) *Princípio da não-indeterminação*: Os modelos mentais podem representar indeterminações se e somente se seu uso não for computacionalmente intratável. Ou seja, trata-se de acomodar as indeterminações em um modelo mental, lavando-o a um crescimento de difícil compreensão do modelo mental;

6) *Princípio da predicabilidade*: Essa propriedade permite identificar um conceito artificial ou não natural. Um predicado pode ser aplicável a todos os termos aos quais um outro predicado é aplicável, porém não podem ter intervalos de interseção de aplicações. Por exemplo, “inteligente” aplica-se tanto à pessoa como à ação, e o alto se aplica tanto à pessoa quanto à árvore, mas o inteligente não se aplica à árvore, e o alto não se aplica a ação. Logo, um conceito definido por predicados que não tem nada em comum viola o princípio da predicabilidade, além de não estar representado em modelos mentais;

7) *Princípio do inatismo*: todos os primitivos conceituais são inatos. Primitivos conceituais subjazem nossas experiências perceptivas, habilidades motoras, estratégias, enfim, nossa capacidade de representar o mundo. Logo, pode-se dizer que a aprendizagem de conceitos ocorre por meio de primitivos conceituais inatos ou de conceitos previamente adquiridos, pois há primitivos procedimentais que são adicionados na formação de um modelo mental. Além dos primitivos conceituais inatos, tem-se também os primitivos procedimentais, os quais são acionados automaticamente quando um indivíduo constrói um modelo mental. Estes não são adquiridos através da experiência porque a representação mental da experiência já requer habilidade de construir modelos da realidade a partir da percepção;

8) *Princípio do número finito de primitivos conceituais*: existe um conjunto finito de primitivos conceituais que formam um conjunto correspondente de campos semânticos e outro conjunto finito de conceitos, ou “operadores semânticos”, que ocorre em cada campo semântico e serve para construir conceitos mais complexos e elaborados a partir dos primitivos subjacentes. Portanto, um campo semântico reflete um grande número de palavras, cujos significados, compartilham um conceito comum. Por exemplo, os verbos associados à percepção visual (avistar, olhar, escrutinar, observar, etc.) compartilham um significado que corresponde ao conceito de ver. Além disso, os operadores semânticos incluem os conceitos de tempo, espaço, possibilidade, permissibilidade, causa e intenção. Logo, se uma pessoa olha algo, ela focaliza seus olhos durante um certo tempo, com o intuito de ver o que acontece. Assim, os campos semânticos provêm sobre o que existe no mundo, sobre o mobiliário do mundo, enquanto os operadores semânticos sobre as relações entre esses objetos;

9) *Princípio da identidade estrutural*: as estruturas dos modelos mentais são iguais às estruturas dos estados de coisas, percebidos ou concebidos, que eles representam. Este vínculo decorre da ideia de que as representações mentais devem ser econômicas e, por isso, cada elemento de um modelo mental, incluindo suas relações estruturais, deve ter um papel simbólico. Não deve haver na estrutura do modelo nenhum aspecto sem função ou significado.

Baseando-se nos princípios aqui apresentados, Johnson-Laird buscou limitar a natureza dos modelos mentais, esclarecendo suas funções e restrições. Para ele, os modelos mentais podem conter símbolos que correspondem a entidades no mundo e que as propriedades desses símbolos e as relações entre eles correspondem à nossa concepção dos estados de coisas que os modelos representam.

O estudo de modelos e representações mentais é muito importante para o ensino de ciências, principalmente em relação à disciplina de Química, pois, assim como os modelos mentais, esta é uma Ciência com conceitos altamente abstratos, sendo impossível enxergar átomos, elétrons e íons interagindo uns com os outros ou sendo transferidos nas ligações químicas, nem como as substâncias são formadas, etc. Logo, por seu elevado grau de abstração, cabe a ela a famosa frase de Einstein “Imaginação é mais importante que o conhecimento”, visto que o conhecimento é insuficiente para compreender a Química, sendo necessário ter imaginação para compreender como seus fenômenos acontecem (TABER, 2009).

Nesse sentido, devido a sua aplicabilidade no Ensino de Química, no próximo subcapítulo será feita uma diferenciação entre os modelos mentais e os modelos conceituais. Todavia, por mais que sejam diferentes, ambos são importantes para que o processo de ensino e aprendizagem se torne cada vez mais significativo.

2.1 MODELOS MENTAIS E MODELOS CONCEITUAIS: UM CAMINHO À APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Baseando-se no exposto, os modelos mentais apresentam as visões das pessoas sobre a realidade em que se encontram, seja a partir de suas tarefas diárias ou daquilo que aprendem. Para isso ser possível, as concepções pessoais são muito importantes, pois suas interações com o ambiente, com as outras pessoas e com os artefatos tecnológicos, possibilitam aos indivíduos formarem internamente seus respectivos modelos mentais, os quais possuem um “poder” de explicação e de previsão para o entendimento dessas relações (NORMAN, 1983).

Desta forma, olhando-se para uma aula de um Curso de Química, as diferentes formas de representações são extremamente relevantes, visto que graduandos e professores (cientistas)

os apresentam e os constroem constantemente em seus sistemas cognitivos. Logo, é pertinente mencionar as diferenças entre as representações mentais formadas por cada um deles. Por exemplo, os modelos mentais construídos por um graduando de Química serão os mesmos de um professor, com doutorado nesta área (*expert*), a respeito das ligações químicas existentes entre os átomos de sódio (Na) e de cloro (Cl) para formar o cloreto de sódio?

Para responder a estes questionamentos, Normam (1983) considera quatro elementos diferentes: o sistema alvo; o modelo conceitual do sistema alvo; o modelo mental do sistema alvo construído pelo graduando; e o modelo do cientista deste modelo mental. Para diferenciar estes elementos, será usado o exemplo citado acima.

Aquilo que a pessoa está aprendendo ou usando é definido como *sistema alvo*, como no caso do conteúdo de ligações iônicas, as quais ocorrem entre os átomos de sódio e de cloro.

Os *modelos conceituais* são aqueles construídos pelo meio acadêmico com o propósito de proporcionar uma representação apropriada do sistema alvo e devem ser precisos, consistentes e completos. Todavia, para que os modelos mentais formados pelos estudantes sejam coerentes com os modelos conceituais apresentados pelo professor, estes, devem ser aprendíveis, funcionais e utilizáveis (NORMAN, 1983). Para que as ligações entre os átomos de sódio e de cloro sejam explicadas, utiliza-se o modelo conceitual sobre as ligações iônicas. Estes modelos, segundo Norman (1983), são formulados por professores, projetistas, cientistas e engenheiros, ou seja, por *experts*, e visam facilitar o entendimento e o ensino dos fenômenos científicos.

Corroborando, Moreira, Greca e Palmero (2002) explicam que modelos conceituais são simplificações de cortes da realidade (para facilitar sua explicação) construídos, ensinados e aprendidos por indivíduos que operam cognitivamente com modelos mentais. Em relação aos *experts*, Borges aponta que

[...] o aprendizado de um especialista é muito lento e que a expertise surge de uma ampla base de dados acumulados ao longo de anos. As habilidades de solucionar problemas ou de propor explicações sobre um estado de coisas ou um evento exibido por peritos nos domínios correspondentes do conhecimento resultam da habilidade em estabelecer comparações entre uma situação problema e padrões armazenados de experiências de aprendizagem anteriores. Atualmente é amplamente aceito que nós só podemos apreender o novo em termos daquilo que já conhecemos. As explicações que formulamos para as coisas que observamos ou imaginamos são tentativas de compreender um evento ou uma situação não familiar em termos de coisas com as quais estamos habituados, ou em termos de sistemas familiares [...]. (BORGES, A. T., 1998, p. 7-8).

Chi, Feltonvich e Glaser (1981) abordam ainda que os *experts* possuem ramificações cognitivas mais gerais e, com isso, são capazes de estabelecer rapidamente a correspondência entre eventos apresentados externamente e modelos internos para esses eventos.

Os *modelos mentais*, por sua vez, encontram-se em constante evolução, pois por meio da interação com o sistema alvo, cada indivíduo formará os modelos mentais de um determinado sistema, como no caso dos modelos mentais formados pelos graduandos em relação à ligação química mencionada. Uma pessoa continuará modificando o seu modelo mental até obter um resultado viável. No entanto, os modelos mentais tornam-se limitados por diferentes fatores como o conhecimento técnico e pelas experiências prévias com os sistemas similares.

Por último, tem-se o *modelo do cientista* (do *expert*) em relação a um determinado modelo mental. Estes, assim como os estudantes, também formam seus modelos mentais e, por isso, são um modelo de um modelo, porém são os mais próximos de um modelo conceitual.

Voltando-se aos modelos conceituais, Moreira e Lagreca (1998) complementam que estes são representações externas de estados de coisas físicos. Já os modelos dos graduandos de química, ou de qualquer indivíduo, até mesmo dos que criam os modelos conceituais, são modelos mentais, ou seja, são modelos construídos por pessoas para representarem estados de coisas, sejam físicas ou abstratas. Para Borges (1998), explicar um fenômeno ou sistema físico significa construir modelos mentais dele que possam ser simulados na imaginação dos estudantes para gerar explicações e descrições do comportamento e da evolução do estado do sistema.

A habilidade de um indivíduo em explicar e prever eventos e fenômenos que acontecem à sua volta evolui à medida que ele vai adquirindo modelos mentais mais sofisticados dos domínios envolvidos. Tais modelos evoluem com o desenvolvimento psicológico e com a instrução, num processo conhecido como mudança conceitual (BORGES, 1997).

Em uma sala de aula, o professor ensina os modelos científicos, projetados por pessoas que usam modelos mentais, e espera que o aprendiz construa os modelos mentais consistentes com os modelos científicos e, conseqüentemente, coerentes com a interpretação científica aceita. Logo, o objetivo do Ensino de Ciências é, por meio de modelos científicos e teóricos, levar o aprendiz a construir modelos mentais que estejam de acordo com os próprios modelos científicos. Ou seja, a mente humana opera só com modelos mentais, mas modelos conceituais e teóricos ajudam na construção destes que explicam e predizem com o conhecimento aceito de uma determinada área (KREY, 2000; MOREIRA, 2014; 2002).

Deste modo, é papel do professor buscar reconhecer os modelos mentais dos estudantes com o objetivo de aproximá-los aos modelos científicos utilizados em suas aulas, em especial no ensino de química, em consequência do seu alto grau de abstração. Porém, para que os conceitos científicos sejam representados pelos estudantes, um único modelo mental é pouco, pois conforme o aluno vai amadurecendo em relação ao conteúdo, vários modelos vão sendo construídos e, posteriormente, substituídos, à medida que o conteúdo é trabalhado.

Krey (2000) afirma que, em uma situação ideal, a relação entre modelo conceitual e modelo mental deveria ser imediata, ou seja, no momento em que o indivíduo passa a ter contato com um modelo conceitual, já deveria contruir um modelo mental e, utilizando-o, chegaria às mesmas previsões cientificamente corretas ou derivadas de modelos conceituais. Mas não é bem isso que acontece e por isso que muitas pesquisas têm sido feitas para tentar resolver esse impasse.

Isso acontece porque, os modelos mentais, segundo Santos (2014), estão diretamente relacionados à capacidade de compreensão e raciocínio do sujeito e, além disso, sua experiência, cultura e crenças afetam diretamente a formação dos seus modelos, tornando-os imprecisos, incoerentes e incompletos. Por consequência, as constantes transformações dos modelos mentais muitas vezes geram lacunas entre o modelo antigo e a nova informação a ele incorporada e, quanto menor essa distância, mais consistente será o novo modelo. Essas lacunas ocorrem por vários motivos, como a instrução inadequada, materiais didáticos que não estimulam sua avaliação e modelos conceituais que são apenas memorizados.

Tauceda e Del Pino (2010) expõem que a construção de modelos exige mais que uma simples reorganização dos modelos já construídos, mas envolve também uma visão diferente dos fenômenos. O aluno não precisa destruir seus antigos modelos, até porque eles são úteis para o aprimoramento de suas ideias, bem como de outros modelos e foram capazes de explicar outros contextos. Logo, pensando na construção de modelos mentais, Johnson-Laird (1983) classificou os indivíduos como “modelizadores” e “não modelizadores”.

O primeiro ocorre quando os indivíduos conseguem formar modelos mentais cujos princípios do sistema alvo passam a fazer sentido. Algumas características gerais dos modelizadores em relação ao sistema alvo são: boa compreensão da teoria apresentada, ou seja, são capazes de explicar a estrutura conceitual de uma teoria e os fenômenos ligados a ela, não se detendo apenas a manipulação de fórmulas, por exemplo; integram de forma coerente os diferentes aspectos estudados; resolvem eficientemente os problemas colocados; conseguem elaborar um conceito global; dão indícios dos modelos mentais através do uso de imagens ou de proposições; quanto mais "elaborado" o modelo mental, mais facilmente compreendem as

situações e contextos diferentes daqueles trabalhados em aula, ou daqueles onde só tivesse que aplicar fórmulas (GRECA; MOREIRA, 1996; LAGRECA; MOREIRA, 1999).

Mas também há aqueles que não conseguem formar modelos mentais e estes são denominados não modelizadores. Essa classificação ocorre quando estes trabalham somente com representações mentais (proposições e imagens) desvinculadas de modelos, sem compreender ou explicarem a estrutura conceitual de uma teoria e os fenômenos ligados a ela (GRECA; MOREIRA, 1996; LAGRECA; MOREIRA, 1999). Algumas características apresentadas por esses, são: não integram os conceitos das teorias; utilizam fórmulas ou imagens que aparecem nos livros, mas utilizam definições "soltas".

Aprofundando-se em ambas classificações propostas por Johnson-Laird, além de considerar os trabalhos de Greca e Moreira (1996), Lagreca e Moreira (1999, 1998) e Tauceda e Del Pino (2010), os quais consideram a forma cognitiva de trabalhar dos indivíduos, as seguintes subcategorias são apresentadas no Quadro 3 e caracterizadas.

Quadro 3 - Subcategorias dos modelizadores e não modelizadores e suas respectivas descrições

Modelizadores		Não modelizadores	
Subcategorias	Descrição	Subcategorias	Descrição
Modelizador proposicional (MP)	Articulam definições e símbolos a modelos mentais, que não são, necessariamente, cientificamente aceitos, mas possibilitam a resolução e interpretação de diferentes situações.	Proposicional	Apresentam proposições soltas, desarticuladas e até mesmo, incoerentes, demonstrando a não sistematização do modelo mental.
Modelizador imagístico (MI)	Há predominância de imagens articuladas a modelos mentais, formando um modelo explicativo para o sistema alvo.	Imagístico	Apresentam representações imagísticas, onde a imagem predomina e não explica nenhum processo.
Modelizador híbrido (MH)	Utilizam proposições e imagem em um mesmo contexto, tornando essa integração explicativa e funcional.	Proposicional/ Imagístico (PI)	Apresentam elementos proposicionais e imagísticos, sem indicar relação entre eles e/ou faltam aspectos explicativos e funcionais do processo que está sendo estudado.

Fonte: Elaborada pela autora a partir das seguintes referências; Greca e Moreira (1996), Lagreca e Moreira (1999, 1998) e Tauceda e Del Pino (2010).

Estas categorizações possibilitam averiguar como ocorre o desenvolvimento de um estudante em sala de aula perante o sistema alvo, a partir da reflexão sobre a forma como ele constrói e externaliza seus conhecimentos por meio da Teoria dos Modelos Mentais.

Entretanto, quando os estudantes formam modelos mentais, estes passam a apresentar indícios de aprendizagem significativa (AS) em relação aos conteúdos, pois os modelos passam a ser mais elaborados, com algum poder explicativo e preditivo, e com alguma coerência com o conhecimento cientificamente aceito. Ou seja, a aprendizagem será mais significativa se os modelos mentais construídos forem consistentes com os modelos conceituais (MOREIRA; LAGRECA, 1998).

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) é atribuída a David Ausubel (1918-2008), um especialista em psicologia cognitivista, que se dedicou a discutir o processo de ensino-aprendizagem no contexto escolar (RONCA, 1994). O fator mais importante no processo de ensino e aprendizagem para Ausubel, é considerar a bagagem de conhecimento do aprendiz, pois, a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo, denominada de “subsunçor”. Assim, com a ancoragem da nova informação em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva de quem aprende, pode-se dizer que há indícios de aprendizagem significativa (MOREIRA; MASINI, 1982).

Complementando, a AS é o processo através do qual um novo conhecimento se relaciona de maneira **não arbitrária e substantiva (não-litera)** à estrutura cognitiva do aprendiz, sendo estes dois aspectos, as características básicas da TAS (MOREIRA, 1997). Mas o que isso quer dizer?

Não-arbitrariedade significa que o material potencialmente significativo se relaciona de maneira não-arbitrária com um conhecimento relevante da estrutura cognitiva do aprendiz, isto é, seus subsunçores ou ideias âncoras. Substantividade, quer dizer que o que é incorporado à estrutura cognitiva é a substância do novo conhecimento e não as palavras usadas para expressá-las. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva (MOREIRA; MASINI, 1982; MOREIRA, 1997).

Ausubel (1973, p. 25 *apud* SILVA; SHIRLO, 2014) define “subsunçor” como uma estrutura específica, onde uma nova informação pode se agregar ao cérebro humano, que é altamente organizado e que armazena as experiências prévias do sujeito. Resumidamente, subsunçor é o conhecimento prévio do indivíduo, que dá significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto, os quais podem ser um símbolo já significativo,

um conceito, um modelo mental, uma imagem, etc. Assim, novas informações podem ser aprendidas significativamente, na medida em que outras informações estejam adequadamente claras e disponíveis na estrutura cognitiva do sujeito e funcionem como pontos de “ancoragem” aos primeiros (MOREIRA, 2012).

No âmbito escolar, para que o processo de ensino e aprendizagem seja significativo, é necessário que os professores estejam atentos aos indícios de modificação do conhecimento por parte dos estudantes e ao mesmo tempo, para o desenvolvimento dos modelos mentais dos mesmos. No entanto, para haver indícios de AS, são necessárias duas condições.

Primeiramente, o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo para o aprendiz, acarretando em algumas implicações. O material (livros, aulas, jogos didáticos, aplicativos, etc.) precisa ter significado lógico, tornando-o relacionável de maneira não-arbitrária e não-literal a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante. Também necessita que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva conhecimentos prévios relevantes para relacionar com o material usado (MOREIRA; MASINI, 1982).

Moreira (2012) enfatiza que o material só será “potencialmente” significativo e não significativo, pois não existem materiais e aulas significativas. São as pessoas que atribuem significado a estes. Assim, o que se pretende é que o aluno atribua aos novos conhecimentos, difundidos pelos materiais de aprendizagem, os significados aceitos no contexto da matéria de ensino.

A segunda condição é que o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender, ou seja, ele deve querer aprender, sendo esta, a maior dificuldade dos professores, pois o aprendiz deve querer relacionar os novos conhecimentos, de forma não-arbitrária e não-literal, a seus conhecimentos prévios. Tal condição não é sinônimo de motivação, mas sim está relacionada com a capacidade de o sujeito em querer ou não relacionar os novos conhecimentos a sua estrutura cognitiva prévia, modificando-a, enriquecendo-a e dando significados a esses conhecimentos (MOREIRA, 2012). Logo, se a intenção do aprendiz é a memorização, tanto o processo de aprendizagem como seu produto serão mecânicos e sem significados (MOREIRA; MASINI, 1982).

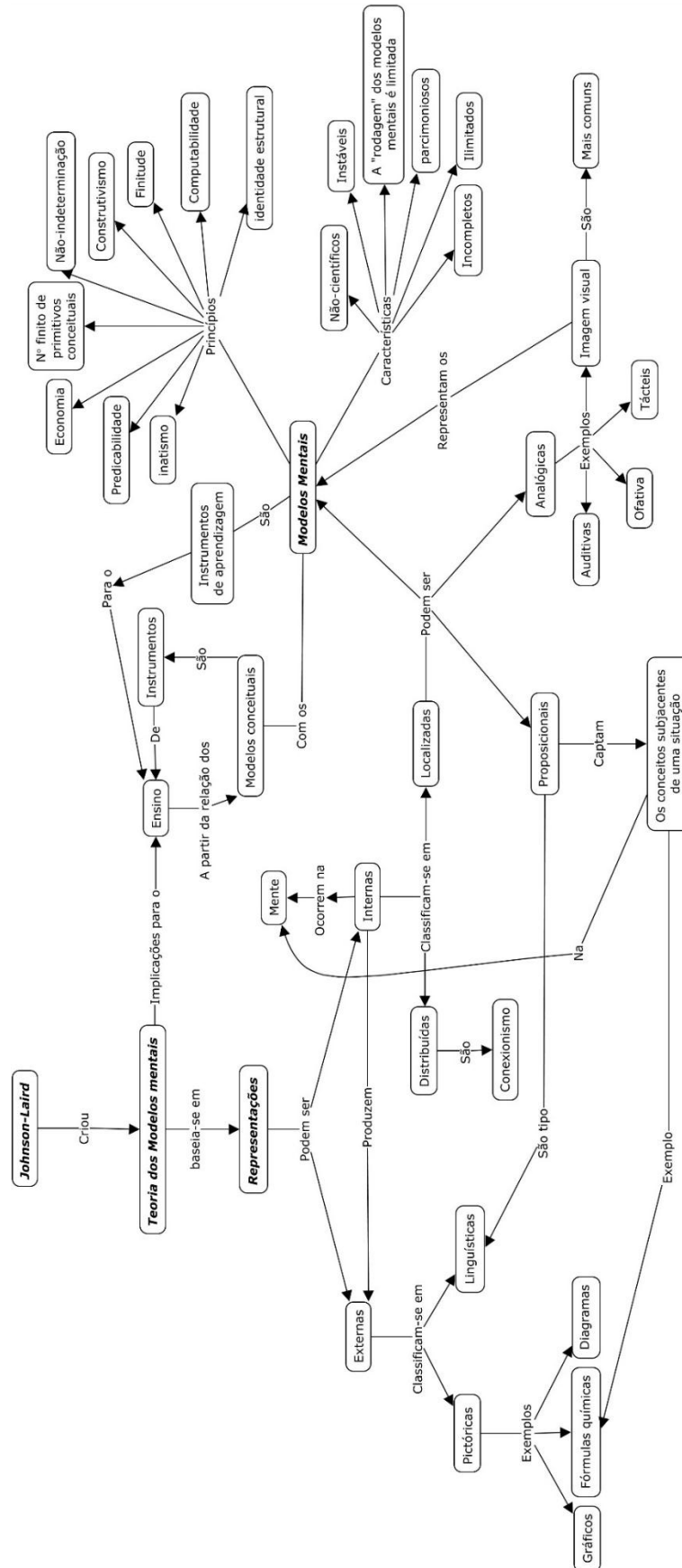
Assim a AS é apreendida nas estruturas psíquicas e cognitivas quando existe significado para o sujeito. Isto é, a compreensão genuína de um conceito ou proposição implica a posse de significado claro, preciso, diferenciado e transferível. A ocorrência desta construção implica que as informações novas de um indivíduo devem interagir com seu conhecimento prévio, e o resultado desta interação são os novos significados, isto é, a AS (MOREIRA; MASINI, 2006b, p. 24).

Nesse contexto, conforme já exposto, a construção do conhecimento, em qualquer nível de ensino, deve se dar por meio da orientação do professor para que o estudante construa modelos mentais a partir dos modelos conceituais utilizados em aula, e que estes modelos sejam o mais próximo possível dos modelos conceituais. Esta construção do conhecimento implica que as novas informações interajam com o conhecimento prévio do indivíduo, e que este queira aprender o sistema alvo. O resultado desta interação são os novos significados, isto é, os indícios de aprendizagem significativa. Logo, entender um estado de coisas do mundo natural leva a um modelo mental deste estado de coisas, mas por mais que modelos conceituais sejam ensinados, a aprendizagem significativa envolve a construção de modelos mentais (MOREIRA; GRECA; PALMERO, 2002; TAUCEDA; DEL PINO, 2010).

Conforme Moreira, Greca e Palmero (2002), um modelo conceitual serve como um instrumento de ensino, porém o instrumento de aprendizagem é o modelo mental, isto é, a função do modelo mental é dar sentido ao modelo conceitual ensinado. Ao mesmo tempo, deve-se considerar que todo estudante em uma aula de ciências já sabe representar seu cotidiano por meio da percepção, experiência direta com o mundo, analogia com outros modelos gerados e também por outras construções cognitivas estáveis. Tais modelos mentais, porém, podem ser deficientes, com significados errôneos ou contraditórios, mas mesmo assim são funcionais e podem gerar representações mentais estáveis.

Para finalizar este capítulo, a Figura 2 apresenta um mapa conceitual da Teoria dos Modelos mentais pela visão da autora desta pesquisa.

Figura 2 - Mapa conceitual sobre a Teoria dos Modelos mentais a partir da visão da autora



Fonte: Autora (2018).

3 CAPÍTULO II – REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO COMO MODELO CONCEITUAL

O estudo das reações de oxirredução é importante devido ao grande número de aplicações. Além de extremamente versáteis, muitas das reações comuns do dia a dia, como a combustão, a corrosão, a fotossíntese, o metabolismo dos alimentos e a extração de metais de minérios, parecem completamente diferentes, mas, ao examiná-las em um nível molecular, sob a óptica de um químico, pode-se ver que são exemplos de um único tipo de processo, isto é, de reações de oxirredução (ATKINS; JONES, 2012). Palmas e Tiera (2003) afirmam ainda que o estudo dessas reações é extremamente pertinente em consequência do enorme número de aplicações que estas possuem na fabricação dos mais variados produtos. Complementando esta ideia, para Zumdahl e DeCoste (2015), na verdade, praticamente todos os processos que fornecem energia para aquecer edifícios, ligar carros e permitir que as pessoas trabalhem e divirtam-se dependem das reações de oxirredução.

Os processos de oxidação e redução fazem parte de uma das principais classes de reações químicas e, assim como Joesten e Wood (1996) descrevem, a humanidade vive em uma atmosfera oxidante. Mendonça, Campos e Jófilis (2004) expõem que,

A variedade de reações químicas que envolvem oxidação-redução no nosso cotidiano é surpreendente. Parece que vivemos das pilhas e baterias que movimentam as calculadoras, carros, brinquedos, lâmpadas, rádios, televisões e muitas outras coisas. Para combater a corrosão, polimos a prataria, pintamos as grades de ferro e galvanizamos os pregos. Circuitos de computadores são cobertos por finas camadas de ouro ou prata aplicadas por eletrodeposição. A revelação fotográfica utiliza reações químicas que envolvem transferência de elétrons. As plantas transformam energia em compostos através de uma série de reações chamadas de cadeia de transporte de elétrons. Os testes de glicose na urina, ou de álcool no ar expirado, são feitos com base em intensas mudanças de cor, através de reações que também envolvem a transferência de elétrons (MENDONÇA; CAMPOS; JÓFILIS, 2004, p. 45 e 46).

Nesse sentido, por representarem um conjunto de fenômenos bastante presente no cotidiano de toda a sociedade, as reações químicas de oxirredução possibilitam uma abordagem contextualizada, na qual os conceitos envolvidos podem ser discutidos conjuntamente às suas implicações (JUNIOR; DOCHI, 2006).

Em virtude da versatilidade destas reações, Klein (2015) expõe que, dentro do contexto científico, várias são as definições encontradas para estas, como: reações redox, reações de oxidação-redução ou reações de oxirredução. Outro fato importante mencionado pela autora é que são explicadas de diferentes formas também.

Baseando-se nisso, por ser uma pesquisa cujos os sujeitos são egressos do Curso de Química Licenciatura da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), optou-se por fazer um

levantamento nas ementas e programas disponibilizados pelo site do Departamento do curso citado da presente instituição.

Este levantamento inicial permitiu averiguar quais as disciplinas trabalham, em algum momento do semestre letivo, com as reações químicas de oxirredução e, além disso, quais são os livros utilizados pelos professores destas disciplinas que contemplam, de alguma forma, este conteúdo, conforme pode ser observado no quadro 4.

Quadro 4 - Relação das disciplinas que contemplam as reações químicas de oxirredução e suas respectivas sugestões de bibliografias no curso de Química licenciatura da UFSM

Semestre	Disciplina	Conteúdos	Bibliografia
1°	Introdução à Química Experimental	Reações de oxirredução e eletroquímica.	Bessler e Neder (2011); Chrispino e Faria (2010); Lenzi, et al (2012).
	Transformações químicas	Reações de oxirredução e eletroquímica.	Atkins e Jones (2012); Brown, et al (2017); Chang e Goldsby (2013).
2°	Química analítica qualitativa Estrutura e reatividade de compostos orgânicos	Reações de oxirredução em solução aquosa; células eletroquímicas.	Hage (2012); Harris (2009).
3°	Química analítica quantitativa	Compostos Carbonílicos - níveis e estados de oxidação. Volumetria de oxirredução	Peter, Volhardt e Schore (2004); Solomons (2012). Harris (2013); Vogel (2008); Skoog et al (2006).
	Química analítica quantitativa experimental	Volumetria de oxirredução	Harris (2013); Vogel (2008); Skoog et al (2006).
	Química inorgânica	Estados de oxidação - grupo principal e transição	Farias (2013); Housecroft e Sharpe (2013); Woollins (2006).
4°	Equilíbrio de fases e eletroquímica	Eletroquímica	Atkins e De Paula (2008); Atkins e Jones (2012).
5°	Química de coordenação	Reações de oxirredução em complexos.	Housecroft e Sharpe (2013); Shriver, et al (2008).
6°	Princípios de bioquímica I	Oxidações biológicas	Champe, Harvey e Ferrier (2017); Lehninger, Nelson e Cox (2014).
	Físico química experimental	Eletroquímica e Corrosão.	Atkins e De Paula (2008); Atkins e Jones (2012).
7°	Princípios de bioquímica II	Estresse oxidativo.	Champe, Harvey e Ferrier (2017); Lehninger, Nelson e Cox (2014).

Fonte: Produzido pela autora a partir das ementas e programas das disciplinas no curso de Química Licenciatura.

Com isso, foi possível observar a abrangência deste conteúdo para o Curso da Química Licenciatura/UFSM, visto que, das cinquenta e duas disciplinas presentes no currículo fixo, isto é, obrigatórias, doze contemplam de forma direta essas reações, justificando sua importância para a formação dos graduandos licenciados e, assim, dos egressos desta instituição de ensino. Além disso, este levantamento vai ao encontro do que já foi citado no início deste capítulo, ou seja, mostra o quanto que os conceitos atrelados ao conteúdo de oxirredução estão presentes em diversas situações e, conseqüentemente, em diversas subáreas da Química.

3.1 REAÇÕES DE OXIRREDUÇÃO NOS LIVROS UTILIZADOS DOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA DA UFSM

Os livros didáticos são um recurso muito importante no processo de ensino e aprendizagem, pelo fato de apresentarem os modelos conceituais que servirão como base para que os estudantes construam seus próprios modelos mentais, além da relevância que o conceito de oxidação-redução tem para o entendimento de outros conceitos da Química.

Analizamos então de que forma o tema oxirredução é abordado nos livros didáticos adotados na disciplina de “Transformações Químicas”. Essa escolha deu-se pelo fato de ser a primeira disciplina teórica a introduzir aos licenciandos de Química da UFSM, a base conceitual sobre este conteúdo, contribuindo para a construção de subsunçores fundamentais para o estabelecimento de pontes entre esses conhecimentos e os novos, os quais aparecem no decorrer das demais disciplinas que abrangem o conteúdo de oxirredução.

Desta forma, os três livros mencionados e que são utilizados nesta disciplina, Atkins e Jones (2012); Brown, et al (2017) e Chang e Goldsby (2013), foram usados para a seleção dos principais conceitos presentes na apresentação do conteúdo de reações químicas de oxirredução, como: denominação, definição, oxidação, redução, agente oxidante e redutor, número de oxidação, dentre outros, entendidos neste trabalho como modelos conceituais, conforme definidos por Norman (1983).

Os livros foram selecionados para a construção do referencial e também para a análise de como esse conteúdo é abordado, a fim de averiguar como este se relaciona com os modelos mentais, posteriormente.

3.1.1 Aspectos gerais dos três livros

Inicialmente, serão apresentados os aspectos mais gerais dos livros selecionados, como os anos das publicações das obras e os títulos referentes aos capítulos dos livros que apresentam o conteúdo de reações químicas de oxirredução (Quadro 5). Em seguida, serão apresentados os comentários pertinentes à análise de cada um dos três livros.

Quadro 5 - Livros selecionados sobre reações de oxirredução

Livro	Identificação	Ano	Título
Atkins e Jones	1	2012	Reações redox e Eletroquímica
Brown, et al	2	2016	Reações em soluções aquosas e estequiometria de soluções
Chang e Goldsby	3	2013	Reações em soluções aquosas e Eletroquímica

Fonte: Produzido pela autora a partir da ementa da disciplina de “transformações químicas”.

O Livro 1 é organizado em duas partes principais, os fundamentos e os capítulos. Na parte inicial, dos fundamentos, é apresentado uma introdução referente às informações necessárias para a compreensão dos conteúdos químicos que são aprofundados nos capítulos posteriores. Isto é, pode-se dizer que o objetivo da primeira parte é apresentar resumidamente os conceitos básicos: oxidação e redução, números de oxidação, agentes oxidantes e redutores, bem como o balanceamento destas reações.

Já no capítulo destinado a estas reações, os conceitos encontram-se associados ao conteúdo de eletroquímica, sendo feita apenas uma recapitulação de alguns conceitos sobre as reações de oxirredução, como por exemplo, das representações das meias-reações de oxidação e redução e balanceamento, os quais servem para introduzir as células galvânicas.

Nos Livros 2 e 3, as reações de oxirredução encontram-se também presentes em dois momentos, porém na forma de capítulos, diferente do livro que inicialmente aborda o tema da seção denominada *fundamentos*. Salienta-se que, em ambos os livros (2 e 3), os primeiros capítulos apresentados são destinados a um conteúdo mais abrangente, as reações em soluções aquosas. Por outro lado, o segundo capítulo, assim como no Livro 1, refere-se à eletroquímica e introduz alguns conceitos importantes para a compreensão desse conteúdo, como oxidação e redução em processos eletroquímicos, balanceamento de reações de oxirredução e, por isso, em nenhum dos livros esse capítulo foi destacado individualmente.

Deste modo, averigua-se que apenas no Livro 1 estas reações são vistas separadamente, com um capítulo destinado apenas a elas. Nos demais livros não há um capítulo exclusivo para

tais reações químicas, e estas estão atreladas ao conteúdo de eletroquímica ou às reações químicas de modo mais geral.

Além disso, com exceção do conteúdo sobre eletroquímica, em nenhum dos livros (pelo fato de serem conceitos mais gerais) foi observado qualquer relação com outros conteúdos de Química das reações de oxirredução, como por exemplo, de Química Orgânica, fato este que contribui para que, conforme aponta Anselme (1997), muitos estudantes sintam dificuldade de associar os conceitos de oxidação e redução nesta subárea.

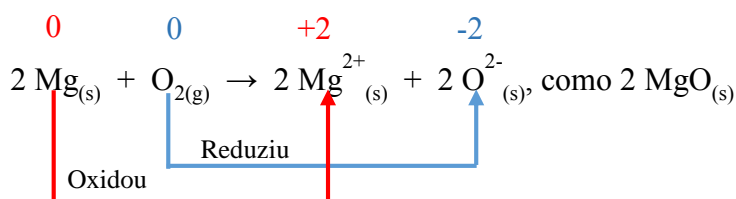
3.1.2 Conceitos básicos das reações de oxirredução na perspectiva do Livro 1 - Atkins e Jones (2012)

Para Atkins e Jones (2012), essas reações são denominadas “redox” e acontecem via transferência de elétrons de uma espécie para outra, acarretando numa perda de elétrons na oxidação e ganho na redução, sendo este processo a etapa principal destas reações químicas.

A transferência eletrônica, segundo os autores, ocorre porque os elétrons são partículas reais e não podem ser simplesmente “perdidos” e, por isso, em uma reação química, sempre que uma espécie oxidar, outra se reduzirá. Por meio de uma analogia, os autores mencionam que considerar a oxidação e a redução separadamente é como bater palmas só com uma mão, pois uma transferência eletrônica precisa ocorrer juntamente com a outra para que a reação aconteça.

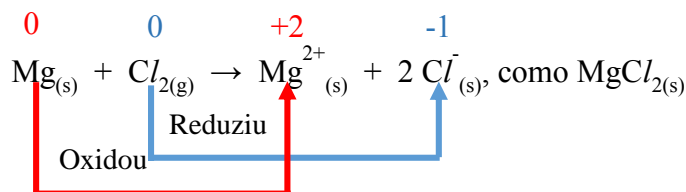
A espécie que provoca a oxidação chama-se agente oxidante pois, ao agir, aceita os elétrons liberados pelas espécies que se oxidam. Em outras palavras, o oxidante contém um elemento no qual o número de oxidação diminui. Por outro lado, a espécie que promove a redução chama-se agente redutor e, ao fornecer os elétrons para a espécie que está sendo reduzida, perde elétrons, isto é, o redutor contém um elemento no qual o número de oxidação aumenta (ATKINS; JONES, 2012).

Um exemplo deste tipo de reação apresentado pelos autores, ocorre entre os átomos de magnésio e oxigênio nos fogos de artifícios, gerando como produto o óxido de magnésio (Esquema 1), que produz faíscas brancas durante a reação. Este é um exemplo clássico de reação de oxidação, segundo uma antiga definição que define ser uma “reação com o oxigênio”. Nesta reação, os átomos do magnésio sólido perdem elétrons para formar íons Mg^{2+} , enquanto que os átomos do oxigênio molecular ganham elétrons para formar íons O^{2-} .

Esquema 1 - Reação química entre magnésio e oxigênio.

Fonte: Adaptado de Atkins; Jones, 2012.

Outro exemplo aborda o que acontece entre o magnésio e o cloro, produzindo cloreto de magnésio (Esquema 2). Todavia, embora átomos de oxigênio não estejam participando do processo reacional, o mesmo também se denomina de reação de oxirredução, devido a oxidação do magnésio e, conseqüentemente, a redução do cloro.

Esquema 2 - Reação química entre magnésio e cloro.

Fonte: Adaptado de Atkins; Jones, 2012.

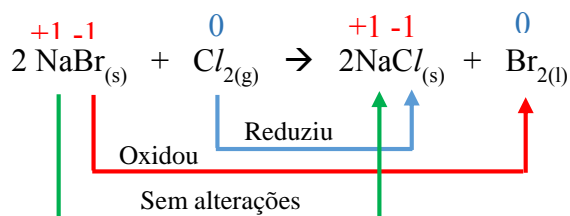
Os autores fazem então uma breve comparação entre ambas as reações, pode-se dizer que um aspecto comum é a perda de elétrons do magnésio, os quais são transferidos para outro reagente, isto é, para o oxigênio ou o cloro, respectivamente, os quais estão recebendo estes elétrons (ATKINS; JONES, 2012).

Estes dois exemplos envolvem a oxidação de cátions, mas este fato não exclui a oxidação em ânions, como no caso bromo do brometo de sódio que ao reagir com o gás cloro, ocorre a oxidação dos íons brometo, cuja carga passa de -1 para 0 (Esquema 3).

Os autores afirmam que, para reconhecer uma reação redox, é preciso observar a migração dos elétrons de uma espécie para outra. Todavia, nem sempre apenas elétrons serão transferidos. Em alguns casos haverá transferência de átomos também e, por causa disso, as reações redox podem ser definidas como qualquer reação na qual os números de oxidação se

alteram. Logo, a oxidação corresponde ao aumento do número de oxidação (Nox), enquanto que a redução, à diminuição do número de oxidação.

Esquema 3 - Reação química de obtenção do bromo.



Fonte: Adaptado de Atkins; Jones, 2012.

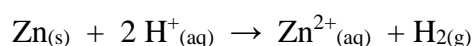
3.1.3 Conceitos básicos das reações de oxirredução na perspectiva do Livro 2 - Brown et al. (2016)

No livro “Química, a Ciência Central” de Brown, et al (2016), as reações em que há perda de elétrons (oxidação) e ganho destes (redução), são denominadas como reações de oxirredução ou redox, e acontecem quando os elétrons são transferidos, instantaneamente, do átomo oxidado para o átomo reduzido. Mas, isso só será possível quando houver variação do número de oxidação.

A substância que torna possível a oxidação de outra é chamada agente oxidante, isto é, o oxidante remove elétrons de outra substância, adquirindo-os para si mesmo e, conseqüentemente, é reduzido. Por outro lado, o agente redutor é uma substância que fornece elétrons, levando outra substância a ser reduzida e assim, é oxidado no processo.

Conforme os autores, um exemplo desse tipo de reação ocorre quando o zinco metálico é adicionado a um ácido forte. Os elétrons dos átomos de zinco são transferidos para os íons de hidrogênio presentes no ácido, isto é, o zinco passa a ser oxidado, enquanto que hidrogênio é reduzido (Esquema 4).

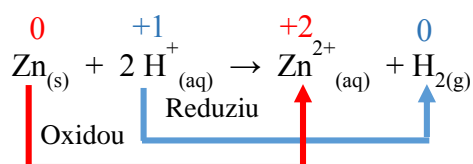
Esquema 4 - Reação química entre os átomos de zinco e os íons hidrogênio.



Fonte: (BROWN, et al, 2016).

Os autores também afirmam que, para determinar se uma reação é ou não de oxirredução, é preciso averiguar se há ou não modificação nos números de oxidação dos elementos químicos envolvidos nas reações. Deste modo, no exemplo acima, a reação pode ser escrita considerando os números de oxidação do zinco e do hidrogênio, sendo que no primeiro o estado de oxidação varia de 0 para +2 (aumenta), enquanto que o estado de oxidação do hidrogênio (H) passa de +1 para 0 (diminui). Ou seja, ocorre uma transferência de elétrons, onde o zinco perde elétrons à medida que $\text{Zn}_{(s)}$ é convertido em $\text{Zn}^{2+}_{(aq)}$, e o hidrogênio ganha elétrons à proporção que $\text{H}^{+}_{(aq)}$ se transforma em $\text{H}_{2(g)}$. O esquema 5 mostra a variação dos estados de oxidação desta reação.

Esquema 5 - Reação química entre os átomos de zinco e os íons hidrogênio, considerando seus estados de oxidação.



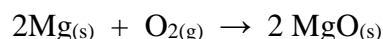
Fonte: Adaptado de Brown, et al, 2016.

Assim, para estes autores, a oxidação e a redução devem ocorrer em conjunto, isto é, se uma substância for oxidada, a outra deverá ser reduzida. A substância que possibilita a oxidação de outra chama-se agente oxidante ou oxidante e serve para remover os elétrons de outra substância, adquirindo-os para si mesmo; portanto, o agente oxidante é reduzido. Já a substância que leva à redução de outra, denomina-se de agente redutor ou redutor, e essas fornecem os elétrons, sendo oxidado no processo.

3.1.4 Conceitos básicos das reações de oxirredução na perspectiva do Livro 3 - Chang e Goldsby (2013)

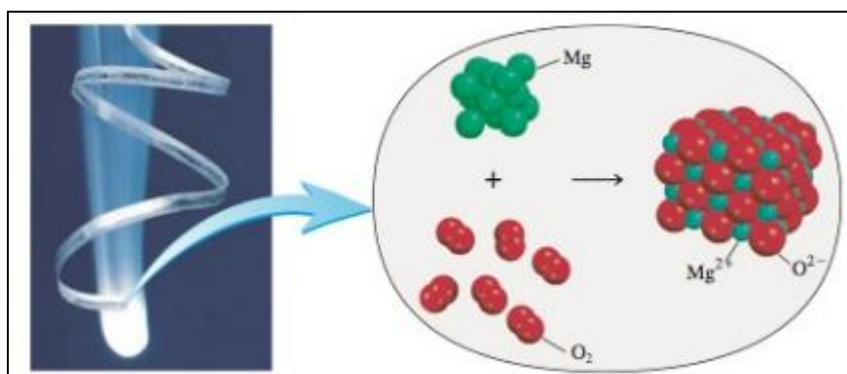
Na perspectiva de Chang e Goldsby (2013), as reações de oxirredução ou redox envolvem a transferência de elétrons. Outra característica que os autores salientam é que a grande parte dos processos redox ocorrem em água, mas nem sempre acontecem em solução aquosa, como por exemplo, a formação de óxido de magnésio (MgO) a partir do magnésio e oxigênio, conforme Esquema 6 e Figura 3.

Esquema 6 – Reação química entre o magnésio metálico e gás oxigênio.



Fonte: Chang e Goldsby (2013).

Figura 3 - Representação visual da reação química entre o magnésio metálico e o gás oxigênio



Fonte: Chang e Goldsby (2013).

O óxido de magnésio (MgO) é um composto iônico formado por íons de magnésio (Mg^{2+}) e de oxigênio (O^{2-}). Logo, cada átomo de magnésio doa dois elétrons a cada um dos oxigênios que formam o gás oxigênio, ou seja, pode-se pensar nesta reação em duas etapas, uma envolvendo a perda de quatro elétrons pelos dois átomos de magnésio, e a outra envolvendo o ganho de quatro elétrons por uma molécula de gás oxigênio (O_2), conforme mostram os esquemas 7a e 7b. Cada uma destas etapas chama-se de semirreação e mostra a quantidade total de elétrons envolvidos nesse tipo de reação.

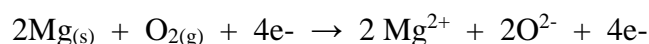
Esquema7: a: Semirreação do átomo de magnésio e **b:** Semirreação do átomo do gás oxigênio.



Fonte: Chang e Goldsby (2013).

A soma dessas semirreações resulta na reação global de todo o processo, mostrando quem oxida e quem reduz, além do número de elétrons que foram transferidos no decorrer da reação química (Esquema 8).

Esquema 8 - Reação global entre o átomo de magnésio e o gás oxigênio.



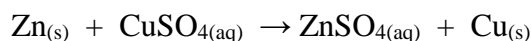
Fonte: Chang e Goldsby (2013).

Os autores mencionam que a semirreação que envolve perda de elétrons chama-se reação de oxidação, sendo este termo originalmente utilizado para representar as combinações envolvendo o elemento oxigênio. Atualmente esta definição não é mais adequada, pois estas reações são muito mais abrangentes, incluindo processos que não envolvem o oxigênio. Por outro lado, uma semirreação que esteja relacionada com o ganho de elétrons, denomina-se reação de redução.

Deste modo, no processo de formação do óxido de magnésio, o magnésio é oxidado, enquanto que o gás oxigênio é reduzido. No primeiro caso, por ceder elétrons ao oxigênio, o magnésio atua como agente redutor, causando assim, sua redução. Já o oxigênio, como é reduzido, passa a atuar como agente oxidante, pois recebe elétrons do magnésio, acarretando em sua oxidação. Além do mais, a quantidade de elétrons perdidos por um agente redutor deve ser igual à quantidade de elétrons ganhos pelo agente oxidante.

Esta transferência de elétrons, em algumas reações, é mais evidente do que em outras, como no caso da adição de zinco metálico (Zn^0) a uma solução de sulfato de cobre (II) (CuSO_4). Na reação, o zinco ocasiona a redução do Cu^{2+} ao ceder-lhe dois elétrons (Esquema 9).

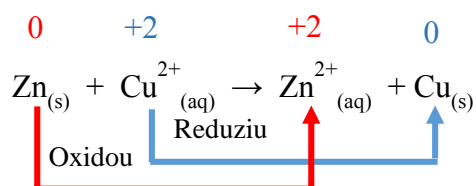
Esquema 9 - Reação química entre zinco e sulfato de cobre.



Fonte: Chang e Goldsby (2013).

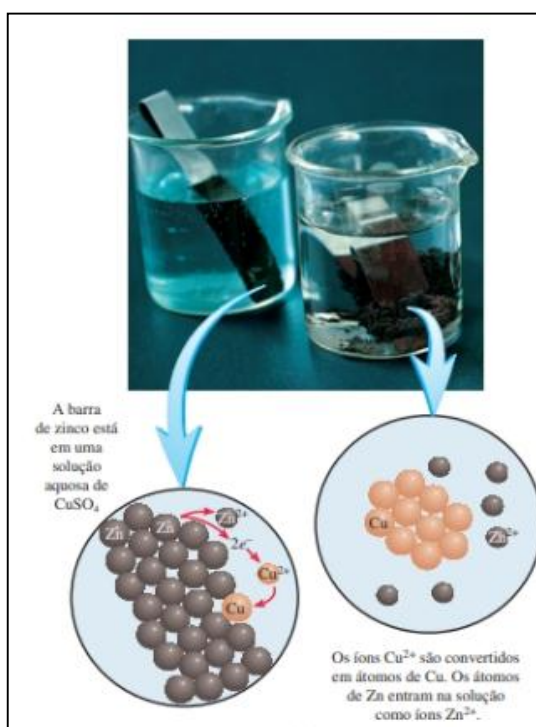
Durante a reação química, a solução perde sua cor azulada, característica da presença dos íons Cu^{2+} hidratados (Esquema 10 e Figura 4, respectivamente).

Esquema 10 - Reação química entre o zinco e os íons Cu (II).



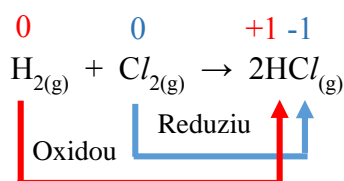
Fonte: Adaptado de Chang e Goldsby (2013).

Figura 4 - Representação visual da reação química entre o zinco metálico e uma solução de sulfato de cobre (II)



Fonte: Chang e Goldsby (2013).

Para estes autores, as definições de oxidação e redução em termos de perda e ganho de elétrons valem apenas para os processos que envolvem a formação de compostos iônicos, como no caso do MgO e na redução dos íons Cu^{2+} pelo zinco. No entanto, a mesma definição não se enquadra no caso dos compostos moleculares, por exemplo, como no processo de formação do ácido clorídrico (HCl), no qual não ocorre transferência de elétrons (Esquema 11).

Esquema 11 - Reação química de formação do ácido clorídrico.

Fonte: Adaptado de Chang e Goldsby (2013).

Para evitar problemas em relação a isso, atribui-se números de oxidação às espécies envolvidas, os quais permitem averiguar se há ou não modificação destes valores. Assim, os números de oxidação possibilitam identificar os elementos que são oxidados ou reduzidos, pois os elementos que sofrem aumento do número de oxidação são oxidados, enquanto que os que sofrem diminuição são reduzidos.

3.1.5 Discussão dos conceitos gerais a partir dos três livros

A partir das três obras utilizadas como sugestão aos graduandos do Curso de Química Licenciatura no decorrer da disciplina de “Transformações Químicas”, organizou-se o Quadro 6, o qual traz um resumo dos conceitos gerais analisados.

Quadro 6 - Relação dos conceitos gerais analisados nos livros de Atkins e Jones; Brown et al e Chang e Goldsby

(continua)

	Atkins e Jones	Brown, et al	Chang e Goldsby
Denominação	Redox	Oxirredução ou redox	Oxirredução ou redox
Definição	Reação em que há transferência de elétrons de uma espécie para outra/ Reação em que os números de oxidação se alteram.	São reações que ocorrem perda e ganho de elétrons devido a transferência instantânea destes/ Reação em que há variação do número de oxidação.	Ocorrem devido a transferência de elétrons no caso das ligações iônicas/ Reação em que há variação do número de oxidação nas ligações covalentes.
Oxidação	Perda de elétrons/ Aumento do número de oxidação.	Perda de elétrons/ Aumento do número de oxidação.	Perda de elétrons
Redução	Ganho de elétrons/ Diminuição do número de oxidação.	Ganho de elétrons/ Diminuição do número de oxidação.	Ganho de elétrons

Agente oxidante	Espécie que provoca a oxidação	Espécie que provoca a oxidação	Espécie que provoca a oxidação
Agente redutor	Espécie que provoca a redução.	Espécie que provoca a redução.	Espécie que provoca a redução.

(conclusão)

Fonte: Autora (2019).

Percebe-se que, com exceção da denominação, todos os demais conceitos apresentam concordância entre eles (oxidação, redução, agente redutor e oxidante), isto é, são conceituados da mesma forma pelos autores em questão. Todavia, conforme já mencionado, muitas vezes diferentes formas de conceitualizações são utilizadas para compreender e interpretar as reações químicas de oxirredução, porém isto não foi observado nas obras aqui utilizadas, fato este que corrobora para que, dentro de um curso, os graduandos possam atribuir os mesmos termos e conceitos, além de também seguirem a mesma linha de raciocínio ao buscarem interpretar e compreenderem um determinado conceito.

Quanto às definições destas reações, há concordância entre os três, pois em todos eles há menção de que são processos em que há “transferência de elétrons”. Porém, Chang e Goldsby (2013) ao mesmo enfatizam que nem sempre isso é possível, pois muitas vezes as espécies envolvidas não serão formadas por ligações iônicas, e quando isso acontece, faz-se necessário olhar para a variação do número de oxidação de cada espécie química envolvida.

Alguns destes autores ainda, mesmo que utilizem seus próprios conceitos e modelos, mencionam de forma sucinta antigas definições sobre as reações de oxirredução, como por exemplo, o modelo do oxigênio. Ringnes (1995 *apud* OSTERLUND; EKBORG, 2009) colabora com esta ideia ao mencionar que, ao longo dos anos, a definição das reações químicas de oxirredução evoluiu a partir de quatro modelos diferentes, os quais são até hoje utilizados no Ensino de Química para explicar estas reações por muitos professores. Os quatro modelos encontram-se no Quadro 7, a seguir.

Quadro 7 - Definições utilizadas para explicar os processos de oxidação e redução

Modelo	Definição de Redução	Definição de oxidação
Modelo do Oxigênio	Perda de oxigênio	Ganho de oxigênio
Modelo de Hidrogênio	Ganho de hidrogênio	Perda de hidrogênio
Modelo de Elétrons	Ganho de elétrons	Perda de elétrons
Modelo do número de oxidação	Diminuição do número de oxidação	Aumento do número de oxidação

Fonte: Adaptação de Ringnes (1995 *apud* OSTERLUND; EKBORG, 2009)

Olhando-se para os três primeiros modelos, pode-se dizer que os mesmos são extremamente restritos, pois excluem as reações que não possuem o oxigênio e o hidrogênio ou então, as substâncias químicas que não são formadas por ligações iônicas. No entanto, ainda hoje esses modelos de reações de oxirredução são utilizados no âmbito educacional, contribuindo para que os modelos mentais dos estudantes, a partir destes modelos conceituais utilizados, sejam construídos com deficiências.

Porém, assim como exposto por Chang e Goldsby (2013), pode-se dizer que o último modelo é a definição capaz de dar um suporte mais abrangente ao tratar das reações de oxirredução. Complementando, Silverstein (2011) em seu trabalho intitulado “Oxidação e Redução: Muitas Definições?”, destaca que o “modelo de elétrons” é a definição mais comum ensinada, porém, nem sempre os elétrons são literalmente trocados e, por causa disso, o “modelo do número de oxidação” é a única universal, a qual pode ser definida para todos os tipos de reações químicas de oxirreduções, sem exceções.

Portanto, considerando-se o processo de aprendizagem destinado ao Ensino Superior, e com base no que foi exposto nas três obras utilizadas, defende-se que o modelo do número de oxidação deve ser a definição primária para estas reações químicas nos Cursos de Química, com o intuito não de facilitar, mas de tentar evitar que os estudantes tenham definições errôneas e deficientes a respeito das reações de oxirredução.

3.1.6 Identificando as Reações de Oxirredução a partir das três obras.

Conforme já exposto, definir o processo de oxidação e redução apenas pelo ganho e perda de elétrons contempla somente os compostos iônicos, deixando de lado as substâncias moleculares, nas quais não ocorrem transferência eletrônica. Logo, para verificar se uma reação química é realmente de oxirredução, Atkins e Jones (2012), Chang e Goldsby (2013), Brown, et al (2016), além de outros autores como Lewis e Evans (2014), Chang (2010) e Bettelheim et al (2016), afirmam ser necessário averiguar a perda e o ganho de elétrons por meio da análise do aumento e da diminuição, respectivamente, das espécies químicas presentes em uma reação de oxirredução, pois estas sempre ocorrem em pares, não existindo isoladamente.

Brown et al (2016) abordam a necessidade de ter um sistema de contagem para manter o controle dos elétrons de quem reduz e de quem oxida e, para isso, o número de oxidação é muito importante, sendo representado por uma carga hipotética, a qual é atribuída ao dividir artificialmente os elétrons entre os átomos da molécula ou do íon. Complementando, Chang e Goldsby (2013) e Goldsby (2013) relatam que, para acompanhar o percurso dos elétrons em

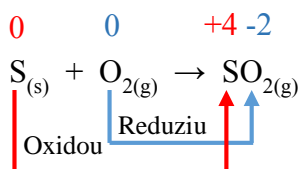
uma reação de oxirredução, faz-se necessário atribuir números de oxidação (NOx) tanto para os reagentes quanto para os produtos, a fim de averiguar a mudança ou não do número de oxidação das espécies químicas envolvidas.

Deste modo, no caso de íons monoatômicos, a perda ou o ganho de elétrons é fácil de ser identificada, pois o monitoramento das cargas das espécies é mais simples. Por isso, quando os íons bromo (Br^-) se convertem em átomos de bromo (Br), isto é, formam moléculas de Br_2 , é porque cada um dos íons Br^- perdeu um elétron e, portanto, foi oxidado. Já quando o gás oxigênio (O_2) forma íons óxido, O^{2-} , o oxigênio ganha dois elétrons, sendo reduzido (ATKINS; JONES, 2012).

Porém, esta simplicidade não acontece quando a transferência de elétrons também envolve transferência de átomos, como por exemplo: o gás cloro (Cl_2) é oxidado ou é reduzido ao se converter em íons hipoclorito, ClO^- ? Para saber o que acontece, Atkins e Jones (2012) afirmam que é preciso seguir o caminho dos elétrons, atribuindo-se números de oxidação para cada elemento químico e, por meio da variação de tais números, é possível determinar a transferência de elétrons entre as espécies.

De acordo com Chang e Goldsby (2013), o dióxido de enxofre - SO_2 - não é um composto iônico, mas molecular, visto que não ocorre a transferência efetiva de elétrons em sua formação, diferente do que acontece no óxido de cálcio - CaO . Todavia, a reação de formação do SO_2 também é considerada de oxirredução, porque há uma transferência parcial de elétrons do enxofre para o oxigênio (Esquema 12) e, por isso, que o número de oxidação se refere ao número de cargas que um átomo tem em uma molécula ou em um composto iônico.

Esquema 12 - Reação química de formação do ácido clorídrico.



Fonte: Adaptado de Chang (2010).

Assim, a relação dos processos de oxidação e redução com o número de oxidação se dá da seguinte forma: a oxidação corresponde ao aumento do número de oxidação e a redução, à diminuição deste. Indo além das três obras utilizadas no decorrer deste segundo capítulo, é

válido mencionar que, na história da Química, “número de oxidação” ou “estado de oxidação” são termos que foram introduzidos por Latimer, no ano de 1938, e estes eram considerados sinônimos (JENSEN, 2007).

Todavia, mesmo com o passar dos anos, muitos autores continuam a utilizar estas expressões como se fossem a mesma coisa e isso pode ser observado tanto em Brown et al. (2005) quanto em Chang e Goldsby (2013), assim como em diversas outras referências (LEWIS; EVANS, 2014). Enfatizando, Holder, Johnson e Karol (2002) defendem o uso destes termos como sinônimos, pelo fato de contribuir no processo de aprendizagem dos estudantes, evitando confusão.

Por outro lado, do ponto de vista de Atkins e Jones (2012) há distinção, sendo que o número de oxidação é considerado um número fixo, dependente de algumas regras convencionais, enquanto que o estado de oxidação é a condição real de uma espécie com um dado número de oxidação. Isto é, um elemento apresenta um certo número de oxidação, estando no estado de oxidação correspondente. Por exemplo, o íon magnésio (Mg^{2+}) está no estado de oxidação +2 do magnésio e, neste estado, o magnésio possui número de oxidação +2.

Chang e Goldsby (2013) argumentam que os elementos metálicos possuem, na maioria das vezes, NOx positivos, enquanto que os elementos não metálicos podem ser positivos ou negativos. Além do mais, o NOx mais elevado que um elemento representativo pode ter, segundo estes autores, o mesmo número do grupo a que pertence. Isto é, os halogênios encontram-se no grupo 17, logo, o maior NOx que estes elementos podem ter é +7. A Figura 3 mostra os números de oxidação dos elementos mais comuns organizados conforme suas posições na tabela periódica.

Para atribuir um número de oxidação a um elemento, as três obras citam algumas regras básicas. O quadro 8 apresenta os números de oxidação dos elementos, os quais são atribuídos a partir das regras elencadas por estes autores.

Quadro 8 - Regras de atribuição dos números de oxidação dos elementos químicos a partir das três obras utilizadas

(continua)

Regras gerais
1) O NOx de um elemento não combinado com outros elementos (substâncias simples) é zero. Isto é, o NOx do nitrogênio no gás nitrogênio (N_2) ou no sódio metálico (Na^0) é igual a zero (0).
2) O NOx do íon de um elemento é igual à sua carga. Por exemplo, o NOx do íon cúprico (Cu^{2+}) é +2 e do íon óxido (O^{2-}) é -2.

<p>4) O <i>somatório algébrico</i> dos números de oxidação dos átomos na fórmula de um composto eletricamente neutro é sempre zero. Assim, para o hidróxido de cálcio – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – o somatório dos NOx é: $[+2 \text{ para o Ca}] + [2(-2) \text{ para o O}] + [2(+1) \text{ para o H}] = 0$</p>
<p>5) O <i>somatório algébrico</i> dos números de oxidação de todos os átomos de um íon é igual à carga do íon. Por exemplo, no íon sulfato (SO_4^{2-}) o somatório dos NOx é: $[+6 \text{ para o S}] + [4(-2) \text{ para o O}] = -2$</p>
Número de oxidação
O NOx do hidrogênio é +1 quando combinado com não metais e -1 em combinação com metais;
O NOx dos elementos dos Grupos 1 e 2 da Tabela Periódica é igual ao número do seu grupo. Isto é, elementos do grupo 1 apresentam NOx igual a +1 e elementos do grupo 2, NOx igual a +2.
O NOx de todos os halogênios é -1, exceto quando combinados com o oxigênio ou com outro halogênio que apresente maior eletronegatividade. <i>Exceção:</i> O NOx do flúor é -1 em todos seus compostos.
O NOx do oxigênio é, na maioria das vezes, igual a -2. <i>Exceções:</i> <ul style="list-style-type: none"> - Em compostos com flúor (prevalece a regra anterior), o NOx do oxigênio será +1; - Em peróxidos (O_2^{2-}) o NOx será -1; - Em superóxidos (O^{-1}) o NOx será -0,5.

(conclusão)

Fonte: Adaptada de Atkins e Jones (2012); Brown et al (2016); Chang e Goldsby (2013).

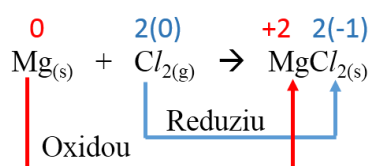
Uma reação de oxirredução é, portanto, qualquer reação em que os números de oxidação sofrem alterações. Olhando-se para a Figura 5 e com base nas regras estabelecidas no Quadro 7, o NOx de um elemento em um íon monoatômico é igual a sua carga. Logo, o número de oxidação do magnésio é +2 nos íons Mg^{2+} e do cloro é -1 nos íons Cl^- . Já em um elemento na sua forma elementar, seu NOx será zero. Por isso, o metal magnésio tem número de oxidação 0 e o cloro nas moléculas de Cl_2 também (ATKINS; JONES, 2012). Todavia, é importante mencionar que quando estes se combinam com outros elementos químicos, estes números de oxidação são alterados, conforme pode ser observado no esquema 13.

Figura 5 - Números de oxidação dos elementos químicos, sendo que os números de oxidação mais comuns estão na cor vermelha

1										18								
H +1 -1											He							
2												13	14	15	16	17		
Li +1	Be +2											B +3	C +4 +2 -4	N +5 +4 +3 +2 +1 -3	O +2 -1/2 -1 -2	F -1	Ne	
												Al +3	Si +4 -4	P +5 +3 -3	S +6 +4 +2 -2	Cl +7 +6 +5 +4 +3 +1 -1	Ar	
			3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
K +1	Ca +2	Sc +3	Ti +4 +3 +2	V +5 +4 +3 +2	Cr +6 +5 +4 +3 +2	Mn +7 +6 +4 +3 +2	Fe +3 +2	Co +3 +2	Ni +2	Cu +2 +1	Zn +2	Ga +3	Ge +4 -4	As +5 +3 -3	Se +6 +4 -2	Br +5 +3 +1 -1	Kr +4 +2	
Rb +1	Sr +2	Y +3	Zr +4	Nb +5 +4	Mo +6 +5 +4 +3	Tc +7 +6 +4 +3	Ru +8 +6 +4 +3	Rh +4 +3 +2	Pd +4 +2	Ag +1	Cd +2	In +3	Sn +4 +2	Sb +5 +3 -3	Te +6 +4 -2	I +7 +5 +1 -1	Xe +6 +4 +2	
Cs +1	Ba +2	La +3	Hf +4	Ta +5	W +6 +4	Re +7 +6 +4	Os +8 +6 +4	Ir +4 +3	Pt +4 +2	Au +3 +1	Hg +2 +1	Tl +3 +1	Pb +4 +2	Bi +5 +3	Po +2	At -2	Rn	

Fonte: Adaptação de Chang e Goldsby (2013).

Esquema 13 - Reação química entre magnésio e cloro.



Fonte: Atkins e Jones (2012).

Neste exemplo, o magnésio se oxidou, pois, seu número de oxidação aumentou, passando de 0 para +2 e o cloro se reduziu, ou seja, houve uma diminuição do número de oxidação de 0 para -1.

3.1.7 Reatividade dos metais em reações de oxirredução na perspectiva das três obras.

Nem sempre haverá ocorrência de reações de oxirredução de forma espontânea e, por conta disto, faz-se necessário observar o quão capaz determinado metal é de reagir para saber se realmente haverá uma reação de oxirredução ou não.

Pensando-se nisso, analisou-se em cada uma das três obras a forma como estas abordam sobre o assunto. Destaca-se que apenas Brown et al (2016) e Chang e Goldsby (2013) mencionam sobre a reatividade dos metais, a primeira obra enfatiza a série de atividades destes, enquanto que a segunda aborda brevemente sobre a possibilidade de saber quando uma reação de deslocamento de metal ou de hidrogênio irá realmente ocorrer a partir da mesma série, também denominada de série eletroquímica. Já a obra de Atkins e Jones (2012) não deixa de lado o assunto, porém foca muito mais nas células galvânicas, as quais, embora tenham uma relação extremamente direta com as reações de oxirredução, não serão abordadas nesta pesquisa.

Brown et al (2016) introduz sobre o assunto ao apontar a imprudência de armazenar uma solução de nitrato de níquel em um recipiente de ferro, visto que a solução é capaz de dissolver o recipiente, e destaca ainda a importância de saber/conhecer a respeito a fim de evitar a deteriorização/degradação de estruturas metálicas devido às reações de oxirredução, pois a facilidade com que diferentes metais são oxidados pode variar.

Tanto Brown et al (2016) quanto Chang e Goldsby (2013) apontam que em contato com uma solução contendo íons Cu^{2+} , o zinco metálico (Zn°) é oxidado, porém o mesmo não é observado com a prata (Ag°), ou seja, se o papel dos metais fosse invertido, nenhuma reação iria ocorrer, pois o zinco tem maior capacidade de perder elétrons, isto é, de oxidar, quando comparado com a prata. Mas como saber quando isso irá acontecer? Uma forma é analisar a série de atividades, conforme mostra a figura 6, a qual dispõe os metais em ordem decrescente em relação à sua facilidade de oxidar (mas também pode ser encontrado em relação à sua facilidade de reduzir) (CHANG; GOLDSBY, 2013).

Logo, os metais presentes na parte superior da série - metais alcalinos e metais alcalinos-terrosos - oxidam com maior espontaneidade, visto que reagem de uma maneira mais fácil na formação de compostos (BROWN et al., 2016). Já os metais da parte inferior – metais de transição dos grupos 10, 11 e 12 - são muito estáveis e tendem a formar compostos com menos facilidade e, por isso, são chamados de metais nobres, devido a baixa reatividade destes (BROWN et al., 2016).

Figura 6 - Série de atividade dos metais em ordem decrescente de oxidação (poder redutor)

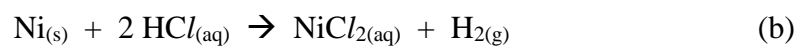
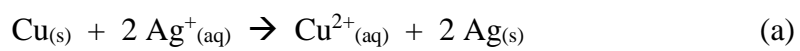
↑ A u m e n t o D o p o d e r R e d u t o r	$\text{Li}_{(s)} \rightarrow \text{Li}^+ + e^-$	Reagem com água fria para produzir H_2
	$\text{K} \rightarrow \text{K}^+ + e^-$	
	$\text{Ba} \rightarrow \text{Ba}^{2+} + 2e^-$	
	$\text{Ca} \rightarrow \text{Ca}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	
	$\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+_{(aq)} + e^-$	
	$\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	Reagem com vapor de água para produzir H_2
	$\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3e^-$	
	$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	
	$\text{Cr} \rightarrow \text{Cr}^{3+}_{(aq)} + 3e^-$	
	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	
	$\text{Cd} \rightarrow \text{Cd}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	Reagem com ácidos para produzir H_2
	$\text{Co} \rightarrow \text{Co}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	
	$\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	
	$\text{Sn} \rightarrow \text{Sn}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	
	$\text{Pb}_{(s)} \rightarrow \text{Pb}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	
	$\text{H}_{2(g)} \rightarrow 2 \text{H}^+_{(aq)} + 2e^-$	-
	$\text{Cu}_{(s)} \rightarrow \text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$	Não reagem com água ou com ácidos para produzir H_2
	$\text{Ag}_{(s)} \rightarrow \text{Ag}^+_{(aq)} + e^-$	
$\text{Hg}_{(l)} \rightarrow \text{Hg}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$		
$\text{Pt}_{(s)} \rightarrow \text{Pt}^{2+}_{(aq)} + 2e^-$		
$\text{Au}_{(s)} \rightarrow \text{Au}^{3+}_{(aq)} + 3e^-$		

Fonte: Adaptado de Chang e Goldsby (2013).

De acordo com esta série, Chang e Goldsby (2013) explicam que qualquer metal acima do hidrogênio será capaz de deslocá-lo da água ou de um ácido, mas os metais abaixo, não. Resumidamente, pode-se dizer que qualquer metal presente na série só reagirá com um outro (que esteja presente em um composto) abaixo dele e, por isso, que no exemplo acima o cobre reagirá com a prata, pelo fato de estar na parte superior quando comparado com esta, que está abaixo dele. Assim, o cobre metálico será oxidado pelos íons prata, enquanto que os íons prata são reduzidos pelo cobre metálico a prata metálica, conforme pode-se averiguar no esquema 14a (BROWN et al., 2016). No entanto, é possível prever os resultados das reações também entre metais e ácidos, pois apenas os metais acima do hidrogênio irão reagir com ácidos,

conforme mostra o esquema 14b entre o níquel em presença de ácido clorídrico (HCl), produzindo gás hidrogênio - H₂ (BROWN et al., 2016).

Esquema 14 - a: Reação química entre o cobre metálico e uma solução contendo íons prata e **b:** Reação química entre o níquel metálico e o ácido clorídrico.



Fonte: BROWN et al., 2016.

4 CAPÍTULO III – CAMINHO METODOLÓGICO DA PESQUISA

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa tem uma abordagem predominantemente qualitativa, pois, conforme aponta Moreira (2011, p. 76), caracteriza-se por ter como interesse central a interpretação dos significados a partir da observação participativa do pesquisador, ficando imerso no fenômeno a ser pesquisado. Para o autor, o enfoque qualitativo tem outras características, como:

- Os dados obtidos pela participação ativa são de natureza qualitativa e analisados da mesma forma;
- O pesquisador busca, por meio de uma narrativa detalhada, credibilidade para seus modelos interpretativos;
- Não há manipulação de variáveis, nem tratamento experimental, pois é o estudo do fenômeno em seu acontecer natural;
- Enfatiza os aspectos subjetivos do comportamento humano, o mundo do sujeito, suas experiências cotidianas, suas interações sociais e os significados dados a tais experiências e interações, visto que, é por meio destas interações que as interpretações, os significados e a visão de realidade do sujeito são construídos.

Gerhardt e Silveira (2009) enfatizam ainda que o foco da pesquisa qualitativa está no aprofundamento da compreensão durante a busca dos porquês de as coisas acontecerem, considerando os aspectos da realidade em que estão situados e não nas representações numéricas em si.

Quanto aos objetivos, na perspectiva de Gil (2002), classifica-se como exploratória e explicativa. Exploratória por buscar proporcionar maior familiaridade com o problema, visando torná-lo mais explícito e possibilitando a construção de hipóteses, pois, além do levantamento bibliográfico, também foi realizada entrevistas com sujeitos que, em algum momento de suas trajetórias, profissional e/ou acadêmica, tiveram alguma experiência com o tema proposto. Por outro lado, será explicativa por preocupar-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos pesquisados.

Em relação aos procedimentos utilizados, considera-se bibliográfica e estudo de caso (GIL, 2002). Bibliográfica ao investigar os materiais já existentes em artigos científicos, possibilitando à investigadora a cobertura de fenômenos mais amplos do que aqueles que poderiam ser pesquisados diretamente. Também é estudo de caso por consistir no estudo

profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, permitindo seu amplo e detalhado conhecimento, ou seja, nesta pesquisa foi feito um estudo profundo dos modelos mentais de reações de oxirredução de egressos do Curso de Química Licenciatura da Universidade Federal de Santa Maria. Com base no exposto, a pesquisa está dividida em 2 etapas, conforme mostra o Quadro 9.

Quadro 9 - Etapas de desenvolvimento da pesquisa

Etapas	Descrição
1	Pesquisa bibliográfica
2	Entrevistas

Fonte: Autora (2019).

4.2 CONTEXTO DA PESQUISA

Esta pesquisa, por ter sido realizada em duas Etapas, apresenta dois contextos. A primeira, no entanto, será exposto junto à pesquisa bibliográfica. Já a segunda etapa, foi realizada com egressos do Curso de Química Licenciatura, os quais fazem parte da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), instituição situada na cidade de Santa Maria – RS/ Brasil.

Curso de Química Licenciatura – UFSM

O Curso de Química Licenciatura da UFSM faz parte do Centro de Ciências Naturais e Exatas da instituição. Todavia, além deste, o Departamento de Química (DQ) também oferece outros três Cursos de Química, os quais são: Química Bacharelado, Química Industrial e Tecnologia em Processos Químicos, porém somente o Curso de Química Licenciatura será aqui abordado.

O Curso de Química Licenciatura é oferecido na modalidade presencial e seu turno de funcionamento é diurno, com oferta em período Semestral e indicação de oito semestres para a sua conclusão. Tem como objetivo geral formar profissionais qualificados para atuarem no Ensino de Ciências (anos finais do Ensino Fundamental) e no Ensino de Química (Ensino Médio), na Pesquisa em Educação e na Pesquisa Científica, bem como na área de Química.

4.3 INSTRUMENTOS PARA COLETA DOS DADOS

Sabe-se que não existe um único método científico a ser seguido rigorosamente. Mas, para a obtenção de resultados científicos na Ciência, é necessário trabalhar com regras e normas, visando garantir a confiabilidade dos resultados. Para isto, Gil (2002, p. 93) aponta algumas etapas importantes, como: formulação do problema, construção das hipóteses, desenvolvimento do instrumento de coleta de dados, coleta de dados, organização dos dados e redação que estruture a análise dos resultados finais. Filho e Gamboa (2000) destacam que a coleta de dados é uma das principais etapas, pois qualifica os instrumentos necessários para a elaboração do conhecimento.

Como a execução de um trabalho científico deve, antes de tudo, ser norteado por uma pesquisa bibliográfica, para a coleta de dados da Etapa 1 utilizaram-se somente publicações em periódicos e revistas científicas, sendo estas as mais importantes fontes bibliográficas por apresentarem maior aprofundamento e elaboração (GIL, 2002). Lima e Miotto (2007) afirmam ser necessário não confundir este tipo de pesquisa com uma revisão de literatura, visto que esta última é apenas um pré-requisito para a realização de toda e qualquer pesquisa, ao passo que a bibliográfica implica em um conjunto ordenado de procedimentos de busca por soluções, feita para fundamentar teoricamente o objeto de estudo e que traz contribuições a partir de elementos que subsidiam a análise dos dados obtidos.

Já a Etapa 2, classificada em relação aos procedimentos utilizados como um estudo de caso, possui sua coleta de dados mais complexa quando comparado a outras modalidades (GIL, 2002). Para esta etapa, os dados foram obtidos a partir de uma entrevista semiestruturada com egressos do Curso de Química Licenciatura, além de observações e anotações por parte da pesquisadora no decorrer das entrevistas.

A entrevista teve como o objetivo foi investigar os modelos mentais sobre as reações de oxirredução dos egressos e foi elaborada a partir da proposição de situações-problema relacionadas ao conteúdo pesquisado pois, conforme Silva e Núñez (2002), a busca para resolver um dado problema é sinônimo de pensar, fazendo o indivíduo refletir sobre um determinado assunto, considerando que implica em mudanças conceituais, metodológicas e atitudinais, indo além da superficialidade das teorias. De acordo com o referencial teórico adotado, o indivíduo faz uso de modelos mentais ao resolver problemas e, ao explicar sua resolução, permite que o pesquisador faça inferências sobre este modelo.

Ressalta-se ainda que, para a construção do referencial teórico sobre as reações químicas de oxirredução, utilizou-se os livros sugeridos nas ementas do Curso de Química licenciatura da UFSM.

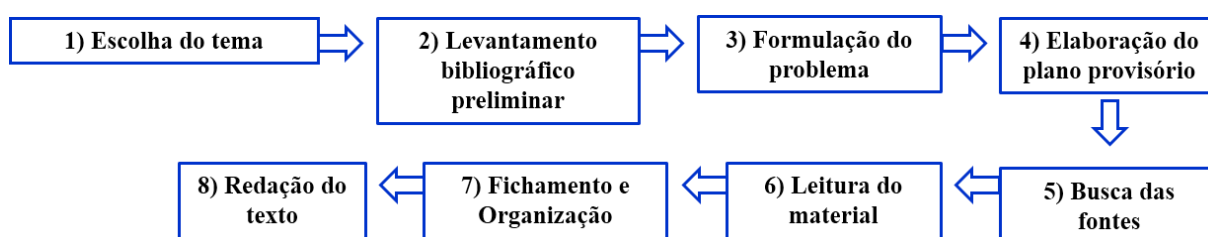
4.4 DESENVOLVIMENTO DAS ETAPAS DA PESQUISA

Etapa 1 - Pesquisa bibliográfica

Com base no proposto nesta pesquisa, optou-se por investigar como os principais periódicos vêm abordando o conteúdo de reações de oxirredução a partir dos modelos mentais e, para isso, realizou-se uma pesquisa bibliográfica. A pesquisa abrangeu periódicos Qualis A1 e A2, das áreas de Ensino de Ciências e de Química, produzidos entre 2008 e 2018, contemplando artigos que relacionam as reações de oxirredução com os modelos mentais e resultou em um artigo publicado na Revista Investigações em Ensino de Ciências¹.

A metodologia utilizada no decorrer desta Etapa foi norteada pelo referencial teórico de Gil (2002), o qual menciona ser importante seguir alguns passos para o desenvolvimento de uma pesquisa bibliográfica, não de forma rigorosa, mas como um roteiro baseado na experiência do pesquisador. Os passos sugeridos pelo autor encontram-se na Figura 7.

Figura 7 - Sugestão de passos para a realização de uma pesquisa bibliográfica



Fonte: elaborada pela autora a partir do referencial teórico de Gil (2002).

Cada um destes passos será brevemente conceituado partindo da numeração estabelecida na Figura 7 (de 1 a 8), além de descritos conforme a realização da presente pesquisa bibliográfica.

¹ Artigo publicado disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/1857>

1) Escolha do tema: Este é o primeiro momento de uma pesquisa e está diretamente relacionado com o interesse do pesquisador após reflexão.

A escolha por este tema deu-se devido à grande quantidade de reações de oxirredução presentes no dia a dia, mas que muitas vezes acabam não sendo notadas. Por outro lado, no âmbito escolar e acadêmico, pesquisas apontam inúmeras dificuldades de educandos e até mesmo de educadores em relação a este conteúdo, sendo considerado de difícil compreensão, complexo e abstrato (BUESO; FURIÓ; MANS, 1988; CAMEL; PACCA, 2011; KLEIN; BRAIBANTE, 2017; LIN et al., 2002). Baseando-se nisso e em tudo o que já foi exposto no decorrer deste trabalho, definiu-se como tema “Os modelos mentais sobre as reações de oxirredução”.

2) Levantamento bibliográfico preliminar: Posterior à escolha do tema, realizou-se um levantamento bibliográfico preliminar para auxiliar na formulação e delimitação do problema de pesquisa.

Devido à qualidade da produção bibliográfica, optou-se por pesquisar periódicos Qualis A1 e A2, publicados entre janeiro de 2008 e dezembro de 2018, disponíveis pela Plataforma Sucupira², conforme classificação dos periódicos do quadriênio 2013-2016 da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

3) Formulação do problema: Como esta pesquisa bibliográfica faz parte de algo maior e serve de apoio para a construção da pesquisa num todo, sabe-se que o problema da pesquisa como um todo é diferente do que está sendo proposto nesta etapa.

Desta forma, o questionamento que desencadeou a realização deste levantamento bibliográfico é: Como os principais periódicos de Ensino de Química e de Ciências abordam o conteúdo de reações de oxirredução a partir dos modelos mentais?

4) Elaboração do plano provisório: Aqui, elabora-se um plano provisório, a fim de estabelecer a estrutura lógica do trabalho. Os critérios que subsidiaram sua elaboração foram:

4.1) Seleção dos periódicos: Conforme verificado na Plataforma Sucupira, dentre os Qualis A1 e A2 da área do ensino, existem 343 periódicos, nacionais e internacionais, sendo 145 - Qualis A1 e 198 - Qualis A2. Contudo, para a obtenção dos artigos que compõem esta pesquisa, a partir do total de periódicos citados, inicialmente investigou-se quais eram disponíveis on-line e gratuitos. Posteriormente, a partir dos sites de cada periódico, analisou-se

² Ferramenta disponibilizada pela CAPES à comunidade acadêmica, a qual permite averiguar a produção científica dos programas de pós-graduação. A classificação Qualis dos periódicos pode ser obtida por meio de consulta em <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>>.

os títulos e seus respectivos focos e escopos, a fim de averiguar a presença dos seguintes termos: Ensino de Química e/ou de Ciências, Educação em Química e/ou Ciências.

Ao final, restaram 12 periódicos classificados em Qualis A1 (Biochemistry and Molecular Biology Education; Chemistry Education – Research and Practice; Ciência e Educação; Educación Química; Ensaio; Enseñanza de las Ciencias; Interciencia; Journal of Baltic Science Education; Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado; Revista Electrónica de Investigación Educativa; Revista Iberoamericana de Educación a Distancia e Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias) e 14 periódicos Qualis A2 (Acta Scientiae; Alexandria; Amazônia; Areté; Dynamis; Investigación en la Escuela; Investigações em Ensino de Ciências; Praxis; Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias; Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia; Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências; Revista de Educação, Ciências e Matemática; Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias; e Revista de Ensino de Ciências e Matemática).

4.2) *Palavras-chave*: Com o intuito de averiguar como os 26 periódicos selecionados no primeiro critério relacionam os modelos conceituais das reações químicas de oxirredução e os modelos mentais acerca destas, foram utilizados dois conjuntos de palavras-chave (Quadro 10). O Conjunto 1 destinou-se à realização da seleção geral dos artigos, enquanto o Conjunto 2, à seleção final, ou seja, a selecionar apenas os artigos que realmente corroboram com esta pesquisa.

Quadro 10 - Conjunto de Palavras-chave

Conjunto 1	Conjunto 2	
Modelo(s) mental(ais)	Oxirredução ³	Agente oxidante
	Oxidação	Agente redutor
Representação(ões) mental(ais)	Redução	Número de oxidação
	Eletroquímica	Transferência de elétrons
Imagem(ns) mental(ais)	Pilhas	Estados de oxidação
	Célula galvânica	

Fonte: Autora (2019)

5) Busca das fontes: Na identificação das fontes capazes de fornecer possíveis respostas à solução do problema que rege a Etapa 1, isto é, desta pesquisa bibliográfica, como também

³ Para esta palavra-chave, também foram selecionados artigos contendo outras formas de nomenclaturas, como reações redox e reações de oxidação-redução.

ao problema de pesquisa mais amplo, organizaram-se duas seleções, “Seleção 1” e “Seleção 2”, as quais dependem dos conjuntos de palavras-chave presentes no Quadro 8 (critério 4.2).

5.1) *Seleção 1*: Realizou-se a seleção geral dos artigos presentes nos 26 periódicos obtidos na Etapa 4 (Critério 4.1). A busca ocorreu diretamente no site de cada um deles, analisando-se as publicações entre 2008 e 2018. Em todos os artigos, as palavras-chave contidas no Conjunto 1 (modelos mentais, representações mentais, imagens), tanto no singular quanto no plural, foram inseridas no sistema de busca presente nos arquivos.

Desta forma, os trabalhos que contemplam alguma dessas palavras no decorrer dos seus respectivos textos, exceto nas referências bibliográficas, foram selecionados. Isto é, os artigos relacionados às representações mentais foram separados, independentes de apresentarem ou não alguma das palavras-chave relacionadas às reações de Oxirredução. O Quadro 11 apresenta a quantidade de artigos selecionados, separados por periódicos, bem como o número total obtido nos Qualis A1 e A2. Para melhor identificá-los, utilizou-se a letra P (periódico), seguida do seu respectivo Qualis e em ordem numérica, como por exemplo, PA1-1 e PA1-2.

Quadro 11 - Identificação dos periódicos Qualis A1 e A2 obtidos na Seleção 1

(continua)

Periódicos A1		
Nome do periódico	Identificação	Total
Biochemistry and Molecular Biology Education	PA1-1	18
Chemistry Education – Research and Practice In Europe	PA1-2	153
Ciência e Educação	PA1-3	30
Educación Química	PA1-4	58
Ensaio	PA1-5	28
Enseñanza de las Ciencias	PA1-6	86
Interciencia	PA1-7	1
Journal of Baltic Science Education	PA1-8	18
Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado	PA1-9	1
Revista Electrónica de Investigación Educativa	PA1-10	27
Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias	PA1-11	60
Revista Iberoamericana de Educación a Distancia	PA1-12	16
TOTAL DE ARTIGOS A1	496	
Periódicos A2		
Nome do periódico	Identificação	Total
Acta Scientiae	PA2-1	49
Alexandria	PA2-2	27
Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemáticas	PA2-3	13
Areté	PA2-4	31
Dynamis	PA2-5	6
Investigación en la Escuela	PA2-6	21

Investigações em Ensino de Ciências	PA2-7	61
Praxis	PA2-8	8
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	PA2-9	44
Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia	PA2-10	28
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	PA2-11	31
Revista de Educação, Ciências e Matemática	PA2-12	16
Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias	PA2-13	26
Revista de Ensino de Ciências e Matemática	PA2-14	26
TOTAL DE ARTIGOS A2		387
TOTAL		883

(conclusão)

Fonte: Autora (2019).

5.2) *Seleção 2*: Após a identificação dos 883 artigos selecionados na Seleção 1, foi feita uma segunda análise utilizando-se o Conjunto 2 de palavras-chave, relacionada às reações químicas de oxirredução (Oxirredução, oxidação, redução, eletroquímica, pilhas, célula galvânica, agente oxidante e redutor, número e estados de oxidação, Transferência de elétrons).

O Quadro 12 apresenta os artigos encontrados que contemplam, em algum momento do texto, palavras-chave contidas no Conjunto 2 e, simultaneamente, no Conjunto 1 (exceto das referências). Isto é, trabalhos que apresentam possíveis contribuições para esta pesquisa a partir da relação dos modelos mentais e conceituais das reações químicas de oxirredução. Para melhor sistematização, constam no Quadro 12 a identificação dos periódicos em ordem numérica, de 01 a 57⁴, os autores e o ano de publicação.

Quadro 12 - Artigos Qualis A1 e A2 obtidos na Seleção 2

(continua)

Qualis A1				
Periódico	Título do artigo	Identificação	Ano	Autores
(PA1-1)	Bridging the educational research-teaching practice gap	01	2010	Schönborn & Anderson
(PA1-2)	College students' understanding of atmospheric ozone formation	02	2012	Vanreken et al.
	Use of representation mapping to capture abstraction in problem solving in different courses in chemistry	03	2015	Sevian, et al.
	Understanding ionic bonding – a scan across the croatian education system	04	2016	Vladušić, et al.
	Trials and tribulations: student approaches and difficulties with proposing	05	2014	Bhattacharyya

⁴ As referências desta pesquisa bibliográfica serão apresentadas no Apêndice 1, em ordem numérica, conforme apresentadas no Quadro 3 e não em ordem alfabética.

mechanisms using the electron-pushing formalism			
To what degree does handling concrete molecular models promote the ability to translate and coordinate between 2d and 3d molecular structure representations? A case study with algerian students	06	2016	Salah & Alain
The significance of implicit knowledge for learning and teaching chemistry	07	2014	Taber
The effect that comparing molecular animations of varying accuracy has on students' submicroscopic explanations	08	2017	Kelly, et al.
Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking	09	2013	Sevian & Talanquer
Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: emergence in chemistry and its implications for chemical education	10	2016	Tümay
Students' mental models of atomic spectra	11	2016	Körhasan & Wang
Measuring meta-ignorance through the lens of confidence: examining students' redox misconceptions about oxidation numbers, charge, and electron transfer	12	2014	Brandriet & Bretz
Orbitals in chemical education. An analysis through their graphical representations	13	2014	Barradas-Solas & Gómez
Probing high school students' cognitive structures and key areas of learning difficulties on ethanoic acid using the flow map method	14	2015	Zhou, et al.
Physical chemistry education: its multiple facets and aspects	15	2014	Tsaparlis & Finlayson
Associating animations with concrete models to enhance students' comprehension of different visual representations in organic chemistry	16	2014	Al-Balushi & Al-Hajri
Different models used to interpret chemical changes: analysis of a curriculum and its impact on French students' reasoning	17	2009	Kermen & Méheut
Conceptual integration of chemical equilibrium by prospective physical sciences teachers	18	2008	Ganaras, et al.
Students' understanding of boiling points and intermolecular forces	19	2009	Schmidt, et al.
What happens when representations fail to represent? Graduate students' mental models of organic chemistry diagrams	20	2010	Strickland, et al.

	The acquisition of stereochemical knowledge by Algerian students intending to teach physical sciences	21	2011	Boukhechem, et al.
	How do students work through organic synthesis learning activities?	22	2014	Flynn
	Investigating students' similarity judgments in organic chemistry	23	2017	Graulich & Bhattacharyya
	Investigating high-school chemical kinetics: the greek chemistry textbook and students' difficulties	24	2016	Gegios, et al.
	Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit	25	2015	Supasorn
	Finding the connections between a high-school chemistry curriculum and nano-scale science and technology	26	2017	Blonder & Sakhini
	Exploring the complexity of teaching: the interaction between teacher self-regulation and pedagogical content knowledge	27	2016	Kondakci, et al.
	Epistemic games in substance characterization	28	2018	Sevian & Couture
	An epistemological inquiry into organic chemistry education: exploration of undergraduate students' conceptual understanding of functional groups	29	2015	Akkuzu & Uyulgan
	A three-attribute transfer skills framework – part i: establishing the model and its relation to chemical education	30	2013	Dori & Sasson
	A study of moroccan pupils' difficulties at second baccalaureat year in solving chemistry problems relating to the reactivity of ethanoate ions and to copper–aluminium cells	31	2017	Ouasri
	Coulombic interaction in finnish middle school chemistry: a systemic perspective on students' conceptual structure of chemical bonding	32	2015	Joki, et al.
(PA1-4)	Uso de un simulador para facilitar el aprendizaje de las reacciones de óxido-reducción. Estudio de caso en la universidad de Málaga	33	2018	Guerrero, et al.
	Las estrategias argumentativas en la enseñanza y el aprendizaje de la química	34	2009	Acuña
	Concepción de la identidad química en estudiantes y profesores de química. Parte II: comparación entre	35	2015	Sevian, et al.

	participantes en dos universidades de diferentes países			
	Para no seguir reinventando la rueda: El conocimiento didáctico en uso sobre los compuestos aromáticos	36	2014	Farré & Lorenzo
	Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química	37	2012	Bravo
	Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem – Parte I	38	2009	Justi & Mendonça
	Aportes a la modelización según el cambio químico	39	2011	Rubilar & Aymerich
	Contenidos esenciales en la asignatura de Química III en la Escuela Nacional Preparatoria. Un análisis mediante el empleo de redes semánticas naturales	40	2010	Rodríguez & Martínez
	Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje. El caso del metabolismo de los carbohidratos	41	2014	Garófalo, et al.
(PA1-6)	Reacciones químicas y representaciones sociales de los estudiantes	42	2014	Jesús, et al.
	Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías	43	2013	Aragón, et al.
	Preguntas de los estudiantes de Educación Secundaria ante dispositivos experimentales	44	2012	Tarcilo, et al.
(PA1-8)	Enhancing students' corresponding reasoning of cognitive performances by animated concept mapping in electrochemistry	45	2018	Dow su
	Examination of chemical representations in turkish high school chemistry textbooks	46	2017	Demirdögen
Qualis A2				
(PA2-1)	Conhecendo as dificuldades de aprendizagem no ensino superior para o conceito de estequiometria	47	2014	Santos & silva
(PA2-6)	Analogías y modelización en la enseñanza del cambio químico	48	2010	Aragón, et al.
(PA2-7)	Concepções de adolescentes e de adultos sobre a sublimação do iodo	49	2008	Eichler, et al.
	Análise de dissertações e teses sobre o ensino de química no brasil: Produção científica de programas de pós-graduação em destaque	50	2015	Francisco, et al.

	Mapeamento da pesquisa no campo da formação de professores de química no Brasil	51	2016	Silva & Queiroz
	Analogias em livros didáticos destinados ao ensino superior: química orgânica versus físico-química	52	2016	Gonçalves & Julião
(PA2-9)	El conocimiento construido por los alumnos en las clases de química	53	2015	Olivera, et al.
	La modelización del enlace químico en libros de texto de distintos niveles educativos	54	2011	Matus, et al.
	Una aproximación histórico epistemológica a las leyes fundamentales de la Química	55	2009	Badillo, et al.
(PA2-11)	Os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos: uma análise nos livros didáticos de química	56	2013	Silva, et al.
(PA2-12)	Concepções de alunos ingressantes no curso de licenciatura em química sobre alguns conceitos de soluções	57	2017	Santos

(conclusão)

Fonte: Autora (2019).

6) Leitura do material: Com o intuito de obter as informações necessárias provenientes dos artigos encontrados, fez-se uma leitura integral destes a fim de estabelecer relações com o problema de pesquisa, isto é, averiguar as relações existentes entre os modelos mentais e conceituais sobre oxirredução. Segundo Gil (2002), a leitura dos textos apresenta uma série de classificações, dependendo dos objetivos da leitura. Logo, tendo como base a interpretação dada nas obras, pode-se dizer que a leitura classifica-se como “exploratória” ao verificar até que ponto as obras são pertinente à pesquisa; “seletiva”, por realizar a Seleção 2, evitando-se a leitura de textos que não contribuem para a solução do problema; “analítica”, ao ordenar e apontar as informações, possibilitando as categorizações para a análise; e, por último, “interpretativa”, por procurar conferir significados mais profundos aos resultados encontrados.

7) Fichamento e organização: Posterior à leitura e tomada de apontamentos para a organização das ideias encontradas, estruturou-se alguns critérios para que o trabalho pudesse ser entendido como uma unidade dotada de sentido, estabelecendo-se seu plano definitivo. Para tanto, dois processos de fichamentos de leitura foram confeccionados para a identificação das obras, registro dos conteúdos e ordenação.

O Processo de Fichamento 1 proporcionou uma visão mais abrangente, bem como a criação de categorias *a priori* (anteriores à leitura do material) envolvendo a natureza, o foco, o ano de publicação e o idioma. Já o Processo de Fichamento 2 possibilitou fazer um

levantamento dos principais aspectos envolvendo os conteúdos presentes nas publicações, gerando categorias emergentes (posteriores à leitura do material). Estes critérios foram organizados em ambos os processos, conforme estruturados no Quadro 13.

Quadro 13 - Critérios de análise estabelecidos para os Processos de Fichamento 1 e 2

Ficha 1	Ficha 2
I - Natureza	V – Nível de aprofundamento do texto em relação aos modelos mentais
II - Foco	VI – Nível de aprofundamento do texto em relação aos conteúdos de reações químicas de oxirredução
III – Ano de publicação	
IV – Idioma	

Fonte: Autora (2019).

No Processo de Fichamento 1, foi feito um levantamento dos trabalhos de natureza prática ou teórica (critério I), investigando-se sobre o que ou quem tratam cada artigo (critério II). Além disso, os critérios III e IV visam, respectivamente, estipular os anos com maiores números de publicações, bem como o idioma de cada artigo.

Conforme já mencionado, somente publicações contendo as palavras-chave dos Conjuntos 1 e 2, simultaneamente, passaram a fazer parte do objeto de estudo da presente pesquisa bibliográfica. Deste modo, quanto aos conteúdos encontrados nos textos, o Processo de Fichamento 2 traz os critérios V “Modelos mentais” e VI “Reações químicas de oxirredução”, os quais foram analisados conjuntamente e organizados em “Níveis”. Ao todo, quatro níveis foram criados e apresentam como os modelos conceituais e mentais das reações químicas de oxirredução estão atrelados, além de dependerem do grau de aprofundamento teórico dos dois conjuntos de palavras-chave construídos na Etapa 4.

Um artigo pertence ao Nível 1 quando tiver pouco aprofundamento teórico das palavras-chave contidas nos Conjuntos 1 e 2, isto é, em algum momento do texto as palavras destes conjuntos aparecerão, porém sem nenhuma relação entre elas, apenas poucas citações ou exemplificações, ou então falam de cada um deles de modo simplório, sem maiores explicações sobre ambos os assuntos.

Foi classificado no Nível 2 o trabalho apresentou pouco aprofundamento teórico das palavras do Conjunto 1 e elevado nos conceitos elencados do Conjunto 2. Ou seja, as palavras relacionadas à Teoria dos Modelos mentais foram citadas brevemente e poucas vezes, sem nenhum olhar mais aguçado sobre o assunto, assim como no Nível 1.

Já os termos atrelados à oxirredução apareceram mais vezes, além de serem melhores explanados, acarretando maiores contribuições e relevância à obra. O contrário ocorreu no Nível 3, tendo em vista que o Conjunto 1 é mais aprofundado e o Conjunto 2 menos. Assim, o artigo apresentou pouco aprofundamento teórico em relação às reações de oxirredução, sendo poucas vezes citadas, sem maiores explicações, mas as palavras relacionadas ao Conjunto 1 será melhor elucidadas e presentes no decorrer do texto. Nesses três primeiros níveis dificilmente foram observadas relações entre as palavras-chave dos Conjuntos 1 e 2.

Por último, os artigos presentes no Nível 4 apresentam ambos os Conjuntos de palavras-chave com elevado aprofundamento teórico, além de maiores relações entre um e outro, isto é, entre os modelos mentais e as reações de oxirredução. Por conta disto, este Nível melhor contribui com os objetivos desta pesquisa.

8) Redação do texto: Para finalizar, fez-se a redação do texto a partir do tratamento dos objetos de estudo encontrados no decorrer dos resultados e discussões.

Para a elaboração desta redação utilizaram-se categorizações *a priori* e emergentes (categorias dedutivas e indutivas, consequentemente). As primeiras são atribuídas às características gerais dos artigos referentes ao Processo de Fichamento 1 (natureza, foco, ano de publicação e idioma), e as segundas ao aprofundamento da leitura das obras, relacionadas ao Processo de Fichamento 2. Para tanto, no decorrer da construção do texto de análise, também são apresentados alguns gráficos com os resultados na forma de números e percentagens, objetivando uma melhor visualização dos dados obtidos.

Para a análise destes níveis utilizaram-se, quando necessário, categorias e subcategorias emergentes, elaboradas de acordo com os objetivos das palavras-chave apresentadas nos textos. Por exemplo, quando muitos artigos trazem a questão do uso dos diferentes tipos de representações mentais para resolver problemas ou para avaliar a aprendizagem dos estudantes, a categoria criada terá ênfase na utilização destes como estratégias de ensino. No entanto, nem todos os Níveis necessitam de categorias para serem analisados.

Etapa 2 – Entrevistas

Como já mencionado, nesta etapa foram utilizadas entrevistas como instrumento de pesquisa que, segundo Duarte (2004), são fundamentais para mapear práticas, crenças, valores e sistemas classificatórios de universos sociais específicos pois, quando bem realizadas, ajudam no aprofundamento a partir do levantamento de informações consistentes, o que, em geral, é mais difícil obter com outros instrumentos de coleta de dados. Gil define uma entrevista como uma

[...] técnica em que o investigador se apresenta frente ao investigado e lhe formula perguntas, com o objetivo de obtenção dos dados que interessam à investigação. A entrevista é, portanto, uma forma de interação social. Mais especificamente, é uma forma de diálogo assimétrico, em que uma das partes busca coletar dados e a outra se apresenta como fonte de informação (Gil, p.109, 2008).

Optou-se por realizar uma entrevista semiestruturada, a qual busca focar em um determinado assunto, sendo construído um roteiro com perguntas principais, complementadas por outras questões inerentes às circunstâncias momentâneas à entrevista e que podem emergir informações de forma mais livre (MANZINI, 1991). Boni e Quaresma (2005) complementam ao afirmarem que esse tipo de entrevista permite a combinação de perguntas abertas e fechadas, onde o entrevistador pode discorrer sobre o tema proposto. Isto é, embora possua questões previamente definidas, o entrevistador poderá fazer outros questionamentos para elucidar questões que não ficaram claras, por exemplo.

Destaca-se que durante todo o momento as entrevistas foram filmadas e observadas. A observação foi realizada com o intuito de registrar os dados visíveis e interessantes para a pesquisa. Já a filmagem permitiu averiguar de uma melhor forma as entrevistas, captando os áudios e imagens do processo, aumentando a fidedignidade da coleta dos dados observados (PINHEIRO, KAKEHASHI, ANGELO, 2005).

Cada um dos passos realizados antes, durante e posterior à entrevista será explicado detalhadamente a seguir: 1) planejamento e definição dos objetivos; 2) escolha dos entrevistados; 3) construção da entrevista; 4) estudo piloto; 5) Contato com os entrevistados e; 6) análise dos resultados.

1) Planejamento e definição dos objetivos: Após definição do tema, traçou-se o objetivo que rege a realização da presente pesquisa, isto é, o primeiro passo da etapa 2 foi estabelecer que seu objetivo principal é identificar os modelos mentais utilizados pelos egressos do Curso de Química Licenciatura da UFSM sobre as reações químicas de oxirredução por meio de uma entrevista semiestruturada. Baseando-se nisso, foi possível estruturar todos os demais passos a serem realizados e conforme serão averiguados a seguir.

2) Escolha dos entrevistados: Por mais que o tema a ser averiguado já estivesse estabelecido, várias foram as mudanças necessárias quanto à escolha dos sujeitos, isto é, dos entrevistados, para que a pesquisa pudesse ser realizada.

Em um primeiro momento, estabeleceram-se dois grupos de sujeitos - *experts* e graduandos do Curso de Química Licenciatura da Universidade Federal de Santa Maria/RS. Borges (1998) afirma que a habilidade de solucionar problemas ou de propor explicações sobre

um estado de coisas ou de um evento resultam da habilidade em estabelecer comparações entre uma situação e de experiências armazenadas de aprendizagem anteriores. Por conta disto, pensou-se em um primeiro momento em entrevistar além dos graduandos, também os *experts*, isto é, professores doutores da área de Química pelo fato destes possuírem um aprendizado mais lento e acumulado ao longo de anos, quando comparados aos graduandos. Desta forma, após análise dos currículos de todos os docentes do Curso de Química Licenciatura da UFSM, os *experts* escolhidos foram dez professores universitários de Química que trabalhavam, em alguma das matérias por eles ministradas, com o conteúdo de reações de oxirredução.

No entanto, muitas dificuldades surgiram durante o percurso, comprometendo a execução. Inicialmente ao primeiro contato realizado com os docentes em que foram esclarecidos desde o começo que em nenhum momento a entrevista seria feita com o intuito de avaliá-los, mas sim de construir parâmetros que poderiam ser utilizados para analisar os modelos mentais dos graduandos, um único professor aceitou participar. Porém, após tudo isso ser exposto à banca de Qualificação e em conjunto com a orientadora, ficou decidido realizar a pesquisa apenas com os graduandos, deixando de lado os *experts*.

Após essa primeira exclusão deste grupo de sujeitos, o objetivo passou a ser investigar os possíveis modelos mentais dos ingressantes e concluintes do Curso de Química Licenciatura, ou seja, realizar as entrevistas com os graduandos que estivessem no primeiro e no último semestre do curso. Para que isso fosse possível, a secretária do curso em questão foi muito prestativa, contribuindo para a seleção e organização dos e-mails destes. Iniciou-se o primeiro contato com os 12 formandos do segundo semestre de 2019 por meio do envio de um e-mail convidando-os a participarem da pesquisa, a qual seria realizar por meio de uma entrevista. Porém, novamente a dificuldade surgiu e apenas um formando aceitou participar da entrevista. Já para convidar os ingressantes do curso, na primeira semana do início do ano letivo de 2020 realizou-se uma apresentação da pesquisa, pessoalmente, aos 30 alunos que estavam cursando uma disciplina do primeiro semestre, mas apenas 4 aceitaram participar.

Todavia, como o número de sujeitos era muito baixo para uma pesquisa de doutorado - apenas um aluno formando e quatro ingressantes - juntamente com a orientadora, novamente decidiu-se mudar de estratégia. Assim, pensou-se em realizar as entrevistas com os graduandos do Instituto Federal Farroupilha – Campus São Vicente do Sul/RS. Mas, esta alternativa foi pensada no dia 16 de março no turno da manhã, e no turno da tarde praticamente todas as instituições de ensino optaram em parar, em consequência da pandemia do COVID-19.

Após diversas tentativas de adesão de diferentes grupos de alunos à pesquisa, optou-se por realizar as entrevistas com os egressos dos Cursos de Química Licenciatura da UFSM. Esta

escolha é justificada por tratar-se de um grupo que teve sua formação inicial no referido curso e que já atua no mercado de trabalho. Desta forma, acredita-se os seus modelos mentais sobre as reações de oxirredução por eles utilizados tenham influência tanto de sua formação inicial como de sua trajetória profissional, podendo oferecer diversos elementos de análise, de forma a contribuir com os objetivos desta pesquisa.

3) Construção da entrevista: Conforme foram ocorrendo as mudanças de sujeitos, também houve a necessidade de modificar a entrevista de acordo com o público alvo.

Já para os egressos, ou seja, para os atuais sujeitos desta pesquisa, como o objetivo foi investigar os modelos mentais destes a respeito das reações químicas de oxirredução, optou-se em realizar uma entrevista com questionamentos que melhor pudessem contribuir para esta investigação. Para tanto, estruturou-se a entrevista em quatro partes: identificação, importância do conteúdo, experiência com o conteúdo e, por último, conhecimentos sobre o conteúdo, o qual envolvem situações-problema, conforme exposto no Quadro 14.

Quadro 14 - Questões que compõem a entrevista dos egressos de Química Licenciatura

(continua)

1) Identificação
1.1) Nome: _____ 1.2) Idade: _____ 1.3) Tempo de formação: _____
2) Importância do conteúdo
2.1) No seu ponto de vista, o conteúdo de reações de oxirredução é importante? Justifique.
3) Experiência com o conteúdo
<p>3.1) Pelo que você lembra da graduação, Qual (ais) disciplina(s) contemplava(m) o conteúdo de reações de oxirredução? E dentro dessas disciplinas, você acha que elas tinham esse conteúdo bem definido?</p> <p>3.2) Como professor, você já teve experiência com o conteúdo de reações químicas de oxirredução em sala de aula?</p> <p>Se sim, responda:</p> <p>a) Como foi/foram sua (s) experiência(s)?</p> <p>b) Quais foram suas facilidades e dificuldades na abordagem deste conteúdo?</p> <p>Se não, responda:</p> <p>a) Como você enxerga a inserção deste conteúdo para o Ensino de Química?</p> <p>b) Você apresentaria dificuldade na construção de um plano de aula sobre esse conteúdo?</p>
4) Conhecimento do conteúdo

4.1) Como você explicaria para alguém, com suas próprias palavras e de forma detalhada, as reações químicas de oxirredução. Use diagramas, desenhos e exemplos se necessário. Fale tudo que você sabe sobre esse assunto. Diga, inclusive, quais as principais dificuldades que você teve para entender este tipo de reação química. (Pode utilizar o papel antes e explicar depois).

4.2) Situação 1: Em uma aula experimental, o professor solicitou aos seus alunos que realizassem o seguinte experimento:

- Numerar dois tubos de ensaio;
- Adicionar 10 mL de solução 0,01M de sulfato de cobre no primeiro tubo de ensaio e em seguida, adicionar um pequeno pedaço de esponja de aço;
- Adicionar 10 mL de solução 0,1M de sulfato de cobre no segundo tubo de ensaio e em seguida, adicionar um pequeno pedaço de esponja de aço.

Com base no experimento, pergunta-se:

a) Você acha que os resultados na esponja de aço nos dois tubos serão iguais? Explique.

b) Explique com suas palavras o que acontece com a esponja de aço em cada um dos tubos de ensaio. Use diagramas, desenhos e mecanismos. Fale tudo o que você sabe sobre cada reação química. Diga inclusive suas dúvidas e/ou dificuldades no entendimento dessas reações químicas.

4.3) Situação 2: Em uma aula experimental, o professor solicitou aos seus alunos que realizassem o seguinte experimento:

- Numerar dois béqueres de 100 mL;
- Adicionar 50 mL de solução 0,1 M de sulfato de cobre no primeiro béquer e mergulhar uma lâmina de zinco nesta solução;
- Adicionar 50 mL de solução 0,1 M de sulfato de zinco no segundo béquer e mergulhar uma lâmina de cobre nesta solução.

Com base no experimento, pergunta-se:

a) O que você acha que vai acontecer em ambos os béqueres? Explique.

b) Explique com suas palavras o que acontece em cada um dos béqueres. Use diagramas, desenhos e mecanismos. Fale tudo o que você sabe sobre cada reação química. Diga inclusive suas dúvidas e/ou dificuldades no entendimento dessas reações químicas.

(conclusão)

Fonte: Autora (2019).

Destaca-se, também, que para que os egressos melhor pudessem resolver as situações, foi disponibilizado uma tabela periódica e uma tabela com a série de atividade dos metais (Figura 4), os quais foram entregues apenas quando solicitado pelos entrevistados.

4) Estudo piloto: Após planejar, definir os objetivos e montar a entrevista, foi realizado um estudo piloto que, segundo Bailer, Tomitchi e D'Ely (2011), é um teste em pequena escala dos instrumentos de uma pesquisa, possibilitando sua alteração/melhora antes da pesquisa em si e com isso, permitindo sua avaliação, revisão e aprimoramento.

Para Marconi e Lakatos (2003), um instrumento de pesquisa necessita passar por um teste piloto, com o intuito de averiguar os seguintes elementos: fidedignidade (obter os mesmos

resultados, independente de quem o aplica); validade (analisar se todos os dados obtidos são realmente necessários à pesquisa ou se nenhum dado importante tenha sido excluído); operatividade (verificar a acessibilidade do vocabulário utilizado).

Assim, visando melhorar a estrutura da entrevista, realizou-se um estudo piloto com uma *expert* em Química, a qual ministrava disciplinas que contemplavam o conteúdo de reações químicas de oxirredução nos diferentes Cursos de Química ofertados pela UFSM. Posteriormente ao estudo piloto, foram feitas todas as alterações sugeridas pela mesma, bem como inclusões e exclusões nas questões, resultando no modelo final apresentado no Quadro 12.

Entretanto, para ter certeza que a entrevista estava coerente e que seria válida para ser utilizada como instrumento no decorrer da pesquisa, realizou-se um segundo estudo piloto, porém com uma doutoranda em Ensino de Ciências, graduada em Química, a qual realizou sua pesquisa de mestrado com o mesmo conteúdo. Somente a partir da realização deste segundo estudo piloto que a entrevista foi considerada pronta para ser utilizada.

5) Contato com os entrevistados: Após elaboração da entrevista e definição final do perfil dos entrevistados, foi realizado o contato inicial com os egressos de Química Licenciatura. O convite foi feito por diferentes meios de comunicação, como e-mail, telefone e pessoalmente. Após confirmação, agendaram-se os horários com cada um dos egressos que aceitaram participar da pesquisa. Alguns dos entrevistados preferiram realizar a entrevista pessoalmente e outros on-line devido a Pandemia do COVID.

Destaca-se aqui que, inicialmente, a ideia parecia muito fácil de ser implementada, mas que em realidade apresentou diversas dificuldades. A primeira delas foi conseguir um número considerável de entrevistados que aceitasse participar da pesquisa, além das entrevistas que não deram certo pelo modo virtual. Aqueles que já trabalhavam não tinham muito tempo devido à mudança repentina para a modalidade do Ensino Remoto Emergencial em suas instituições de trabalho. Outros recusavam por medo de não saber o conteúdo. E outros ainda, simplesmente não quiseram participar sem dar motivos. No entanto, apesar de todos percalços e dificuldades, obteve-se a participação de 13 sujeitos.

Para a realização da entrevista, foi agendado um horário com cada um dos 13 egressos para que também pudessem ler e assinar o Termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice B) e, em seguida, as entrevistas foram realizadas. Para melhor entender as respostas, bem como as possíveis representações/modelos mentais destes, as perguntas foram realizadas em voz alta, pedindo para que os mesmos respondessem também em voz alta.

Destaca-se que algumas perguntas de apoio foram necessárias, isto é, perguntas que não estavam presentes na construção da entrevista em si, mas que ajudaram a complementar as questões nela presentes (CHIOU, 2013). Tais perguntas tiveram como finalidade ajudar os entrevistados a simularem mentalmente a resolução das questões, fazendo previsões ou então buscando maiores informações a partir das respostas obtidas. Alguns exemplos de perguntas que foram usadas são: “você pode descrever o determinado processo com mais detalhes?”; “como você explica o processo de oxidação da esponja de aço?”; “como você explica o surgimento da ferrugem no ferro?”, etc.

Na parte do “conhecimento do conteúdo” da entrevista, além das respostas verbais obtidas por meio das perguntas, estimulou-se que os entrevistados realizassem anotações e explicações para cada um dos questionamentos, utilizando também desenhos, fórmulas, equações, entre outros.

6) Análise dos resultados: Conforme o objetivo desta etapa, isto é, tentar identificar os modelos mentais dos egressos do Curso de Química Licenciatura a respeito das reações químicas de oxirredução, este estudo utilizou uma entrevista semiestruturada, elaborada para sondar os modelos mentais dos sujeitos, conforme já explicado. Desta forma, a seguir, encontra-se como o processo foi organizado e utilizado para a análise deste instrumento.

Para cada uma das quatro partes da entrevista foi utilizado um tipo de análise. Na primeira parte (identificação dos egressos), realizou-se um levantamento seguido de discussão dos dados obtidos. Na segunda (importância do conteúdo) e terceira partes (experiência com o conteúdo), as respostas foram categorizadas de forma a melhor explicá-las.

Já em relação à última parte (conhecimentos sobre o conteúdo), considerada como a mais importante de todo o processo devido à sua possível contribuição na investigação dos modelos mentais sobre as reações de oxirredução, foi utilizado o referencial teórico de Johnson-Laird (1983) para a construção da análise. Todavia, para melhor organização dos dados obtidos, utilizou-se também o referencial de Chiou (2013).

Deste modo, os dados adquiridos foram analisados sob dois aspectos. Primeiro, por observação das atitudes dos egressos durante a entrevista, isto é, como eles agiram durante a resolução dos problemas e como utilizaram os recursos fornecidos, como a tabela periódica e a série de atividade dos metais. Já o segundo aspecto baseia-se nos possíveis modelos mentais obtidos pelos egressos e a análise foi realizada em três fases (CHIOU, 2013), as quais foram interpretadas sob à luz do referencial teórico de Johnson-Laird. As fases são:

1) Análise individual: A partir das três questões envolvendo o conhecimento do conteúdo, isto é, os itens 4.1 (Modelo conceitual de oxirredução), 4.2 (Situação1) e 4.3

(Situação 2) da entrevista, todos os dados obtidos foram analisados de forma individual, com o propósito de verificar como cada sujeito conceitua e interpreta as reações químicas de oxirredução, ou seja, se há ou não formação de modelos mentais de cada um deles em relação ao modelo conceitual de oxirredução, e ainda como utilizam destes conceitos para resolverem diferentes situações. Alguns dos tópicos aqui analisados são: definição, oxidação, redução, número de oxidação, agente oxidante e redutor, potencial padrão de redução, entre outros.

Os dados obtidos nos itens 4.1, 4.2 e 4.3 foram analisados individualmente, sendo que primeiro foi feita a análise do item 4.1 de todos os treze sujeitos, depois do item 4.2 e 4.3, sucessivamente. Além disso, para analisar de forma padrão todos os dados fornecidos pelos sujeitos em relação aos três itens da entrevista relacionados ao conhecimento do conteúdo, alguns pontos em comum contendo tópicos importantes que, na visão da pesquisadora, devem aparecer em cada uma das respostas dos sujeitos, tanto no item 4.1, como no 4.2 e 4.3

Quanto ao primeiro item, ou seja, referente ao modelo mental dos sujeitos quanto ao modelo conceitual de oxirredução, alguns pontos são importantes, como: definição; conceitos (oxidação, redução, agente oxidante e agente redutor, transferência de elétrons, número de oxidação e série de atividade dos metais); equações químicas envolvendo as semirreações e reação global. Além destes mais conceituais, outros pontos também são significativos, como: relação do conteúdo com o cotidiano; uso de representações visuais; mudanças submicroscópicas e macroscópicas; dificuldades elencadas pelos sujeitos.

Já para análise da Situação 1, os tópicos que devem se fazer presentes nas respostas dos sujeitos, são: explicação dos efeitos na esponja de aço; igualdade das reações; cinética da reação; menção ao tipo de reação química, uso de conceitos atrelados à oxirredução; presença de equações reacionais; interpretação das equações, relação com a série de atividade dos metais; utilização de representações visuais; mudanças submicroscópicas e macroscópicas; dificuldades elencadas pelos sujeitos.

Por último, os pontos importantes para a Situação 2, são: explicação dos efeitos em ambos os béqueres; percepção de ocorrência de apenas uma das reações; menção ao tipo de reação química, uso de conceitos atrelados à oxirredução; presença de equações reacionais; interpretação das equações, relação com a série de atividade dos metais; utilização de representações visuais; mudanças submicroscópicas e macroscópicas; dificuldades elencadas pelos sujeitos.

A partir dos dados obtidos na análise geral, os sujeitos serão categorizados em dois tipos: modelizadores e não modelizadores. O primeiro caso será formado pelos sujeitos que conseguem formar modelos mentais, cujos modelos conceituais fazem sentido. Já a segunda

categoria será formada pelos sujeitos que não conseguem formar modelos mentais, mas sim representações mentais desvinculadas de modelos, sem compreender ou explicarem a estrutura conceitual de uma teoria e os fenômenos ligados a ela (GRECA; MOREIRA, 1996; LAGRECA; MOREIRA, 1999). Tais categorias permitem averiguar o entendimento de cada sujeito em relação ao sistema alvo, isto é, os modelos conceituais de oxirredução, a partir da forma como ele constrói e externaliza seus conhecimentos por meio da Teoria dos Modelos Mentais.

Lembrando-se que, conforme já mencionado, os modelizadores podem ser subcategorizados, como: Modelizador Proposicional (MP), Modelizador imagístico (MI) ou Modelizador híbrido (MH). Já os não modelizadores podem ser subcategorizados como: proposicional (P), imagístico (I) ou Proposicional/Imagístico (PI), conforme mostra o Quadro 3 (este quadro já consta no capítulo II, página 40).

Quadro 3 - Subcategorias dos modelizadores e não modelizadores e suas respectivas descrições

Modelizadores		Não modelizadores	
Subcategorias	Descrição	Subcategorias	Descrição
Modelizador proposicional (MP)	Articulam definições e símbolos a modelos mentais, que não são, necessariamente, cientificamente aceitos, mas possibilitam a resolução e interpretação de diferentes situações.	Proposicional	Apresentam proposições soltas, desarticuladas e até mesmo, incoerentes, demonstrando a não sistematização do modelo mental.
Modelizador imagístico (MI)	Há predominância de imagens articuladas a modelos mentais, formando um modelo explicativo para o sistema alvo.	Imagístico	Apresentam representações imagísticas, onde a imagem predomina e não explica nenhum processo.
Modelizador híbrido (MH)	Utilizam proposições e imagem em um mesmo contexto, tornando essa integração explicativa e funcional.	Proposicional/Imagístico (PI)	Apresentam elementos proposicionais e imagísticos, sem indicar relação entre eles e/ou faltam aspectos explicativos e funcionais do processo que está sendo estudado.

Fonte: Elaborada pela autora a partir das seguintes referências; Greca e Moreira (1996), Lagreca e Moreira (1999, 1998) e Tauceda e Del Pino (2010).

II) Análise comum e confiabilidade dos resultados: Após à análise individual dos sujeitos e também à categorização de acordo com a capacidade destes em formarem ou não modelos mentais sobre as questões presentes na entrevista (itens 4.1, 4.2 e 4.3 do Quadro 14), uma segunda análise foi realizada. Assim, para a realização da análise comum, novamente os dados obtidos individualmente foram analisados, buscando-se identificar núcleos comuns.

Para tanto, o método de comparação usado baseou-se no grau de aprofundamento do modelo conceitual de oxirredução e, a partir disso, diferentes modelos mentais foram identificados abrangendo a Questão 1 e as Situações 1 e 2.

Por último, a fim de verificar a validade dos modelos mentais identificados, realizou-se um novo processo comparativo, comparando-os com as três obras utilizadas no decorrer da construção do referencial teórico das reações de oxirredução, ou seja, Chang e Goldsby (2013), Atkins e Jones (2012) e Brown et al (2016). Logo, quanto maior a proximidade dos modelos mentais com o modelo conceitual, pode-se dizer que maior será o indício de aprendizagem significativa dos sujeitos.

5 CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ETAPA 2 - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Conforme citado anteriormente, a realização desta pesquisa bibliográfica visa investigar como os principais periódicos vêm abordando o conteúdo de reações de oxirredução a partir dos modelos mentais nos principais periódicos Qualis A1 e A2, das áreas de Ensino de Ciências e de Química, produzidos entre 2008 e 2018, abrangendo artigos que relacionam as reações de oxirredução e os modelos mentais. Assim, após a “Seleção 2” dos artigos, isto é, busca por artigos que contemplassem ao mesmo tempo os Conjuntos 1 e 2 de palavras-chave (sobre modelos mentais e reações de oxirredução), fez-se o fichamento para melhor analisá-los. A seguir, serão apresentados os resultados obtidos por meio dos Processos de Fichamento 1 e 2, bem como as possíveis discussões acerca destes. Como um lembrete dos passos realizados no decorrer desta pesquisa bibliográfica, a Figura 7 foi novamente inserida neste capítulo.

Figura 7 – Sugestão de passos para a realização de uma pesquisa bibliográfica.



Fonte: elaborada pela autora a partir do referencial teórico de Gil (2002).

Processo de fichamento I

5.1.1 Critérios I e II – “Natureza” e “Foco”

Estes critérios possibilitaram fazer um levantamento da organização dos trabalhos, a fim de averiguar quais são de natureza teórica ou prática, bem como o foco dos mesmos. Magoga (2017) ressalta que trabalhos de natureza prática são aqueles que organizam, constroem ou implementam ações educativas no processo de ensino e aprendizagem com professores e/ou estudantes de qualquer nível de ensino. Já por natureza teórica, entende-se que são aqueles que

buscam discutir elementos, características e/ou referenciais associados aos mais variados conceitos, teorias, metodologias, problemas relacionados ao ensino, etc., destacando-se semelhanças e peculiaridades.

Desta forma, dos cinquenta e sete artigos selecionados, quarenta e quatro (77,58%) têm perfil prático e treze (22, 42%), perfil teórico, conforme mostra o Quadro 15, que apresenta a relação dos artigos classificados como teóricos ou práticos.

Quadro 15 - Natureza dos artigos analisados

Natureza	Identificação do artigo
Teóricos	07, 10, 13, 15, 30, 34, 37, 50, 51, 52, 54, 55 e 56
Práticos	01,02, 03, 04, 05, 06, 08, 09, 11, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 53 e 57

Fonte: Autora (2019).

Conforme evidenciado no Quadro 15, há predominância de trabalhos de natureza prática. Todavia, por mais que a Química seja uma Ciência centrada na experimentação, o fato de serem publicações da área do Ensino, faz com que estes artigos não estejam somente atrelados à prática experimental, pois abarcam outros recursos e metodologias de ensino, como uso de simuladores, jogos lúdicos, resolução de problemas e atividades práticas investigativas. Alguns destes envolvem ainda, a partir da utilização dos recursos e métodos citados, a sondagem das representações utilizadas por estudantes e professores, sejam elas mentais, simbólicas, submicroscópicas/microscópicas e macroscópicas.

Dentre os trabalhos de natureza prática, analisou-se também o foco apresentado por cada um, observando-se abordagens com públicos e níveis de ensino diferentes. Destes, vinte e cinco foram desenvolvidos com estudantes do ensino superior, dezenove com estudantes do ensino médio e dois do ensino fundamental (39 e 43) e, além disso, quatro investigaram as concepções de professores sobre assuntos variados (Quadro 16).

Já os trabalhos classificados como de natureza teórica na presente pesquisa abrangem aqueles artigos que se dedicam à teoria e/ou pesquisas bibliográficas de conceitos, ideias, metodologias. Logo, dos treze artigos elencados como teóricos, quatro falam sobre o processo de ensino e aprendizagem no ensino de Química e três sobre o uso de modelos, enquanto os demais envolvem: estudo dos orbitais na educação química; história do Ensino de Química no Brasil e também da formação de professores da área, uso de analogias, história epistemológica

das leis fundamentais da Química e sobre o uso de recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos.

Quadro 16 - Foco dos artigos de natureza prática analisados

Foco	Identificação do artigo
Ensino fundamental e Médio	02, 04, 09, 14, 16, 17, 19, 24, 25, 26, 31, 32, 38, 39, 42, 43, 44, 46, 48 e 49
Ensino Superior	01, 02, 03, 04, 05, 06, 08, 09, 11, 12, 20, 21, 22, 23, 28, 29, 33, 35, 36, 41, 45, 47, 49, 53 e 57
Professores	04, 18, 27 e 40

Fonte: Autora (2019).

Ressalta-se que em alguns casos, as pesquisas são feitas com distintos públicos, uma vez que há artigos desenvolvidos com professores do ensino médio como também do ensino superior e, por conta disso, estão presentes em mais de um foco.

Baseando-se nos trabalhos de natureza prática, foi possível verificar ainda as subáreas da Química que os artigos integram, conforme mostra o Quadro 17. Os demais artigos, isto é, 07, 10, 13, 15, 30, 34, 37, 50, 51, 54, 55 e 56, por apresentarem um contexto mais geral, não constam nessa divisão de subáreas.

Quadro 17 - Subáreas da Química apresentadas por cada artigo prático

Subárea	Identificação do artigo
Orgânica	03, 05, 06, 09, 14, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 29, 31, 35, 36, 38, 44 e 53
Inorgânica	02, 04, 07, 08, 10, 11, 17, 25, 28, 34, 42, 45 e 49
Bioquímica	01 e 41

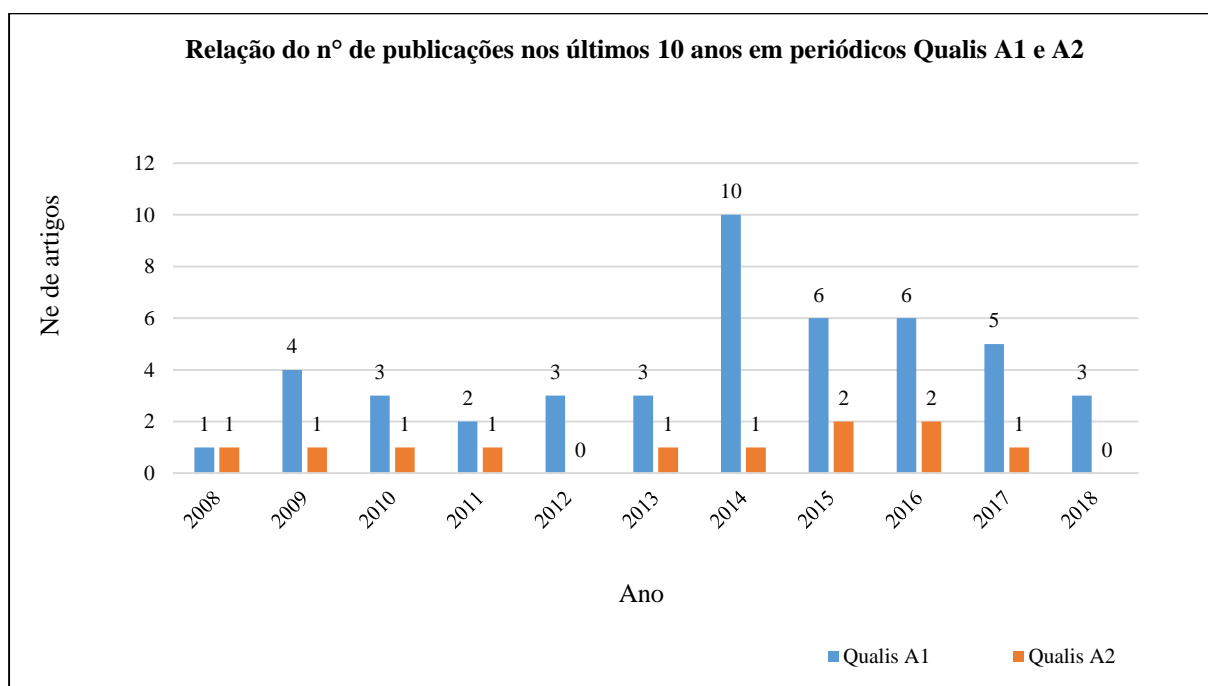
Fonte: Autora (2019).

No entanto, é oportuno esclarecer que nem todas as publicações tratam diretamente ou especificamente das reações de oxirredução. Em muitos casos, principalmente nos classificados em Nível 1 e que serão tratados a seguir, os artigos utilizam apenas exemplos ou menções de palavras-chave que se relacionam com as reações químicas citadas. Assim, nem todos os artigos classificados como práticos pesquisaram, por exemplo, as concepções ou as dificuldades dos estudantes ou dos professores sobre as reações de oxirredução.

5.1.2 Critérios III e IV – “Ano de publicação” e “idioma”

Para obter a frequência das publicações envolvendo os modelos mentais e as reações de oxirredução, fez-se uma análise das publicações nos periódicos destinados ao Ensino de Química e ao Ensino de Ciências nos últimos 10 anos (Critério I), separando-as de acordo com seus respectivos Qualis (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Relação do nº de publicações nos últimos 10 anos em periódicos destinados ao Ensino de Química e Ciências, Qualis A1 e A2



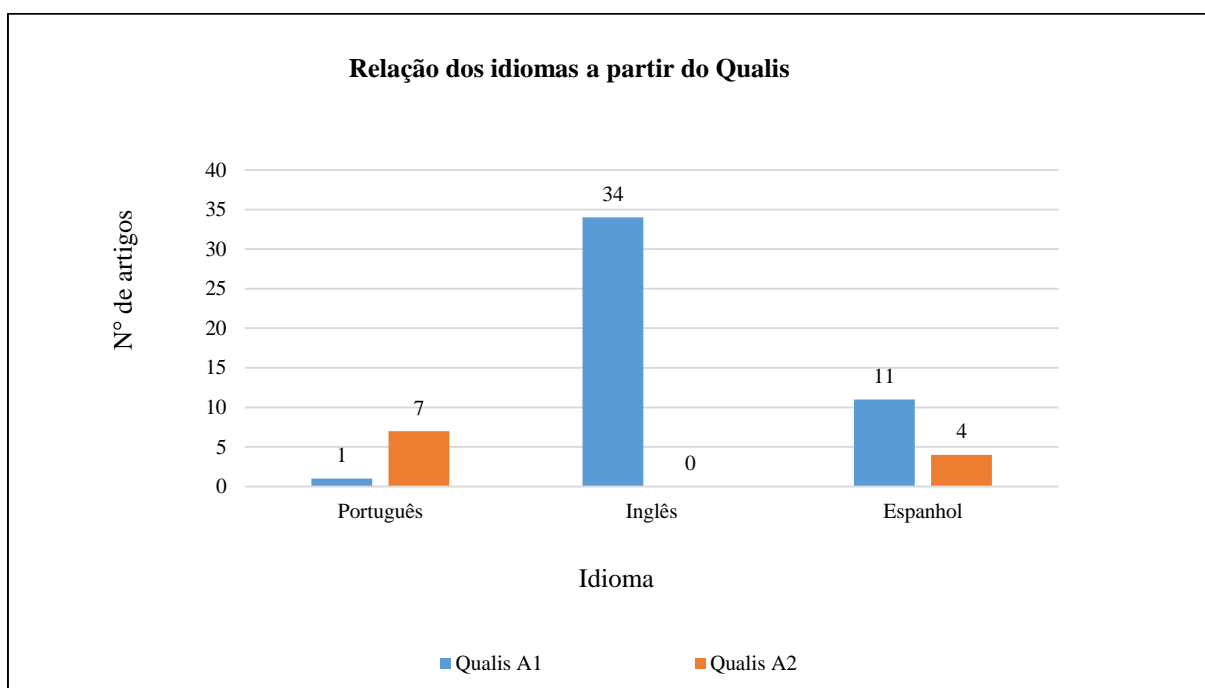
Fonte: Autora (2019).

Entre 2008 e 2018, as publicações em periódicos Qualis A1 que contemplam palavras-chave do Conjunto 1 e 2 são mais frequentes do que quando comparadas às publicações Qualis A2, principalmente entre os anos de 2014 e 2017. Salienta-se ainda, a diferença no número de publicações em revistas com estes Qualis nos últimos dez anos, pois 46 artigos foram publicados em periódicos Qualis A1 e 11 em Qualis A2.

Indo ao encontro do exposto, o Gráfico 2 faz um comparativo entre os idiomas encontrados em cada Qualis (Critério IV). Dos quarenta e seis artigos Qualis A1, trinta e quatro encontram-se na língua inglesa, onze na espanhola e apenas um na portuguesa e todos pertencem a periódicos internacionais (PA1-1, PA1-2, PA1-4 e PA1-7). Já as publicações

Qualis A2, dos onze artigos, sete apresentam-se em português e em periódicos brasileiros (Acta Scientiae, Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências e Revista de Educação, Ciências e Matemática) e quatro em espanhol, sendo que três pertencem à Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (PA2-8) e um à revista investigación em la Escuela (PA2-6).

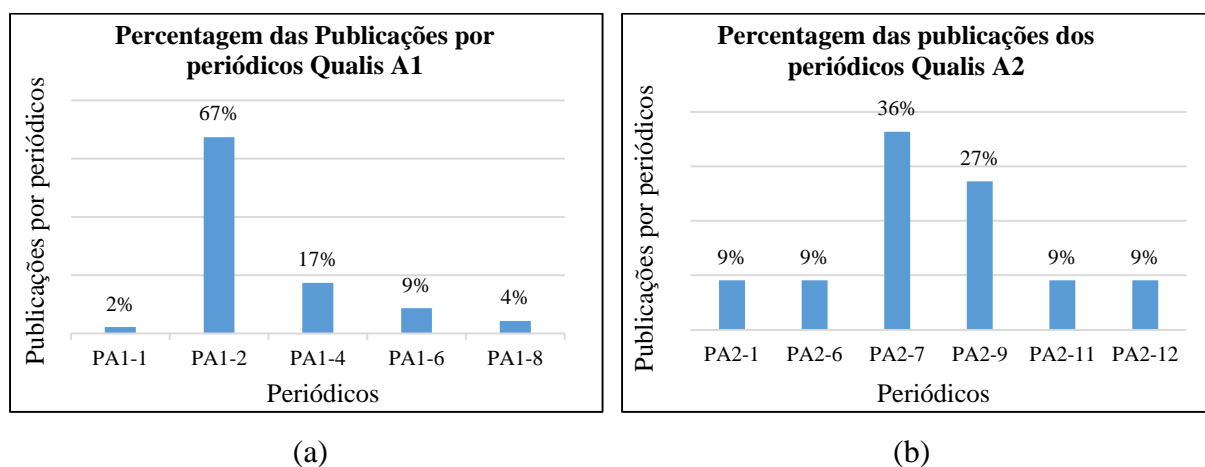
Gráfico 2 - Idiomas dos artigos analisados



Fonte: Autora (2019).

Os Gráficos 3a e 3b mostram que, das 46 publicações Qualis A1, trinta e um (67%) delas pertencem ao periódico PA1-2 e oito (17%) ao periódico PA1-4, ambos do Ensino de Química, justificando assim, a grande quantidade de artigos que apresentam alguma das palavras-chave relacionadas às reações químicas de oxirredução, apresentando 68,42% do total de trabalhos selecionados em ambos os Qualis apenas destes dois periódicos. Referente ao Qualis A2, dos onze artigos analisados, quatro (36%) são do periódico PA2-7 e três (30%) do PA2-9, ambos do Ensino de Ciências.

Gráfico 3 - Relação do número de publicações por periódicos nos últimos 10 anos em a) Qualis A1 e b) Qualis A2



Fonte: Autora (2019).

Deste modo, devido à quantidade limitada de trabalhos presentes em periódicos nacionais de Qualis A1 e A2, salienta-se o quão importante é esta pesquisa para o Ensino de Química, ao buscar apresentar as principais dificuldades, equívocos e concepções acerca do conteúdo de reações químicas de oxirredução atrelados aos modelos mentais.

Processo de fichamento 2

5.1.3 Critérios V e VI – “Modelos mentais” e “reações químicas de oxirredução”

Elaborados a partir da leitura dos textos, estes critérios permitiram organizar os artigos de acordo com o grau de aprofundamento das palavras-chave contidas nos Conjuntos 1 (modelos mentais, representações mentais e imagens mentais) e 2 (oxirredução, oxidação, redução, eletroquímica, pilhas, célula galvânica, agente oxidante e redutor, número e estados de oxidação e transferência de elétrons), organizando-os em diferentes Níveis, conforme mencionado anteriormente. O Quadro 18 mostra os trabalhos presentes em cada um dos quatro Níveis estabelecidos.

Conforme já mencionado, no decorrer da análise destes quatro Níveis, categorias e subcategorias emergentes foram elaboradas, desconsiderando-se também aquelas formadas por apenas um artigo. Salienta-se ainda que, pelo fato de todas as cinquenta e sete publicações abordarem os modelos mentais e as reações de oxirredução, mesmo que de forma simplória e desconexa, algumas categorias e/ou subcategorias constam em mais de um Nível e que um

mesmo artigo pode estar presente em mais de uma categoria e/ou subcategoria (desde que em um mesmo Nível).

Quadro 18 - Identificação dos artigos por Nível de aprofundamento

Nível	Descrição do nível em relação dos Conjuntos 1 e 2 de palavras-chave	Identificação do artigo	Total
1	Conjuntos 1 e 2 com pouco aprofundamento	03, 04, 05, 06, 07, 09, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 30, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55 e 56	41
2	Conjunto 1 com pouco ou nenhum aprofundamento e Conjunto 2 com elevado aprofundamento	08, 12, 29, 33 e 45	5
3	Conjunto 2 com pouco aprofundamento e Conjunto 1 com elevado aprofundamento	01, 10, 11, 16, 20, 41, 48 e 57	8
4	Conjuntos 1 e 2 com aprofundamento elevado	02, 25 e 31	3

Fonte: Autora (2019).

A seguir, cada Nível será descrito, apresentando-se suas categorias e subcategorias criadas, bem como suas análises e discussões, as quais poderão aparecer junto às subcategorias ou posteriormente à apresentação destas.

5.1.3.1 Nível 1 - Conjuntos 1 e 2 com pouco aprofundamento

Dos cinquenta e sete artigos selecionados, quarenta e um encontram-se no Nível 1. Ou seja, 70,68% dos trabalhos analisados apresentam pouco aprofundamento teórico de ambos os Conjuntos de palavras-chave, visto que em algum momento do texto tais palavras apareceram de forma simplória e desconexas umas das outras, sem maiores explicações sobre ambos os assuntos. Sabe-se ainda que trabalhos com meras citações e exemplificações apresentam poucas contribuições para a área de Ensino, mas por serem objetos de estudo desta pesquisa bibliográfica, não foram excluídos, fazendo-se presentes no decorrer da análise e discussão, significando que ainda é um campo ainda pouco estudado e justificando a importância desta pesquisa.

A grande quantidade de artigos presentes no Nível 1 permitiu averiguar a discrepância entre as publicações nos demais Níveis formados, as quais acarretam um pouco mais de aporte

teórico para ambos os Conjuntos de palavras-chave. O Quadro 19 traz as quatro categorias elaboradas para este primeiro Nível, bem como suas respectivas subcategorias.

Quadro 19 - Resumo das categorias e subcategorias do Nível 1

Nível	Categoria	Subcategoria	Artigos
1	1 - Reações de oxirredução	1.1 - Química Orgânica	06, 09, 21, 22, 23, 35, 36, 38, 44 e 53
		1.2 - Química inorgânica	17, 32, 47, 49 e 55
		1.3 - Química Analítica	28
	2 - Modelos mentais	2.1 - Processo cognitivo	03, 07 e 39
		2.2 - Estratégia de ensino	03, 06, 07, 14, 19, 21, 26, 27, 28, 35, 36, 37, 38, 43, 44, 52, 54 e 56
		2.3 - Representações mentais	17, 23, 34 e 40
		2.4 - Outros conteúdos	04, 06, 13 e 32
		2.5 - Outras teorias de aprendizagem	18, 24 e 42.
	3 - Exemplificações	-	03, 04, 05, 07, 09, 13, 18, 24, 26, 27, 30, 34, 37, 39, 42, 43, 46, 52 e 54
	4 - Outras pesquisas	-	03, 14, 15, 19, 22, 34, 40, 46, 47, 50, 51, 52 e 56

Fonte: Autora (2019).

Categoria 01 - Reações de oxirredução: Formada por 16 artigos, esta categoria mostra a inserção do conteúdo de reações de oxirredução em algumas subáreas da Química, como na Química Orgânica, Inorgânica e Analítica, sendo estas as duas subcategorias criadas para melhor demonstração e análise dos dados.

1.1) Química Orgânica: Os artigos 06, 09, 21, 22, 23, 35, 36, 38, 44 e 53 relacionam os conceitos das reações de oxirredução à Química Orgânica, como por exemplo: projeção de Fischer (artigos 06 e 21), estados de oxidação de carbonos (artigos 09 e 36), reações orgânicas (artigos 22, 23, 35, 38 e 44), além das dificuldades encontradas pelos estudantes frente a oxidação das substâncias orgânicas (artigo 53).

1.2) Química Inorgânica: cinco artigos (17, 32, 47, 48 e 55) associam tais reações à subárea da inorgânica, os quais são: transformações químicas (artigo 17), transferências de

elétrons em ligações iônicas (artigo 32), lei de conservação das massas (artigo 47), oxidação do iodo (artigo 48) e oxidação entre o oxigênio e o fogo (artigo 55).

1.3) *Química Analítica*: Por outro lado, neste Nível 1, apenas 1 artigo relaciona os conceitos de oxirredução à eletroquímica, sendo o caso do artigo 28.

Conforme observado, todos os artigos da primeira categoria atrelam de alguma forma os conceitos das reações de oxirredução em diferentes subáreas da Química, como Orgânica, Inorgânica e Analítica, conforme mostram os seguintes recortes dos textos:

Artigo 06: “A cadeia de carbono principal definida na nomenclatura é representada verticalmente; o carbono com o maior número de oxidação é colocado no topo do eixo vertical.” (Salah & Alain, 2016, p. 868, tradução nossa).

Artigo 47: “Com relação à reação de oxidação em um sistema fechado envolvendo como reagentes um gás e um sólido, com um grau maior de complexidade, a concepção a priori expressa na literatura revela que os estudantes podem apresentar inconsistência na aplicação da lei de conservação das massas.” (Santos & Silva, 2014, p. 141).

Artigo 28: “Os professores precisam saber que os alunos devem saber o que é a reação redox antes de aprender as células eletroquímicas”. (Sevian & Couture, 2018, tradução nossa)

O primeiro recorte fala sobre a variação do número de oxidação dos átomos de carbono para a projeção de Fischer, já o segundo aborda a aplicação da lei de conservação das massas em reações de oxirredução, enquanto que o último, fala da importância de os estudantes compreenderem as reações de oxirredução antes de entrarem em contato com as células eletrolíticas.

Nos três casos, assim como os demais artigos presentes nesta categoria, há citações superficiais dos conceitos que envolvem oxirredução, pois são brevemente mencionados, sem um maior aprofundamento. Em nenhum momento dos artigos foram observadas explicações teóricas de como ocorre o processo de oxidação e redução nas moléculas orgânicas e nem nos demais conteúdos citados, como no caso da eletroquímica, conteúdo este totalmente dependente de tais conceitos.

Por outro lado, é válido enfatizar que, embora com tal superficialidade, é possível observar a diversidade de aplicações deste conteúdo em diferentes subáreas, estando presentes em vários processos químicos, por se tratar de um tipo de reação química de grande relevância para o entendimento de muitos outros conceitos da Química.

Nesta perspectiva, Mendonça, Campos e Jófili (2004) afirmam ser pertinente que o conceito de oxirredução na química orgânica seja uma extensão da química inorgânica, não podendo ser trabalhado de forma diferenciada e fragmentada, visto que para que haja uma

melhor compreensão por parte dos estudantes, é necessário trabalhar o fenômeno da transferência de elétrons, bem como a variação do número de oxidação do carbono.

Olhando-se para as subcategorias criadas, nota-se uma grande diferença quanto aos trabalhos presentes em cada uma delas, porque na maioria dos casos as reações químicas de oxirredução são trabalhadas na Química Orgânica e na Química Analítica, principalmente no conteúdo de eletroquímica. Porém, isto não é verificado aqui e estes dados vão de encontro aos dados obtidos por Klein e Braibante (2017) ao analisarem as subáreas de 52 trabalhos envolvendo as reações de oxirredução, as quais averiguaram que 70% tinham como foco a Química Inorgânica e apenas 18% a Química Orgânica.

Categoria 2 - Modelos Mentais: Vinte e nove artigos encontram-se nesta categoria, cuja finalidade é examinar como os modelos mentais são utilizados em cada um destes trabalhos. Aqui, cinco subcategorias foram elaboradas para melhor explicar os dados obtidos.

2.1) Processo cognitivo: Formada pelos artigos 03, 07 e 39, observa-se que os modelos mentais são vistos como uma abstração na forma em que uma pessoa imagina um problema no processo cognitivo no primeiro, enquanto que nos outros dois, as representações mentais são trabalhadas como uma forma de possibilitar em uma mudança cognitiva a partir da experiência.

De origem latina, a cognição deriva de *cognitione* que, segundo Junior e Colvara (2010), significa a aquisição de um conhecimento pela percepção, isto é, pode ser interpretada como um conjunto de processos mentais que envolve atenção, percepção, memória, raciocínio, juízo, imaginação, pensamento e linguagem. Pensando no ambiente educacional, Johnson-Laird (2010) explica que os modelos mentais são uma forma pessoal e individual de representar internamente o mundo externo, pois cada estudante é capaz de construir um modelo mental diferente para determinado conteúdo, passando a enxergar as possibilidades à sua frente e tirando suas próprias conclusões. Essa capacidade vai ao encontro do proposto no artigo 03, pois para que um problema seja imaginado e resolvido, é preciso que modelos mentais sejam formados na estrutura cognitiva, permitindo ao estudante ter em mente o que já fez, o que está fazendo e o que ainda irá fazer. Todavia, para que um indivíduo tenha maturidade de visualizar isso, ele deve ter experiências capazes de levar a uma mudança cognitiva por meio das representações mentais formadas.

Por estarem associados à cognição, os três trabalhos presentes nessa subcategoria confirmam que na Ciência Cognitiva os modelos mentais têm a função de ajudar as pessoas a compreenderem o que está ao redor delas, sendo impossível separá-los da cognição, porque estes modelos são representações de alto nível que facilitam o entendimento da cognição

humana, isto é, fazem parte da psicologia Cognitiva (BORGES,1997; JUNIOR; COLVARA, 2010; MOREIRA, 1996).

2.2) *Estratégia de ensino*: Formada por dezoito artigos (03, 06, 07, 14, 19, 21, 26, 27, 28, 35, 36, 37, 38, 43, 44, 52, 54 e 56), esta subcategoria enfatiza o uso e a importância das representações mentais no âmbito educacional. Ao mesmo tempo, esta categoria complementa o que foi mencionado na subcategoria 2.1, em virtude da relevância da Ciência Cognitiva na utilização dos modelos mentais no processo de ensino e aprendizagem.

Para compreender o quanto as diferentes formas de representações mentais são importantes para o desenvolvimento cognitivo, é preciso entender suas definições e o que cada uma representa. Por esse motivo, considerando que as funções e os significados de cada uma diferem e que são de extrema necessidade para o entendimento de conteúdos abstratos, como no caso da Química, cada artigo será apresentado conforme suas diferentes abordagens representacionais.

Considerando as representações mentais no sentido mais amplo, estas são vistas nos artigos 07, 14, 36, 37 e 44 como táticas educacionais de grande valia para o Ensino de Química. Os artigos trazem ainda que os professores são a chave principal para que as representações sejam aliadas ao ensino, os quais devem saber explorar as estruturas cognitivas dos seus estudantes, reconhecendo seus conhecimentos, equívocos e representações mentais. No trecho em destaque (artigo 07), pode-se averiguar a importância de tais representações para o processo de ensino e aprendizagem na área da Química.

Artigo 07: No trabalho educacional, então, é útil ter uma visão mais ampla do que entendemos por conhecimento para abranger aquelas representações mentais de aspectos do mundo, relevantes e importantes para o trabalho de ensinar assuntos como a química [...]. (TABER, 2014, p. 450)

Já os artigos 03, 06, 26, 27, 28, 52 e 56 relatam que, por despertarem a imaginação, as imagens mentais são utilizadas como estratégias de ensino por facilitarem a formação de modelos mentais, contribuindo também para resolver problemas, como pode ser verificado a partir do seguinte trecho:

Artigo 28: Uma imagem mental auxilia na orientação de um processo de solução de problemas. (SEVIAN; COUTURE, 2018, p. 1032)

Quanto aos modelos mentais, o uso destes dá suporte aos conteúdos de Química, por serem extremamente abstratos e isso pode ser constatado nos artigos 19, 21, 43 e 54, conforme ilustrado a seguir:

Artigo 19: *Para entender as forças intermoleculares, os estudantes precisam ter um modelo mental da matéria, composto de partículas, como átomos, moléculas e íons.* (SCHMIDT *et al.*, 2009, p. 265).

Além disso, tanto o artigo 35 quanto 38 relacionam os modelos mentais com raciocínio. O primeiro menciona que os modelos mentais podem ser ou não influenciados por suposições e estratégias de raciocínio, pois em um ambiente de aprendizagem, os estudantes utilizarão as mais relevantes, dependendo da situação. Já o segundo aborda que a interação entre a obtenção e a organização de experiências relevantes por meio da criatividade e do raciocínio conduzem à elaboração de um modelo mental inicial, cabendo ao professor fornecer materiais para que isso seja possível.

Considerando o proposto no artigo 38, é importante deixar claro que, segundo Moreira (1996), pelo fato dos modelos mentais evoluírem naturalmente, muitas vezes acabam sendo limitados devido à experiência prévia com sistemas similares, impedindo o desenvolvimento dos modelos iniciais e, por isso, o papel do professor se faz necessário e importante, para que possa auxiliar, direcionar e subsidiar na formação dos modelos mentais dos estudantes.

Para compreender o quanto as imagens e as representações mentais são importantes para o desenvolvimento cognitivo, é preciso entender seus significados e o que representam e, conforme já mencionado, as representações mentais podem acontecer sob três formas: representações proposicionais, modelos e imagens mentais. Por esse motivo, cada artigo presente nesta subcategoria faz uma abordagem diferente em relação as formas de representações utilizadas como estratégia de ensino, pois as funções e os significados de cada uma delas são diferentes, mas ao mesmo tempo importantes para o entendimento dos conceitos abstratos trabalhados no Ensino de Química.

Assim, pelo fato de cada indivíduo raciocinar tentando encontrar possibilidades compatíveis com seus conhecimentos prévios, suas crenças e culturas, as diferentes formas de representações o ajudam a guiar o uso das coisas ou entendê-las. Por exemplo, em uma aula de Química, cujo conteúdo é “modelo atômico de Bohr”, o estudante poderá desconhecer parcial ou totalmente o assunto, apresentando nenhum ou pouco conhecimento prévio. Aos poucos passará a formar suas representações, sendo necessária compreensão linguística e percepção, conforme o grau de abstração, pois estas levam a um modelo mental e o pensamento e o raciocínio são manipulações internas dos modelos mentais (JOHNSON-LAIRD, 1983).

Em um primeiro momento, cada estudante formará um modelo mental de como é e como funciona este modelo atômico, podendo estar correto ou não. Conforme outros aspectos são

apresentados, seus modelos serão modificados ou não, isto é, evoluirão ou não, levando a uma mudança cognitiva que pode ser a desejada pelo processo educacional.

Pensando-se nesta Categoria 2.2 de forma geral, o pensamento de Santos, Melo e Andrade (2015) se faz pertinente, pois afirmam que o uso dos modelos mentais como estratégia para o Ensino de Química é de suma relevância, por possibilita explicar e entender como se desenvolve o pensamento e o raciocínio diante de determinado fenômeno químico.

Logo, conforme já mencionado, tanto nos objetos de estudo desta pesquisa bibliográfica, como nos pressupostos teóricos que guiam a Teoria dos Modelos Mentais, pode-se dizer que, para que as diferentes formas de representações sejam consideradas aliadas do processo de ensino e aprendizagem, o professor tem papel fundamental. É ele quem ajudará os estudantes na construção de modelos mentais mais ricos e adequados em termos de conhecimento. Borges (1999) afirma que, pelo fato dos estudantes raciocinarem com base em modelos mentais, é preciso favorecer a formação deles durante o ensino e para isso o professor também deve ter em mente um modelo mental de como um modelo mental se forma. Acontece que, infelizmente, a maioria dos professores desconhece a importância de promover a formação de modelos mentais, muito ainda nem sabem o que significam e/ou como melhorá-los (SANTOS; MELO; ANDRADE, 2015).

2.3) Representações mentais: formada por quatro artigos (17, 23, 34 e 40), esta categoria aborda as representações mentais em diferentes aspectos, seja a partir do uso de novas tecnologias ou por meio dos conhecimentos prévios dos indivíduos, como também na utilização destas para representar conceitos.

O uso de novas tecnologias é visto no artigo 17 como uma alternativa para a elaboração de representações mentais no Ensino de Química pelo fato desta ser uma Ciência que envolve o nível submicroscópico, seja em relação à átomos, a elétrons, a íons, a prótons, etc. Essa abstração dificulta a aprendizagem e a utilização de novas tecnologias é um recurso muito importante por possibilitar a visualização microscópica dos conteúdos, como por exemplo, a transferência de elétrons entre um agente oxidante e um agente redutor.

Segundo Moreira (1996), as representações mentais de cada indivíduo podem ser modeladas a partir de seus comportamentos e verbalizações e, além disso, podem ser simulados em computadores. Corroborando com esta ideia, Fernandes (2000) complementa que tais recursos são uma perspectiva mais detalhada no estudo dos modelos mentais, pois permitem ao estudante fazer uma simulação mental de um determinado assunto, ajudando-lhe a desenvolver um raciocínio consistente e mais completo, tornando-o capaz de inferir, de predizer e de explicar diferentes situações (FERNANDES, 2000). Isto é, por serem idiossincráticos, o uso de

novas tecnologias ajuda o indivíduo a fazer comparações entre o que está sendo simulado e seus modelos mentais a partir da visualização de tudo o que é impossível observar e entender, auxiliando na construção de modelos mentais mais próximos dos modelos conceituais, além de contribuir para que a aprendizagem seja cada vez mais significativa.

Os artigos 34 e 40 estão atrelados aos conhecimentos prévios que permitem a representação de determinados conceitos. Para o primeiro, o conceito "cadeira" não é uma representação mental de uma cadeira em particular, enquanto que para o segundo, quando uma pessoa menciona as palavras que definem um conceito, ela precisa recorrer às suas conceituações anteriores, podendo apresentar dois significados: o conhecimento aceito culturalmente/cientificamente e o que envolve a dimensão pessoal, referindo-se às representações mentais. Por sua vez, o artigo 23 faz uma breve menção sobre o uso das representações mentais na abordagem de conceitos, sem maiores explicações a respeito do assunto.

Desta forma, pensar na utilização de representações mentais que contribuam para o processo de ensino e aprendizagem é fundamental, pois são uma forma que a mente humana tem para adquirir entendimento, são as diferentes formas de “re-presentar” na imaginação o mundo externo, fazendo o sujeito transformar o “real” em matéria mental, ordenando e organizando seus estímulos, produzindo sua experiência de vida, sua cultura e sua visão de mundo para conseguir representar, a partir de seus conhecimentos prévios, uma noção de “cadeira” de uma forma diferente (ARANHA, 2010). Esse tipo de representação forma-se, segundo Tauceda e Del Pino (2013), a partir de interações entre os conhecimentos anteriores e os novos, as quais se transformam e se relacionam.

2.4) Outros conteúdos: A análise dos trabalhos contidos no Nível 1, com pouco aprofundamento teórico em relação a ambos os conjuntos de palavras-chave, possibilita averiguar que os modelos mentais podem ser trabalhados a partir de outros conteúdos de Química, e não apenas envolvendo os conceitos de oxirredução, como pode ser evidenciado nos artigos 04, 06, 13 e 32.

Os conteúdos presentes nos artigos desta categoria, são: ligações iônicas (artigo 04), projeção de Fischer (artigo 06), orbitais atômicos (artigo 13) e construção de moléculas (artigo 32), ressaltando-se a abrangência da utilização da TMM no Ensino de Ciências, especialmente em Química, podendo ser explorada a partir de inúmeros outros conceitos trabalhados nessa área e contribuindo para um processo de ensino-aprendizagem mais significativo.

Destaca-se que os conteúdos mencionados em tais artigos são muito importantes para o Ensino de Química, porém apenas o artigo 04 será detalhado, pelo fato de envolver o processo

de transferência de elétrons nas ligações iônicas, característica principal das reações envolvendo os processos de oxidação e redução. Assim como nas ligações iônicas, um dos aspectos associados às reações de oxirredução trata-se da transferência de elétrons de uma espécie para outra, ocasionando, respectivamente, na perda e ganho de elétrons das espécies envolvidas (SARTORI; BATISTA; FILHO, 2008). É importante esclarecer que esse tipo de reação química não acontece somente entre substâncias iônicas, mas também em substâncias moleculares, verificada em diversas reações orgânicas, como por exemplo, o teste do bafômetro que leva a oxidação do etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) a aldeído (CH_3CHO), duas substâncias moleculares (BRAATHEN, 1997).

2.5) *Outras teorias de aprendizagem*: Os artigos 18, 24 e 42 presentes na última subcategoria, integram a Teoria dos Modelos Mentais a outras teorias de aprendizagem.

Por exemplo, tanto o artigo 18 quanto o 42 fazem relação à Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. O primeiro aborda a construção de conceitos científicos fazendo uma conexão entre os campos conceituais e as representações mentais, enquanto que o segundo menciona o uso de resoluções de problemas na construção de um modelo mental. Outra associação foi observada no artigo 24 por meio da Teoria da Aprendizagem significativa (TAS) de Ausubel, ao relatar que a mesma só é alcançada há integração entre as representações mentais e os conhecimentos prévios dos estudantes.

Com base na Teoria dos Campos Conceituais, a organização do conhecimento ocorre a partir de “campos conceituais”, cujo domínio se dá em um longo período de tempo, por meio da experiência, maturidade e aprendizagem (MOREIRA, 1996). Numa tentativa de articular ambas as teorias, Greca e Moreira (2002, p. 43) propuseram que

“[...] enquanto os esquemas se mantêm como estruturas na memória de longo prazo, com teoremas e conceitos-em-ação (sendo que estes teoremas e conceitos-em-ação contêm informação tanto de propriedades do mundo físico como de relações matemáticas), no momento de enfrentar-se com uma situação nova os sujeitos geram representações na memória de curto prazo, os modelos mentais da situação em questão, modelos de trabalho para a resolução da tarefa.”

Reforçando essa ideia, Moreira (2002) relata ainda que os modelos mentais possuem os teoremas-em-ação, que são proposições tidas como verdadeiras sobre o real e, à medida que o sujeito adquire novos conhecimentos, seus modelos mentais tendem a se aproximarem dos modelos científicos. Nesse sentido, a resolução de problemas visa analisar as dificuldades dos estudantes em termos de teoremas-em-ação, buscando verificar os modelos mentais construídos frente a uma nova situação, bem como a evolução dos modelos explicativos dos mesmos ao

longo de uma atividade de ensino (CARVALHO Jr; AGUIAR Jr., 2008; MOREIRA, 2002, 1996).

Além do mais, destaca-se também que, dentre os conceitos-chave da teoria de Vergnaud, estão as representações computáveis para gestos e ações do mundo, além de comportamentos verbais e interações sociais que podem ser corretas ou não e, devido a isso, estão relacionadas aos modelos mentais, pois ambas fazem inferências, isto é, preveem futuros eventos, geram ou evitam condutas (MOREIRA, 2002).

Quanto à Teoria da Aprendizagem Significativa, os modelos mentais apresentam as visões das pessoas em uma determinada realidade e, para isso, as concepções pessoais são importantes, porque suas interações com o ambiente num todo, seja com outras pessoas e/ou com artefatos tecnológicos, levam aos indivíduos a formarem, internamente, seus modelos mentais (NORMAN, 1983). Um dos fatores mais importantes para o processo do ensino e aprendizagem é, portanto, a bagagem de conhecimento do indivíduo, pois a aprendizagem significativa ocorre quando uma nova informação se relaciona com um aspecto relevante de sua estrutura cognitiva (MOREIRA, 1997).

Para Moreira (1996), a aprendizagem significativa implica na construção de modelos mentais. Nesse sentido, de acordo com a importância das representações mentais para o processo cognitivo e considerando suas limitações com os conhecimentos prévios, ambas as teorias acabam se relacionando, pois quando uma pessoa é capaz de explicar e fazer previsões sobre um sistema, é porque tem um modelo mental desse sistema, ou seja, possui uma representação mental análoga a ele em termos estruturais e isso é evidência de aprendizagem significativa (MOREIRA, 1997).

Outras características que permitem relacionar os modelos mentais à TAS, são pelo fato de serem inacabados, ou seja, evoluem à medida que o indivíduo passa a interagir com o sistema, adquirindo conhecimentos e os incorporando a sua estrutura mental (MOREIRA, 1996). Moreira e Lagreca (1998) afirmam ainda que, quando um estudante não constrói um modelo mental de um determinado estado de coisas, suas representações mentais não são muito elaboradas e nem indicam indícios de aprendizagem significativa, mas quando é capaz de formar modelos mentais com algum poder explicativo, coerentes com os modelos conceituais aceitos, daí sim esse tipo de aprendizagem será evidenciado.

Seja a partir da relação com a Teoria dos Campos Conceituais ou com a Teoria da Aprendizagem Significativa, em ambos os casos estas objetivam entender como se dá a aprendizagem em um ambiente educacional. Quando atrelada a outras teorias, isto é, a um outro

viés, a TMM torna-se mais abrangente e significativa para compreender como ocorre o conhecimento nos indivíduos a partir das suas percepções, entendimentos e interpretações.

Categoria 03 - Exemplificação: Com um total de dezenove artigos (03, 04, 05, 07, 09, 13, 18, 24, 26, 27, 30, 34, 37, 39, 42, 43, 46, 52 e 54), esta categoria baseia-se na apresentação de exemplos utilizados pelos autores, atrelados às palavras-chave, principalmente do Conjunto 2, pois, exceto o artigo 09, todos os demais exemplificam a partir de conceitos presentes nas reações de oxirredução.

Mesmo tratando-se apenas de exemplos, não trazendo maiores contribuições para esta pesquisa bibliográfica, estes trabalhos ajudam a mostrar a versatilidade das reações de oxirredução, pois sua aplicabilidade é extremamente ampla e isto pode ser observado a partir dos exemplos encontrados, os quais estão elencados no Quadro 20.

Quadro 20 - Exemplos citados nos artigos presentes no Nível 1 a partir da Categoria 3

	Exemplos	Artigo(s)
Oxidação de/o:	Oxigênio	07
	Álcoois	03
	Ácido benzoico	18
	Átomos de carbono	09
	Ferro	34, 37, 39, 42 e 43
	Ozônio (O ₃)	30
Eletroquímica	-	27, 46, 52 e 54
Redução da acetona	-	05
Oxidação – redução	Reações	24 e 26
	Transferência de elétrons	04
	Anódica reversível	13
Modelos mentais	-	09

Fonte: Autora (2019).

Categoria 04 - Outras pesquisas: Formada pelos artigos 03, 14, 15, 19, 22, 34, 40, 46, 47, 50, 51, 52 e 56, esta categoria abrange os trabalhos que possuem as palavras-chave relacionadas aos modelos mentais ou às reações químicas de oxirredução, porém mencionadas a partir de outras pesquisas, sem nenhum aprofundamento teórico envolvendo os assuntos citados, isto é, em determinado momento do artigo há menção de algumas das palavras-chave, porém em citações diretas de outras obras utilizadas pelos autores.

Alguns trabalhos, no entanto, por possuírem mais vezes palavras-chave relacionadas aos Conjuntos 1 e 2, encontram-se inseridos em mais de uma categoria, como pode ser verificado a presença do artigo 03 nas categorias “modelos mentais” e “outras pesquisas”, pois há mais

vezes o aparecimento de palavras relacionadas aos modelos mentais no texto. Na presente categoria, os modelos mentais são citados no decorrer do referencial teórico, porém por outros autores, conforme pode ser averiguado no artigo 03 a seguir:

Artigo 03: Christian e Talanquer (2012) estudaram as abordagens de raciocínio usadas por estudantes de graduação [...]. Eles observaram quatro abordagens de raciocínio nos estudantes: [...] (3) raciocínio baseado em regras depende de padrões de comportamento induzido a partir de experiências ou modelos mentais [...]. (SEVIAN et al., 2015, p. 430).

Por outro lado, no artigo 15, a única vez que é encontrada uma palavra que faz menção às reações de oxirredução é por meio de uma referência utilizada no texto e, por isso, esse artigo não está presente na categoria das reações de oxirredução. A partir do trecho a seguir é possível verificar o exposto:

Artigo 15: Belt et al. (2005) por exemplo, desenvolveram uma abordagem baseada no contexto para ensinar aspectos da termodinâmica, cinética e eletroquímica aos cursos de graduação iniciais. (TSAPARLIS; FINLAYSON, 2014, p. 263)

O artigo 50, todavia, está presente apenas nesta categoria. O mesmo faz uma análise sobre o Ensino de Química no Brasil e apresenta nos títulos das dissertações e teses encontradas, palavras relacionadas a ambos os Conjuntos de palavras-chave. Por exemplo, alguns dos objetos de estudo analisados neste artigo foram os trabalhos intitulados “Modelos mentais e visualização molecular: uma estratégia para ensinar química orgânica” e “O conceito de oxidação nos livros didáticos de química orgânica do Ensino Médio”. Ou seja, os títulos estão presentes no decorrer do texto do artigo 50 apenas. A mesma situação pode ser constatada nos artigos 40 (referente ao Conjunto 2 de palavras-chave) e 51.

Fazendo-se uma análise geral do Nível 1, apesar de conter um número considerável de artigos, em nenhum momento no decorrer das leituras foram encontradas relações entre as palavras-chave contidas nos Conjuntos 1 e 2. Isto é, todos os artigos contemplam em algum momento algumas destas palavras, mas são completamente independentes, sem nenhuma relação. Além do mais, estes artigos não tratam do conteúdo das reações químicas de oxirredução e nem da Teoria dos Modelos Mentais diretamente, pois não tinham seus títulos e objetivos atrelados a estas.

5.1.3.2 *Nível 2 - Conjunto 1 com pouco ou nenhum aprofundamento e Conjunto 2 com elevado aprofundamento*

Assim como no Nível 1, nos trabalhos presentes neste segundo Nível não há ou há pouca interação entre os dois conjuntos de palavras-chave, visto que somente o Conjunto 2, relacionado às reações químicas de oxirredução, possui um pouco mais de aprofundado teórico quando comparado ao primeiro. Ou seja, as palavras identificadoras dos modelos mentais aparecem de forma sucinta e não contemplam muitas explicações sobre, ao contrário das reações de oxirredução, as quais encontram-se mais presentes e explanadas nos textos.

Constata-se também que, conforme buscamos um nível maior de aprofundamento sobre os modelos mentais e/ou sobre as reações de oxirredução, a quantidade de artigos diminuiu consideravelmente. Ao todo, cinco artigos (08, 12, 29, 33 e 45) constam no Nível 2 e, após leitura, duas categorias foram elaboradas – dificuldades e estratégias de ensino – a primeira relaciona-se às reações de oxirredução e a segunda, aos modelos mentais (Quadro 21).

Quadro 21 - Resumo das categorias e subcategorias do Nível 2

Nível	Categoria	Artigos
2	1 – Dificuldades	08, 12, 29, 33 e 45
	2 – Estratégias de ensino	08, 12, 29, 33 e 45

Fonte: Autora (2019).

Baseando-se na leitura interpretativa dos textos, a seguir cada uma destas categorias será descrita e analisada.

Categoria 01 - Dificuldades: Formada a partir das palavras-chave do Conjunto 2 e, por envolver artigos que apresentam aprofundamento teórico sobre oxirredução, bem como de conteúdo e conceitos relacionados a estas, todos os cinco artigos (08, 12, 29, 33 e 45) presentes no Nível 2 encontram-se também nesta categoria, pois todos trabalham com a questão das dificuldades dos estudantes frente às reações químicas de oxirredução.

No artigo 08, Kelly et al. (2017) examinaram o entendimento dos estudantes da disciplina de Química Geral ao utilizarem uma simulação envolvendo uma reação de oxirredução entre cobre sólido e nitrato de prata aquoso. Por meio dos dados obtidos, os autores chegaram na conclusão de que, na ausência de simulações, devido à abstração dos conceitos

presentes nesta reação, os estudantes apresentaram muita dificuldade em construir representações ricas em detalhes à nível molecular e, muitas vezes, não conseguiram distinguir átomos de íons ou moléculas da reação trabalhada.

Na mesma linha de pesquisa e com o mesmo público de sujeitos, o artigo 12 de Brandriet e Bretz (2014), investigou o entendimento de estudantes de química geral sobre reações de oxirredução a partir de um aplicativo avaliativo destas reações - ROXCI⁵. A análise feita pelos autores baseou-se na pontuação total das respostas, bem como na confiança dos estudantes na hora das respostas. A partir dos resultados, foram identificados três grupos: estudantes com (1) pontuação total moderada e alta confiança, (2) pontuação total baixa e baixa confiança e (3) pontuação total baixa, mas alta confiança. Todavia, os três grupos apresentaram conceitos errôneos em relação aos conceitos do conteúdo, como número de oxidação e transferência eletrônica.

Na tentativa de determinar os níveis de compreensão conceitual de graduandos de Química sobre compostos orgânicos em diferentes grupos funcionais, Akkuzu e Uyulgan, (2016, artigo 29), obtiveram baixos níveis de compreensão, além da presença de conceitos errôneos. Os autores associaram ainda as dificuldades encontradas à falta de compreensão de conteúdos de química geral, como por exemplo, oxidação e redução, impossibilitando-os de conseguir transferir satisfatoriamente seus conhecimentos no processo de aprendizagem de química orgânica.

Desenvolvido por Guerrero, Guerrero e Ramos (2018), o artigo 33 aborda a influência do uso das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no processo de ensino e aprendizagem de reações de oxirredução. Como resultado, os autores averiguaram a ocorrência de muitos conceitos errôneos em relação ao nível microscópico do mecanismo das reações de oxirredução, como por exemplo, o que acontece entre os átomos, os íons e os elétrons, contribuindo para induzi-los a erros de interpretação e compreensão do processo envolvido.

Por último, no artigo 45 Dow (2018) investigou o desenvolvimento das habilidades de resolução de problemas dos estudantes de Química da cidade de Taiwan sobre eletroquímica. O trabalho envolveu o uso de simulações sobre atividades experimentais e os autores detectaram que, na falta destes recursos, os estudantes têm muitas dificuldades sobre o conteúdo e, por conta disso, recomendam o uso de simulações para melhorar o processo de aprendizagem sobre o conteúdo.

⁵ Redox Concept Inventory (ROXCI): Avaliação de múltipla escolha contendo dezoito itens que medem as idéias dos alunos sobre números de oxidação, características de superfície de reações químicas, transferência de elétrons, o papel dos íons, ligações, etc, isto é, visa avaliar os conceitos simbólicos sobre o conteúdo.

Constata-se que todos os trabalhos citados se preocuparam com as dificuldades atreladas às reações de oxirredução, sendo que dois deles relacionaram e abordaram estas reações juntamente com outros conteúdos, como de eletroquímica (artigo 45) e de grupos funcionais orgânicos (artigo 29).

Quanto à eletroquímica, o entendimento deste conteúdo está diretamente relacionado às reações químicas de oxirredução, não sendo possível entendê-lo sem compreender, anteriormente, oxidação, redução, NO_x e transferência de elétrons, visto que a produção de corrente elétrica gerada resulta da transferência eletrônica entre as diferentes espécies químicas, isto é, só é gerada a partir de uma reação química de oxirredução. Por envolver o entendimento do mundo físico, o conteúdo de eletroquímica é de grande valia, pois possibilita o estabelecimento de conexões entre o cotidiano do estudante, suas experiências e seus conhecimentos prévios (SANJUAN et al., 2009). Entretanto, é considerado um conteúdo difícil em consequência da abstração dos conceitos de oxidação e redução, corrente elétrica, transferência de elétrons e potencial de redução (SANJUAN et al, 2009) e, por isso, o uso de novas tecnologias é considerada pelos autores pesquisados uma ferramenta eficaz no processo de construção destes conceitos.

Relacionado à química orgânica, o artigo 29 aborda os entendimentos e equívocos acerca do processo de redução e oxidação em grupos funcionais. Todavia, dificilmente os processos de oxidação e redução são trabalhados de forma explícita na Química Orgânica, pois, na maioria das vezes, os professores consideram que os estudantes já tiveram embasamento teórico em disciplinas como a Química Geral ou afim. Todavia, o estudante não tem conhecimento suficiente para fazer (sozinho) as integrações e relações desse conteúdo com as demais subáreas da Química, afetando suas experiências de aprendizagem subsequentes e, por isso, essa discussão é importante.

Nesse contexto, Anselme (1997) relata que sua experiência como professor de Química Orgânica lhe mostrou o quanto o entendimento sobre oxidação e redução é de difícil compreensão para os estudantes nesta subárea. Para ele, o domínio de conceitos e definições, como perda e ganho de elétrons, é relativamente simples, porém, em Química Orgânica pode ser muitas vezes frustrante e um dos motivos, segundo Menzek (2002), é a transferência de elétrons de um átomo para outro em compostos covalentes, como por exemplo, em moléculas orgânicas.

Klein e Braibante (2017) corroboram ao argumentarem que o mecanismo das reações de oxirredução em compostos orgânicos é diferente quando comparado aos inorgânicos, e que isso não vem sendo explorado por conta dos diversos modelos explicativos dessas reações,

como modelo de elétrons, modelo do número de oxidação, modelo do oxigênio e modelo do hidrogênio.

Destaca-se que os artigos 08, 12 e 29 complementam-se ao expor que os estudantes possuem conceitos errôneos sobre o processo de oxirredução. O primeiro aborda que o entendimento dessas reações é um desafio por conta da dificuldade de conceituá-la, enquanto que o artigo 12 aponta equívocos e dificuldades encontradas frente às variações do número de oxidação. Por último, o artigo 29 relata que os estudantes apresentam conceitos errôneos e pouco entendimento desde o início de seu curso (Química), fato este que acaba impedindo de os graduandos de estabelecerem relações com conceitos da Química Orgânica.

Os artigos 08, 33 e 45, por sua vez, relacionam a dificuldade dos estudantes à abstração dos conceitos a níveis microscópicos e defendem o uso de novas tecnologias para melhorar a aprendizagem das reações de oxirredução, pois estas propiciam a formação de imagens, melhorando a visualização e compreensão de conceitos abstratos e, conseqüentemente, a aprendizagem.

Estas dificuldades vão ao encontro dos resultados de inúmeras outras pesquisas realizadas sobre o assunto nos diferentes níveis de ensino e com diferentes públicos, como com estudantes quanto com professores de Química. Vários são os fatores que acarretam tais dificuldades e muitas vezes nem mesmo os professores se sentem seguros para trabalhar este conteúdo e acabam deixando-o de lado e, como conseqüência, é evidente que os estudantes também apresentarão dificuldades (AYDIN; BOZ, 2013; DE JONG; ACAMPO; VERDONK, 1995; KLEIN, 2016; ÖSTERLUNND; EKBORG, 2002; ÖZKAYA; ÜCE; ŞAHİN, 2003).

Categoria 02 – Estratégias de ensino: Esta categoria abarca o Conjunto 1 de palavras-chave - modelos mentais - e, assim como a categoria anterior, contempla todos os artigos do Nível 2. Porém, a forma como estes artigos abordam os modelos mentais é bastante superficial, não sendo averiguado nenhum aprofundamento teórico pertinente.

Considerando o uso de novas tecnologias, os trabalhos 08, 12, 33 e 45 apontam sua relevância para o desenvolvimento de modelos mentais coerentes e que integram os diferentes fenômenos químicos, como no caso das reações de oxirredução.

No artigo 12, Brandriet e Bretz (2014) argumentam que as dificuldades de aprendizagem auxiliam na formação de modelos mentais errôneos e, para isso, Guerrero, Guerrero e Ramos (2018) e Akkuzu e Uyulgan (2016) – artigos 33 e 29 – defendem a utilização de novas tecnologias capazes de ajudar o estudante a relacionar o teórico com o prático, reestruturando seus modelos mentais a partir da formação de imagens que melhoram a visualização dos conceitos.

Moreira (1996) pontua que os modelos mentais podem ser deficientes, com elementos desnecessários, errôneos ou contraditórios. Para tanto, o autor salienta haver a necessidade de que sejam desenvolvidos modelos conceituais, materiais e estratégias instrucionais que ajudem na construção de modelos mentais adequados e, para isso, conforme já salientado, o professor é fundamental, pois é ele que vai auxiliar na construção de modelos mentais cada vez mais próximos dos conceituais, tornando a aprendizagem mais significativa.

Em relação às novas tecnologias, Johnson-Laird (2013) defende que a utilização dessas permite ao indivíduo prever possibilidades e alternativas frente aos problemas que são impostos. Mas isso depende muito da forma como estas tecnologias são utilizadas, além das habilidades espaciais de cada indivíduo, pois são ferramentas de apoio, capazes de projetar um modelo de um sistema real e, respectivamente, possibilitam que o estudante descreva seu comportamento e funcionamento. Ingalls (2008) e Azevedo et al. (2010) mencionam que estes recursos são uma ferramenta exploratória de apoio à decisão que, quando entendida e usada corretamente, é capaz de projetar um modelo de um sistema real em um ambiente controlado e o uso destas permite descrever comportamentos de sistemas; construir teorias ou hipóteses a partir de comportamentos observados; e inferir comportamentos futuros.

Os artigos 12 e 29 mencionam ainda que, quando o professor contribui para a evolução dos modelos mentais de seus estudantes, múltiplos modelos passam a ser formados em relação ao que está sendo proposto em sala de aula, tornando a imaginação mais ampla para a construção de representações cada vez mais próximas aos modelos conceituais. Assim, durante este processo, é preciso considerar que os modelos mentais são essenciais para a compreensão da cognição humana, mas ao mesmo tempo são instáveis e, a partir de novas experiências, percepções e interpretações, são modificados, sendo impossível existir um único modelo mental para um determinado estado de coisas, mas sim vários, mesmo que apenas um deles represente da melhor forma possível esse estado de coisas (MOREIRA, 1996; MOREIRA; LAGRECA, 1998).

Percebe-se que, por mais que nenhum destes trabalhos tenham um bom e amplo referencial teórico sobre os modelos mentais, ainda assim é possível constatar a importância que estes possuem no âmbito educacional. As poucas palavras que fazem referência aos modelos mentais confirmam que processos de ensino-aprendizagem que levem em conta estratégias para facilitar a construção destes é uma ótima estratégia para o processo de ensino e aprendizagem, especialmente para a Química, por ser esta uma Ciência abstrata.

5.1.3.3 Nível 3 - Conjunto 2 com pouco aprofundamento e Conjunto 1 com elevado aprofundamento

Ao contrário do Nível 2, este Nível possui maior aprofundamento teórico sobre os modelos mentais quando comparado ao nível de aprofundamento sobre as reações de oxirredução. Oito artigos estão compondo este Nível 3 (01, 10, 11, 16, 20, 41, 48 e 57), e estão organizados em 3 categorias (Quadro 22).

Quadro 22 - Resumo das categorias presentes no Nível 3

Categoria	Artigos
1. Estratégia de ensino	01, 11, 16, 48 e 57
2. Modelos	10, 20 e 41
3. Exemplificações	01, 10, 11, 16, 20, 41 e 57

Fonte: Autora (2019).

Categoria 1 - Estratégia de ensino: Bem como a subcategoria 2.2 presente no Nível 1, os artigos que formam esta subcategoria - 01, 11, 16, 48 e 57 - apresentam a abordagem a partir das representações mentais como uma estratégia positiva para o processo de ensino e aprendizagem.

No artigo 01, Schönborn e Anderson (2010) apresentam como as representações externas colaboram com a descrição e comunicação do conhecimento científico no mundo externo por meio de simulações e realidade virtual. Relatam também que as representações são importantes para o desenvolvimento da capacidade cognitiva, pois permitem o desenvolvimento de modelos mentais mais completos.

Os artigos 11, 16, 48 e 57, por sua vez mostram a essencialidade dos modelos mentais no processo de ensino e aprendizagem em Química, pois levam à compreensão, ao raciocínio e às previsões dos conceitos químicos por meio dos níveis macroscópicos, simbólicos e microscópicos.

Para Körhasan e Wang (2016), artigo 11, os modelos mentais são vistos como uma maneira de representar o conhecimento de um indivíduo, os quais possuem função semelhante às simulações computacionais ao permitirem simular na mente. Os autores defendem a construção de modelos mentais no âmbito educacional, pois, assim como a estrutura atômica é

um conceito importante na Química, o professor deve ajudar o estudante a entendê-la por meio da construção de modelos mentais sobre o mundo atômico mais coerentes e organizados, porque eles podem apoiar a compreensão, o raciocínio e as previsões sobre outros conceitos. Mas, é preciso considerar que os modelos mentais nem sempre são corretos, fazendo-se necessário investigar a formação de modelos corretos e incorretos a fim de melhorar a aprendizagem para, assim, criar materiais que minimizem tais erros (KÖRHASAN; WANG, 2016).

Al-Balushi e Al-Hajri (2016) pontuam no artigo 16 que as representações externas, como por exemplo, as simulações, ajudam o estudante a visualizar o que os químicos visualizam, familiarizando-o com entidades submicroscópicas invisíveis e fazendo-o formar modelos mentais adequados, facilitadores do aprendizado desejado na Química e que permitem a tradução dos três níveis representacionais da química: macroscópica, simbólica e submicroscópica, visto que, não ser capaz de pensar em fenômenos químicos a partir dos três níveis simultaneamente é a fonte de muitos equívocos na química, corroborando para que muitos estudantes não consigam construir modelos mentais adequados.

Os autores do artigo 57 destacam que os modelos mentais e visuais são utilizados em diversas áreas da Ciência, mas na Química seu uso é essencial (SANTOS *et al.*, 2017), como por exemplo, para o ensino de teoria atômica, uma vez que não há comprovação e convicção de que o átomo exista ou como ele seja. Para estes, os modelos são parecidos com as analogias, criados para explicar determinados fenômenos, pois são construídos a partir do discurso e da percepção.

Aragón, et al. (2010) utilizaram a modelagem para trabalhar as transformações químicas na pesquisa realizada no artigo 48 e, com isso, foi realizado uma discussão a respeito dos modelos mentais gerados durante as atividades envolvendo analogias, com o intuito de estabelecer sistemas de representações que ajudem a atribuir significados apropriados aos símbolos utilizados e, conseqüentemente, que favoreçam a evolução dos modelos mentais nos estudantes, melhorando a aprendizagem.

Com base nos artigos presentes nesta primeira categoria, exceto o artigo 01, todos os demais expõem a compreensão científica dos conhecimentos químicos a partir das representações mentais. É válido lembrar que as representações se classificam em externas e internas e que cada indivíduo é capaz de transformar as primeiras nas segundas, utilizando-as para raciocinar sobre o mundo externo. Por permitirem ao estudante de visualizar internamente o conhecimento científico, o uso das representações externas e dos modelos mentais é muito significativo no processo de ensino e aprendizagem, ou seja, são uma ponte para a construção de melhores modelos mentais.

Além disso, mesmo que de forma indireta, esse tipo de representação também apresentam a relevância dos fenômenos microscópicos para a aprendizagem porque, por se tratar de uma ciência que, em grande parte, é abstrata e complexa, a construção de modelos mentais envolvendo o mundo atômico possibilita o entendimento dos demais conteúdos de Química. No caso das reações químicas de oxirredução, entender a transferência de elétrons entre os átomos torna a aprendizagem menos complicada, contribuindo para facilitar a visualização de algo impossível de ver.

Corroborando com esta ideia, Julián, Crespo e Pozo (2002) afirmam que um dos objetivos do Ensino de Química é permitir aos estudantes a interpretação dos fenômenos macroscópicos a partir dos microscópicos, mas para que isso seja possível, é necessário considerar os três níveis de representações - 1) macro e tangível, 2) molecular e invisível e 3) simbólico e matemático - de uma só vez, relacionando-as, como se cada uma fosse um canto de um triângulo, sem nenhuma superioridade, pois o primeiro trata dos fenômenos observáveis; o segundo daquilo que não é visto a olho nu; e o último é uma linguagem científica da Química, representada por gráficos, símbolos e fórmulas (JOHNSTONE, 2009).

Para que o estudante possa entender esta Ciência, ele precisa ter conhecimento de cada um destes níveis, porém nem sempre isso é possível. Observar as mudanças visíveis numa reação química aparenta ser muito fácil e interessante, mas quando o assunto recai no que está acontecendo para que tais mudanças ocorram, encontra-se aí um obstáculo e um dos principais motivos para que muitos considerem a Química uma Ciência difícil.

Os estudantes, em geral, possuem dificuldade de compreensão dos conteúdos químicos, principalmente em relação às representações submicroscópicas e simbólicas, e isso se dá pelo fato de que a abstração dos conceitos químicos contribui para que eles não consigam representar mentalmente a compreensão submicroscópica e simbólica exigidas, justificando assim a relevância em buscar entender como suas representações são formadas e construídas (GIBIN; FERREIRA, 2012). Ou seja, a natureza abstrata da Química e a necessidade do estudante de desenvolver um entendimento pessoal da matéria, faz com que o uso das representações mentais seja capaz de fazer uma mobilidade entre os níveis macroscópicos, submicroscópicos e simbólicos (DAMASCENO et al., 2008). Na Química, Gibin e Ferreira (2012) explicam que os modelos mentais são desenvolvidos com o intuito de estabelecerem relações entre estes níveis.

Todavia, considerando os três níveis representacionais mencionados, Al-Balushi e Al-Hajri (2016, p. 53-54) – artigo 15, relatam que, para que a representação destes fenômenos seja possível por parte dos estudantes, algumas habilidades são determinantes para a compreensão e a interpretação das representações externas, como: compreensão das informações simbólicas;

uso de representações para explicar fenômenos, fazer previsões e resolver problemas; manipulação das representações espaciais; incorporação de representações internas (modelos mentais) para produzir uma representação externa apropriada; explicar por que uma determinada representação é mais apropriada do que outras para um determinado fenômeno; ser capaz de avaliar as limitações de uma determinada representação.

Categoria 2 - Modelos: Conforme o andamento da leitura das obras desta categoria, os artigos 10, 20 e 41 possuem em comum diferentes classificações para a palavra “modelo”.

O artigo 10 classifica os modelos em: mentais, que são uma representação pessoal; expressos, definidos como uma representação externa de algo gerado a partir dos modelos mentais e expressos por meio de qualquer modo de representação, como ação, fala ou escrita; de consenso, aqueles testados e aceitos pela comunidade científica; e, por último, de ensino, aqueles construídos e usados por professores para ajudar os estudantes na compreensão de um modelo de consenso.

Algumas dessas classificações são observadas também no artigo 20, pois dividem o termo "modelo" em: internos (de cada indivíduo) e de consenso (compartilhados pelos cientistas). Há diferenciação ainda entre os modelos mentais de estudantes e de especialistas, sendo estes últimos mais próximos dos modelos de consenso.

Ao trazer a questão da polissemia da palavra “modelo”, o artigo 41 distingue entre: modelo científico explícito, referente aos conteúdos presentes em textos, como publicações, livros didáticos etc., e que estabelecem uma comunicação entre os sujeitos especialistas e os novatos; e modelo mental, como sendo um mecanismo de pensamentos através do qual um indivíduo tenta explicar como funciona o mundo real. É exposto também que especialistas constroem seus "modelos mentais especializados" ao longo de sua formação profissional e isso não acontece com os novatos.

A partir das diferentes classificações que envolvem o termo modelo, é observado um consenso entre os modelos mentais/internos, pois em todos os casos são conceitualizados como modelos idiossincráticos, formados na mente de cada indivíduo. Outro modelo elencado por estes trabalhos e, de suma importância, é o conceitual, pois são modelos que ajudam os estudantes a construir melhores modelos mentais, organizando e integrando o novo conhecimento (BORGES, 1997).

Justi (2003, 2010) afirma que cientistas das mais variadas áreas utilizam definições diferentes para o termo modelo. No entanto, alguns dos significados podem ser: 1) representação parcial de um objeto, um evento, um processo ou uma ideia; 2) utilizado com uma finalidade específica, como por exemplo, facilitar a visualização de algum aspecto,

favorecer o entendimento, promover a elaboração de previsões e o desenvolvimento de novas ideias) e 3) passível de modificações. Deste modo, antes de querer usá-lo, deve-se entender o que pode e o que não pode ser um modelo. Assim, conforme já mencionado nesta pesquisa, o uso de modelos para a construção do conhecimento é extremamente importante, tendo um papel significativo por contribuir para que, no Ensino de Química, os estudantes possam aprender o “real” teoricamente.

Categoria 3 - Exemplificações: Formada pelos oito artigos, esta categoria baseia-se no Conjunto 2 de palavras-chave, estando relacionada às reações de oxirredução.

Destaca-se, no entanto, que a presença dos conceitos que contribuem para a construção deste conteúdo no decorrer das obras presentes neste Nível é extremamente sucinta, sendo averiguado apenas a utilização de breves exemplos, conforme constam no Quadro 23:

Quadro 23 - Exemplos citados nos artigos presentes no Nível 3

Exemplos	Artigo(s)
Potenciais redox	01
Eletroquímica	56
Estados de oxidação	10
Oxidação	41
Célula galvânica	11
Reações de oxirredução	16, 20 e 48

Fonte: Autora (2020).

Esse terceiro Nível, além das exemplificações encontradas nos textos sobre oxirredução, não apresentou nenhum aprofundamento teórico envolvendo estas reações químicas.

Por outro lado, olhando-se para as três categorias formadas neste Nível, percebe-se que, assim como verificado no Nível 2, foi possível constatar as contribuições, bem como a relevância que os modelos mentais possuem no Ensino de Química, ao permitirem a representação pessoal dos níveis macroscópicos, submicroscópicos e simbólicos presentes nos modelos conceituais dos conteúdos de Química.

5.1.3.4 Nível 4 - Conjuntos 1 e 2 com aprofundamento elevado

Olhando para todas as publicações que constam nesta pesquisa bibliográfica, dos cinquenta e sete artigos selecionados, apenas 3 compõem o Nível 4. Os artigos 02, 25 e 31

apresentam ambos os Conjuntos de palavras-chave com elevado aprofundamento teórico, bem como relações entre um e outro, isto é, entre os modelos mentais e os modelos conceituais envolvendo as reações químicas de oxirredução.

Por conta disto, ao contrário do que foi realizado nos demais Níveis, a análise não será feita por meio de categorias, mas cada artigo será discutido de acordo com suas contribuições, tanto em relação aos modelos mentais quanto para com os conceitos de oxirredução.

De modo geral, os objetivos de cada artigo são: VanReken et al. (2013) buscaram investigar no artigo 02 as concepções de estudantes universitários sobre a formação de ozônio (O_3) e o seu papel na atmosfera, além de identificar as concepções ingênuas associadas a este; No artigo 25, Supasorn (2015) desenvolveu experimentos de eletroquímica para trabalhar com o nível submicroscópico com trinta e quatro estudantes do ensino médio, os quais foram avaliados por pré e pós testes conceituais, bem como por desenhos sobre o conteúdo; Por último, no artigo 31, Ouasri (2017) investigou as dificuldades dos estudantes sobre células de cobre-alumínio a partir de resoluções de problemas.

Estes três artigos possuem seus objetivos centrados na busca pelas concepções ingênuas e errôneas dos estudantes, bem como suas dificuldades em relação aos diferentes conteúdos atrelados às reações químicas de oxirredução. No entanto, para que estes objetivos fossem alcançados, os autores precisaram investigar os modelos mentais dos estudantes.

Nesse sentido, os artigos 02 e 25 relacionam os modelos mentais com os modelos conceituais a respeito dos conceitos envolvidos nas reações químicas de oxirredução a partir da mudança conceitual dos sujeitos que, segundo VanReken et al. (2013), é um processo que depende das experiências de vida e conhecimento dos indivíduos para que possam construir novos saberes e entendimentos de como o mundo funciona. Os autores definem ainda que os conhecimentos incorretos são conhecidos como "equivocos" ou "concepções ingênuas", pois estão em conflito com as visões científicas aceitas. O foco do artigo 02 está no entendimento conceitual dos alunos sobre a formação de ozônio e essa compreensão conceitual é definida como modelos mentais do estudante.

Na mesma linha de raciocínio, Supasorn (2015) relata que, por ser um conteúdo que envolve transferência de elétrons entre diferentes espécies químicas e que a quantidade de transferência depende da concentração das espécies presentes, as concepções alternativas acabam sendo variadas por ser este um assunto complexo e de difícil visualização dos níveis microscópicos. Logo, identificar os equivocos é importante para ajudar no entendimento desses tópicos de maneira significativa, levando a uma mudança conceitual.

Corroborando com essa ideia, Borges (1999) destaca que os modelos usados na Ciência são criados por cientistas após submetidos a inúmeras regras rigorosas e à crítica. No entanto, contrastando com o caráter público dos modelos científicos, os modelos mentais são pessoais, incompletos, instáveis e “não-científicos”. Santos, Melo e Andrade (2015) mencionam ainda que, no processo de ensino e aprendizagem, o uso dos modelos conceituais tem como objetivo auxiliar na formação de modelos mentais mais consistentes e plausíveis. Assim, é possível verificar no decorrer das obras que a relação entre modelos mentais e conceituais permite ver o quão distantes os modelos dos estudantes estão dos modelos cientificamente aceitos.

Investigar esse distanciamento contribuir para buscar meios de torná-los cada vez mais próximos. Isto é, os modelos mentais dos estudantes corroboram para que suas dificuldades, equívocos e concepções ingênuas/alternativas sejam solucionadas, pois quanto mais próximos dos modelos conceituais, mais corretos serão. Porém, quando a distância entre um e outro for elevada, pode significar que há lacunas na aprendizagem.

Tal distanciamento possibilitou VanReken et al. (2013) de conseguirem identificar três concepções ingênuas a partir dos modelos mentais dos estudantes em relação à formação do ozônio, as quais são: 1) existe apenas um mecanismo atmosférico de formação de ozônio; 2) poluentes e gases só reagem no alto na atmosfera; e 3) que preocupações com o ozônio na atmosfera devem-se principalmente ao seu papel como gás de efeito estufa. Menciona-se que as três concepções identificadas estão relacionadas ao ozônio, porém, para que o estudante saiba interpretar sobre o assunto, conceitos como oxidação e redução, mudanças de números de oxidação e transferência de elétrons são muito importantes. Todavia, os estudantes não possuem uma compreensão conceitual sobre as reações necessárias para a formação do ozônio, fato este que os impedem de formarem modelos mentais corretos e de fazerem relações com as reações de oxirredução.

Já Supasorn (2015) constatou, a partir dos desenhos feitos pelos seus sujeitos sobre células galvânicas, que muitos apresentaram concepções errôneas sobre cátodos e ânodos, processos de oxidação e redução, bem como transferência de elétrons, ou seja, conceitos básicos de oxirredução. Isso deve-se, segundo Moreira (1996, p. 223), pelo fato de que os modelos mentais são formados na cabeça de cada indivíduo, e a única maneira de investigá-los é por meio daquilo que eles externalizam, seja verbalmente, simbolicamente ou pictoricamente.

Moreira (1996) defende ainda que a mudança conceitual deve ser vista como uma evolução conceitual e não como uma mera substituição de concepções e, para isso, uma modificação progressiva dos modelos mentais que o estudante apresenta do mundo físico é necessária, por resultar do enriquecimento envolvendo a soma de informações aos modelos

existentes e também pelas mudanças das crenças ou pressupostos individuais, bem como na estrutura relacional do modelo.

Ao contrário destes trabalhos, Ouasri (2017) – artigo 31 - não apresenta uma relação entre modelo mental e conceitual, mas atribui as dificuldades encontradas pelos estudantes sobre célula eletroquímica à falta de modelos mentais, sendo este um empecilho para que consigam raciocinar, descrever, explicar e/ou prever fenômenos.

Os modelos mentais falam muito a respeito dos conhecimentos prévios, das experiências e das formas de pensar sobre a realidade de cada pessoa (BORGES, 1999) e devido a isso, a falta destes acaba demonstrando aquilo que os estudantes não sabem. Logo, é possível averiguar as dificuldades apresentadas por estes ao utilizarem os conceitos básicos envolvendo as reações químicas de oxirredução em outros conteúdos, como na eletroquímica e na formação do ozônio.

Olhando-se para estes três artigos, pode-se dizer que, embora todos tenham um aprofundamento teórico sobre os modelos conceituais e mentais de oxirredução, nenhum deles trabalha de forma isolada com estas reações, pois estão relacionados com fenômenos específicos: formação do ozônio e eletroquímica. Deste modo, conclui-se que os modelos mentais obtidos, bem como as dificuldades e equívocos encontrados, envolvem os conceitos pertencentes a este conteúdo (oxidação e redução, transferências de elétrons, mudança nos números de oxidação dos átomos, etc.) atrelados à inserção destas reações aos fenômenos estudados.

5.2 ETAPA 2 – ENTREVISTAS

Como o intuito desta etapa da pesquisa é buscar identificar os modelos mentais dos egressos do Curso de Química Licenciatura envolvendo as reações químicas de oxirredução, a seguir será apresentado a análise e discussão dos resultados dos resultados obtidos após a transcrição das entrevistas realizadas com treze egressos do Curso de Química Licenciatura da UFSM.

De acordo com a estruturação prevista no decorrer da metodologia e visando uma melhor organização e estruturação da discussão, a análise da entrevista também está separada em quatro partes e, além disso, diferentes tipos de metodologias de análise foram realizados, de acordo com o descrito a seguir.

5.2.1 Parte 1 - Identificação

A fim de conhecer um pouco melhor os sujeitos desta pesquisa, realizaram-se os seguintes questionamentos: Nome, idade e tempo de formação. Ao todo, quatorze sujeitos participaram da pesquisa, porém, uma das entrevistas não pode ser analisada por questões técnicas porque, pelo fato de ter sido uma entrevista on-line, no dia de sua realização a internet da entrevistada estava muito ruim, tornando-se inviável a sua transcrição e, conseqüentemente, sua análise. Com isso, tem-se ao todo, treze entrevistas que serão analisadas e discutidas.

Contudo, para melhor identificação destes, utilizou-se a letra ‘S’ em maiúsculo por fazer referência à palavra ‘sujeito’, seguida de numeração variando entre 1 e 13, respectivamente. Os dados obtidos na identificação podem ser observados no Quadro 24.

Quadro 24 - Identificação, idade e tempo de formação dos egressos de Química Licenciatura

Sujeito	Idade	Tempo de formação
S ₁	31	9
S ₂	27	7
S ₃	29	8
S ₄	27	3
S ₅	30	6
S ₆	31	5
S ₇	31	7
S ₈	27	7
S ₉	26	3
S ₁₀	27	5
S ₁₁	31	9
S ₁₂	34	11
S ₁₃	38	16

Fonte: Autora (2020).

Dos treze entrevistados, apenas dois possuem tempo de formação inferior a cinco anos e nenhum destes, superior a 20 anos. Destaca-se que, dentre os sujeitos, poucos conseguiram organizar suas representações de uma forma melhor e mais organizada mentais nas três questões envolvendo o conhecimento do conteúdo – S₁₁ e S₁₃ –, os quais possuem tempo superior a 9 anos. Além disso, os mesmos já ministraram diversas aulas sobre o conteúdo, fato este que corrobora positivamente para um melhor desempenho em relação à construção dos seus modelos mentais sobre as reações de oxirredução. Além destes, os Sujeito S₂ também conseguiu estruturar melhor seus modelos mentais, pelo fato deste ter realizado sua pesquisa de mestrado sobre as reações químicas de oxirredução.

Por outro lado, os dois egressos que possuem menor tempo de formação – S₄ e S₉ – apresentaram maiores dificuldades na hora de resolverem as questões relacionadas aos modelos conceituais do conteúdo em questão. Além do pouco tempo, estes não tiveram ou tiveram pouca experiência quanto docentes, com o conteúdo, o que acaba contribuindo para os resultados obtidos. Entretanto, os demais sujeitos, por mais que já tenham 5 ou mais anos de formação, assim como S₄ e S₉, também não conseguiram formar modelos mentais, apenas representações soltas.

Além do mais, menciona-se ainda que, pelo fato de muitos entrevistados serem facilmente reconhecidos, não será dado maiores informações a respeito de suas respectivas formações.

5.2.2 Parte 2 - Importância do conteúdo

Na segunda parte da entrevista, a qual questionava: No seu ponto de vista, o conteúdo de reações de oxirredução é importante? Justifique - os egressos foram unânimes ao afirmarem a respeito da importância das reações químicas de oxirredução. As respostas foram organizadas em cinco categorias, de acordo com as palavras-chave utilizadas por cada um dos sujeitos na hora de justificarem, conforme mostra o Quadro 25.

Quadro 25 - Categorias criadas a partir das respostas obtidas pelos sujeitos sobre a importância das reações de oxirredução

Categoria	Identificação dos Sujeito
Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM)	S ₁
Fenômenos do cotidiano	S ₁ , S ₂ , S ₃ , S ₄ , S ₅ , S ₆ , S ₇ , S ₉ , S ₁₀ , S ₁₁ , S ₁₃
Relação com outros conteúdos	S ₁ , S ₅ , S ₇ , S ₁₁ , S ₁₃
Fenômenos macroscópicos	S ₁₁
Química orgânica	S ₁₂

Fonte: Autora (2021).

A seguir, cada categoria estabelecida no Quadro 25 será analisada e discutida.

5.2.2.1 Categoria 1: ENEM

Apenas um sujeito justificou a importância do conteúdo de reações químicas de oxirredução - S₁ - por causa do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM). O Sujeito S₁ relata que:

“[...] claro que a gente sempre dá um enfoque maior, porque ele é bastante explorado no ENEM, então a parte ali, principalmente, voltada para a parte de pilhas, da eletroquímica [...]”

Desde seu surgimento, em 1998, o ENEM, cujo objetivo é avaliar o desempenho dos estudantes ao final da escolaridade básica, tem direcionado a grande maioria das Escolas de Ensino Médio na organização dos seus conteúdos, principalmente a partir do momento em que se tornou porta de acesso às Instituições de Educação Superior, tanto para públicas quanto para privadas (BRASIL, 2019).

Fazendo-se uma análise das provas do ENEM da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias desde 2010, dezenove questões envolvendo as reações químicas de oxirredução foram encontradas, seja a partir do conteúdo sozinho ou de outros, como no caso de pilhas, eletrólise ou de reações orgânicas, comprovando assim, a relevância deste conteúdo para as provas do ENEM.

Conforme a fala do sujeito S₁, percebe-se que o conteúdo de reações de oxirredução é bastante enfatizado em suas aulas devido a esta notoriedade dada no ENEM ao conteúdo de eletroquímica e não à oxirredução de forma isolada. No entanto, embora a prova do Ministério da Educação (MEC) seja de grande valia ao permitir o ingresso de milhares de estudantes ao Ensino Superior, é válido mencionar que este não pode ser o único direcionamento dado às habilidades e competências presentes nos currículos das escolas. O professor não pode ficar refém apenas disto, é preciso adequar suas aulas de modo que condiga com a sua realidade também, isto é, faz-se necessário olhar e pensar nas possibilidades de inserção deste e de qualquer outro conteúdo frente aos cotidianos dos seus estudantes.

5.2.2.2 Categoria 2: Fenômenos do cotidiano

Como professor, pensar em reações de oxirredução é pensar em diferentes situações que podem ser trabalhadas no decorrer de uma contextualização devido aos inúmeros exemplos envolvendo os processos de oxidação e redução presentes no dia a dia, fato este que contribui para torná-lo bastante rico.

Por conta de sua diversidade, onze sujeitos afirmaram que o conteúdo de reações de oxirredução é importante por estar presente em diferentes fenômenos do cotidiano. A fim de justificarem a importância destas reações para a sociedade, os sujeitos mencionaram diferentes situações, como: fotossíntese, respiração, corrosão, ferrugem, escurecimento da prata, obtenção de minérios, descoloração de tintas, pilhas e baterias, dentre outros. A seguir, alguns trechos das falas dos sujeitos serão discutidos.

O sujeito S₂ afirma que o conteúdo de oxirredução é importante porque “[...] *permite explicar diferentes fenômenos [...] como a fotossíntese, a própria respiração do ser humano, a corrosão [...]*. O processo corrosivo citado faz parte direta e indiretamente do cotidiano das pessoas e, por isso, este exemplo foi unanimidade entre os entrevistados.

Para Gentil (2017), de modo universal, a corrosão pode ser entendida como a deterioração de um material, geralmente metálico, ocasionada pela ação química ou eletroquímica do meio ambiente, acarretando em alterações indesejáveis sofridas pelo material, como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso. Por isso, pensar em corrosão como exemplo das reações de oxirredução é de grande valia, pois está presente diariamente na vida das pessoas, podendo gerar, muitas vezes, grandes prejuízos econômicos e sociais, como: em estruturas de construções civis; em meios de transportes; furos em oleodutos ou em tanques de armazenamento de petróleo, causando seu derramamento no mar, dentre outros (RIBEIRO, 2008).

Pensando-se ainda em corrosão, os sujeitos S₆, S₇ e S₁₃ citam a ferrugem em suas justificativas. O S₆ justifica a importância deste conteúdo pois é por meio dele que se pode compreender “[...] *porque que a ferrugem se forma, por quê que é utilizado tinta para pintar as grades em casa para que não ocorra a formação da ferrugem [...]*”. Merçon, Guimarães e Mainier (2004) pontuam que uma das primeiras associações feitas em relação à corrosão é com a ferrugem que forma uma camada marrom-avermelhada em superfícies metálicas.

O Sujeito S₂ exemplifica ainda utilizando os processos da fotossíntese e da respiração, e aqui é válido deixar claro que a variação dos números de oxidação durante uma reação química não acontece apenas em objetos inanimados, como no caso da formação da ferrugem, mas também em organismos vivos, conforme lembrado por este sujeito e por S₄ ao mencionarem que o corpo humano realiza diversas reações biológicas de oxirredução.

Por outro lado, os sujeitos S₁₂ e S₁₃ remetem a importância de tais reações ao âmbito industrial, como pode ser averiguado na fala de S₁₂ ao mencionar que “[...] *são fundamentais para o entendimento de vários pontos do cotidiano, além de terem uma aplicação em escala industrial [...]*”. Na inserção deste conteúdo para o Ensino Médio, falar sobre a sua

aplicabilidade na indústria talvez não seja um atrativo positivo a estes estudantes, mas quando o público é alterado, como por exemplo graduandos de Química, esse ponto de vista pode ser modificado, visto que o conteúdo passa a ser parte de um contexto que demonstra sua significância perante a sociedade. Nesse sentido, quando os sujeitos se referem à indústria, vale lembrar que é algo muito abrangente, pois as reações de oxirredução fazem-se necessárias para diferentes indústrias, como: química, civil, aeronáutica, de extração mineral, dentre várias outras, as quais são extremamente significativas, embora muitas vezes de forma indireta.

Já os sujeitos S₅ e S₁₀ relatam que este conteúdo precisa ser contextualizado com diferentes situações do cotidiano, justamente por ser de fácil contextualização. S₁₀ enfatiza que,

“[...] é um conteúdo muito importante, tendo em vista que ele justifica muitos fenômenos do dia a dia. Por exemplo, o porquê que a gente vê o escurecimento das frutas, porque que o vinho vira vinagre se ficar em contato com o oxigênio. E são exemplos de contextualização que pode ser usada em sala de aula [...]”.

Na perspectiva de Wartha, Silva e Bejarano (2013), há um consenso no entendimento sobre cotidiano entre os professores de Química que, aos olhos da maioria, é uma abordagem fácil de ser posta em prática e, por conta disso, os termos cotidiano e contextualização, na grande maioria das vezes, acabam sendo utilizados como sinônimos. Isto é, como se o simples fato de utilizar um exemplo do cotidiano no decorrer da explicação de um certo conteúdo significasse contextualizar. Entretanto, falar em cotidiano e contextualização no ambiente educacional requer cuidados, tanto por parte dos docentes quanto dos pesquisadores, pois são termos com diferentes entendimentos.

Para melhor entendimento, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) definem “cotidiano” como um recurso que busca relacionar situações do dia a dia dos indivíduos com os conhecimentos científicos atrelados a estes, visando a aprendizagem dos mesmos. Além disso, geralmente estas situações são utilizadas para introduzir os conteúdos teóricos, a fim de chamar a atenção do estudante apenas, aguçando sua curiosidade e motivação, com o propósito de ensiná-los (WARTHA; SILVA; BEJARANO, 2013). Já contextualizar

[...] é vista como uma estratégia fundamental para a construção de significações na medida em que incorpora relações tacitamente percebidas. O enraizamento na construção dos significados constitui-se por meio do aproveitamento e da incorporação de relações vivenciadas e valorizadas no contexto em que se originam na trama de relações em que a realidade é tecida [...] (WARTHA; SILVA; BEJARANO, p. 86, 2013).

Contextualizar vai muito além de utilizar meras exemplificações, pois está relacionada ao ato de conhecer o contexto a partir da apropriação de um dado conhecimento e de uma informação. Os autores expõem ainda que a contextualização é vista como um recurso capaz de dar um novo significado ao conhecimento escolar, possibilitando ao estudante uma aprendizagem mais significativa.

5.2.2.3 Categoria 3: Relação com outros conteúdos

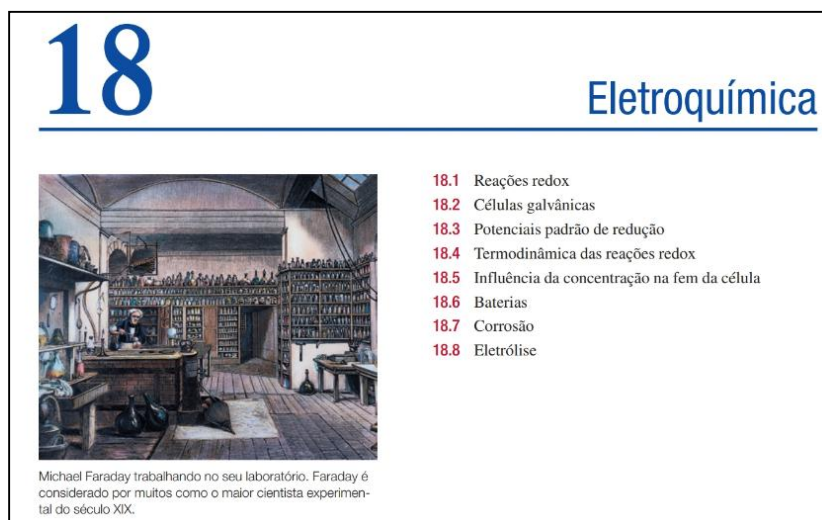
Nesta categoria, cinco sujeitos relacionaram a importância do entendimento das reações de oxirredução para a abordagem e compreensão de outros conteúdos, especialmente de eletroquímica e eletrólise. O mesmo foi citado por S₁, S₇, S₁₁ e S₁₃ e o trecho da fala do sujeito S₇ mostra isso: *“Eu acho que sim. As reações são bem complexas, mas envolve muito o nosso cotidiano, principalmente a questão das pilhas, de eletrólise.”*. O sujeito não fala diretamente sobre a eletroquímica, mas cita as pilhas que fazem parte deste conteúdo.

Nota-se por meio de algumas falas que, para muitos docentes de Química, pensar em reações de oxirredução está intimamente ligada à eletroquímica, como se a primeira não existisse sem a segunda, fato este que pode ser constatado também no decorrer da elaboração da explicação do conteúdo de oxirredução para elaboração da última etapa da entrevista, relacionada ao conhecimento do conteúdo, conforme poderá ser averiguado no item 4.1.4, posteriormente.

Chang e Goldsby (2013) ao trabalharem com a parte de eletroquímica, no entanto, estruturaram a abordagem do capítulo da seguinte forma (Figura 8), referente à página inicial do mesmo.

Averigua-se nesta imagem que o primeiro tópico elencado para se trabalhar o conteúdo de eletroquímica é “reações redox”. Porém, é importante mencionar que neste capítulo 18, o estudo de tais reações é feito como se fosse um mero lembrete, sendo apresentada somente uma sucinta retomada ao assunto, enfatizando muito mais a questão do balanceamento destas reações e não os conceitos em si (Figura 9).

Figura 8 - Organização do conteúdo de Eletroquímica estabelecido por Chang e Goldsby (2013)



Fonte: Chang e Goldsby (2013).

Figura 9 - Breve explanação sobre reações redox apresentada por Chang e Goldsby (2013)

18.1 Reações redox

A eletroquímica é o ramo da química que trata da conversão da energia elétrica em energia química e vice-versa. Os processos eletroquímicos envolvem reações redox (oxidação-redução) nas quais a energia liberada por uma reação espontânea é convertida em eletricidade ou em que a eletricidade é usada para forçar a ocorrência de uma reação química não espontânea. Apesar de as reações redox já terem sido discutidas no Capítulo 4, é útil rever alguns dos conceitos básicos que aparecerão novamente neste capítulo.

Nas reações redox, ocorre uma transferência de elétrons de uma substância para outra. A reação entre o magnésio metálico e o ácido clorídrico é um exemplo de uma reação deste tipo:

$$\overset{0}{\text{Mg}}(s) + 2\overset{+1}{\text{H}}\overset{-1}{\text{Cl}}(aq) \longrightarrow \overset{+2}{\text{Mg}}\overset{-2}{\text{Cl}}_2(aq) + \overset{0}{\text{H}}_2(g)$$

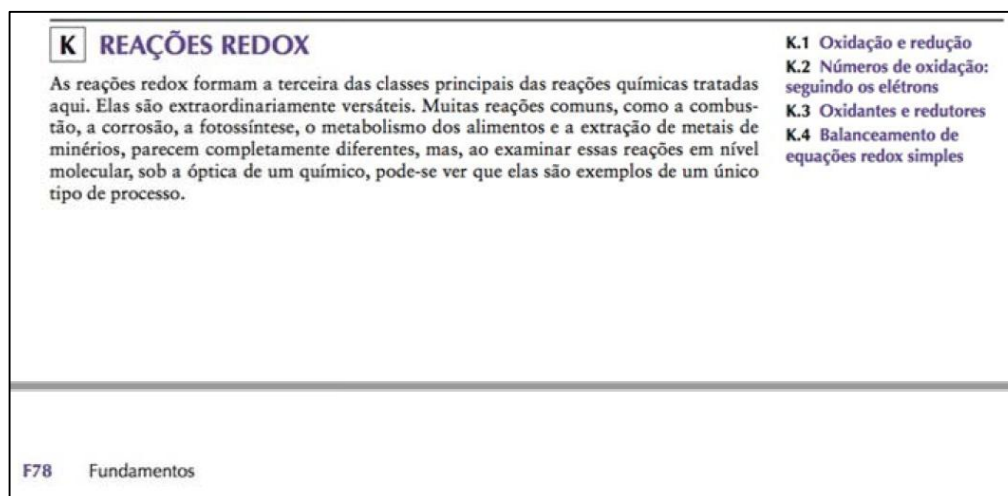
Recorde que os números que estão escritos sobre os elementos são os seus números de oxidação. A perda de elétrons por um elemento durante a oxidação está associada a um aumento no número de oxidação desse elemento. Na redução, há um ganho de elétrons ao qual está associada uma diminuição no número de oxidação de um elemento na reação. Na reação considerada, o metal Mg é oxidado e os íons H^+ são reduzidos; os íons Cl^- são íons espectadores.

Balanceamento de equações redox

Fonte: Chang e Goldsby (2013).

Isto se dá pelo fato destes autores abordarem as reações de oxirredução não em capítulos, mas à parte, isto é, por considerarem tais reações uma parte da Química fundamental para a compreensão de inúmeros outros conteúdos, Chang e Goldsby (2013) trabalham com estas reações na parte introdutória do livro – Fundamentos – de acordo com a Figura 10.

Figura 10 - Introdução das reações redox apresentada por Chang e Goldsby (2013) nos Fundamentos e seus respectivos conceitos abordados



Fonte: Chang e Goldsby (2013).

Por outro lado, o sujeito S₅ apresentou uma visão muito mais abrangente do conteúdo ao mencionar “*Considero sim o conteúdo de oxirredução importante e fundamental, e que relaciona conceitos de vários outros conteúdos. Ele não é um conceito isolado [...]*”. Pensar em tais reações é pensar que os processos de oxidação e redução não fazem parte somente do funcionamento de uma pilha, mas é algo muito maior e abrangente, pois estão presentes em diversos outros conteúdos envolvendo diversas subáreas da Química, como Inorgânica, Orgânica, Físico-Química, Bioquímica e Química Analítica, sem falar nos inúmeros exemplos presentes no dia a dia e, por isso, a fala deste sujeito é extremamente necessária em se tratando deste conteúdo.

5.2.2.4 Categoria 4: Fenômenos Macroscópicos

Conforme constatado nos dados obtidos a partir do desenvolvimento da pesquisa bibliográfica apresentada anteriormente, a compreensão por parte dos estudantes em relação aos conceitos atrelados às reações de oxirredução é muitas vezes considerada difícil pelo fato de serem extremamente abstratos. Por outro lado, o sujeito S₁₁ salienta que,

“Sem dúvida, pelo fato dele ser um dos tópicos mais acessíveis para exemplificar. É um dos tópicos que a gente trabalha que tem muita coisa que é macro. Tu fala para o estudante e ele começa a compreender tipo, por exemplo, porque a parede que está na parte externa da casa, ela vai mudando de cor da pintura com o tempo?”

Por mais que estes conceitos sejam submicroscópicos e de difícil observação, não permitindo que em sala de aula o estudante consiga visualizar, por exemplo, os elétrons sendo transferidos de uma espécie química a outra conforme o andamento da reação, diversos fenômenos macroscópicos podem ser visualizados. Todavia, o fato de um estudante observar diferentes transformações acontecendo a partir dos processos de oxidação e redução, o que é sim muito positivo para a aprendizagem, não significa que conseguirá explicar tais mudanças, em consequência da falta de compreensão dos níveis submicroscópicos e simbólicos.

Corroborando com esta ideia, Wartha, Filho e Jesus (2012) apontam que, mesmo partindo do estudo de fenômenos reais que envolvem aspectos macroscópicos, os aspectos microscópicos são os mais elaborados níveis do conhecimento químico, pois exigem “manipulação mental”, ou seja, alta capacidade de realizar abstrações e, por isso, muitas vezes o estudante não consegue fazer relações entre estes níveis de representações.

5.2.2.5 Categoria 5: Química orgânica

Diferente dos demais sujeitos presentes nesta pesquisa, o sujeito S₁₂ é o único que, em seu ambiente de trabalho, precisou elaborar aulas envolvendo as reações químicas de oxirredução com a Química Orgânica, contribuindo para que suas respostas, tanto aqui quanto no item 4.1.4, tenham um direcionamento diferenciado quando comparado aos demais entrevistados.

Logo, ao justificar a importância das reações químicas de oxirredução, o sujeito S₁₂ mencionou que *“Ela é importantíssima. Na química orgânica é fundamental pensar em oxidação de álcoois chegando até ácidos carboxílicos, por exemplo né, é uma das reações mais importantes eu diria dentro da orgânica.”*

Isto é, diferente dos demais entrevistados, o sujeito S₁₂ acabou indo para um lado que muitas vezes é esquecido dentro da Química pela grande maioria dos seus educadores e demais profissionais da área, que é a relação, bem como a importância das reações de oxirredução na Química Orgânica. No entanto, isso não é culpa apenas destes, mas sim da forma como esse conteúdo é abordado, especialmente dentro das Instituições de Ensino Superior que contemplam cursos de Química.

Isso pode ser constatado também a partir da construção do referencial teórico desta pesquisa sobre oxirredução, porque em nenhum dos três livros utilizados foi averiguado alguma menção ou maiores explicações envolvendo as reações de oxirredução no contexto da Química Orgânica. Acampo e Verdonk (1995) justificam isso ao mencionarem que um dos grandes

problemas envolvendo a compreensão da oxirredução dentro da Química Orgânica está nas diferentes formas de abordagem do conteúdo dentro das subáreas da Química.

5.2.3 Parte 3 - Experiência com o Conteúdo

Por se tratar de uma pesquisa realizada com egressos do Curso de Química Licenciatura, investigar a experiência destes com o conteúdo de oxirredução é muito importante, pois terá relação direta com os resultados encontrados na última parte da entrevista (conhecimento do conteúdo).

Para tanto, os questionamentos aqui feitos foram: Como professor, você já teve experiência com o conteúdo de reações químicas de oxirredução em sala de aula?

- **Se sim, responda:** Como foi/foram sua(s) experiência(s)? Quais foram suas facilidades e dificuldades na abordagem deste conteúdo?

- **Se não, responda:** Como você enxerga a inserção deste conteúdo para o Ensino de Química? Você apresentaria dificuldade na construção de um plano de aula sobre esse conteúdo?

Com base nisto, o Quadro 26 mostra os sujeitos que tiveram ou não contato com este conteúdo durante suas aulas. Ao todo, nove sujeitos já tiveram experiência, enquanto que quatro nunca tiveram.

Quadro 26 - Relação dos sujeitos que tiveram ou não experiência com o conteúdo de reações de oxirredução como docentes

Contato com o conteúdo de oxirredução como docente	Sujeitos
Sim	S ₁ , S ₂ , S ₃ , S ₄ , S ₇ , S ₁₀ , S ₁₁ , S ₁₂ e S ₁₃
Não	S ₅ , S ₆ , S ₈ e S ₉

Fonte: Autora (2021).

Para análise, categorias foram criadas visando melhor visualização dos resultados, tanto para os que já tiveram experiência em sala de aula, quanto para os que nunca tiveram. O Quadro 27 mostra as categorias e subcategorias desenvolvidas para ambos os egressos, isto é, com ou sem experiência. Relata-se que o Sujeito S₃ não se faz presente em nenhuma categoria criada na parte da “experiência com o conteúdo” pelo fato de o mesmo ter sido extremamente sucinto em sua fala, respondendo apenas que sua experiência foi tranquila.

Quadro 27 - Categorias obtidas a partir da experiência ou não dos egressos em relação às reações de oxirredução

Categoria	Subcategoria	Identificação
Abordagem teórica	-	S ₁
Dificuldade	Por parte dos estudantes	S ₁ , S ₂ , S ₄ , S ₇ , S ₁₀ , S ₁₁ , S ₁₂ e S ₁₃
	Por parte do sujeito	S ₂ , S ₄ , S ₅ , S ₆ , S ₈ , S ₉ e S ₁₀

Fonte: Autora (2021).

Conforme apresentadas no Quadro 27, a seguir será apresentada uma análise e discussão de cada categoria formada. Destaca-se que, embora tenha sido dividido os sujeitos entre “com” ou “sem experiência”, as categorias formadas abrangem ambos os grupos.

5.2.3.1 Categoria 1: Abordagem teórica

Por ser um egresso que está frente à sala de aula desde 2012, o sujeito S₁ já teve muitos contatos com o conteúdo de oxirredução. No entanto, por mais que outros egressos já tenham bastante experiência também, apenas este fez uma breve menção sobre como ocorre a sua abordagem em sala de aula em relação ao conteúdo, mostrando a forma que ele o organiza para ser trabalhado com os estudantes. O mesmo mencionou que *“A minha abordagem de oxirredução, ela parte do entendimento do que que é o número de oxidação, depois o que é o processo de oxidação e redução, depois parte para ideia do que são os agentes, e depois tu aplica aquilo ali na compreensão de tudo”*.

Desta forma, foi possível observar que o modo como este conteúdo é trabalhado pelo sujeito ocorre do micro para o macroscópico, sendo constatado o mesmo quando este precisou explicar com maiores detalhes sobre o assunto, isto é, pode-se dizer que a sua justificativa de experiência contrasta bem com os dados que foram coletados nas demais perguntas da entrevista, havendo coerência entre ambos.

5.2.3.2 Categoria 2: Dificuldade

Como a terceira parte da entrevista também questionava sobre as facilidades e dificuldades dos egressos em relação às reações de oxirredução, naturalmente algumas dificuldades foram apontadas, como por exemplo, por parte dos estudantes, mas também por parte dos egressos a partir de suas experiências, conforme pode ser constatado a seguir, a partir

das duas subcategorias criadas: por parte dos estudantes e por parte do sujeito. Além disso, é importante mencionar que alguns sujeitos poderão estar presentes em ambas as subcategorias.

Por parte dos estudantes

Dos nove sujeitos que já trabalharam de alguma forma com as reações de oxirredução enquanto professores, oito associaram as dificuldades do conteúdo por parte dos estudantes. Para o sujeito S₁, um dos poucos problemas encontrados por ele é que os estudantes precisam entender muitos conceitos antes de compreenderem o todo. Ou seja,

“[...] no meu ponto de vista, o único entrave é que muitos alunos têm uma certa resistência, a quantidade de leituras que tem que ser feita, por exemplo, ele tem que saber o que que é uma oxidação, saber o que que é uma redução [...] Mas eu acho que as maiores dificuldades realmente são por parte dos alunos na compreensão né, porque é um processo que tem que ser montado passo a passo.”

O mesmo foi apontado pelo sujeito S₄ ao mencionar que “[...] às vezes eu acho que as reações de oxirredução são um pouquinho complicadas do aluno compreender, [...] de não confundir quem de oxida e quem se reduz, quais são os valores do número de oxidação [...]”. Por sua vez, o sujeito S₁₂ expôs que, ao trabalhar com uma disciplina experimental do Curso de Engenharia Metalúrgica, os graduandos tinham dificuldades básicas, dentre elas: “Então, num primeiro momento eu colocava no quadro a reação antes deles fazerem o experimento [...] e eles tinham até dificuldade de identificar quem era o metal”. Mas, além disso, também tinham problemas em

“[...] determinar o nox, o número de oxidação, de identificar as substâncias. Tinha um problema muito submicroscópico mesmo, né. Eles não compreendiam que ocorria uma transferência de elétrons, em que uma espécie tinha a maior capacidade de buscar um elétron, de ficar com um elétron”

Olhando-se para as respostas dadas por estes sujeitos, percebe-se que, na percepção deles, os maiores obstáculos encontrados pelos estudantes é justamente a interpretação e o entendimento dos conceitos que envolvem tais reações químicas. Justifica-se que o mesmo também vem sendo constatado em diversas pesquisas de ensino realizadas sobre o assunto, conforme visto na análise do Nível 4 da pesquisa bibliográfica (1.1.2.1.4), no qual os três artigos presentes identificaram que as maiores dificuldades dos estudantes estão associadas aos conceitos deste conteúdo, como oxidação e redução, transferências de elétrons, variação do NO_x, etc.

O sujeito S₂ vai ao encontro do relatado pelo S₁₂ ao afirmar que uma das suas maiores dificuldades dentro de sala de aula é o estudante entender o que acontece microscopicamente, principalmente na estrutura atômica. O mesmo relata que

“Eu acho que o mais difícil é esse visualizar, que eu acho que para química em si é difícil. Não só nas reações de oxirredução, mas até essa visão da estrutura interna, do que é aquele átomo, do que tá acontecendo ali. Entender isso do microscópio para o simbólico também, porque a gente utiliza muito os símbolos e como que isso influencia depois no macroscópico né [...]”

Na mesma linha de pensamento, S₁₀ e S₁₃ referem-se à abstração do conteúdo como uma das maiores dificuldades encontradas por seus estudantes. Complementando, na perspectiva do sujeito S₁₀, é fácil um estudante enxergar a ocorrência de um processo de oxirredução, pois é possível ver diferentes situações acontecendo, como no caso da oxidação, porém “[...] fazer com que o aluno visualize que o que tá acontecendo ali é uma transferência de elétrons pra que isso aconteça, é bastante difícil”. Por outro lado, o sujeito S₇ associa a dificuldade dos educandos à matemática, explicitando que precisou refletir bastante sobre o assunto,

“Então eu acabei tendo que ter uma reflexão muito grande nesse conteúdo e quando a gente entrava assim, por exemplo, em determinados conteúdos, os alunos não tinham noção que química tinha cálculo. Então era uma coisa que caía, chocava e daí quando tu entrava na parte do balanceamento de redox, aí deu, era bem complicado.”

De modo geral, embora os termos elencados por cada um desses sujeitos tenham sido diferentes, a raiz das dificuldades atreladas às reações químicas de oxirredução é a mesma, isto é, a abstração dos conceitos químicos por serem representações de níveis submicroscópicos, ou ainda, simbólicos, conforme mencionado pelo sujeito S₇.

Do ponto de vista de Jonhstone (1993), o nível macroscópico como concreto, enquanto que os submicroscópicos e simbólicos, de natureza abstrata. Colaborando com esta ideia, Costa, Passerino e Zaro (2012) afirmam que, como a natureza microscópica é abstrata, esta é uma característica dos conhecimentos químicos, responsável por provocar diversas dificuldades na aprendizagem de leis e conceitos na área.

Para que um indivíduo seja capaz de compreender estes níveis de representações de forma significativa, é preciso ter um acúmulo de percepções e representações, ou seja, a capacidade de construir pensamentos abstratos será maior quanto mais providos de experiências sensoriais e de representações (COSTA; PASSERINO; ZARO, 2012). Porém, conforme pontua Santos (2009) e indo ao encontrado dos dados obtidos aqui, poucos indivíduos são capazes

disso pelo fato de possuírem dificuldade de raciocínio, concentração, criatividade e pensamento abstrato.

Por parte do sujeito

Assim como os estudantes apresentam dificuldades, sete dos próprios sujeitos/docentes relataram que também as possuem, sendo três deles S₂, S₄ e S₁₀ com experiência com o conteúdo em sala de aula e quatro (S₅, S₆, S₈ e S₉), sem experiência.

Embora tenha realizado uma pesquisa sobre o conteúdo, o sujeito S₂ mencionou que apresentou muita dificuldade no início do seu mestrado, principalmente em relação à inserção deste na Química Orgânica,

“Foi difícil [...]. Tive que estudar bastante, buscar, procurar, entender e tentar fazer relação com a química orgânica também foi um dos pontos difíceis, até porque parece que não tem um consenso muito específico. Alguns livros falam de um jeito, outros falam de outro e a gente tentou fazer essas diferenciações.”

Conforme já relatado em outros momentos deste trabalho, muitos graduandos e egressos de Cursos de Química acabam por apresentar inúmeras dificuldades em relação às reações de oxirredução de forma geral, mas de modo muito mais abrangente quando estas fazem parte de processos orgânicos, pois raramente estas são trabalhadas detalhadamente na graduação e também por haver diferentes abordagens encontradas a partir dos modelos conceituais existentes (SHIBLEY et al., 2010).

Os autores (2010, p. 1354) mencionam ainda que nenhum livro de Química Orgânica aborda de forma detalhada as reações de oxidação e redução quanto poderiam, isto é, a maioria as trata de modo superficial, vago e/ou bastante complicado, fato este que acaba corroborando para que os estudantes de qualquer nível de ensino, bem como os próprios profissionais da área, não apresentem uma aprendizagem significativa do conteúdo.

O sujeito S₄ menciona que, assim como para os estudantes há muitos detalhes para lembrar, para ele também há e isso pode ser averiguado por meio do seguinte trecho *“São um pouquinho complicadas para eu lembrar e também de não confundir quem se oxida e quem se reduz, quais são os valores do número de oxidação para cada elemento, porque dependendo de quem eles estão ligados, eles têm um valor ou outro”*. Observa-se também que a experiência do sujeito S₁₀ com o conteúdo não foi positiva, mas ao mesmo tempo ele enfatiza a importância

do conhecimento abstrato e das representações idiossincráticas ao mencionar que cada indivíduo apresenta uma forma diferente de entender determinado conceito,

“Não tive tantas experiências assim em ensinar esse assunto, mas as poucas experiências que tive me traumatizaram, talvez por uma dificuldade minha com o assunto. Mas eu percebi que é por se tratar de algo abstrato, como a transferência né [...]. É um processo que ao mesmo tempo alguém se oxida e alguém se reduz e colocar isso, criar um modelo disso é muito difícil, porque trabalha muito com o abstrato, com a imaginação e a gente sabe que isso é diferente pra cada pessoa, cada cabecinha tem um modelo de pensar de organizar os assuntos”.

Por outro lado, mesmo sem experiência com o conteúdo em sala de aula, os sujeitos S₅, S₆, S₈ e S₉ mencionam que, caso precisassem elaborar um plano de aula sobre oxirredução, certamente apresentariam dificuldades. A fala do sujeito S₅ mostra que *“Eu teria dificuldade sim, porque ao abordar o número de oxidação, a carga, a mudança de carga numa reação de oxirredução, quem oxida, quem reduz, tu tem que trazer muitos outros conteúdos”*. O mesmo pode ser constatado pelos sujeitos S₆ e S₈, respectivamente,

“Eu acredito que eu teria bastante dificuldade. Que digamos assim, eu tenho um número reduzido de exemplos[...]. Mas eu ia tentar procurar algum vídeo, mais exemplos, mas eu teria dificuldade na elaboração da aula, do todo né [...] Eu tenho que raciocinar muito para conseguir organizar o conteúdo, tipo assim, quem oxida, quem reduz [...]. (Fala do sujeito S₆)

“Com certeza! Teria que estudar, teria que abrir os livros, voltar, lembrar, porque o básico a gente sabe, reações de oxidação-redução [...]. Mas para explicar, mostrar reações para os alunos, eu teria que estudar, lembrar alguns conceitos que estão ali relacionados, Nox, até o próprio agente redutor e oxidante que confunde muitos alunos, [...]. Então eu teria que retomar um pouco para saber o que dizer, pois não é um conteúdo fácil, ele é difícil, complexo, abstrato e entender as cargas, falar em átomos, falar em reação... Então, devido ao nível de complexidade para os alunos, deve ser muito difícil, porque para nós já é. (Fala do sujeito S₈)

Analisando-se o exposto, percebe-se que o cerne da questão, assim como em relação às dificuldades elencadas pelos sujeitos em relação aos estudantes, está na abstração dos conceitos que envolvem este modelo conceitual de oxirredução. Isso acontece porque as dúvidas e obstáculos que surgem, muitas vezes lá no Ensino Básico ainda, acabam permanecendo e se intensificando no decorrer da Ensino Superior.

No entanto, a partir do momento que estes passam a ser os formadores, os mesmos obstáculos acabam sendo projetados aos seus estudantes, como se fosse um ciclo vicioso. Por isso, pensar sobre os modelos mentais é muito importante num contexto de ensino e aprendizagem pois, assim como o sujeito S₁₀ mencionou, criar modelos de conceitos abstratos realmente não é uma tarefa fácil, ainda mais quando cada indivíduo forma um modelo diferente

em sua mente. No entanto, é preciso que os docentes busquem cada vez mais desenvolver estratégias, recursos e modelos conceituais que proporcione aos seus estudantes subsídios não apenas para a construção de seus modelos mentais, mas também para a evolução deles (SANTOS; MELO; ANDRADE, 2015).

Por sua vez, o sujeito S₉ relaciona sua dificuldade a partir da capacidade de contextualizar esse conteúdo dentro das subáreas da Química e não aos conceitos em si,

“Eu acho que a parte analítica não diria, mas a parte da inorgânica teria dificuldade. Ela é fundamental para o entendimento, pois eu acho que os professores usam mais exemplos práticos [...]. A orgânica acho que nem tem né como contextualizar, porque nem tem nada. E daí a parte de oxirredução, ali dos átomos mesmos, de um composto com outro, aí já acho que não teria.”

Na visão deste sujeito, pelo fato dele ter feito sua pós-graduação em Química Orgânica, sua dificuldade estaria associada à Inorgânica, principalmente para encontrar exemplos, visto que, segundo ele, esta subárea possibilita trabalhar com várias abordagens presentes no dia a dia.

Todavia, percebe-se um equívoco na sua fala ao relatar que não há nada para contextualizar as reações de oxirredução a partir da Orgânica, sendo que, por mais que a abordagem conceitual destas reações nessa subárea seja deficiente, ela é extremamente rica em possibilidades de contextualizações, como por exemplo, na fotossíntese, nos testes de glicose ou do bafômetro, na respiração celular, em revelações fotográficas, dentre outros (MENDONÇA; CAMPOS; JÓFILI, 2004).

5.2.4 Parte 4 – Conhecimento do conteúdo

Na presente pesquisa, conforme já mencionado, a proposta foi investigar qual (ais) os modelos mentais que egressos do Curso de Química Licenciatura da UFSM utilizam ao precisarem explicar situações envolvendo reações químicas de oxirredução, tanto por parte da resolução de problema quanto em relação ao entendimento conceitual destes, buscando analisá-los e interpretá-los, bem como identificar suas dificuldades, sob à luz da Teoria dos Modelos mentais de Johnson-Laird.

Ao todo, quatorze egressos dessa instituição de ensino aceitaram participar das entrevistas, porém, por problemas técnicos com a internet, uma delas acabou sendo descartada, restando treze que foram transcritas e analisadas. Para tanto, a fim de investigar o entendimento

dos treze egressos sobre as reações de oxirredução, três questões foram propostas, uma envolvendo apenas a parte conceitual e as outras duas, situações para serem resolvidas.

Menciona-se ainda que este processo de análise foi realizado de forma totalmente qualitativamente, propondo inferências apenas para este grupo de egressos. Além disso, durante a realização das entrevistas, os egressos tiveram liberdade para expressarem-se livremente, sem nenhum tipo de condução e sem nenhum estabelecimento de tempo também.

Para tanto, a seguir as análises individuais e comuns, bem como a confiabilidade dos resultados serão apresentados e discutidos.

5.2.4.1 Análise individual

Por meio das três questões relacionadas ao conhecimento do conteúdo, os dados obtidos serão apresentados e analisados individualmente e separadamente, buscando-se averiguar os possíveis modelos mentais dos egressos sobre as reações químicas de oxirredução.

Lembrando-se que, para analisar de forma padrão os dados obtidos, os quadros 15, 16 e 17 foram utilizados para a realização da análise geral referente a cada uma das questões dos itens 4.1, 4.2 e 4.3 da entrevista.

5.2.4.2 Questão 1) Modelo conceitual de oxirredução

A questão relacionada ao conteúdo propriamente dito, presente no Quadro 14, pedia: Como você explicaria para alguém, com suas próprias palavras e de forma detalhada, as reações químicas de oxirredução. Use diagramas, desenhos e exemplos se necessário. Fale tudo que você sabe sobre esse assunto. Diga, inclusive, quais as principais dificuldades que você teve para entender este tipo de reação química. (Pode utilizar o papel antes e explicar depois).

Para padronizar a análise referente a cada um dos sujeitos nesta primeira questão, utilizou-se os pontos em comum que devem aparecer nos dados obtidos por cada um dos sujeitos, como: definição; conceitos (oxidação, redução, agente oxidante e agente redutor, transferência de elétrons, número de oxidação e série de atividade dos metais); equações químicas envolvendo as semirreações e reação global. Além destes mais conceituais, outros pontos também são significativos, como: relação do conteúdo com o cotidiano; uso de representações visuais; mudanças submicroscópicas e macroscópicas; dificuldades elencadas pelos sujeitos.

Desta forma, a seguir será apresentado os dados obtidos no decorrer deste questionamento, bem como as possíveis discussões levantadas individualmente, isto é, sujeito por sujeito. Posteriormente, será feita uma análise geral, onde os sujeitos serão categorizados como modelizadores e não modelizadores, bem como suas respectivas subcategorias.

Sujeito S₁

De modo extremamente sucinto, a explicação teórica feita pelo sujeito S₁ não envolveu as reações de oxirredução em si, mas seu foco esteve muito mais centrado na questão da transferência de elétrons entre as espécies químicas, fazendo um direcionamento final às pilhas e baterias. A única relação feita por este sujeito foi uma breve conceitualização sobre oxirredução, deixando de lado todos os demais conceitos importantes e essenciais do modelo conceitual do conteúdo, como: oxidação, redução, agentes oxidantes e redutores, série de atividade dos metais e NO_x. O trecho que segue mostra a resposta fornecida por este sujeito.

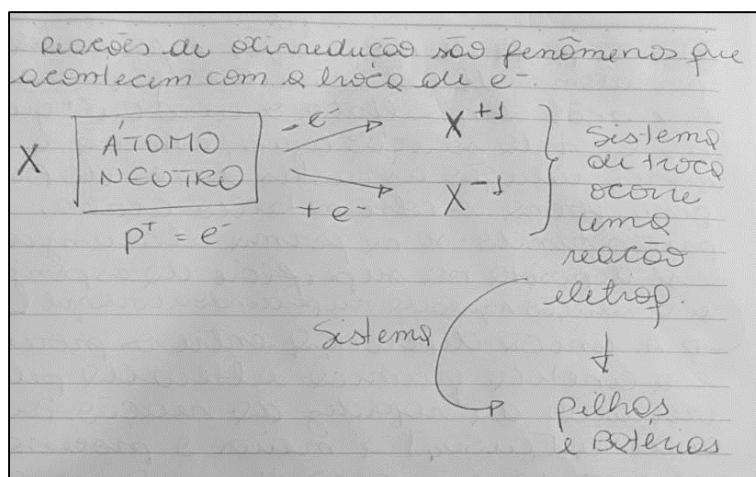
“Eu coloquei que as reações de oxirredução são fenômenos que acontecem com a troca de elétrons e aí depois eu fiz um esqueminha aqui, onde eu botei [...], por exemplo, um átomo neutro [...] que é aquela espécie em que tem a mesma quantidade de partículas positivas e negativas, em termo de prótons e elétrons, das cargas que eles têm e que o papel de moeda desse átomo são os elétrons, visto que o átomo naturalmente troca elétrons e essa troca, dependendo da natureza do átomo, pode ser uma troca onde ele perde ou ganha elétrons. Aí eu coloquei ali que o átomo neutro pode ficar positivos e perder elétrons ou ficar negativo se receber elétrons, e quando isso tudo está colocado dentro de uma reação eletroquímica, a gente pode justificar ali a formação de corrente elétrica no uso de pilhas e baterias.”

Ou seja, para S₁, para que uma reação de oxirredução aconteça, é necessário haver troca de elétrons entre as espécies químicas envolvidas. Já em relação à transferência de elétrons, o sujeito foi um pouco mais detalhista, porém em nenhum momento utilizou de exemplos para explicá-la, apenas demonstrou através de um esquema simplório o que ocorre com um átomo neutro ao perder ou ganhar elétrons, sem demonstrar e explicar de fato o que mais importava, isto é, a relação destes conceitos com a oxirredução pois, por mais que tenha sido mencionada inicialmente, em nenhum momento direcionou-se a este conteúdo.

Dos pontos utilizados para direcionar a análise desta primeira questão, o sujeito S₁ contemplou em sua resposta poucas delas, apenas conceitualizando oxirredução a partir da troca de elétrons, isto é, pela transferência eletrônica, associando-a ao uso em pilhas e baterias. Além disso, o sujeito não utilizou de representações visuais, mas sim de um esquema pobre em detalhes e pouco autoexplicativo (Figura 11), que dificilmente um leigo no assunto

compreenderia. Percebe-se ainda que em nenhum momento foi utilizado de exemplos e de reações químicas para representar o processo de oxirredução, deixando totalmente de lado as representações das mudanças macroscópicas e submicroscópicas que estas possuem.

Figura 11 - Esquema construído pelo sujeito S₁



Fonte: Sujeito S₁.

Sujeito 2

Para iniciar a explicação do conteúdo, o sujeito S₂ preocupou-se de que forma que ele começaria e, por isso, afirma ser “[...] importante partir de algum contexto [...] para depois eu explicar [...], se possível realizar um experimento, simulação. E aí eu usei o zinco e o cobre para explicar [...] e isso deve envolver questões ambientais pra se tornar mais crítico.”

Por meio desta fala, nota-se que o mesmo não tem em mente o simples fato de apresentar meros exemplos para abordar o conteúdo, mas sim apresenta uma visão mais profunda sobre o que é contextualizar ao salientar que faria isso a partir de questões ambientais para tornar a abordagem mais crítica, porém isto só foi mencionado, não sendo contemplado no restante dos dados fornecidos.

Outro ponto importante a se destacar é em relação a ênfase que este dá quanto ao uso da experimentação ou de simulações no ensino de oxirredução. Trabalhar com estas reações a partir destes recursos didáticos possibilitam o levantamento de discussões envolvendo os três níveis representacionais do conhecimento químico, ou seja, macroscópico, submicroscópico e

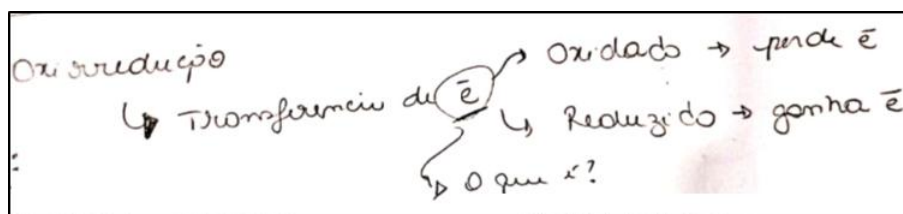
simbólico (JOHNSTONE, 1982), auxiliando significativamente na construção e/ou evolução de modelos mentais.

Salienta-se também que, conforme obtido na pesquisa bibliográfica realizada nesta pesquisa, autores como Kelly et al. (2017), Schönborn e Anderson (2010) e Kermen e Méheut (2009) defendem o uso de simulações na Química e argumentam que os usos dessas representações externas colaboram para um melhor entendimento do conhecimento científico e para o desenvolvimento da capacidade cognitiva, pois permitem o desenvolvimento de modelos mentais mais completos.

Quanto ao entendimento do conceito de oxirredução, este sujeito afirma que “é o envolvimento da transferência de elétrons que acontece entre duas espécies químicas. Sempre vou ter essa transferência de elétrons para ter uma reação de oxirredução e, por isso, que eu tenho dois nomes nessa reação. Eu tenho a oxidação e eu tenho a redução” e, para tanto, utiliza de um esquema (Figura 12) durante sua explicação. Ao justificar a presença de ambos os processos no nome, se detém ao explicar como a oxidação e a redução ocorrem, sem deixar de relacioná-los à transferência eletrônica,

[...] uma das espécies vai ser a espécie que eu vou dizer que foi oxidada e a outra espécie que vai ser reduzida. Então isso é simultâneo, sempre que uma oxida a outra vai se reduzindo [...]. Tem que ter as duas coisas porque é uma transferência. Uma espécie transfere para outra. Onde uma espécie vai perder o seu elétron para a outra que vai receber esses elétrons e elas têm que ter um contato de alguma forma para que essa transferências aconteça.”

Figura 12 - Esquema construído pelo sujeito S₂ para explicar oxirredução

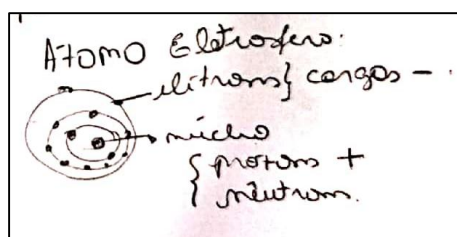


Fonte: Sujeito S₂.

Como a ocorrência dos processos de oxidação e de redução estão diretamente conectados à atomicidade, em virtude da transferência de elétrons entre as espécies químicas, o sujeito S₂ não deixou de lado esta explicação e isto pode ser verificado no trecho a seguir e na figura 13 a qual representa o modelo atômico na concepção do sujeito.

“E aí eu sublinhei aqui a palavra elétrons [...] Acho que é importante de se retomar com o aluno porque a química sempre aquela construção né. Tu começa com os conceitos mais simples e daí tu vai indo [...]. Aí eu fiz um desenho aqui de um átomo simples aqui [...], então tem o núcleo e dentro do núcleo estão os prótons e nêutrons, e na eletrosfera tem os elétrons. Aí eu coloquei do lado dos elétrons que eles têm carga negativa e do lado dos prótons que eles têm carga positiva.”

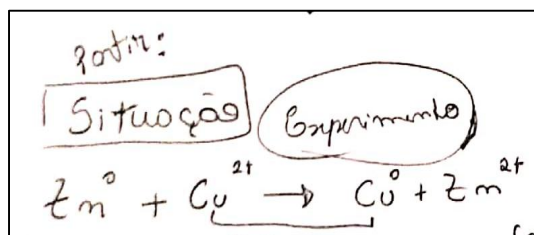
Figura 13 - Representação do sujeito S₂ para o modelo atômico



Fonte: Sujeito S₂.

Após relacionar o átomo à oxirredução, para exemplificar, o sujeito utilizou o exemplo envolvendo o zinco e o cobre (Figura 14), fazendo uma breve menção ao número de oxidação ao afirmar que “Essa reação é bem simples, sem muitas espécies químicas e já com os números de oxidação dados [...].”

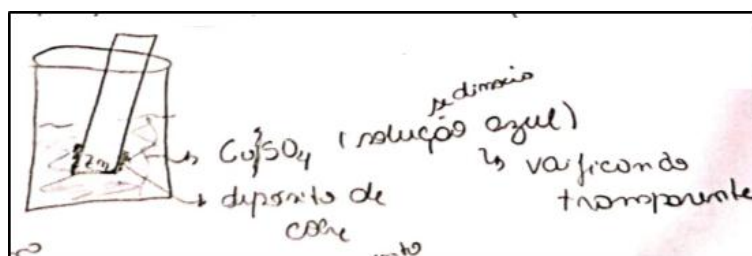
Figura 14 - Exemplo de reação química de oxirredução utilizada pelo sujeito S₂



Fonte: Sujeito S₂.

Para melhor representar este exemplo, S₂ ilustrou a reação acontecendo entre a solução de sulfato de cobre (CuSO₄) e o zinco metálico (Zn), porém com poucos detalhes em relação às representações submicroscópicas e também macroscópicas (Figura 15).

Figura 15 - Ilustração da reação química entre o zinco metálico e a solução de sulfato de cobre utilizada pelo sujeito S2



Fonte: Sujeito S2.

Por mais que sua ilustração não tenha sido muito minuciosa, o sujeito buscou ser bastante detalhista em sua fala, esclarecendo o que acontece macroscopicamente,

“Aí fiz um desenho simulando um experimento onde eu tenho um béquer com solução de sulfato de cobre e uma barra de zinco. Enfim, depois que a gente fosse fazer esse experimento [...] depois de um tempo eu vou observar a presença de um sombreado, um depósito de cobre, no caso marrom, em cima dessa minha barra de zinco e que a minha solução, que é uma solução azulada por causa do sulfato de cobre pois o cobre tem essa cor azul, ela vai perder um pouquinho da sua cor. Esses são os aspectos visíveis que a gente tem do que tá acontecendo ali [...]”

Sem deixar de lado os fenômenos submicroscópicos e, ao mesmo tempo, fazendo questionamentos que melhor direcionam sua explicação sobre o modelo conceitual de oxirredução a partir do NOx e da sua relação com o átomo, este sujeito atentou-se em explicar o que acontece no decorrer da sua ilustração da figura anterior, pode-se averiguar no trecho a seguir,

“[...] e como é que eu explico o que aconteceu ali então? Por que se depositou esse marrom em minha barra? Por que que saiu a cor azul? Por causa da transferência de elétrons que aconteceu entre essas duas espécies [...]. Aí eu parto dos números de oxidação prontos ali. No caso eu vou analisar uma espécie por vez e aí eu botei as duas, a semirreação do zinco e a do cobre. Eu analiso primeiro o seguinte: Zn^0 - o que que significa esse zero que a gente coloca em cima do número e que a gente chama de número de oxidação? O que que é esse zero? E aí lembra, retoma o conceito do átomo para conseguir lembrar e pra entender da onde vem esse número zero. Eu coloquei que o zero significa que eu tô falando que essa espécie química ela possui a mesma quantidade de prótons e a mesma quantidade de elétrons. E aí o que que acontece? Esse Zn^0 é o zinco sólido, no caso, que eu tenho ali na barra.”

Desta forma, por meio do que acontece com os prótons e os elétrons dos átomos envolvidos na exemplificação fornecida pelo sujeito, é possível compreender a variação do

número de oxidação a partir do processo de oxidação e, conseqüentemente, a formação do íon Zn^{2+} devido à perda de dois elétrons do zinco metálico,

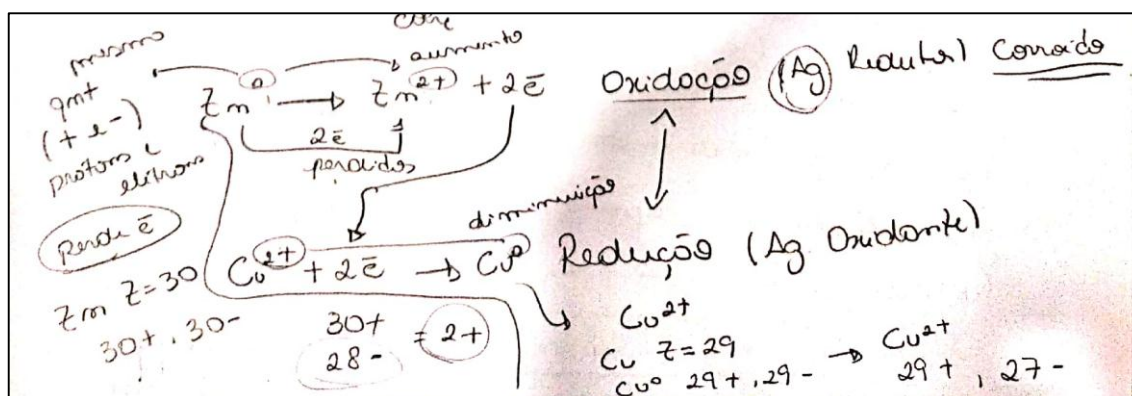
“Depois que essa reação acontece eu vou perceber que se eu tirar esse cobre que ficou em cima da barra, eu vou ver que aquela barra de zinco começou a ser corroída. Eu tô perdendo zinco sólido dali. Porque aquilo é corroído? Para onde foi esse zinco? pois ele não pode ter desaparecido. Ele foi para algum lugar, ou seja, para a solução e ele se transforma em Zn^{2+} . O que é esse dois mais? Se eu for pensar a nível molecular, se eu pegar o número atômico do zinco, o número atômico do zinco é 30 e significa que ele tem 30 prótons e 30 elétrons quando ele for uma espécie neutra. Só que o que acontece, ele não vai mais ser neutro no momento que ele passa de Zn^0 para Zn^{2+} , por quê? Esse Zn^{2+} aqui significa que eu tive perda de elétrons. E o que é perda de elétrons? se eu fizer uma conta simples né, eu tinha 30 prótons, 30 cargas positivas e eu perdi elétrons né. Se eu perdi dois elétrons, eu vou ficar com 28 cargas negativas. Então eu tenho 30 cargas positivas e 28 cargas negativas porque ele perde esses elétrons. O meu saldo, digamos assim, entre essas cargas, esse balanceamento de cargas, me diz que eu tenho duas cargas positivas a mais do que a quantidade de elétrons que esse meu átomo tinha e esse dois mais que é o número que a gente coloca em cima. [...] Então eu consigo saber que esses elétrons foram perdidos olhando para esses números. Se o zinco era 0 e ele ficou 2+, tá me mostrando que ele perdeu elétrons e se ele perdeu elétrons, essa foi a minha espécie que oxidou pelo conceito né, que oxidação é perda de elétrons.

Mas também consegue-se entender o processo de redução através de sua explanação sobre dois elétrons perdidos pelo do zinco, os quais são transferidos para a solução de sulfato de cobre e, assim, o cobre acaba recebendo-os,

“Mas ele perde esses elétrons e esses elétrons vão para onde? vão para o cobre que vai receber esses elétrons. Então esse cobre estava lá na solução, dentro do béquer, e aí esse cobre que estava lá em solução recebe esses elétrons. Como esse cobre estava em solução, uma solução de sulfato de cobre pode ser, o sulfato de cobre em solução se dissocia, se separa e fica positivo (+) no caso, que é a carga dele, vai receber esses dois elétrons, aí eu tenho escrito a semirreação aqui, e quando ele recebe esses dois elétrons ele vai se transformar em Cu^0 , que é o cobre com sua quantidade de prótons e de elétrons iguais. E aí esse cobre zero é o cobre sólido que vai se depositar sobre a barra de zinco metálica que a gente vai conseguir visualizar isso como marronzinho ali em cima da barra de zinco.”

O sujeito construiu as semirreações dos processos de oxidação e redução, salientando ainda a variação dos elétrons ganhos e perdidos, conforme o esquema presente na Figura 16.

Figura 16 - Semirreações construídas pelo sujeito S₂



Fonte: Sujeito S₂.

Para finalizar, o sujeito explica e conceitualiza agente oxidante e agente redutor, afirmando que “[...] quem oxida é agente redutor e que reduz é o agente oxidante. [...] O agente tem a ideia de quem vai provocar no outro, então se eu me oxido é porque eu provoço a redução do outro e se eu oxido eu sou um agente redutor.”

Analisando o exposto pelo sujeito S₂, nota-se bastante conhecimento sobre o conteúdo, ou seja, sobre as reações de oxirredução, deixando apenas a série de atividade dos metais sem explicar e também um aprofundamento maior em relação ao número de oxidação. No entanto, o mesmo utilizou mais representações proposicionais, ou seja, representações relacionadas aos níveis simbólicos da Química, como no caso das equações químicas, quando comparadas as representações visuais, visto que o mesmo apenas ilustrou um átomo qualquer, sem muitos detalhes. Por outro lado, ao ir construindo sua explicação percebeu-se muitas informações quanto às mudanças que ocorrem em uma reação de oxirredução, as quais são muito importantes para um melhor entendimento e compreensão do conteúdo.

Sujeito S₃

O terceiro sujeito deixou claro desde o início da entrevista que, pelo fato de não lembrar quase nada sobre oxirredução, acreditava que não conseguiria contribuir muito com a pesquisa, informando que “[...] nem sei se vou conseguir te ajudar na tua pesquisa. Como faz tanto tempo que eu não tenho contato com isso, nem sei se vou conseguir lembrar ou fazer alguma coisa. Eu acho que eu nem saberia explicar pra alguém mais isso”. Mas, mesmo assim, ele tentou ajudar de alguma forma e, caso tivesse que explicar uma aula sobre oxirredução, mencionou que “[...] iria iniciar falando da pilha de Daniell, contaria sobre sua história, de como que foi

desenvolvido, mostraria as semirreações entre o cobre e o zinco e demonstraria alguns exemplos práticos”.

Sua fala permite enxergar com clareza o quanto o conteúdo de oxirredução parece não existir na ausência da eletroquímica, sendo difícil para ele - assim como para outros sujeitos também - dissociá-los. Certamente, pensar no conteúdo de oxirredução é extremamente importante para a compreensão da eletroquímica, porém seus conceitos se estendem muito além, abrangendo outros conteúdos de outras subáreas da Química e não apenas a Físico-Química, conforme já mencionado, podendo ser trabalhado na Inorgânica, na Orgânica, na Bioquímica, etc.

Outro ponto a ser levantando a partir disso é que esse olhar direcionado apenas à inserção dos conceitos de oxirredução à eletroquímica provem de egressos de Química Licenciatura que já trabalham em escolas, bem como em universidades, e que certamente transmitem esse pensamento a seus educandos/graduandos, o que é bom, pelo fato de conexões com outros conteúdos, porém é válido lembrar que o conteúdo de oxirredução não é importante apenas às pilhas e baterias.

Como visto, o terceiro sujeito a ser entrevistado não conseguiu explicar e organizar o conteúdo em sua mente a ponto de externalizá-lo, mas, ao mesmo tempo, buscou esclarecer sobre suas dificuldades, afirmando que “[...] *eu lembro que eu tinha muita dificuldade em entender sobre quem oxidava e quem se reduzia*” e quando questionado sobre o porquê de tais dificuldade, explicou que não eram provenientes apenas da graduação, mas era algo que vinha desde o ensino médio, por ser um conteúdo abstrato na concepção dele, “*Eu não lembro porque, mas acho que era por ser muito abstrato. Quando tive isso no ensino médio [...] teve uma greve, então nem lembro a forma que foi abordado. Mas eu acho que tive dificuldade lá na base [...]*”.

Sujeito S₄

Antes mesmo de começar a responder os questionamentos, o sujeito S₄ lembrou-se que seria importante ter em mãos a tabela periódica, perguntando se poderia pegá-la. Outro ponto observado desde o início foi o quanto este sujeito teve dificuldade de apresentar e construir exemplos, ou melhor, montar as equações das reações químicas e isso pode ser visto na seguinte fala inicial “*Eu sou meio mal de fazer exemplos. Eu posso colocar como uma pontuação?*”.

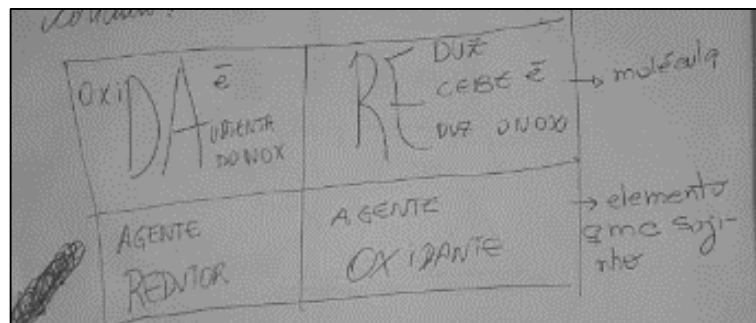
Por mais que tenha apresentado essa dificuldade inicial, o sujeito conseguiu organizar um pouco melhor suas ideias, explicando que nas reações de oxirredução ocorrem “[...] *uma troca de elétrons entre os elementos químicos*”, além de salientar a importância destas para o

dia a dia “[...] essas reações estão envolvidas em vários processos da nossa vida, desde processos químicos como biológicos, como no caso da respiração celular e também no amarelamento de uma maçã, por exemplo, quando a gente corta ela.”

Ao continuar sua explicação, passou a definir oxidação e redução, relacionando-os com a variação do NOx e, posteriormente, agentes oxidantes e redutores (Figura 17). É possível ver definições que parecem muito mais um esquema decorado em sua mente, não havendo em nenhum momento uma explicação do que acontece submicroscopicamente ou macroscopicamente durante a mudança de número de oxidação.

“[...] fiz um breve resumo de quem se oxida e quem se reduz. Sempre vai ter um que se oxida e outro que se reduz, o que se oxida, dá elétrons e aumentam o NOx, e quem se reduz recebe elétrons e reduz o NOx. A gente sempre tem que cuidar que o agente redutor e o agente oxidante é o oposto do que tem lá no título. Quem oxida é o agente redutor, porque ele vai fazer com que a outra molécula se oxide e quem reduz é o agente oxidante, ele vai fazer o outro se oxidar.”

Figura 17 - Esquema dos processos de oxidação e redução elaborado pelo sujeito S4



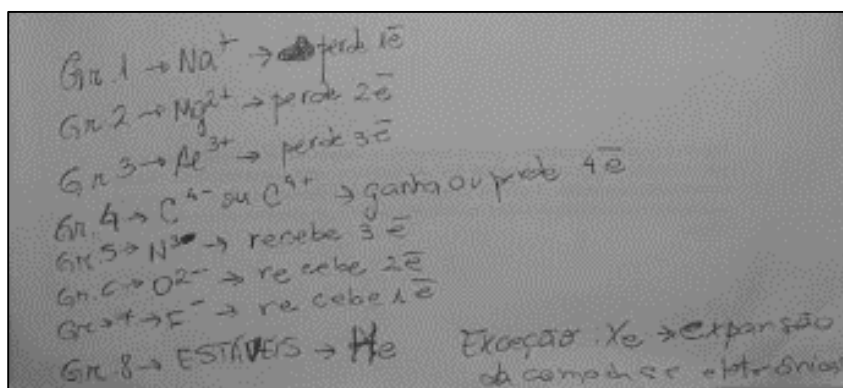
Fonte: Sujeito S4.

Observou-se ainda o quanto o sujeito S4 preocupou-se em elencar todos os NOx referentes aos elementos representativos da tabela periódica, deixando de lado os de transição. Destaca-se que, em todos os momentos o sujeito mencionou NOx fixos, como se apenas aqueles valores existissem para os átomos presentes em cada um dos grupos mencionados (Figura 18), e isso pode ser constatado no trecho abaixo.

“Outra coisa que a gente tem que ter cuidado é saber os **números de oxidação** [...] e para isso, na tabela periódica, a gente sabe que tem dezoito famílias e em cada uma ocorre uma maior probabilidade de ocorrer perda ou de elétrons. No grupo 1 há uma maior probabilidade de perder elétrons [...] para completar a regra do octeto e essa regra serve para atingir uma estabilidade química. Um exemplo do grupo 1 é o sódio,

Na⁺, pois ele vai perder um elétron [...] Já nos outros grupos, cinco, seis e sete, eles vão ganhar elétrons, porque a quantidade de elétrons que ele tem na camada mais externa, faz com que eles sejam mais fáceis de receber do que doar[...]

Figura 18 - Regras dos números de oxidação, segundo o sujeito S₄



Fonte: Sujeito S₄.

Para finalizar, S₄ utilizou a variação do número de oxidação do ferro para exemplificar a oxidação quando este entra em contato com o gás oxigênio, deixando de lado uma explicação completa do que acontece, pois não lembrava das reações em si,

“Eu já posso pontuar aqui que eu não sei as reações de cor na minha cabeça, mas eu coloquei um exemplo do Fe²⁺ que em contato com o oxigênio do ar ele vai passar para Fe³⁺, ou seja, de Fe²⁺ ele passou para Fe³⁺, então ele vai aumentar o número de oxidação porque ele entrou em contato com o ar, oxidando então o ferro.”

Percebe-se que este sujeito não se atentou em estabelecer uma linha de raciocínio contínua no decorrer de sua explicação pois, primeiro definiu oxirredução e falou sobre a variação do NO_x nos processos de oxidação e redução, e apenas depois pontuou os NO_x de família por família da tabela periódica, porém sem explicar e definir o que seria o NO_x. Além disso, em nenhum momento utilizou de representações visuais para construir sua explicação, deixando totalmente de lado as mudanças visíveis e também submicroscópicas necessárias ao conteúdo.

Sujeito S₅

Pelo fato de nunca mais ter entrado em contato com o conteúdo de oxirredução, o sujeito S₅ relatou que foi muito desafiador, principalmente por ter que parar e pensar e explicá-lo. Por

conta disso, menciona que “[...]os pensamentos e conceitos que me vieram à cabeça, vieram de forma isolada, soltas, não conexos. E eu não consegui me lembrar de uma reação completa e balanceada que me permitisse fazer e explicar os conceitos para que eu consiga trabalhar.”

No início da organização de suas ideias, S₅ destacou ser importante trazer o conteúdo a partir do cotidiano, expondo vários exemplos envolvendo oxirredução,

“Então eu faria associações e daria exemplos muito clássicos, por exemplo, o escurecimento da prata, de talheres de prata, de bijuterias e joias em prata, quando ocorre a formação do óxido de prata, a prata acaba escurecendo e existe uma forma de clareá-la, né, que também envolve e é muito rico de se mostrar, é uma fervura com um pouquinho de sal. Não me lembro da reação, só. Outro é a formação da ferrugem, o óxido de ferro III, né. A revelação de filmes, manual, né, porque hoje em dia se tem uma forma digital de revelação, mas se fosse retomar a revelação de filmes fotográficos e radiográfico. O escurecimento das frutas, de uma salada de frutas e porque a gente adiciona limão. Pilhas e baterias, do funcionamento delas, que é o mais clássico da eletroquímica mesmo, até a poluição causada por elas e a forma de se melhorar isso, né.”

Posteriormente, o sujeito trouxe a questão do NO_x, porém sem muitas explicações, apenas no sentido do que faria caso tivesse que explicá-lo: “Falaria o que é o número de oxidação, que é a carga elétrica de cada átomo, que a soma [...] deve ser igual a carga da substância, se ela é neutra vai ser igual a zero, se não, não vai corresponder a sua carga [...]. Aqui é relevante mencionar que na verdade o número de oxidação não é carga elétrica do átomo, mas sim dos íons formados por eles.

Ao continuar sua explicação sobre NO_x, S₅ abordou a questão da redução da prata, porém não soube utilizar um exemplo para o processo de oxidação, porém comenta que tem consciência que em uma reação de oxirredução ambos os processos acontecem e que um depende do outro, conforme mostrado a seguir e também na figura 19.

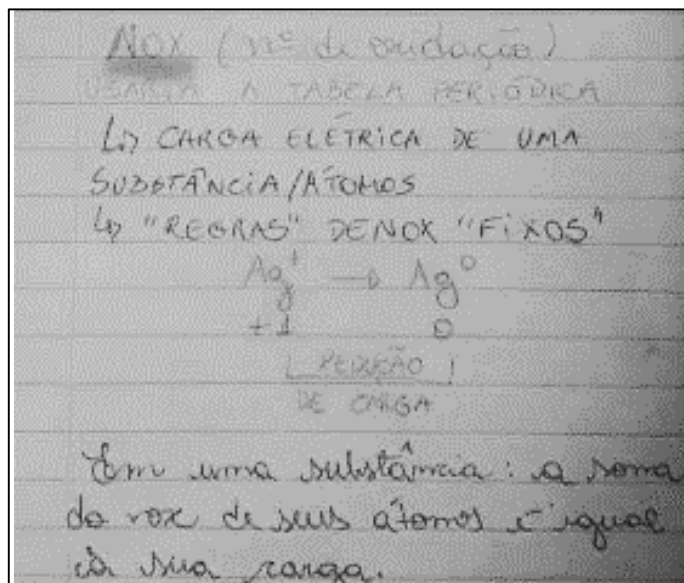
*“Eu fiz uma semirreação aqui de redução da prata [...] que vai de Ag⁺ para Ag⁰, de mais um para zero mostrando que houve uma **redução** da carga, porém, eu vejo que seria inconsistente mostrar só isso, porque eu precisaria mostrar o resto né, quem oxidou para a prata reduzir [...]”*

O sujeito introduziu ainda os conceitos de agente redutor e oxidante, relacionando-os com o conceito de oxirredução, bem como de oxidação e redução e NO_x,

“[...] eu falo de agente redutor e de agente oxidante, e que uma reação de oxirredução ela é mutua, ela é simultânea, com uma oxidação e uma redução ocorrendo. Não existe de forma isolada. É preciso que aconteça uma redução e uma oxidação. Então, uma espécie vai provocar a redução na outra espécie, sofrendo oxidação. O que que é oxidar? é aumentar o seu NO_x e para isso a substância precisa perder elétrons e o agente oxidante, por sua vez, é quem vai provocar a oxidação da outra espécie e vai

sofrer redução. Ao sofrer redução, ele reduz seu NOx e recebe elétrons da outra espécie que oxidou.”

Figura 19 - Definição de número de oxidação e semirreação da redução da prata, de acordo com o sujeito S₅



Fonte: Sujeito S₅.

Ao falar a respeito de suas dificuldades, criticou a forma como aprendeu o conteúdo enquanto aluna, sendo sempre muito conceitual e cheio de regras, mas, ao mesmo tempo remete que, caso precisasse se preparar para organizar realmente uma aula sobre, teria que tomar cuidado para não explicar da mesma forma que aprendeu.

Mais uma vez, ao olhar para as perguntas que direcionam esta análise, percebe-se a ausência de representações visuais no decorrer da explicação das ideias deste sujeito, como também das mudanças observáveis e não observáveis desse tipo de reação química. Ao mesmo tempo, algumas definições e conceitos trazem algumas concepções errôneas e ingênuas sobre oxirredução.

Sujeito S₆

Indo ao encontro de Klein (2016), o Sujeito S₆ enfatizou as dificuldades desde o começo ao mencionar que o próprio nome já é um problema, pelo fato de possuir várias nomenclaturas para as reações de oxirredução, afirmando que “já começa pelo nome a dificuldade, né, porque é oxirredução, é oxidação e redução, então já tem vários nomes que tu pode dar e que isso já se torna um desafio [...]”

Para introduzir o conteúdo, S₆ salientou que utilizaria de alguns exemplos e que relembriaria os números de oxidação e novamente é possível ver o quanto os NO_x fixos são destacados pelos sujeitos. Salienta-se que, ao contrário do exposto por este sujeito, o NO_x do oxigênio pode sofrer variações também quando presentes em compostos como superóxidos e fluoretos.

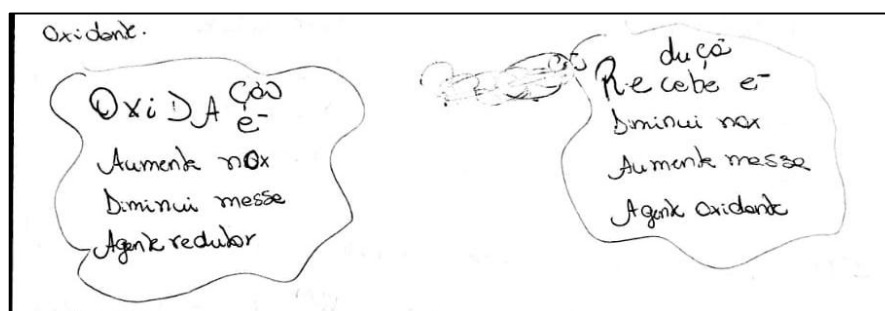
“[...] se eu fosse dar uma aula de oxirredução, eu tentaria trazer exemplos do cotidiano e essa parte eu nem escrevi aqui, como eu até já mencionei, a ferrugem, as joias que oxidam com o tempo. Posterior, iria fazer uma retomada de NO_x [...], como do grupo dos halogênios que o NO_x é -1, do oxigênio que geralmente não varia, a não ser que seja em peróxido de hidrogênio, mas se não, oxigênio é -2, o hidrogênio é +1.”

A definição dada por este sujeito centra-se na transferência de elétrons, onde

“[...] na oxidação os átomos vão fazer a doação dos elétrons, ou seja, vão perder elétrons e dessa maneira vai aumentar o número de NO_x, diminui a massa e então é possível visualizar a diminuição da massa e quem sofre a oxidação é o agente redutor. Por quê? ele é gente redutor porque ele vai reduzir [...]. Então na redução ocorre o recebimento de elétrons e dessa maneira vai ocorrer a diminuição do número de NO_x e o aumento da massa. Porque aumento da massa? Porque ele vai estar recebendo elétrons e automaticamente a massa vai aumentar e quem sofre a redução é o agente oxidante porque ele vai oxidar o outro.”

Inicialmente, o sujeito explicou de forma extremamente abstrata os conceitos envolvidos em um processo de oxirredução, mencionando ainda ser possível “visualizar a diminuição e aumento da massa”. Para facilitar a explicação, o mesmo utiliza de um esquema (Figura 20), porém na palavra “oxidação” deveria ter um pouco mais de destaque, a fim de salientar que neste processo “oxiDAção”, isto é, ocorre a doação de elétrons, conforme mostra também a palavra “redução” ao mostrar que acontece pelo recebimento de elétrons.

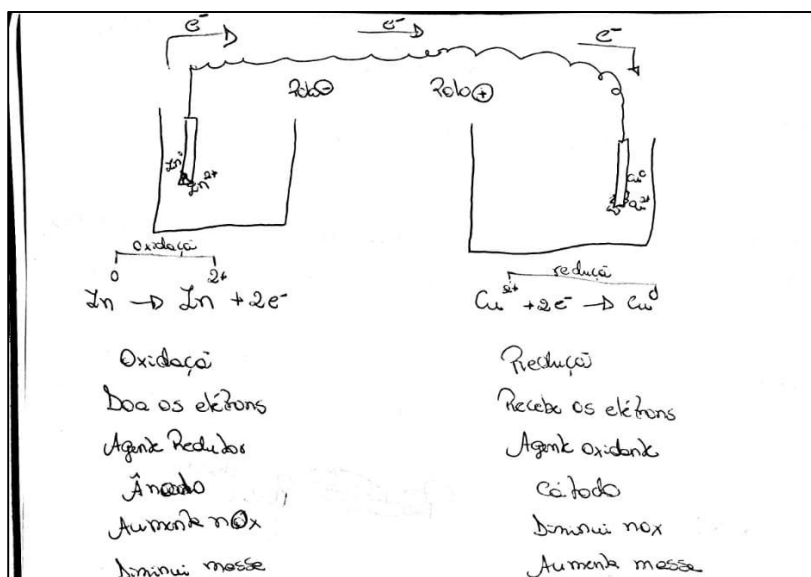
Figura 20 - Esquema dos processos de oxidação e redução elaborado pelo sujeito S₆



Fonte: Sujeito S₆.

No entanto, ao começar a exemplificar, percebe-se que, na verdade, o sujeito S₆ estava a todo momento relacionando o conteúdo à eletroquímica devido a construção de uma pilha (Figura 21). Argumenta-se que o exemplo dado não está errado e é extremamente importante, principalmente por envolver todos os conceitos das reações de oxirredução, dando perfeitamente para compreender o entendimento deste sujeito sobre o assunto.

Figura 21 - Pilha de Daniell construída pelo sujeito S₆ para exemplificar e explicar o conteúdo



Fonte: Sujeito S₆.

Para isto, o sujeito construiu uma pilha formada entre o zinco e o cobre, explanando por meio do aumento e da diminuição dos NOx a oxidação do zinco e a redução do cobre. Mais uma vez argumenta sobre o aumento e da diminuição da massa, porém sem esclarecer onde que isso acontece. Na figura 18 percebe-se meros riscos ao redor da placa do cobre, mas a mesma não é autoexplicativa, tornando-se de difícil entendimento. Ainda, traz a questão dos agentes oxidantes e redutores, relacionando-os aos conceitos de cátodos e ânodos utilizados na eletroquímica, isto é, aos polos negativos e positivos.

“[...] nós temos aqui um exemplo em que nós temos o zinco e o cobre. [...]Então, o zinco ele vai passar de Zn^0 pra Zn^{2+} , e nesse caso de 0 para 2+, ele sofreu oxidação, ou seja, ele tá doando elétrons, e por isso ele é o agente redutor, e vai ocorrer aumento do NOx e a diminuição de massa. Quando eu tenho cobre, o cobre vai de 2+ pra 0, e então o NOx tá reduzindo, acontecendo a redução e dessa maneira está recebendo elétrons e por isso aumenta a massa ao redor e ele é o agente oxidante, que oxidou o zinco e então ele é nosso cátodo. Os elétrons vão se deslocar do polo

negativo, que nesse caso é o do lado do zinco, pro polo positivo, que é o lado do cobre, que eu até fiz a representação do deslocamento dos elétrons.”

O Sujeito S₆ também entra na questão da força eletromotriz, ou seja, da variação do potencial de oxidação, a qual também faz parte do conteúdo de eletroquímica. Todavia, assim como a série de atividade dos metais, a partir da variação formada no decorrer de uma pilha de Daniell, é possível constatar a possibilidade ou não de uma reação química de oxirredução ser espontânea ou não, mostrando a tendência que determinados átomos possuem de se oxidarem ou reduzirem (Figura 22).

“E aí nós temos o cálculo que pode ser feito da diferença de potencial, que também é chamada de força eletromotriz ou variação de potencial [...]. Pra realizar esse cálculo, a gente vai utilizar os potenciais de redução ou de oxidação dos átomos, sendo que eu vou abordar aqui no exemplo a utilização dos potenciais de redução e a medida desses potenciais é dada em volts. Uma coisa que já é consenso, é que os átomos que têm maior potencial de redução tem a tendência a se reduzir, ou seja, se só nos fossem dados os potenciais de redução, eu saberia só olhando os valores, de cobre e zinco, que são os exemplos que eu trouxe, que o cobre iria se reduzir porque ele tem um maior potencial de redução. Dessa maneira a gente conseguiria observar isso e nós temos o cálculo da diferença de potencial, que é o potencial do cátodo menos o potencial do ânodo. Então eu vou ter o 0,34 que é o valor do potencial do cobre menos -0,76 que é o valor do potencial do ânodo que é o zinco. Então eu vou ter um total de 1,10 volts e quando eu tenho um ΔE maior que zero, eu tenho uma reação espontânea e aí eu trago para os alunos que a gente vai ter pilha e que as pilhas vão transformar energia química em energia elétrica.”

Figura 22 - Cálculo feito pelo sujeito S₆ da diferença de potencial da Pilha entre zinco e cobre

Cálculo da d.d.p.:

$$\Delta E^{\circ} = E^{\circ}_{\text{cátodo}} - E^{\circ}_{\text{ânodo}}$$

$$\Delta E^{\circ} = 0,34 - (-0,76)$$

$$\Delta E^{\circ} = 1,10 \text{ V}$$

$\Delta E^{\circ} > 0$ reação é espontânea

Pilhas transformam energia química em energia elétrica

Fonte: Sujeito S₆.

Para finalizar, o mesmo relata que “esse é basicamente o conteúdo que eu traria de oxirredução”, porém, deve-se deixar claro que são conteúdos diferentes, mas que dentro da eletroquímica os conceitos de oxirredução são extremamente importantes, sendo impossível dissociá-los e, além disso, pode-se compreender o entendimento dos sujeitos em relação aos conceitos de oxirredução a partir desse conteúdo, isto é, eletroquímica.

Nota-se que, ao tentar ilustrar como ocorre uma reação de oxirredução no contexto de uma pilha, poucas foram as explicações dadas em relação às mudanças macro e submicroscópicas, visto que, quando mencionadas durante sua fala, não era feita uma menção à imagem, apenas citado, não ficando claro em alguns momentos onde os fenômenos estavam acontecendo.

Sujeito S₇

Desde o início da entrevista deste sujeito foi possível ver que o mesmo estava com bastante dificuldade, não conseguindo externalizar de forma clara o que sabia sobre oxirredução, mencionando inclusive que são reações que “[...] *sofrem redução ou oxidação, [...] que pode perder ou ganhar elétrons, principalmente para ganhar uma estabilidade química né*”. Destaca-se aí uma concepção errônea deste sujeito, visto que, para que um processo de oxirredução aconteça, faz-se necessário tanto a oxidação quanto a redução, uma não acontecendo sem a outra, indo de encontro ao que o sujeito relata, que são reações que podem sofrer ou um ou outro.

Este sujeito busca ainda abordar a série eletroquímica para definir quem oxida e quem reduz, porém em nenhum momento utiliza de exemplos para melhor entendimento de suas explicações. Nota-se que, diferente da definição dada inicialmente, o sujeito deixa claro no decorrer de sua explanação que no processo acontece um perde e ganha, havendo a necessidade destas reações ocorrerem em par, onde um ganha e outro perde elétrons, como mostra o trecho a seguir.

“Então, sempre vai ter aquela série eletroquímica lá que vai mostrar que um tem muito potencial de redução e então ele vai ganhar o elétron, então quanto maior o potencial de redução, maior a propensão que ele tem de ganhar e como ele está em contato com outro numa solução aquosa, vamos dizer, ele acaba tendo um potencial maior de ganhar os elétrons e o outro vai doar esses elétrons. Então tem que ter esse perde-ganha, tem um par que vai trabalhar em conjunto.”

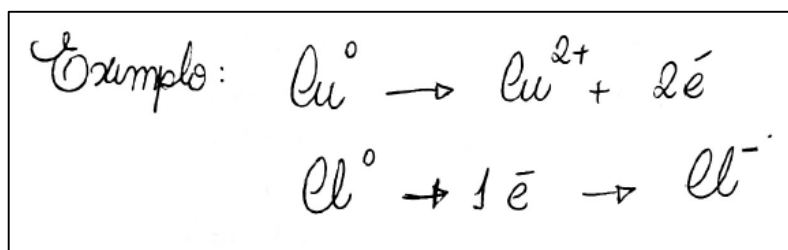
Porém, menciona-se que isso não pode ser visto como algo padronizado, visto que há muitas reações químicas de oxirredução que podem apresentar mais de uma espécie oxidando e/ou reduzindo, isto, nem sempre ocorrerá com um único par.

Para finalizar, o sujeito utiliza de um exemplo para explicar oxidação e redução por meio da formação de cátions e ânions entre o cobre e o cloro (Figura 23). No entanto, no decorrer de um processo de oxirredução, a quantidade de elétrons perdidos e ganhos devem ser

a mesma, fato este que não é averiguado nas semirreações fornecidas pelo sujeito, havendo a necessidade de balancear as quantidades de elétrons envolvidos no processo. Pode-se averiguar isto na seguinte fala:

“Quando a gente tem um elemento que perdeu elétron, a gente diz que ele sofreu oxidação e ele virou um cátion com carga positiva. Mas quando a gente tem um elemento que ganhou elétron, daquele que perdeu, ele vai sofrer redução e ele vai ser um ânion com carga negativa. Um exemplo que a gente pode ter é quando a gente tem o cobre que, perdendo dois elétrons, ele forma o Cu^{2+} . Se ele perdeu dois elétrons que ficarão nos produtos da reação, a gente tem então uma oxidação. E quando o cloro, por exemplo, ganharia um elétron, ele então formaria um ânion, ele passa a sofrer redução, porque ele ganhou esse elétron.”

Figura 23 - Semirreações do cobre e do cloro fornecidas pelo sujeito S7



Fonte: Sujeito S7.

Sujeito S8

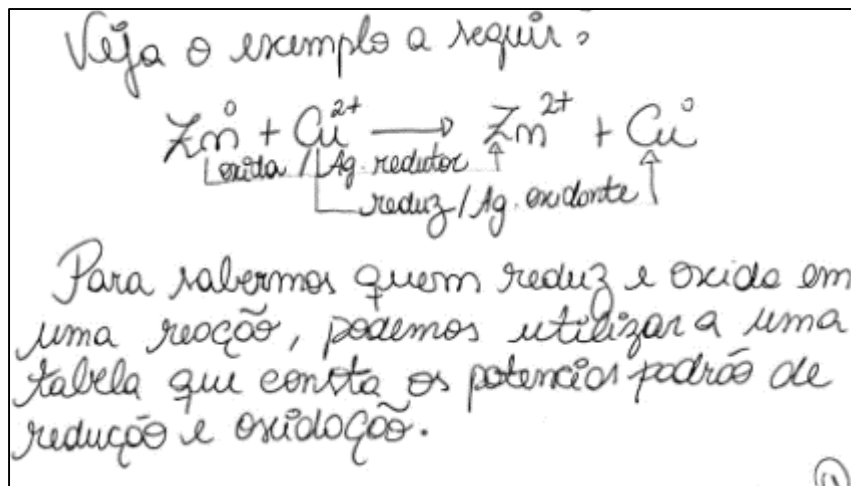
Para o sujeito S8, as reações de oxirredução envolvem a transferência de elétrons entre os átomos de forma simultânea e, para isto, alguns conceitos são importantes, como: oxidação e redução, agente oxidante e redutor, NOx. O trecho a seguir mostra, inclusive, uma certa preocupação do sujeito em não confundir estes conceitos.

“O que que é oxidação? Oxidação ocorre a perda de elétrons e o NOx vai aumentar se eu não me confundi. E na redução ocorre o ganho de elétrons e o NOx, nesse caso, vai diminuir. Já o agente oxidante e o agente redutor são conceitos bem importantes, e que por vezes eu confundo [...]. Então, agente oxidante é aquele que promove a oxidação, porém é ele que vai reduzir. Agente redutor é quem promove a redução, porém é ele quem vai oxidar.”

Para explicar tais conceitos, o mesmo trouxe um exemplo de oxirredução entre o zinco e o cobre (Figura 24), abordando as mudanças de cargas de ambos, mas sem relacioná-las com o número de oxidação, citado por ele anteriormente, mas que também não o definiu.

“Aqui eu coloquei um exemplo para identificar, por exemplo, a reação de zinco e cobre. Então partiu do zinco elementar para Zn^{2+} . O que que aconteceu com ele? ele perdeu elétrons, então ele oxidou e, por isso, ele é o agente redutor. Já o cobre, ele partiu de dois mais, com carga dois mais, para cobre zero. O que que aconteceu? ele recebe elétrons, ele reduz, ganha elétrons, então ele é o agente oxidante, nesse caso.”

Figura 24 - Reação global entre o zinco e o cobre fornecida pelo sujeito S₈



Fonte: Sujeito S₈.

Por mais que tenha apontado, por meio da variação do NO_x, quem oxida e quem reduz nas semirreações elencadas na figura 24, S₈ menciona que, para descobrir o que acontece de fato com ambas as espécies é necessário ter em mãos a tabela de potenciais, mas sem lembrar se esse era realmente o nome. Menciona-se aqui que esta entrevista se deu presencialmente e que a entrevistadora tinha em mãos esta tabela, a qual foi disponibilizada ao sujeito, porém ao relatar que não lembrava como a usava, não quis utilizá-la.

A breve fala do sujeito S₈ mostra que o mesmo sabia definir, embora de modo sucinto, os conceitos presentes no conteúdo das reações químicas de oxirredução, porém sem um aprofundamento teórico do assunto e também de uma visão destacando os efeitos sub e macroscópicos.

Sujeito S₉

A partir da realização da primeira questão envolvendo o conhecimento do conteúdo realizada com o sujeito S₉ foi possível constatar que o mesmo tinha um grau elevado de dificuldade em relação à oxirredução, principalmente por nunca ter trabalhado com elas, a não ser em sua época de graduando.

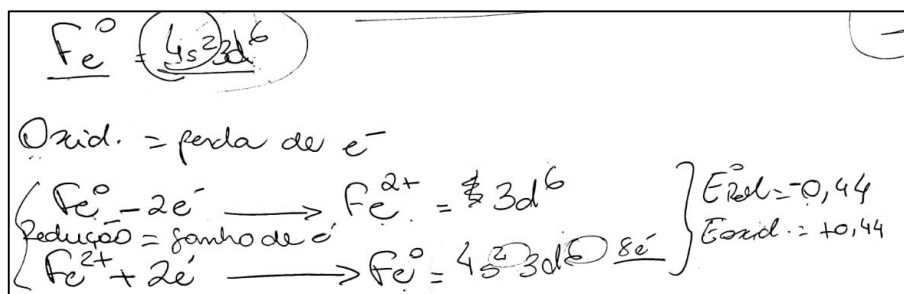
Logo de início este não sabia por onde começar, porém, após um bom tempo pensando, decidi que iria utilizar o ferro como exemplo e que a partir dele, iria trabalhar com seus elétrons de valência. Com isto ele passou a fazer relações entre a regra do octeto e a oxidação, de acordo com o trecho a seguir,

“Vou pro ferro. Vou usar o ferro como exemplo e começar a explicar. Muito bem, a gente começa pelo elétron de valência. Tu tem para formar o átomo, 8 elétrons na última camada, camada de valência, e esse seria o estado fundamental, ou seja, o ferro zero. Então tu teria na última camada esses dois elétrons nos dois subníveis energéticos. Se eu perder dois elétrons, por exemplo, eu vou sofrer oxidação. Então oxidação é a perda de elétrons. No caso do ferro, tu tens o ferro elementar que tem os 8 elétrons na camada de valência e se eu perder 2 elétrons, eu vou ter Fe^{2+} , que é o ferro sem dois elétrons. Ou seja, a configuração desse ferro aqui vai perder da camada mais alta que é o quatro. Então esse aqui é um processo de oxidação.”

Todavia, na verdade o átomo de ferro, cujo número atômico é 26, não apresenta 8 elétrons em sua camada mais externa, isto é, na sua camada de valência, sendo este uma das primeiras concepções errôneas do sujeito, como mostra também a Figura 25.

Segundo ele, pelo fato de a distribuição eletrônica do ferro elementar terminar em $4s^2 3d^6$, o mesmo teria 8 elétrons em sua última camada, mas na verdade, analisando-se toda a distribuição ($1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$), constata-se que este átomo tem treze elétrons em sua terceira camada e apenas dois na quarta. Porém, por mais que tenha apresentado dificuldade em relação aos elétrons distribuídos na eletrosfera atômica, o mesmo tem uma definição correta quanto à oxidação,

Figura 25 - Camada de valência do ferro e suas semirreações de ganho e perda de elétrons, segundo o sujeito S₉



Fonte: Sujeito S₉.

Além disso, abordar que também pode ocorrer o processo inverso, ou seja, o ganho de elétrons, afirmando que

“Se eu tiver o Fe^{2+} e ele receber dois elétrons, ele vai passar a ser o ferro elementar, ou seja, vai ter ganho elétrons, ficando com esses dois elétrons na camada mais alta, sendo que o orbital d já tá totalmente preenchido, levando então ao ferro elementar, ou seja, tu tem que ter para ser ferro elementar, os 8 elétrons na última camada, completando a regra do octeto. Nesse caso aqui tu tem redução, que é o ganho de elétrons.”

Em ambos os processos se nota um sujeito preocupada em trazer a questão atômica, que para o entendimento de oxidação e redução é muito importante, mas que ao mesmo em nenhum momento utiliza de imagens para explicar isso acontecendo e que também apresenta muitas dificuldades, pois mais uma vez há presença de concepções errôneas sobre a distribuição eletrônica ao afirmar que o ferro $4s^2 3d^6$ está com sua última camada completa.

Ao continuar sua explanação, S9 aponta ainda que, para que uma reação de oxirredução aconteça, é preciso ter dois metais, um de frente para o outro e caso um seja o ferro em presença de outro metal com um potencial de redução maior, eles irão trocar de elétrons,

“Se eu colocar, por exemplo, um elemento como o ferro com algum outro que tem um potencial de redução maior que ele, eu vou ter uma troca de elétrons. Então se eu colocar dois metais, um de frente para o outro, um deles pode reduzir e o outro pode oxidar, isso porque cada átomo tem um comportamento diferente, um comportamento de oxirredução diferente, ou seja, um potencial de redução diferente.”

Mais uma vez o sujeito apresenta alguns erros conceituais na hora de construir sua explicação, primeiro porque o simples fato de dois metais com potenciais diferentes e de frente um para o outro não é sinônimo de uma reação química de oxirredução acontecer, sendo necessário saber interpretar quem oxida e quem se reduz e, ainda, se a reação química realmente irá acontecer. Além disso, esse tipo de reação só irá acontecer quando duas (ou mais) espécies químicas estiverem em contato uma com a outra para que a transferência eletrônica ocorra.

Analisando todo o decorrer da entrevista, percebe-se que este sujeito direciona sua explicação mais para o nível submicroscópico ao associar os processos de oxidação e redução à estrutura atômica, principalmente com a distribuição eletrônica. Todavia, possui definições soltas, sem nenhuma relação mais profunda com as reações de oxirredução, além de apresentar diversas concepções errôneas e ingênuas sobre o conteúdo.

Sujeito S₁₀

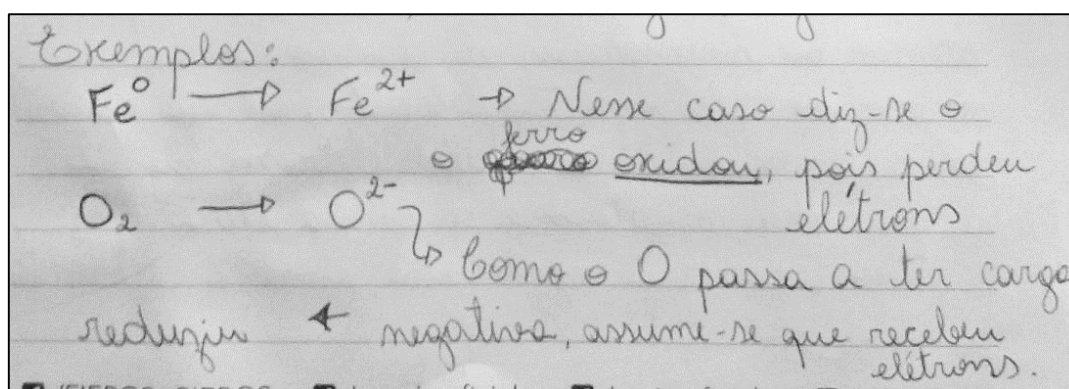
Para começar a resolver a questão envolvida com o modelo conceitual de oxirredução, o sujeito S₁₀ definiu o que é esta reação química, abrangendo os principais conceitos deste conteúdo,

“[...] são reações em que acontece a transferência de elétrons de uma substância pra outra, que a gente sempre precisa ter no mínimo duas substâncias reagindo, que uma vai ser o agente oxidante e outra o agente redutor e aí a espécie que doa elétrons é chamada de oxidante e quem recebe é redutora. Sendo assim, o agente oxidante será um íon cátion pois fica com carga positiva e o agente redutor se torna um íon ânion com carga negativa.”

No trecho acima nota-se alguns erros conceituais desse sujeito em relação as definições apresentadas sobre oxidação e redução, visto que, na concepção dele o agente oxidante será aquele que se torna um cátion, enquanto que o agente redutor aquele que passa a ser um ânion. Todavia, o que realmente acontece é o contrário, pois quem oxida (carga positiva) é o agente redutor, e quem reduz (carga negativa) é o agente oxidante. Ao continuar sua fala, o sujeito utilizou os seguintes exemplos (Figura 26):

“E aí tem alguns exemplos, do ferro substância pura com NOx zero passando para Fe²⁺ tendo assim doado dois elétrons e o oxigênio que passou de substância pura com NOx 0 pra O²⁻ tendo recebido dois elétrons. [...] esse processo então da transferência é um processo que acontece de maneira simultânea [...]”

Figura 26 - Exemplos de processos de oxidação e redução e suas respectivas semirreações, segundo o Sujeito S₁₀



Fonte: Sujeito S₁₀.

Tanto a partir da fala quanto da figura 26 é possível perceber que em nenhum momento o sujeito menciona se o exemplo dado é o da formação da ferrugem, pois não relata se o ferro e o oxigênio estão em contato ou não, apenas cita-os de forma solta, mencionando que ambos

os processos ocorrem simultaneamente. Outro ponto a ser pontuado são as semirreações utilizadas, pois estão incompletas, não apresentando a quantia de elétrons envolvidos.

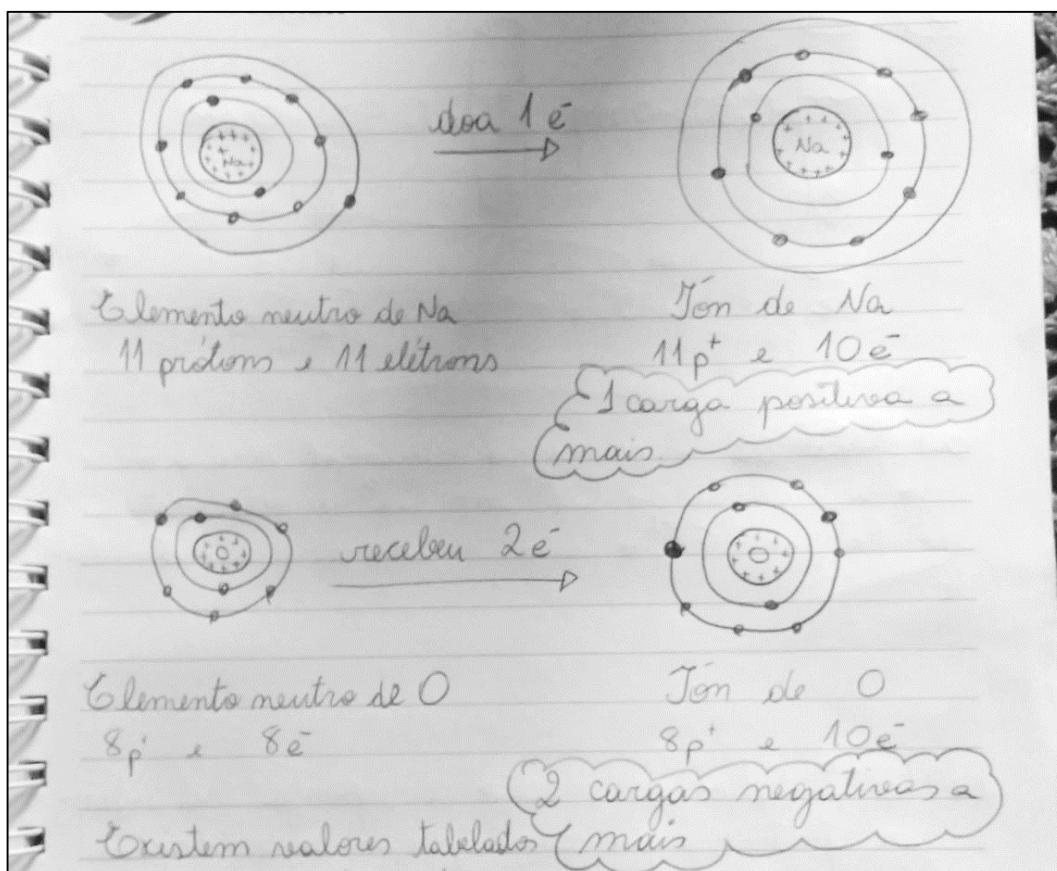
Posteriormente, o sujeito trouxe a questão do número de oxidação, levantando um ponto bem importante para tratar desse conceito a partir da relação com a atomicidade (Figura 27), isto é, das quantidades de elétrons e prótons em um átomo no decorrer da formação de cátions e ânions, o qual muitas vezes contribui para deixar lacunas na aprendizagem por se tratar de algo abstrato e ao mesmo tempo indo de encontro com o que aprenderam na matemática, que aquela que ganha torna-se positivo e quem perde, negativo.

“[...] é um valor assumido pelos átomos ou substâncias, de acordo com o número de elétrons que são transferidos. Então quando uma substância recebe elétrons ela passa a ter o NOx negativo e quando doa fica positivo e isso pode ser explicado com esse desenho aqui de formação de cátions e de ânions onde, pensei nessa explicação justamente por uma dificuldade que eu tive enquanto eu ensinava, por que quando um átomo recebe elétrons ele fica negativo, que parece que vai muito contra a matemática né, então explicar o porquê que ele se torna positivo quando doa e negativo quando recebe, que é preciso fazer essa associação com o número de prótons. Então quando eu tenho um átomo neutro eu tenho o mesmo número de prótons e elétrons por isso a carga dele é neutra, é zero. Quando eu doo um elétron eu tenho 11 prótons e dez elétrons, eu usei o exemplo do sódio, e por isso eu passo a ter uma carga positiva a mais e essa uma carga positiva a mais é que vai me dar o valor do NOx. Fiz um exemplo de um cátion e de um ânion [...]. O oxigênio pra se tornar estável por exemplo ele recebe dois elétrons, ou seja, [...] oito prótons e dez elétrons, logo ele tem duas cargas negativas a mais e NOx igual a -2.”

Para complementar sua explicação sobre NOx, o sujeito S₁₀ falou também a respeito do estabelecimento desses valores, deixando claro desde o início que nem sempre serão valores fixos, pois dependem muito com quem estão ligando-se (Figura 28).

“E aí fiz uma tabelinha dos valores geralmente assumidos do NOx, embora eles possam variar dependendo do elemento que eles tiverem ligados. Os elementos do grupo 1 da tabela ou da família 1 tem NOx +1, o grupo 2, +2. Os elementos de transição interna, de transição externa eles têm uma variabilidade muito grande, eu não consigo assumir um valor de NOx por grupo ou por família, e aí no grupo 15, 16 e 17 eu já tenho novamente algumas semelhanças mas ainda assim podem variar então eu coloquei grupo 15 geralmente -3, grupo 16 geralmente -2, grupo 17 geralmente -1, mas pode variar e eu não sei os valores que, do que pelo qual pode variar de cabeça. [...] E eu coloquei aqui uma observação de que esses valores podem ser diferentes, dependendo da substância formada.”

Figura 27 - Relação entre a atomicidade e a formação de cargas positivas e negativas em átomos, de acordo com o Sujeito S₁₀



Fonte: Sujeito S₁₀.

Figura 28 - Valores dos NO_x estabelecidos pelo Sujeito S₁₀

Grupo	Valor	Observação
Grupo 1	+1	Embora esses valores possam ser diferentes dependendo da substância formada
Grupo 2	+2	
Grupo 15	Geralmente -3	
Grupo 16	Geralmente -2	
Grupo 17	Geralmente -1	

Existem valores tabelados

para alguns elementos

Fonte: Sujeito S₁₀.

Olhando-se para os dados obtidos por este sujeito, averigua-se que o mesmo apresenta concepções errôneas ao se confundir quem é o agente oxidante e redutor. Ao mesmo tempo, é

perceptível que o mesmo em nenhum momento abordou sobre as questões observáveis que uma reação de oxirredução acarreta, isto é, suas mudanças macroscópicas, enfatizando muito mais a parte da atomística, a qual é muito importante para compreender as reações de oxirredução, do que o conteúdo propriamente dito.

Sujeito S₁₁

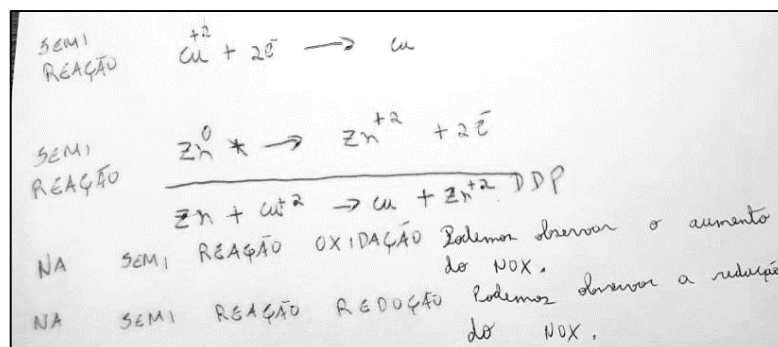
Diferente dos sujeitos mencionados até agora, a partida para a construção do conhecimento do conteúdo feita pelo sujeito S₁₁ deu-se por meio da espontaneidade reacional visto que, segundo ele, há reações mais rápidas e também reações mais lentas, mas para isso acontecer é preciso duas coisas no mínimo: duas substâncias, uma capaz de doar e a outra de receber elétrons, conforme mostra a seguir.

“[...] pensando na reação de oxirredução, a primeira coisa que eu trago aqui para gente conversar é a questão da perfil de reação espontânea, onde algumas reações são mais lentas e outras mais rápidas, mas nós temos uma situação que não é necessário, geralmente, aplicar uma corrente ou ter alguém participando a mais, pois já tem duas coisas no mínimo para isso acontecer nessa reação espontânea. E o que são essas duas coisas? Duas substâncias no mínimo, com características doadoras e receptoras de elétrons.”

Para ele, conhecer esse tipo de reação é importante pois estão presentes em todos os espaços, mas, mais que isso, é preciso falar delas apontando seu impacto social e ambiental, pois *“[...]a economia está extremamente ligada à questão de controle desse tipo de reação, por exemplo, na questão de obras, na arquitetura e também na questão ambiental, pelo fato de que todo esse material, toda essa reação química, pode trazer malefícios para a natureza.”*

Além do mais, em sua concepção, um processo de oxirredução é uma reação espontânea que envolve transferência de elétrons entre uma substância e outra, sendo que *“uma delas deve ser a doadora de elétrons, que é chamada de oxidação, e a outra a receptora, denominada redução”*. Ao continuar sua explicação, S₁₁ remeteu ainda à questão das semirreações (Figura 29), questionando:

“Como a gente sabe ser uma reação redução e uma de oxidação entre essas duas substâncias? A gente tem vários processos pra isso. Primeiro, pela representação, ou seja, pela forma como está representado a semirreação, tanto na redução quanto na oxidação, pois os elétrons podem estar posicionados antes da seta ou depois. No caso da oxidação é após a seta e na redução antes da seta.”

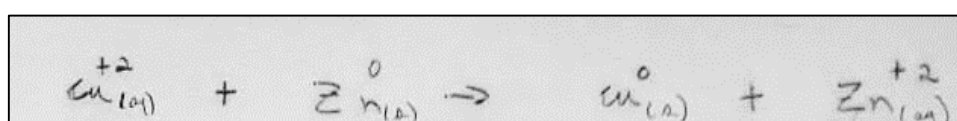
Figura 29 - Semirreações do cobre e do zinco, segundo o Sujeito S₁₁

Fonte: Sujeito S₁₁.

Isto é, ao demonstrar as semirreações, o sujeito as relaciona com os processos de oxidação e redução, mas também pontua que há outra forma de encontrar a espécie química que oxida e que reduz, que é “[...] fazendo o cálculo do NOx. Então aqui nessa primeira semirreação nós vamos observar que ele foi de +2 para 0 e é esse comportamento que a gente precisa tá observando que é a mudança do NOx, pois ele vai interferir nessas substâncias”. Com isso, introduz o conceito de número de oxidação, afirmando que é o número de oxidação que acompanha o comportamento das cargas das substâncias, pra ver se tá aumentando ou diminuindo de valor e explica, a partir das semirreações que,

“[...]quem sofre redução é o metal cobre. Então o metal cobre aqui foi de +2 e se tornou 0, sendo facultativa a representação do zero. Já no comportamento das reações de oxidação, podemos observar que foi de 0 para +2, então o NOx inicial era 0 e foi para +2. Se for comparar a primeira com a segunda equação o que aconteceu no comportamento do NOx, eu tenho que o NOx diminuiu aqui na primeira situação e na segunda, eu tenho aumento do NOx.

Para tanto, o sujeito menciona ainda que, quando há os processos de oxidação e redução, a soma de ambas semirreações forma uma única reação capaz de demonstrar o comportamento das espécies envolvidas, chamada de reação global, como mostra a Figura 30.

Figura 30 - Reação global entre o cobre e o zinco, segundo o Sujeito S₁₁

Fonte: Sujeito S₁₁.

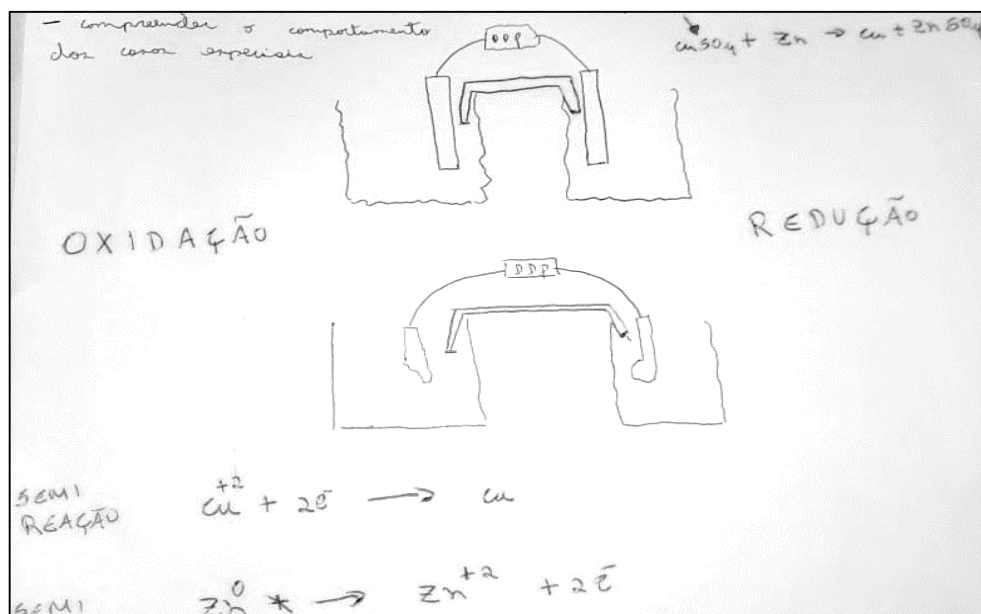
Para este, conforme vai variando o NOx e mesmo que ele saiba que este não é o foco da conversa, um potencial passa a ser gerado e, conseqüentemente, uma corrente elétrica também, visto que seu exemplo utilizado está relacionado com a formação de uma Pilha de Daniell (Figura 31) e explica que,

“[...] nesse desenho do lado esquerdo está a oxidação e do lado direito, a redução, ou seja, as duas substâncias envolvidas, onde uma tem características doadora de elétrons e a outra receptora. Nessa situação nós podemos observar que, com circuito eu vou ter duas placas metálicas e duas soluções que têm substâncias dissolvidas em água nos dois lados, e a substância que estiver no lado esquerdo realizando a oxidação, vai ter uma mudança de comportamento com o passar do tempo e vamos ver que na parte metálica vai ter uma redução aparente de tamanho, onde eu posso realizar o peso Inicial e final para fazer a comparação dessa questão do tamanho, pois está acontecendo o que a gente chama de oxidação. Como aconteceu a oxidação desse lado, a gente sabe então que do outro lado tem alguém que tá reduzindo e que vai receber esses elétrons [...] e quando está recebendo elétrons, vai então sair da solução líquida, indo para o estado sólido quando recebe. É por isso que tem esse comportamento aqui no lado da redução que é diferente na questão do estado físico que está acontecendo na oxidação, pois quando oxida uma substância metálica ela passa do estado sólido para o líquido, ou seja, sendo mais correto, vai para o estado aquoso, gerando uma ddp. Aí, para equilibrar esse fluxo de elétrons nós temos aqui a ponte salina, onde se utiliza um sal para equilibrar a quantidade de cargas de um lado e do outro.”

Nota-se que, mesmo que seu desenho não tenha sido feito com muitos detalhes, este sujeito buscou trazer bastantes informações a respeito do que acontece no processo de uma reação de oxirredução de uma pilha, abordando, inclusive, a questão da mudança de estados físicos e o quanto isso é importante para a formação da corrente elétrica, além das mudanças de massas entre quem oxida e quem reduz. No entanto, conforme mencionado pelo próprio sujeito, abordar a formação ou não de uma corrente elétrica não é o foco desta pesquisa.

Para finalizar, o sujeito S₁₁ levantou várias questões a partir da sua percepção quanto professor, em relação às dificuldades encontradas por seus alunos ao abordar o conteúdo de oxirredução. Segundo ele, algumas das dificuldades encontradas são: falta da abordagem macroscópica, deixando de lado a questão da visualização do comportamento dos fenômenos; ausência de contextualização; cálculo do NOx em consequência da dificuldade em Matemática.

Figura 31 - Exemplo de reação de oxirredução a partir de uma pilha entre o zinco e o cobre formada pelo Sujeito S₁₁

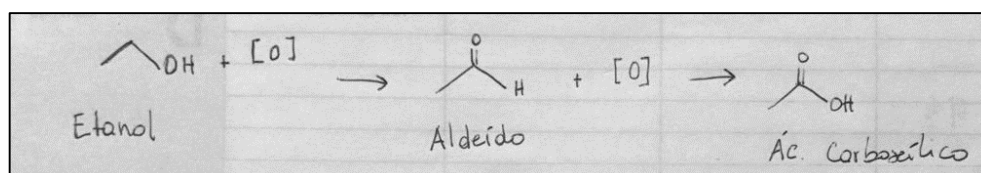


Fonte: Sujeito S₁₁.

Sujeito S₁₂

De acordo com o sujeito S₁₂, as reações de oxirredução são muito importantes para a Química Orgânica e, por isso, sua explicação está toda voltada a esta subárea da Química, centrando-se na oxidação do etanol, justificando sua escolha pelo fato de se tratar de um produto muito presente no cotidiano. A Figura 32 mostra a equação da reação química da oxidação do etanol.

Figura 32 - Reação de oxidação do etanol, segundo o sujeito S₁₂



Fonte: Sujeito S₁₂.

A explicação deste sujeito baseia-se no fato de o etanol ser um álcool primário, ou seja, uma substância química que possui a sua hidroxila ligada a um carbono primário, de acordo com o trecho abaixo:

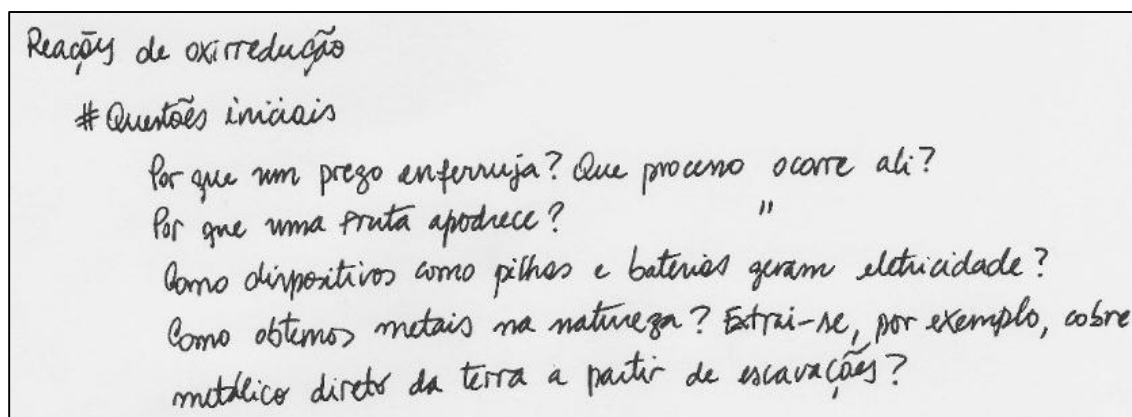
“O etanol ele pode sofrer oxidação porque é um álcool primário. Álcool primário e secundário tendem a sofrer reações de oxidação-redução, o que já não acontece em álcoois terciários pela questão do ataque àquele carbono que ele é então dificultado pelo impedimento estérico [...] com grupos volumosos ligados ao carbono em que está diretamente ligado à hidroxila. Então na oxidação do etanol, vai primeiramente para aldeído que aqui é o etanal, eu coloquei então de dois carbonos e essa oxidação não para por aí, pode ir até ácido carboxílico e é muito fácil de ocorrer essa reação porque pode ser justamente com o oxigênio do ar que pode ocorrer essa oxidação.”

A explicação dada pelo sujeito S₁₂ foi muito sucinta e pouco aprofundada, não sendo construída passo a passo, mostrando as variações dos números de oxidação dos átomos, nem como ocorre os processos de oxidação e redução, e, além disso, em nenhum momento atentou-se a mostrar a variação dos números de oxidação da molécula orgânica utilizada, conceitos extremamente importantes para a compreensão de qualquer tipo de reação de oxirredução.

Sujeito S₁₃

No início de sua fala, percebeu-se uma certa preocupação do sujeito S₁₃ em dar um direcionamento para a sua explicação sobre oxirredução a partir de algumas questões iniciais, conforme mostra a Figura 33.

Figura 33 - - Questionamentos utilizados para introduzir o conteúdo de oxirredução, de acordo com o sujeito S₁₃



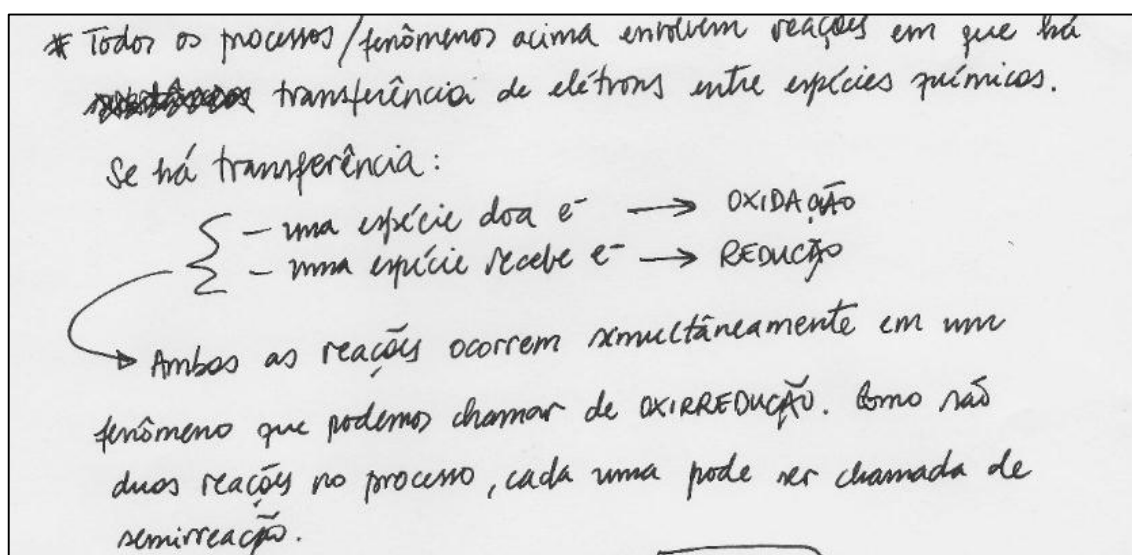
Para este sujeito, o ponto de partida focado em questões como estas leva a percepção da inserção do conteúdo nos diferentes contextos do cotidiano e também pelo fato de existir diversos metais importantes e presentes no decorrer do dia a dia, como o ouro, a prata, o cobre, o alumínio, o ferro. A partir disso, o direcionamento do sujeito centra-se em explicar que em todos esses fenômenos citados envolvem a transferência de elétrons e que durante isso, há perda e ganho de elétrons,

“[...] os exemplos que dei envolvem transferência de elétrons entre as espécies químicas. E aí se ocorre transferência de elétrons, uma espécie vai doar elétrons e a outra vai receber. E aí a gente vai dar nome pra esses processos, aquele que perde os elétrons eu vou dizer que vai sofrer um processo de oxidação e aquele que recebe os elétrons, eu vou dizer que vai sofrer um processo de redução.”

Todavia, conforme afirma S₁₃, ambos os processos ocorrem simultaneamente, isto é, diante de uma reação de oxirredução, se uma espécie química perde elétrons, outra obrigatoriamente deve ganhar e, com isso, duas semirreações são formadas (Figura 34), como pode ser constatado no trecho a seguir.

“E aí eu introduzo os nomes dos processos dentro do fenômeno ali, né. E aí eu coloco que ambas as reações vão ocorrer simultaneamente, se um tá perdendo o outro tá recebendo e por isso que a gente chama de oxirredução ou oxido-redução. E aí como a gente costuma também dizer, é comum também a gente chamar elas de semirreações, porque elas tão sempre acontecendo simultaneamente, então eu posso chamar de semirreação de oxidação, semirreação de redução e elas acontecem simultaneamente no processo conhecido como oxirredução.”

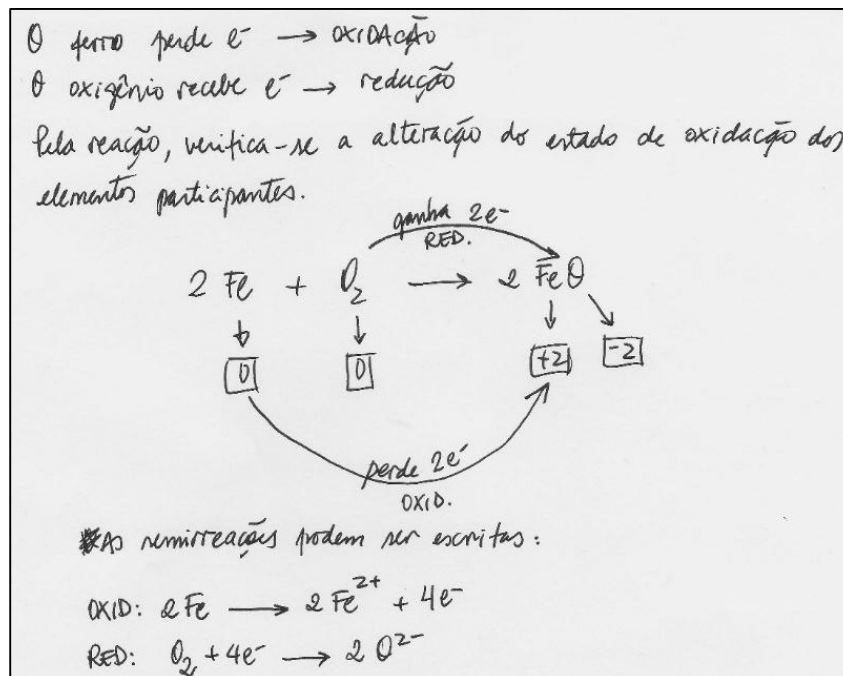
Figura 34 - Resumo sobre reações de oxirredução na perspectiva do sujeito S₁₃



Além do mais, como forma de demonstrar estes conceitos acontecendo, o sujeito S₁₃ retorna aos seus questionamentos iniciais, trabalhando com a primeira delas, e isso pode ser observado tanto na figura 35 quanto no trecho abaixo.

“Depois, pra exemplificar, eu me detenho no primeiro exemplo do prego [...]. E aí no do ferro há a formação da ferrugem, né, aí eu faço desenho de um prego, coloco que ali tem ferro e coloco que ao redor do prego nós temos ar, que contém oxigênio, aí eu coloco o que que acontece em termos de equação química, que o ferro reage com o oxigênio do ar, produzindo o óxido de ferro, aí eu coloco uma observação ali que a ferrugem como a gente conhece ela é uma mistura que pode conter hidróxidos e óxidos de ferro e que ali eu trouxe um dos componentes só, trouxe só o óxido ferroso. [...]o oxigênio do ar vai reagir com o oxigênio por contato ali, de tal forma que o ferro vai transferir elétrons pro oxigênio e a combinação deles vai acabar formando o óxido correspondente. Depois eu coloco um esqueminha, o que que acontece com cada um deles. Que o ferro vai perder os elétrons então é o processo de oxidação que eu havia comentado, o oxigênio vai receber então esse é o processo da redução e daí eu trago ainda a equação novamente falando do NOx de cada um. Então nesse tipo de reação sempre o estado oxidação de todos os membros da equação ele muda né, pelo menos de alguns, não de todos né, mas um vai oxidar e o outro vai reduzir.”

Figura 35 - Explicação da formação da ferrugem, de acordo com o sujeito S₁₃



Fonte: Sujeito S₁₃.

Por último, o sujeito introduz o conceito do número de oxidação, também o chamando de estado de oxidação, relacionando-o com os processos de oxidação e redução. Logo, olhando-se para todo o processo explicativo realizado pelo sujeito S₁₃ através de suas representações

externas, ou seja, a partir do que ele escreve e fala, é possível enxergar uma construção de todo o processo, fazendo o conteúdo ter sentido.

Análise geral da Questão 1 – Representações mentais dos sujeitos em relação ao modelo conceitual de oxirredução.

Para a construção da análise geral do primeiro item da entrevista relacionado à construção das representações mentais dos sujeitos a partir do modelo conceitual de oxirredução, os pontos que direcionaram a realização de uma análise padronizada entre os sujeitos serão muito importantes, pois será a partir deles que esta análise está organizada.

Primeiramente será feita uma análise ampla referente ao modelo conceitual de oxirredução, contemplando a definição das reações de oxirredução, os conceitos atrelados a ela, além das equações químicas envolvendo as semirreações e as reações-global segundo os sujeitos. Posteriormente os demais pontos serão analisados em conjunto, como: relação com o cotidiano; representações visuais; mudanças submicroscópicas e macroscópicas; dificuldades.

Modelo conceitual de oxirredução

Professores e alunos, segundo Moreira, Greca e Palmero (2002), trabalham com modelos mentais, mas tentam ensinar e aprender por meio dos modelos conceituais, não sendo esta uma tarefa simples, pelo fato de que as pessoas não apreendem o mundo diretamente, mas sim a partir das representações desse mundo construídos na mente.

Nesse contexto, pensando-se no entendimento dos sujeitos em relação ao modelo conceitual de oxirredução, inicialmente será discutido sobre a definição destas reações. Logo, como já mencionado, definir o que é uma reação química de oxirredução não é algo fácil, nem mesmo para os docentes, pois vários são os modelos encontrados na literatura e que permitem diferentes explicações, como a partir dos seguintes modelos: do oxigênio, do hidrogênio, de elétrons e do número de oxidação (OSTERLUND; EKBORG, 2009).

Todavia, conforme os dados obtidos pelos sujeitos desta pesquisa, pode-se averiguar que, embora a primeira questão pedisse para explicar as reações de oxirredução, quatro (S₃, S₅, S₉ e S₁₂) deles não se preocuparam em atribuir uma definição a elas. Já as respostas dos demais, foi unanimidade a definição de que são reações químicas que envolvem a transferência de elétrons, ou seja, relacionado ao modelo de elétrons. Outro ponto importante é a relação desta

definição com a variação do número de oxidação, a qual foi pontuada pela maioria (S₂, S₄, S₅, S₆, S₈, S₁₀ e S₁₁ e S₁₃) e que contempla o modelo do número de oxidação.

Além da definição sobre oxirredução, a qual abrange os conceitos de transferência eletrônica e variação do número de oxidação, outros termos, isto é, conceitos, também são importantes para o entendimento deste conteúdo, como oxidação, redução, agente redutor e oxidante, além da série de atividade dos metais. A seguir será feito um levantamento dos dados obtidos quanto a estes conceitos.

Olhando para os conceitos de oxidação e redução, nove sujeitos o utilizaram, exceto: S₁, S₃, S₇ e S₁₂ os quais não utilizaram em suas explicações ao construir seus entendimentos a respeito do modelo conceitual de oxirredução. Pontua-se, no entanto, que os demais relacionaram ambos os processos à transferência eletrônica e, conseqüentemente, à variação do número de oxidação, pois quando uma espécie doa elétrons, isto é, oxida, seu NO_x aumenta, enquanto que aquela que recebe (reduz), seu NO_x diminui.

Por mais que 9 sujeitos tenham explicado o que são os processos de oxidação e redução, nem todos pontuaram a questão dos agentes oxidantes e redutores, como no caso dos sujeitos: S₁, S₃, S₇, S₉ e S₁₂. Já o sujeito S₁₀ os explicou, porém de forma errônea, conceituando-os invertidamente, expondo que o agente oxidante é aquele que oxida e o agente redutor, reduz.

Outro conceito importante para a compreensão do conteúdo é série de atividade dos metais, que permite averiguar a espontaneidade de uma reação de oxirredução, isto é, está relacionada a capacidade que determinado metal tem de reagir ou não. Porém, nenhum dos sujeitos a utilizaram em suas explicações, com exceção dos sujeitos S₆ e S₇ que mencionaram, embora brevemente, sobre o uso tabela de potenciais de oxidação e que também permite averiguar a espontaneidade das reações de oxirredução. O primeiro a utiliza para explicar quem oxida e quem reduz, enquanto que o segundo calcula a diferença de potencial de sua pilha de Daniell. Ambos sem um aprofundamento maior sobre o assunto.

Por último tem-se as equações químicas reacionais, abrangendo as semirreações de oxidação e redução, bem como a reação global construída a partir das semirreações. Estas são representações externas dos modelos conceituais muito importantes para o entendimento das representações mentais construídas pelos sujeitos, permitindo-os interpretarem e explicarem o que está acontecendo em uma dada reação química de oxirredução.

Logo, oito sujeitos fizeram uso das semirreações durante suas explicações (S₂, S₅, S₆, S₇, S₉, S₁₀, S₁₁ e S₁₃), enquanto que apenas cinco empregaram as reações globais (S₂, S₈, S₁₁, S₁₂ e S₁₃). Destes, destaca-se ainda que os sujeitos S₅, S₇ e S₁₀ apresentaram algumas concepções errôneas na hora de montarem as semirreações, deixando-as incompletas ou sem

um balanceamento dos elétrons perdidos e ganhos, considerando que as quantidades de elétrons na semirreação de redução deve ser a mesma na semirreação de oxidação. Outro ponto a salientar é em relação à reação global utilizada pelo sujeito S₁₂, pois, diferente dos demais sujeitos entrevistados, este foi o único que buscou explicar o conteúdo a partir da Química Orgânica e, por conta disso, sua reação está atrelada a um processo orgânico, não possuindo a mesma representação das reações globais utilizadas nas demais subáreas da Química. Todavia, a representação da reação deste sujeito estava superficial, sendo brevemente explicada.

Outro ponto observado foi que, dentre os sujeitos que apresentaram algum tipo destas equações químicas, quatro deles (S₂, S₆, S₈ e S₁₁) usaram o mesmo exemplo de reação, ou seja, o processo de oxirredução entre zinco e cobre, uma reação bastante utilizada pelos professores e que, justamente por isso, está presente em uma das situações-problema desta pesquisa.

De modo geral, percebe-se que a maioria dos sujeitos soube definir os conceitos que são essenciais para a compreensão do modelo conceitual de oxirredução, mas, por outro lado, muitas vezes os conceitos apresentaram-se soltos e sem nexos.

Outros pontos importantes

De acordo com o já exposto, as reações químicas de oxirredução fazem parte direta e indiretamente da vida das pessoas e, por conta disso, conhecer a inserção deste conteúdo no dia a dia é muito importante. Assim, os sujeitos que buscaram trazer relações destas reações com o cotidiano, são: S₂, S₄, S₅, S₆, S₁₁, S₁₂ e S₁₃. Frisa-se que, destes sete, apenas um utilizou os seus próprios exemplos para explicar o conteúdo, não sendo visto isto nos demais, os quais apenas exemplificaram utilizando alguns tipos de reações de oxirredução do dia a dia.

Outro ponto relevante é a questão do entendimento das mudanças submicroscópicas e também macroscópicas que acontecem em uma reação de oxirredução e, para isso, as representações visuais são muito importantes, sendo necessário que os sujeitos tivessem imaginação e criatividade para externalizarem tais representações. Mas, isto não foi visto nesta primeira questão, pois nenhum dos treze sujeitos construiu algum tipo de representação com riquezas de detalhes contendo todas as mudanças submicroscópicas e macroscópicas, algo que é fundamental na hora de elucidar o presente conteúdo. Apenas os sujeitos S₁₁ e S₆ representaram muito superficialmente suas pilhas construídas, enquanto os sujeitos S₁₀ e S₂ apresentaram a representações de um átomo.

Por outro lado, alguns sujeitos ainda, ao invés de representarem visualmente o que acontecia nas reações por eles exemplificadas, decidiram explicar verbalmente o que ocorria a

nível submicroscópico e/ou macroscópico, como no caso do S₂ que detalhou ambos os níveis, S₆ e S₁₁ em relação ao macro, S₁₀ abordou a questão da atomística na perda e ganho de elétrons. Já o sujeito S₁₃, por mais que não tenha construído nenhum tipo de representação visual e proposicional, merece destaque por ter sido o único que estruturou suas folhas rascunhos de forma extremamente organizada e também explicativa, conforme pode ser visto em sua equação de formação da ferrugem (Figura 35).

O último ponto está atrelado as dificuldades que os sujeitos poderiam mencionar no decorrer da resolução do item 4.1 da entrevista, direcionado ao conhecimento do conteúdo. Aqui, apenas o sujeito S₁₁ fez menção as dificuldades por parte dos estudantes, enquanto que os sujeitos S₃, S₄ e S₅ relataram sobre suas dificuldades próprias, mas, por mais que não tenha sido mencionado por outros sujeitos, no decorrer das entrevistas foi possível ver que muitos também as possuíam.

Representações mentais em relação ao modelo conceitual de oxirredução

Após analisar todas os dados obtidos em relação à pergunta do item 4.1 da entrevista, os sujeitos foram categorizados em dois tipos: modelizadores (aqueles que conseguem formar modelos mentais, cujos modelos conceituais fazem sentido) e não modelizadores (aqueles que não conseguem formar modelos mentais, mas sim representações mentais soltas e desvinculadas de modelos). Por meio da Teoria dos Modelos Mentais torna-se possível averiguar a compreensão de cada sujeito em relação ao modelo conceitual de oxirredução, a partir da forma como constroem e externalizam seus conhecimentos. Por último, os sujeitos serão ainda subcategorizados, como: Modelizador Proposicional (MP), Modelizador imagístico (MI) ou Modelizador híbrido (MH) ou proposicional (P), imagístico (I) ou Proposicional/Imagístico (PI).

É pertinente mencionar aqui que, dos treze sujeitos, três (S₁, S₃ e S₁₂) não se enquadram em nenhuma categoria. S₁ por apenas definir as reações de oxirredução, deixando de lado todos os demais conceitos imprescindíveis para o entendimento destas. S₃ por ter apenas relatado suas dificuldades em relação à questão, não a resolvendo. E, por último, S₁₂ por apenas ter falado brevemente sobre a reação de oxidação do etanol, sem nenhum aprofundamento sobre.

Modelizadores

Esta categoria abrange os sujeitos que formaram modelos mentais em relação ao modelo conceitual de oxirredução, ou seja, aqueles que conseguiram expor suas interpretações acerca do assunto, porém, isso não quer dizer que os modelos formados por estes estejam totalmente de acordo com a teoria científica que rege estas reações químicas.

Conforme o sujeito consegue formar modelos que incluam as relações fundamentais de um modelo conceitual, passará a criar explicações e predições que estão de acordo com as concepções cientificamente aceitas, demonstrando ser capaz de compreender teorias científicas (GRECA; MOREIRA, 1996). Isto é, o sujeito deverá ser capaz de: definir oxirredução; conceitualizar oxidação, redução, agente oxidante e redutor, transferência de elétrons, número de oxidação e série de atividade dos metais; apresentar equações químicas através das semirreações e reação global a fim de exemplificar tais reações; além de abordar as mudanças macro e submicroscópicas que acontecem em um processo de oxirredução.

Greca e Moreira (1996) e Lagreca e Moreira (1998) mencionam que durante a formação dos modelos mentais, diferentes formas de modelos podem aparecer, como: modelo proposicional, no qual predominam definições e símbolos interligados por regras, resultando em explicações e predições; modelo imagístico, formado a partir de imagens visuais, como por exemplo, desenhos; e, por último, modelo híbrido, contendo modelos parcialmente imagísticos e parcialmente proposicionais, isto é, modelos híbridos.

Assim, os sujeitos categorizados como modelizadores são: S₂, S₁₁ e S₁₃ que, por sua vez, foram subcategorizados como modelizadores proposicionais (MP) pelo fato de serem capazes de articularem as definições e os símbolos a modelos mentais, que não são, necessariamente, cientificamente aceitos, mas que mesmo assim conseguiram construir uma relação lógica entre a definição, os conceitos e as mudanças submicroscópicas e macroscópicas sobre oxirredução, explicando-os e predizendo-os.

Não modelizadores

Por outro lado, nem sempre é possível obter modelos mentais funcionais, faltando o caráter explicativo e preditivo e, por isso, os sujeitos S₄, S₅, S₆, S₇, S₈, S₉ e S₁₀ foram categorizados como não modelizadores, isto é, os mesmos formaram apenas representações mentais.

Dentre estes sete não modelizadores, os mesmos ainda foram subcategorizados de acordo com a suas formas representacionais, sendo enquadrados como não modelizadores proposicionais pelo fato de apresentarem proposições soltas, com frases desarticuladas, sem

muita relação entre um conceito e outro, como se fossem meramente memorizadas mecanicamente.

5.2.4.3 Questão 2) Situação 1

A primeira questão envolvendo uma situação do conteúdo (Quadro 14) descreve como se fosse a realização de experimento químico, conforme mostra a seguir:

Em uma aula experimental, o professor solicitou aos seus alunos que realizassem o seguinte experimento:

- Numerar dois tubos de ensaio;
- Adicionar 10 mL de solução 0,01M de sulfato de cobre no primeiro tubo de ensaio e em seguida, adicionar um pequeno pedaço de esponja de aço;
- Adicionar 10 mL de solução 0,1M de sulfato de cobre no segundo tubo de ensaio e em seguida, adicionar um pequeno pedaço de esponja de aço.

Baseando-se nisso, dois questionamentos são feitos: a) Você acha que os resultados na esponja de aço nos dois tubos serão iguais? Explique; b) Explique com suas palavras o que acontece com a esponja de aço em cada um dos tubos de ensaio. Use diagramas, desenhos e mecanismos. Fale tudo o que você sabe sobre cada reação química. Diga inclusive suas dúvidas e/ou dificuldades no entendimento dessas reações químicas.

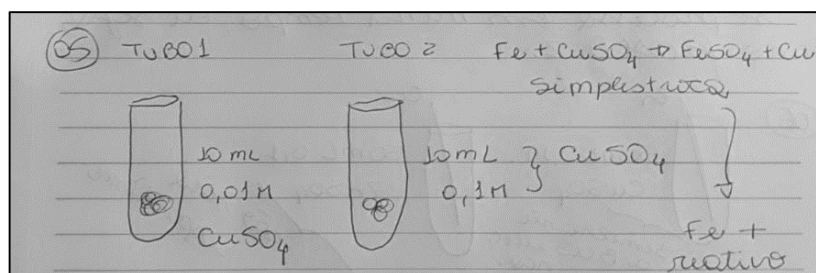
Novamente utilizaram-se pontos em comum que devem estar presentes nos dados obtidos pelos sujeitos, como: explicação dos efeitos na esponja de aço; cinética das reações; menção ao tipo de reação química; uso de conceitos atrelados à oxirredução; presença de equações reacionais; relação com a série de atividade dos metais. Além destes pontos mais relacionados ao conteúdo, outros pontos também foram elencados, como: utilização de representações visuais; mudanças submicroscópicas e macroscópicas; dificuldades elencadas pelos sujeitos.

A seguir serão apresentados os dados obtidos por meio da Situação 1, além das discussões individuais e de uma análise geral, pontuando as principais observações feitas a partir da resolução dos sujeitos para esta situação.

Sujeito S₁

Para resolver essa primeira situação, o sujeito S₁ desenhou dois tubos de ensaios a fim de representar o experimento, onde colocou 10 ml de solução de sulfato de cobre em cada junto com as esponjas de aço, representando-as por riscos circulares, conforme mostra a figura 36.

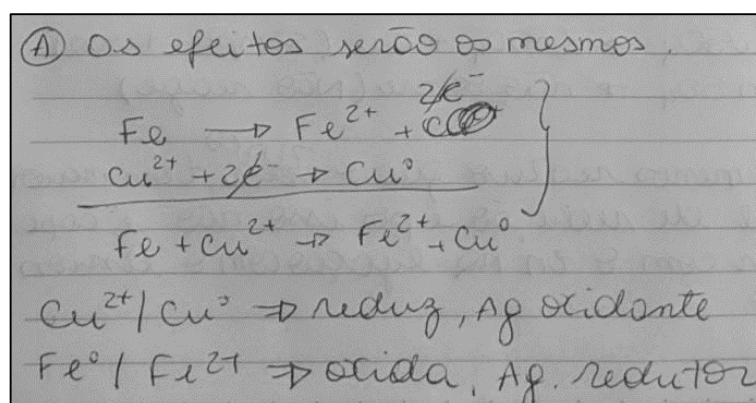
Figura 36 - Representação do experimento, segundo o sujeito S₁



Fonte: Sujeito S₁.

Junto a esta representação inicial, o sujeito inseriu ainda a equação reacional, mostrando o ferro reagindo com o sulfato de cobre, obtendo como produto o sulfato de ferro e o cobre metálico. Além disso, expôs também as duas semirreações, a de oxidação do ferro e de redução do cobre, mostrando que o ferro está sendo oxidado e, conseqüentemente, é o agente redutor, enquanto que o cobre está sendo reduzido e é o agente oxidante (Figura 37).

Figura 37 - Resultados obtidos pelo sujeito S₁ para a Situação 1



Fonte: Sujeito S₁.

Ao justificar o processo, S₁ menciona ser uma reação de simples troca, onde o ferro, segundo a fila de reatividade, é o metal mais reativo quando comparado ao cobre e que isso

também pode ser justificado pelo seu potencial, pois tem maior potencial de oxidação e menor de redução.

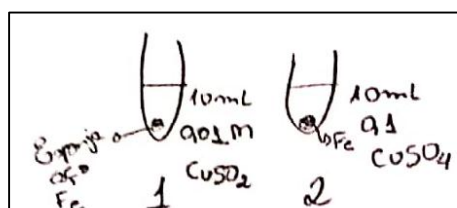
Embora bastante sucinto, o sujeito S₁ conseguiu transmitir e apontar com clareza o que de fato acontece com a esponja de aço, mencionando ainda que a única diferença entre os tubos é a velocidade reacional, isto é, sua cinética, conforme pode ser observado a seguir.

“A esponja de aço cinza, é formada por átomos de ferro. À medida que ocorre a reação com sulfato de cobre, Cu²⁺, que dá a cor da solução azul, começa a sofrer redução às custas dos elétrons do Ferro. Dessa forma, o cobre metálico acaba se precipitando na forma laranja e se deposita na superfície da Esponja. Por sua vez, a coloração da solução de sulfato torna-se menos intensa. A única diferença entre os processos é a cinética química alterada pela variação da rapidez da reação, pois onde a concentração de sulfato é maior, o processo se processa em menor tempo, ou seja, no frasco dois.”

Sujeito S₂

Inicialmente o Sujeito S₂ desenhou dois tubos de ensaios, mencionando que as únicas diferenças eram as concentrações do sulfato de cobre, onde no primeiro a concentração é menor (0,01 M) e no segundo maior (0,1) (Figura 38).

Figura 38 - Representação do experimento, segundo o sujeito S₂



Fonte: Sujeito S₂.

Além disso, o sujeito conceituou a concentração como sendo “o resultado da massa sobre o volume”, afirmando que, como em ambos os tubos há o mesmo volume (10 ml) mas concentrações diferentes, significa que no tubo 1 tem uma menor massa de sulfato de cobre presente ali do que no tubo 2 e, por isso, a concentração no segundo é maior.

Ao explicar se os resultados nas esponjas seriam iguais ou não em cada um dos tubos, S₂ mencionou ser diferente, mas que ao mesmo tempo não tinha certeza disso,

“Vai ser diferente por causa das concentrações que são diferentes e no tubo 2 eu tenho mais concentração, tem mais massa de sulfato de cobre ali [...]. Eu não me

lembro ou eu não sei como que eu faço para saber se 0,1, por exemplo, é suficiente ou se qualquer concentração vale[...]. Eu sei que vai ter diferença por causa das concentrações diferentes, mas eu não sei dizer, por exemplo, se 0,01 é suficiente ou não importa muito a concentração [...].

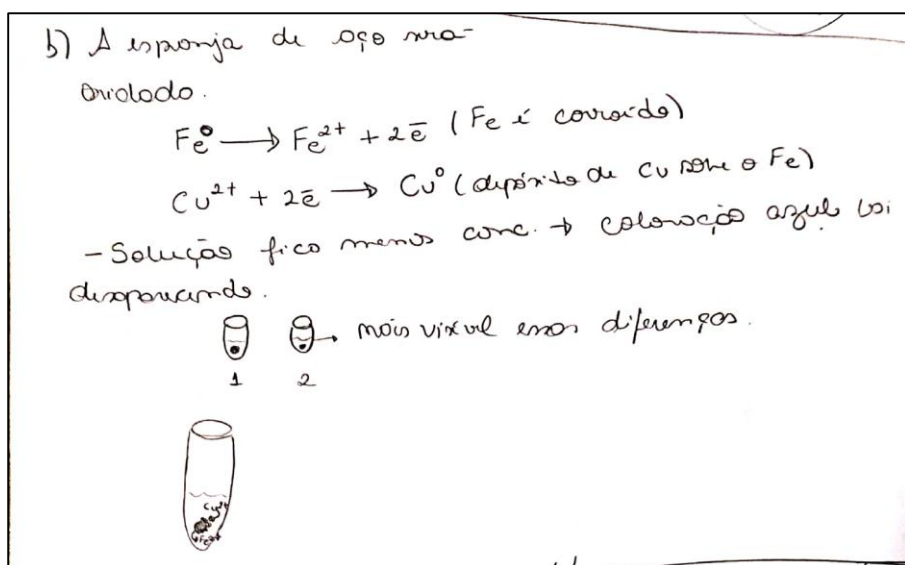
Já em relação à letra b, S₂ vai de encontro ao que tinha mencionado anteriormente, afirmando que “o que acontece nos dois que é a mesma coisa [...], um vai acontecer de forma mais rápida que o outro, a quantidade também vai ser diferente em um e outro”. Explica ainda que dentro dos tubos quem será oxidado é a esponja de aço, e o cobre em solução será reduzido, e salientando que para saber disso ele precisou construir as semirreações, abordando a variação do número de oxidação.

“Então o ferro inicialmente em estado zero, que é o meu ferro sólido da palha de aço e o meu cobre que inicialmente está em solução, que é o meu cobre 2+. O ferro a gente observa que será corroído, que vai perder massa [...] e essa massa vai para a solução [...]. O cobre da solução se deposita na palha de aço e se transforma em cobre sólido e o ferro que é sólido, vai para solução se transformando em ferro 2+ que tá em solução. Também existe essa troca entre os dois. O ferro é oxidado porque ele que vai perder esses elétrons e o cobre é o que é reduzido, vai ganhar esses elétrons do ferro.”

Quanto à solução presente nos tubos de ensaios, S₂ descreve uma mudança macroscópica durante a reação, pois

[...] a solução vai ficar menos concentrada. Então eu já tenho uma concentração inicial que é diferente nos dois tubos, mas essa concentração vai diminuindo porque esse cobre que tá em solução vai se transformando em cobre sólido. Ele tá saindo da solução e tá virando cobre sólido e aí a minha solução vai ficando menos concentrada. Visivelmente eu verifico isso pela mudança de coloração, pois a solução de cobre tem uma coloração azulada e consigo perceber que essa cor vai diminuindo. Essa mudança vai ser bem mais visível no tubo 2, que é onde eu tenho a concentração maior e a cor também vai ser mais forte, vai acontecer mais rápido e eu vou conseguir visualizar mais essa diferença de coloração nesse experimento.

A explicação fornecida por S₂ está representada na Figura 39. Desta forma, olhando-se para as respostas obtidas nas letras a e b, nota-se que na verdade ele sabe que os produtos formados em cada tubo serão os mesmos, porém sua dúvida está relacionada (na letra a) à questão da cinética química e também se a quantidade de sulfato de cobre no primeiro tubo é suficiente ou não para a ocorrência da reação química, isto é, se será o agente limitante ou não, e não à reação de oxirredução em si.

Figura 39 - Resultados obtidos pelo sujeito S₂ para a Situação 1

Fonte: Sujeito S₂.

Sujeito S₃

A resolução desta primeira situação não foi fácil para o sujeito S₃, por não lembrar mais como se resolvia questões envolvendo reações de oxirredução. Todavia, ao ser questionado se os efeitos nas esponjas dos tubos seriam iguais, negou, justificando ser por causa das concentrações diferentes. Já na letra *b*, o sujeito apenas mencionou que em ambos os tubos ocorreria reações de oxirredução, porém em tempos diferentes, também devido as concentrações.

Quando questionado se teria algo a mais a acrescentar, o sujeito mencionou que não, porque não lembrava mais do conteúdo e nem da composição da palha de aço, sendo este um dificultador para compreender os produtos que poderão ser formados. Logo, nota-se que o sujeito, assim como na questão anterior, apresentou bastante dificuldade durante sua resolução, não conseguindo resolvê-la.

Sujeito S₄

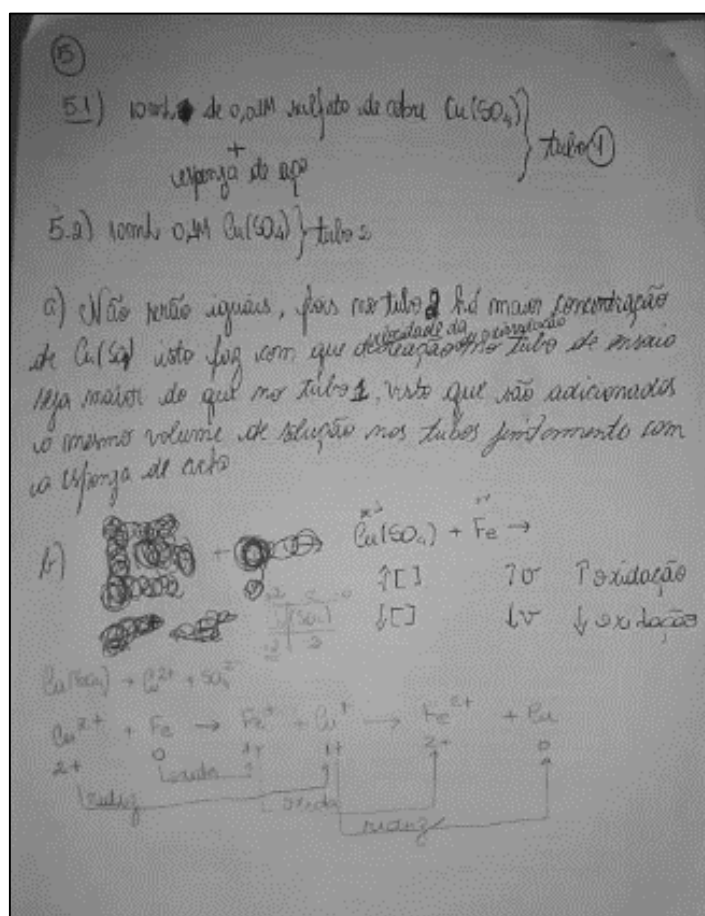
Ao resolver a Situação 1, o sujeito S₄ afirmou que, considerando que no tubo 2 há uma maior concentração de sulfato de cobre quando comparado ao tubo 1, os resultados não serão

iguais, pois as velocidades das reações de oxirredução serão diferentes, visto que no que tem maior concentração (tubo 2), a velocidade será maior, obtendo-se um resultado visivelmente mais rápido quando comparado ao tubo 1, que tem menor concentração. No ponto de vista dele, isso acontece porque, “[...]quanto maior a concentração de sulfato de cobre, maior a velocidade e maior a oxidação da reação. Depois eu coloquei o inverso: menor concentração, menor velocidade e menor oxidação”. A figura 40 mostra a resolução da Situação 1 pelo sujeito S4.

Ao continuar sua explicação, S4 relatou que,

“Depois eu coloquei para ver qual que era o número de oxidação dessa molécula do sulfato de cobre e o sulfato vai ter o número de oxidação -2 e o cobre vai ser +2. Aí eu fiz o dissociação do sulfato de cobre e eu coloquei: sulfato de cobre, a reação acontecendo: $\text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$. Daí eu coloquei Cu^{2+} reagindo com Fe^0 , que vai resultar em Fe^+ e Cu^+ , daí o ferro vai se oxidar e vai ficar Fe^{2+} e o cobre vai se reduzir, ficando 0. Não sei se é assim que se faz, mas eu coloquei assim.”

Figura 40 - Resultados obtidos pelo sujeito S4 para a Situação 1



Analisando os dados obtidos por este sujeito, percebe-se que o mesmo em nenhum momento apresentou quais seriam as mudanças visíveis e também invisíveis no decorrer das reações presentes em ambos os tubos de ensaio. Ao mesmo tempo, nota-se que o mesmo possui concepções errôneas sobre os números de oxidação das espécies químicas envolvidas, bem como na construção de suas equações químicas representadas.

Sujeito S₅

A primeira coisa feita pelo sujeito S₅ foi elencar suas dificuldades no decorrer de sua resolução da Situação 1, sendo a primeira relacionada ao desmembramento da reação e também em relação ao que a diferença de concentração implicaria nas reações em si. Embora com dúvidas, respondeu que a reação é a mesma em ambas as situações, mencionando que,

“[...] a minha consideração foi pensar na diferença de concentração que o tubo 2 tem, que é 10 vezes a concentração maior do que no tubo 1, me fez pensar que pelo menos a velocidade da reação vai ser diferente. Ela vai acontecer mais rápida e vai ser com mais intensidade, dando pra perceber a formação de Fe³⁺ no tubo 2.”

Ao abordar a questão dos números de oxidação das substâncias envolvidas (Figura 41), o sujeito S₅ expõe,

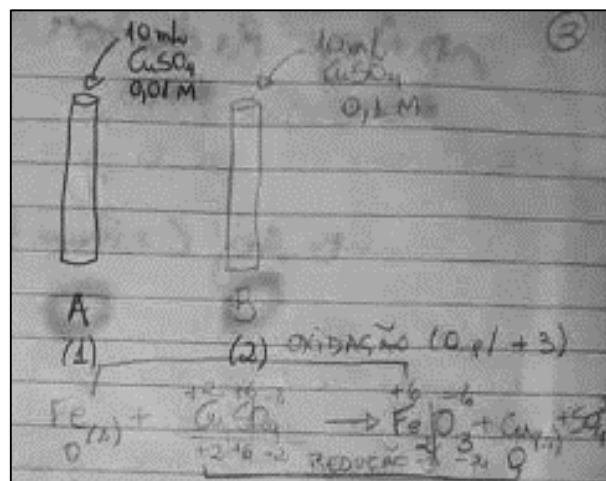
“[...] o ferro sólido, uma substância simples, com NOx 0 mais o sulfato de cobre, e aí eu montei o famoso chiqueirinho do NOx, para identificar se o NOx do cobre nessa substância é mais 2, porque o do oxigênio é menos 2 (O²⁻) e o do enxofre mais 6 (S⁶⁺). Acontece a reação e se forma o óxido de ferro 3 que é o Fe₂O₃. Nessa situação o NOx do ferro passa para mais 3, o cobre sólido, que é uma substância simples, fica com NOx 0 e os sulfatos soltos em solução, né, SO₄²⁻ [...]. Nessa situação, o ferro, substância simples, oxida a ferro III, né, o NOx dele vai para mais três, ele sofre oxidação. Nessa situação, de zero para mais três o NOx dele aumenta e ocorre perda de 3 elétrons. E o cobre, por sua vez, sofre redução, o NOx reduziu de mais dois para 0, lembrando que o NOx de uma substância simples é 0, pois ele é a sua carga e, portanto, não o cobre sozinho, mas o sulfato de cobre é o agente oxidante da reação.”

A partir da equação química construída pelo sujeito para representar a reação acontecendo é possível constatar sua dificuldade em saber o produto obtido no processo, pois para ele, há formação de óxido de ferro (III), e não sulfato de ferro (II). Ao retornar às perguntas feitas na Situação 1, o sujeito responde para as letras *a* e *b*, respectivamente,

“[...] na letra “a” eu coloquei que não, foi essa a minha dúvida na questão, a solução de sulfato de cobre no tubo dois está mais concentrado e desta forma a reação ocorrerá mais rapidamente e a oxidação da esponja de aço poderá ser vista com maior intensidade no tubo 2.”

“Na letra b [...] a esponja de aço, anteriormente cinza, apresentará depositada ferrugem em sua superfície, devido a formação de óxido de ferro III de coloração alaranjada. Em ambos os casos isso vai acontecer, mas eu acho que em diferentes intensidades devido à concentração das soluções.”

Figura 41 - Resultados obtidos pelo sujeito S₅ para a Situação 1



Fonte: Sujeito S₅.

A partir disso, averígua-se que S₅ apresenta algumas concepções errôneas, visto que na verdade as reações formadas nos dois tubos de ensaio serão as mesmas, ou seja, os produtos serão os mesmos, porém a velocidade com que isso será alcançado será diferente. Mas ao mesmo tempo, ao responder a letra “b”, o sujeito vai de encontro a sua fala da letra anterior, relatando que na verdade a diferença está na intensidade da reação devido às concentrações, afirmando mais uma vez que o produto formado será o óxido de ferro (III).

Sujeito S₆

Ao explicar sua resolução da Situação 1, este sujeito afirmou não fazer ideia de como faria isso, pois uma das suas dificuldades era não lembrar da fórmula química do sulfato de cobre. Em sua tentativa, no entanto, S₆ adicionou um íon sulfato a mais ao cobre, conforme mostra sua fala a seguir.

“Eu acredito que nesse caso, nós temos os dois tubos, I e II, que vamos adicionar a solução de sulfato de cobre e colocar a esponja de aço. Então, pela concentração eu acredito que no tudo II a oxidação vai acontecer primeiro, porque está mais concentrado, é 0,1M contra 0,01M. Eu acabei descrevendo o experimento, como eu

acho que ele acontece e eu me dei conta, que na verdade, como a gente fala muito, sulfato de cobre, sulfato disso e daquilo, quando eu fui escrever a molécula, eu coloquei $\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$, só que daí eu me dei conta: será que é isso? porque eu não estava mais habituada a escrever a molécula. Então essa foi uma das minhas dificuldades.”

Assim, por mais que tenha externalizado suas dificuldades, o mesmo sabia o que aconteceria em ambos os processos, ou seja, a oxidação da esponja de aço e também que a diferença estava centrada somente na cinética química reacional, porém não sabia representar tudo isso utilizando os níveis simbólicos, essenciais para a Química.

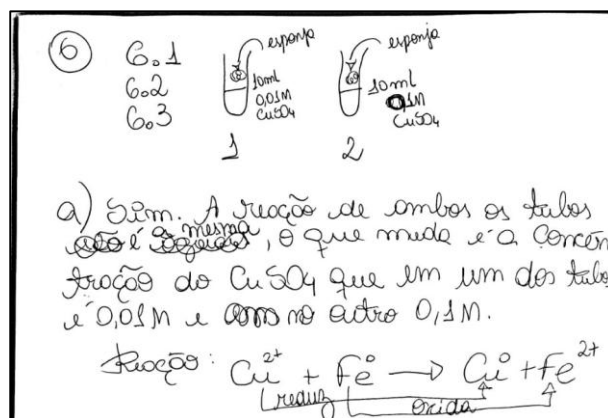
Sujeito S₇

Conforme o Sujeito S₇, a solução presente no primeiro tubo é dez vezes mais diluída que a do segundo, porém ele não conseguiu desenvolver uma linha de pensamento para esta primeira situação, mencionando que a deixaria em branco.

Sujeito S₈

Conforme aponta o sujeito S₈, os efeitos na esponja de aço nos dois tubos serão iguais porque a reação é a mesma, ou seja, uma reação de oxidação e redução, variando apenas a concentração do sulfato de cobre (Figura 42). O Sujeito menciona brevemente que o cobre é quem reduz e o ferro quem oxida, representando sua equação global e deixando de lado todas as demais explicações importantes para a resolução desta questão, seja a nível macro ou submicroscópico.

Figura 42 - Resultados obtidos pelo sujeito S₈ para a Situação 1



Sujeito S₉

De acordo com o sujeito S₉, os efeitos são iguais nas esponjas, pois a única coisa que muda nas reações são as concentrações, gerando uma diminuição da velocidade de consumo de oxidação do ferro no primeiro caso por ser a mais diluída, enquanto que no segundo, o consumo será maior

Todavia, por mais que tenha mencionado isso inicialmente, após um tempo ficou bastante confuso e perdido, não sabendo mais o que fazer, dizendo que sabia que a esponja iria oxidar porque ela estava perdendo elétrons, por ser formada por ferro elementar que, em contato com a solução com cobre deficiente de elétrons, ocorreria uma reação de oxidação. No entanto, o sujeito não conseguiu mais sair do lugar, escrevia um pouco em suas folhas, riscava e jogava fora.

Sujeito S₁₀

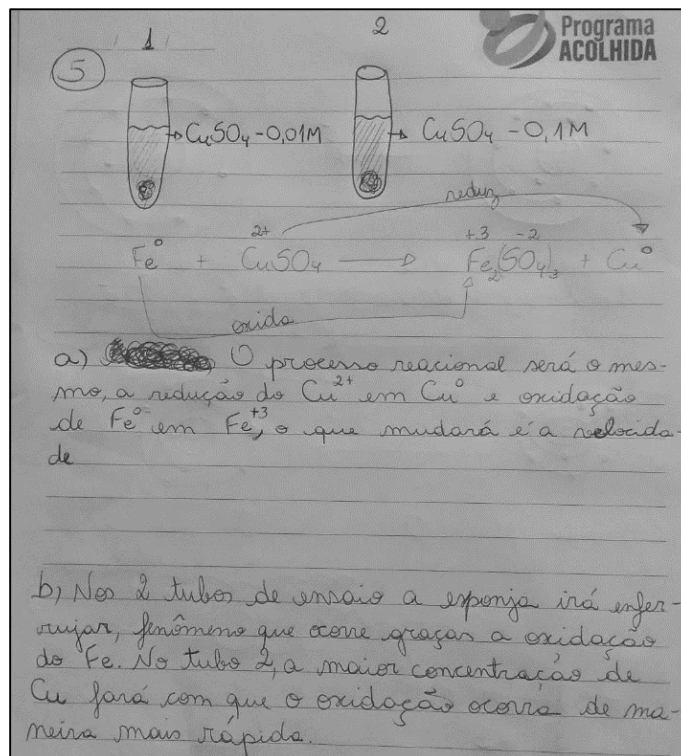
Ao iniciar sua fala, S₁₀ explanou que nos dois tubos a reação que ocorre é a mesma, justificando que na letra *a*,

*“[...] o processo reacional será o mesmo, a redução do Cu^{2+} em Cu^0 e a oxidação do Fe^0 em Fe^{+3} . O que vai mudar de um tubo pra outro é a velocidade e aí na *b* eu expliquei que a esponja vai enferrujar graças a oxidação do ferro, mas como no tubo 2 a concentração do cobre, que é o meu agente oxidante, ele vai fazer com que a oxidação ocorra de maneira mais rápida. Mas a minha dificuldade aqui foi justamente a questão do Fe^{2+} e do Fe^{3+} .”*

Nesse contexto, percebe-se que o sujeito S₁₀ apresentou dúvidas acerca do produto obtido no decorrer das reações de ambos os tubos de ensaios, mencionando a formação do Fe^{3+} , mas sem ter certeza do assunto. No entanto, salienta-se que, por se tratar de uma reação química do ferro com o sulfato de cobre, o íon formado será Fe^{2+} . Olhando-se para a reação global presente na Figura 43, constatou-se que tal dúvida surgiu devido ao produto formado pelo sujeito $[\text{Fe}(\text{SO}_4)_3]$, contribuindo para o número de oxidação do ferro seja 3+.

Ao mesmo tempo, por mais que este sujeito tenha apresentado dúvidas quanto aos produtos formados e também em relação ao número de oxidação do ferro, o mesmo não teve dificuldade para interpretar os efeitos da concentração nos dois casos reacionais.

Figura 43 - Resultados obtidos pelo sujeito S₁₀ para a Situação 1



Fonte: Sujeito S₁₀.

Sujeito S₁₁

Após resolver a Situação 1, o sujeito S₁₁ pontuou que, em relação ao experimento, será observado “uma resposta visível, uma visualização do antes e do depois em que nós vamos ter uma mudança de coloração e de massa de esponja de aço. E então a gente consegue já estar observando a realização de uma reação de oxidação e redução na questão de visualização.” Já quanto ao mecanismo reacional, o mesmo direciona seu olhar para a questão do número de oxidação, detalhando o que acontece durante a reação, conforme mostra o trecho a seguir.

“[...]nós temos sulfato de cobre aquoso, que é uma substância sólida dissolvida e com coloração azulada, que ao reagir com a esponja de Aço, que é uma mistura de ferro e carbono e [...] representada como ferro (Fe) [...]. Então aqui o ferro sólido da esponja de aço vai passar pra Fe^{2+} ou Fe^{3+} , então vai aumentar o NOx na reação química. Como o aumento de NOx é um comportamento de uma semirreação de oxidação, dá pra observar que ele passa do estado sólido para aquoso e, por isso, vamos ter mudança de coloração, porque a substância já não é a mesma em solução. E a substância que era o cobre, que estava dando característica de coloração azul, vamos ver que esse cobre está passando de mais dois (Cu^{2+}) para zero (Cu^0), se depositando na esponja de aço e formando uma redução porque o seu NOx saiu de mais dois para zero, deixando de ser aquoso para sólido.”

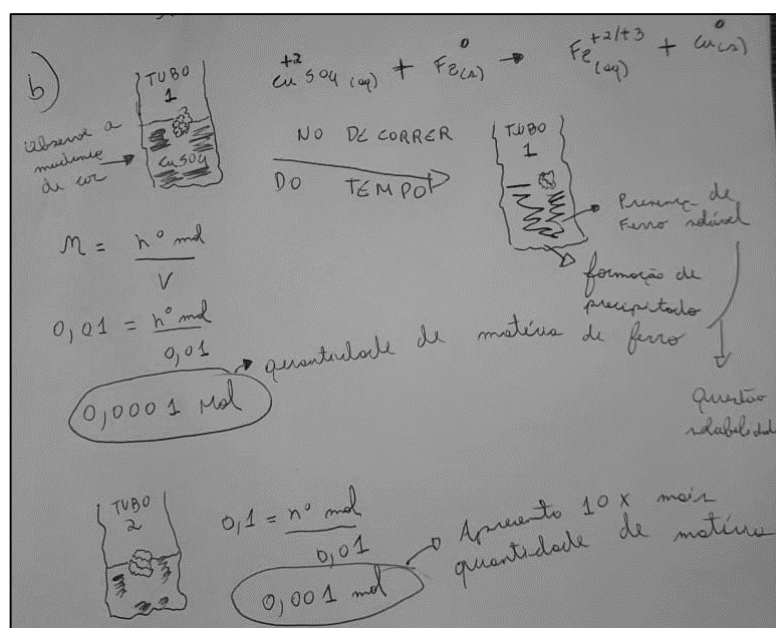
Quanto ao questionamento se os resultados em ambos os tubos seriam iguais ou não, o sujeito S₁₁ destacou que,

“Quando comparamos a solução do tubo 1 com a do tubo 2, podemos identificar que a quantidade de matéria [...] presente no tubo 1 é dez vezes menos do que em relação ao tubo 2. Então [...] eu imagino que não, porque nós temos uma quantidade de matéria maior no tubo 2 e isso vai afetar a questão da cinética química, que quanto maior a quantidade de matéria, maior é a velocidade de reação química, então talvez nós vamos ter uma representação da reação química diferente aí e nós vamos ter também uma questão de quantidade de produtos, né, que nós temos dois produtos formados e quantidade diferente.”

A partir de sua fala e também dos dados coletados por este sujeito em sua folha rascunho (Figura 44), é possível averiguar que, segundo ele, os dois processos reacionais que acontecem em cada um dos tubos seriam diferentes, apontando a formação de dois produtos e com quantidades diferentes. Todavia, ao interpretar sua resposta construída no papel, percebe-se que em nenhum momento o sujeito diferenciou a equação química para ambos os tubos, deixando a mesma reação tanto para o tubo 1 quanto para o tubo 2.

Por outro lado, por mais que S₁₁ tenha feito confusão em relação ao efeito da concentração nas reações químicas, o mesmo soube explicar macro e submicroscopicamente o que acontece na reação entre sulfato de cobre e ferro metálico.

Figura 44 - Resultados obtidos pelo sujeito S₁₁ para a Situação 1



Fonte: Sujeito S₁₁.

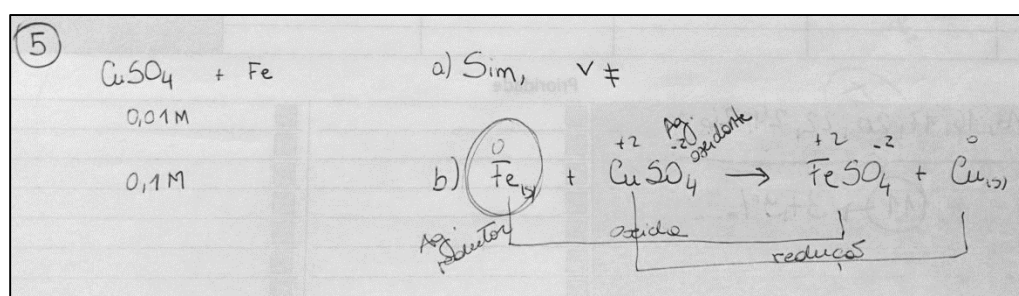
Sujeito S₁₂

Para o sujeito S₁₂, o resultado obtido nos dois tubos de ensaios serão os mesmos, visto que a única coisa que muda é a velocidade da reação e, para isso, explica que,

“É uma reação onde o ferro vai oxidar e [...] vai ser o agente redutor, enquanto o cobre vai sofrer uma redução [...] e é o agente oxidante. Então a esponja de aço ela vai se dissolvendo, ela tá sólida ali [...], uma substância simples, ele vai tá então em íons depois na solução final nos dois tubos, como cátion né, como Fe²⁺ associados aos ânions sulfatos, que são -2 e que são espectadores da reação. Enquanto o cobre vai então de +2 pra 0, indo pro estado sólido.”

De modo extremamente sucinto e sem muitos detalhes, tanto na sua fala quanto na escrita (Figura 45), é possível ver que o mesmo sabe interpretar e fazer previsões a respeito de uma reação de oxirredução, não apresentando dificuldades para isto, mas deixando totalmente de lado as questões macroscópicas e submicroscópicas, bem como as semirreações de oxidação e redução.

Figura 45 - Resultados obtidos pelo sujeito S₁₂ para a Situação 1



Fonte: Sujeito S₁₂.

Sujeito S₁₃

O sujeito S₁₃ começou sua fala detalhando seu desenho, colocando um antes e um depois do processo reacional em relação às mudanças macroscópicas. Deste modo, na concepção dele, para começar a reação

“[...] coloquei um desenho do início do experimento e aí utilizei até uma canetinha aqui pra colorir. Aí eu coloquei as características do sistema inicial, que tinha solução de sulfato de cobre e que o cobre é um íon que tá na solução e ele tem coloração azul. Fiz a solução azul dentro do tubinho e a esponja de aço colocada ali dentro, mais clara.”

Enquanto que no final ele mencionou que “[...] os fios metálicos na esponja vão adquirindo coloração mais escura devido á deposição de pequeníssimos pontos de cobre metálico e a solução vai perdendo a coloração.

Já em relação às mudanças submicroscópicas e ainda complementando a macroscópica, o sujeito explica que nesse processo reacional,

“[...]o ferro da esponja de aço perde elétrons pro cobre no processo de oxirredução espontâneo, coloquei a equação, identifiquei quem oxidou e quem reduziu e coloquei: esse processo acarreta diminuição da concentração dos íons Cu^{2+} , por isso a coloração, a solução perde a coloração azulada. E também identifiquei as semirreações que acontecem no processo. Fiz um desenho mais ou menos do que acontece na esponja e peguei um pedaço da esponja, enchi de Fe^0 e ao redor os Cu^{2+} e aí eu fiz um zoom aqui de um fiozinho cheio de ferro, com o cobre ao redor e aí o cobre trocando o lugar com o ferro, aí o ferro passa pra forma aquosa e o cobre passa a ser um pontinho ali naquele fio e metálico. E aí ao invés de eu de eu fazer desenho pro tubo dois, eu coloquei observações. No tubo dois vai ocorrer o mesmo fenômeno, mas por ter maior concentração de cobre, vai ter no sistema inicial uma coloração de azul mais intensa. O fenômeno de oxirredução acontece com maior velocidade por causa da concentração e ao final do processo, a solução poderá ainda ter essa coloração azul, isso porque os íons Cu^{2+} podem estar em excesso em relação a quantidade de esponja de aço ali e essa é uma reação com estequiometria 1 pra 1 se houver formação de Fe^{2+} ferro 2 e botei uma observação que também pode formar Fe^{3+} .

Através de sua linha de explicação e também devido a interpretação dada para as reações acontecendo em cada um dos tubos de ensaio a partir de seu desenho (Figura 46), é possível ver uma riqueza em detalhamento por este sujeito de ambos os níveis representacionais, os quais são muito relevantes para a compreensão da Química, principalmente pelo fato de ser uma Ciência extremamente abstrata.

Figura 46 - Resultados obtidos pelo sujeito S12 para a Situação 1

Situação 1

Tubo 1

antes

depois

$\text{CuSO}_4(\text{aq})$
0,01 M
(solução azul clara)

esponja
aço

íons Cu^{2+} (aq)

Neste processo o ferro da aço perde e para o cobre, por um processo de oxirredução espontânea.

os fios metálicos na esponja adquirem coloração mais escura, devido à deposição de pequenas sementes de cobre metálico

Este processo acarreta a diminuição da concentração de íons Cu^{2+} , por isso a solução perde a coloração azul.

oxidação

redução

$\text{Cu}^{2+} + \text{Fe} \rightarrow \text{Cu}^0 + \text{Fe}^{2+}$

Semirreações:

$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}^0$ (red.)

$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$ (ox.)

Tubo 2 - ocorre o mesmo fenômeno;

- maior concentração de Cu^{2+} - solução e/ou azul mais intenso;
- o fenômeno de oxirredução ocorre com maior velocidade (alteração na cinética).
- ao final do processo, a solução poderá ainda estar azul, porém mais clara. Isso porque os íons Cu^{2+} poderão estar em excesso. Essa é uma reação com estequiometria 1:1 para formação de Fe^{2+} .

(OBS) Poderá haver formação de Fe^{3+} , que é outra forma oxidada comum para o ferro.

Fonte: Sujeito S13.

Análise geral da Situação 1

Assim como para a análise geral da Questão 1 os pontos que direcionaram a realização de uma análise padronizada entre os sujeitos foram muito importantes, os pontos referentes à Situação 1 também o serão.

Para tanto, esta análise contemplará todos os pontos elencados para esta Situação 1, os quais permitiram analisar a interpretação dos dados obtidos pelos sujeitos em relação ao experimento proposto envolvendo o conteúdo de oxirredução, como: explicação dos efeitos na esponja de aço; cinética das reações; menção ao tipo de reação química; uso de conceitos atrelados à oxirredução; presença de equações reacionais; relação com a série de atividade dos metais; utilização de representações visuais; mudanças submicroscópicas e macroscópicas; dificuldades elencadas pelos sujeitos.

Desta forma, olhando para a resolução proposta pelos sujeitos, constata-se que apenas o sujeito S7 não conseguiu prever o que aconteceria nos dois tubos de ensaios, deixando de interpretá-los e explicá-los. Por sua vez, em relação aos demais doze resultados, por mais que

os sujeitos tenham respondido, trazendo uma interpretação para a Situação 1, não significa que estejam corretos e que suas resoluções sejam cientificamente aceitas.

Assim, quanto aos efeitos das esponjas de aço imersas em solução de sulfato de cobre em cada um dos tubos de ensaio, com exceção do sujeito S₇ que não conseguiu explicar o que aconteceria, os demais não tiveram problema em relação a isto. Dentre estes, os sujeitos S₁, S₂, S₅, S₆, S₈, S₉, S₁₀, S₁₂ e S₁₃ afirmaram que os efeitos reacionais seriam iguais nos dois tubos por conta de os mesmos produtos serem formados, apontando que a única diferença é a concentração, a qual afetará apenas a cinética química das reações, ou seja, a velocidade com que os produtos são formados, sendo que no segundo tubo a reação acontecerá mais rapidamente devido a sua maior concentração (0,1M) quando comparado ao primeiro tubo (0,01M). Todavia, o sujeito S₂ afirma que o resultado será diferente, mas menciona que a única que a única coisa observada será a questão da velocidade. Já os sujeitos S₃, S₄ e S₁₁ possuem outra visão sobre as reações, justificando que os produtos não serão os mesmos.

Quanto ao tipo de reação formada, todos os doze relataram que há formação de uma reação de oxirredução, mas nem todas as respostas foram diretas, alguns mencionaram apenas conceitos atrelados à oxirredução, como, por exemplo, a formação da ferrugem, a oxidação do ferro e a redução do cobre, dando a entender o tipo de reação que ocorre. Logo, por se tratar de uma reação química, saber construir sua equação é muito importante para o entendimento do processo reacional e como o tipo de reação formada é de oxirredução, até quatro tipos de equações podem ser construídos, como: reação com todas as espécies químicas envolvidas, semirreação de oxidação, semirreação de redução e equação global da oxirredução.

No entanto, nem todos os sujeitos souberam montá-las, sendo os sujeitos S₁ e S₁₃ os únicos que representam as duas semirreações e a equação global, explicando-as. Já S₂ abordou em sua explanação as duas semirreações, isto é, de oxidação e redução, enquanto que o sujeito S₈ apenas a equação global. Por sua vez, S₅, S₄, S₁₂ e S₁₀ descreveram a reação contemplando todas as espécies químicas presentes. Com isto, é possível averiguar que os sujeitos possuem dificuldade na hora de representarem uma reação acontecendo através destas equações químicas, pois, dos trezes sujeitos, apenas três souberam construir as semirreações de oxidação do ferro e da redução do cobre, e três a reação global, sendo estas as mais importantes equações químicas de um processo de oxirredução por mostrarem a variação do número de oxidação das espécies envolvidas.

Outro ponto importante que demonstra o grau de entendimento dos sujeitos em relação ao conteúdo de oxirredução na hora de resolver esta primeira situação é a série de atividade dos

metais. Todavia, de todos os sujeitos, apenas S₁ a mencionou na hora de construir sua explicação.

Quanto às explicações envolvendo os níveis macroscópicos e submicroscópicos, nota-se que poucos conseguiram fazer previsões, principalmente sobre o que deveria acontecer macroscopicamente na reação de oxirredução entre o cobre e o ferro.

Os sujeitos S₁, S₂, S₅, S₁₀, S₁₁, S₁₂ e S₁₃ utilizaram em algum momento de suas explanações algum tipo de referências sobre o que acontece macroscopicamente, porém, apenas S₁, S₂, S₁₁, e S₁₃ abordaram esta questão bem detalhadamente, sendo que os demais somente mencionaram a respeito da mudança de fase das espécies (S₅), formação da ferrugem (S₁₀) e dissolução do aço (S₁₂). Quanto às mudanças submicroscópicas, encontram-se os sujeitos S₁, S₂, S₄, S₅, S₁₀, S₁₁, S₁₂ e S₁₃ e mais uma vez os sujeitos S₁, S₂, S₁₁, e S₁₃ fazem-se presentes, por terem sido os únicos que detalham bastante o que acontece com este nível e, ao mesmo tempo, o relacionam às mudanças de nível macroscópico. Já os demais apenas relatam sobre a variação do número de oxidação.

Dentre estes, o sujeito S₁₃ acabou sobressaindo-se ao explicar as mudanças visíveis e invisíveis entre a reação química de oxirredução do ferro e cobre, visto que utilizou desenhos ricos em detalhes para explicá-los, ao contrário dos demais sujeitos (S₁, S₂, S₅, S₈, S₁₀ e S₁₁) que apenas ilustram os tubos de ensaios contendo as esponjas de aço dentro.

Por último, observou que alguns sujeitos elencaram algumas de suas dificuldades para resolverem esta primeira situação, como: não saber a composição química da esponja e não lembrar o conteúdo (S₃), não saber a fórmula do sulfato de cobre (S₆) e não saber se a reação formava Fe²⁺ ou Fe³⁺ (S₁₀).

5.2.4.4 *Questão 3) Situação 2*

Por sua vez, a última situação do conteúdo (Quadro 14) descreve os passos de um experimento químico, elencados a seguir:

Em uma aula experimental, o professor solicitou aos seus alunos que realizassem o seguinte experimento:

- Numerar dois béqueres de 100 mL;
- Adicionar 50 mL de solução 0,1 M de sulfato de cobre no primeiro béquer e mergulhar uma lâmina de zinco nesta solução;
- Adicionar 50 mL de solução 0,1 M de sulfato de zinco no segundo béquer e mergulhar uma lâmina de cobre nesta solução.

A partir disso, dois questionamentos foram feitos: a) O que você acha que vai acontecer em ambos os béqueres? Explique. b) Explique com suas palavras o que acontece em cada um dos béqueres. Use diagramas, desenhos e mecanismos. Fale tudo o que você sabe sobre cada reação química. Diga inclusive suas dúvidas e/ou dificuldades no entendimento dessas reações químicas.

Para a análise, mais uma vez pontos em comum relacionados ao conteúdo e que deveriam estar presentes nos dados obtidos pelos sujeitos, foram utilizados, como: explicação dos efeitos em ambos os béqueres; percepção de ocorrência de apenas uma das reações; menção ao tipo de reação química, uso de conceitos atrelados à oxirredução; presença de equações reacionais; interpretação das equações e relação com a série de atividade dos metais. Outros pontos também foram considerados, dentre eles: utilização de representações visuais; mudanças submicroscópicas e macroscópicas; dificuldades elencadas pelos sujeitos.

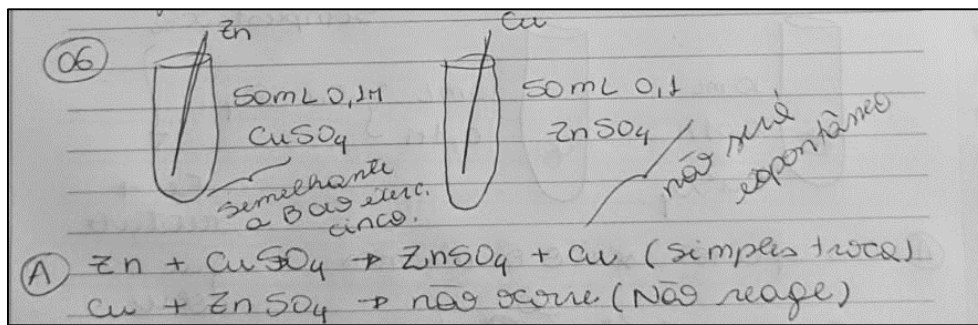
Os dados obtidos através da Situação 2 serão apresentados a seguir, bem como as discussões individuais e gerais.

Sujeito S₁

De forma breve, o sujeito S₁ ao resolver a Situação 2 afirmou que no primeiro béquer irá acontecer uma reação química de simples troca entre o zinco e o cobre, porém isso não será observado no segundo béquer, relatando que *“[...] na letra b não vai ser espontâneo pelo fato de o cobre ser menos reativo que o zinco. Então o cobre tem um maior potencial de redução e não tem a capacidade de fazer aquela interação com o sulfato, e a reação não acontece”*.

Analisando-se os dados aqui obtidos, constata-se que o mesmo não tem dificuldade para resolver um problema envolvendo as reações de oxirredução, mas que é muito objetivo em suas respostas, não abordando as questões submicroscópicas e macros das reações, apenas mencionando, sem explicar como ocorre, a relação com o potencial de redução e espontaneidade reacional. A Figura 47 mostra a resposta completa do sujeito S₁.

Figura 47 - Resultados obtidos pelo sujeito S₁ para a Situação 2



Fonte: Sujeito S₁.

Sujeito S₂

Diante da última situação proposta, o sujeito S₂ mencionou desde o início que apenas no primeiro béquer ocorreria reação química, visto que,

“[...]no béquer número dois não vai acontecer porque eu tenho uma troca ali, né? Eu tenho zinco metálico e o cobre em solução e depois eu tenho cobre metálico e o zinco em solução e as espécies elas têm o que a gente chama de poder oxidante. Uma espécie tem mais poder oxidante, uma ação oxidante sobre a outra. Então, se eu simplesmente inverteo as coisas sem levar isso em consideração, o meu experimento e o meu resultado pode não dar certo.”

Isto é, o sujeito justifica a ausência de reação no segundo béquer em consequência do poder oxidante das espécies químicas, visto que nem todas possuirão a mesma capacidade de doar elétrons. Por outro lado, por mais que este sujeito saiba que isso acontece, menciona não saber porquê, expondo que,

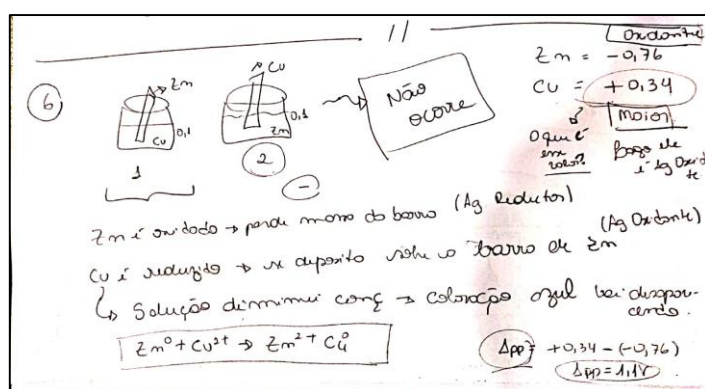
“[...] isso foi uma coisa que eu fiquei pensando e eu acho que é uma coisa que eu não sei explicar, pois ali fala que também é para falar das dúvidas e dificuldades, né! Não sei explicar direito o porquê isso acontece e por isso pedi os valores de potencial para poder explicar isso melhor, pois eu sei que eles têm potenciais diferentes. O cobre tem potencial de oxidação de +0,34 e o zinco - 0,76. Se eu pegar de redução é só inverter os sinais [...]. Eles têm esses valores diferentes e é com base nesses valores que eu consigo perceber que o cobre tem um potencial de ser um agente oxidante maior do que o zinco e é ele que vai reduzir, que vai provocar a oxidação do outro e o zinco que vai oxidar. E o contrário não acontece devido a esse poder de oxidação.”

Mas, por mais que tenha dito não saber explicar, foi possível observar que sua explicação, embora seja pouco detalhada, estava correta. Ao retornar à sua resposta (Figura 48),

o sujeito explica o que irá acontecer em cada um dos béqueres, tanto no macro quanto no nível submicroscópico,

“Mas então o número 1 acontece e o número dois não acontece por causa dessa diferença do poder de oxidação que as espécie têm. O zinco no número 1 é oxidado, e aí visivelmente eu vou verificar a perda da minha massa na barra de zinco, que esse zinco que é 0 vai se transformar em zinco 2+ e vai passar para solução. Ele vai ser corroído. E o cobre que tá em solução, recebe esses elétrons do zinco e ao receber esses elétrons, se torna sólido e se deposita em cima da barra de zinco. Também coloquei as informações da solução, a solução de cobre vai diminuir de concentração e a coloração azul vai desaparecendo e coloquei a reação aqui para exemplificar o que acontece, que é o Zn^0 mais o Cu^{2+} que forma Zn^{2+} mais o Cu^0 e calculei o que a gente chama de diferença de potencial que acontece entre esses elementos [...] e o resultado é positivo, dá 1,1. Mas se eu for fazer isso para o 2, o resultado é negativo né e mostra que essa reação não é espontânea de acontecer. A número 1 é espontânea e a número 2 não é espontânea.”

Figura 48 - Resultados obtidos pelo sujeito S₂ para a Situação 2



Fonte: Sujeito S₂.

Com base no exposto por este sujeito, é possível ver que, embora tenha mencionado sobre sua dúvida inicial, o mesmo não sentiu dificuldade para resolver o problema, deixando de lado a montagem das semirreações de oxidação e redução do processo apenas.

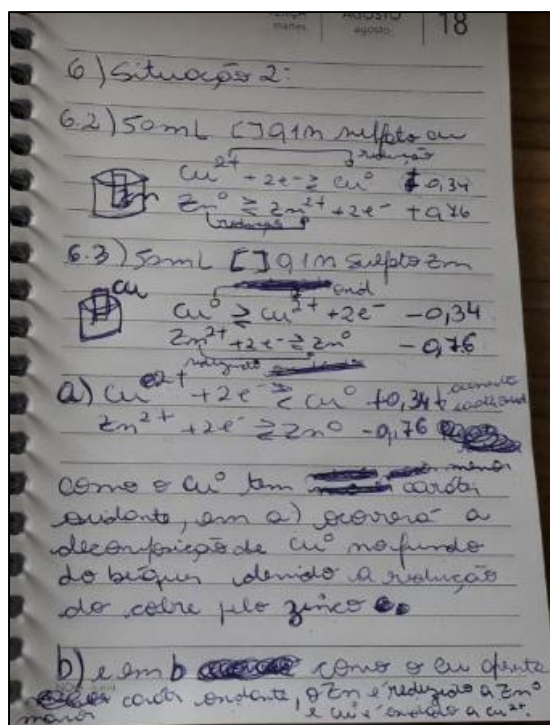
Sujeito S₃

Para iniciar sua resolução, S₃ afirmou que não conseguiria resolver a questão sem o auxílio de uma tabela de potenciais e, após conferir os valores, alegou que “Como o cobre tem menor caráter oxidante, em A ocorrerá a decomposição de Cu^0 no fundo do béquer devido à redução do cobre pelo zinco. Já em B como o cobre apresenta maior caráter oxidante, o zinco é reduzido a Zn^0 e o cobre oxidado a Cu^{2+} ”.

Logo, por mais que o sujeito tenha se dado conta da necessidade de uma tabela de potenciais para poder resolver a questão, o mesmo apresentou concepções errôneas em relação a ocorrência ou não de uma reação química de oxirredução, pois, de acordo com ele, em ambos os béqueres reações são observadas.

Além disso, por mais que tenha sido breve em sua fala, o sujeito S₃ escreveu mais coisas em sua resposta no papel, como no caso das semirreações montadas a partir do seu grau de entendimento sobre o assunto, como mostra a Figura 49.

Figura 49 - Resultados obtidos pelo sujeito S₃ para a Situação 2



Fonte: Sujeito S₃.

Sujeito S₄

Após explicar as mudanças dos números de oxidação das espécies envolvidas no processo, S₄ pediu a tabela dos potenciais para analisá-la, relatando que,

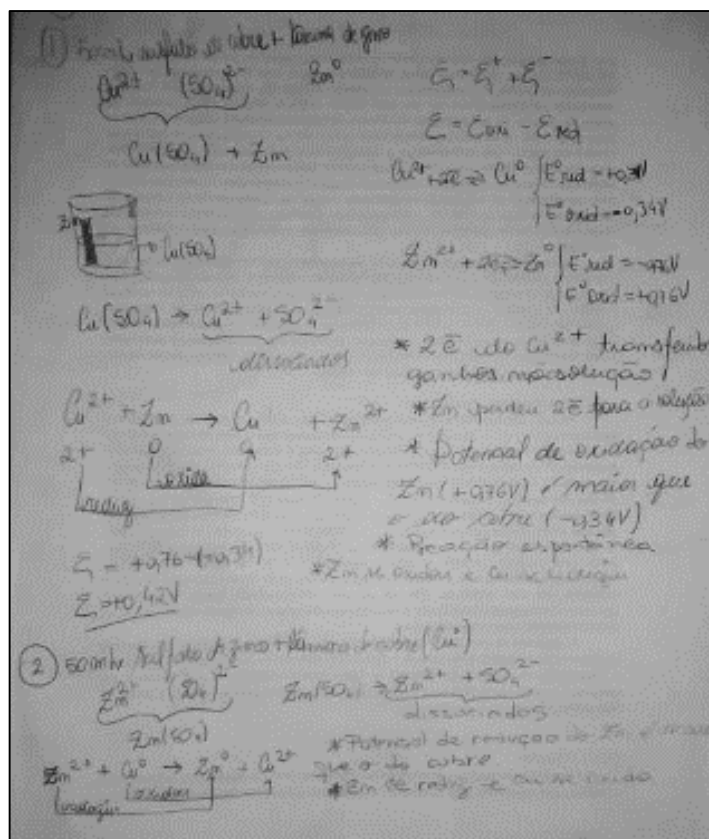
“Eu peguei o sulfato de cobre e fiz a dissociação dele para ver quais íons estavam na solução. Daí coloquei o Zn⁰, que é o zinco metálico que falam e ele vai tá com número de oxidação zero, daí ele se oxida e o cobre vai pra zero e vai se reduzir. Depois eu olhei os potenciais de redução dos íons dessa reação pra ver quem perde ou ganha elétrons e vi que o potencial de oxidação do zinco é maior que o do cobre. Com isso coloquei que a reação ocorre de uma maneira espontânea.”

Ao continuar sua explanação, nota-se que o sujeito apresenta dúvidas em relação aos efeitos macroscópicos da reação, além de concepções errôneas quanto a ocorrência da reação do segundo béquer.

“Eu acho que a primeira ocorre de uma maneira espontânea, pois o potencial de oxidação do zinco é muito maior que o do cobre. [...] Daí eu coloquei que o zinco perdeu dois elétrons para a solução, só que eu não sei onde ele vai ficar, se fica depositado ou não. Coloquei também que dois elétrons do Cu^{2+} foram transferidos, ganhos pela solução, e que o zinco se oxidou e o cobre se reduziu. Depois com o outro béquer, eu fiz a mesma coisa, fiz uma reação de dissociação entre a solução e coloquei que o cobre se oxidou e que o zinco vai se reduzir, e que o potencial do zinco é maior que do cobre, e o zinco se reduz e o cobre se oxida.”

A figura 50 mostra sua resposta na íntegra, sendo possível averiguar que, mesmo sem relatar, descreveu os cálculos dos potenciais de redução, porém apresentando um valor errôneo para a reação do béquer 1.

Figura 50 - Resultados obtidos pelo sujeito S₄ para a Situação 2

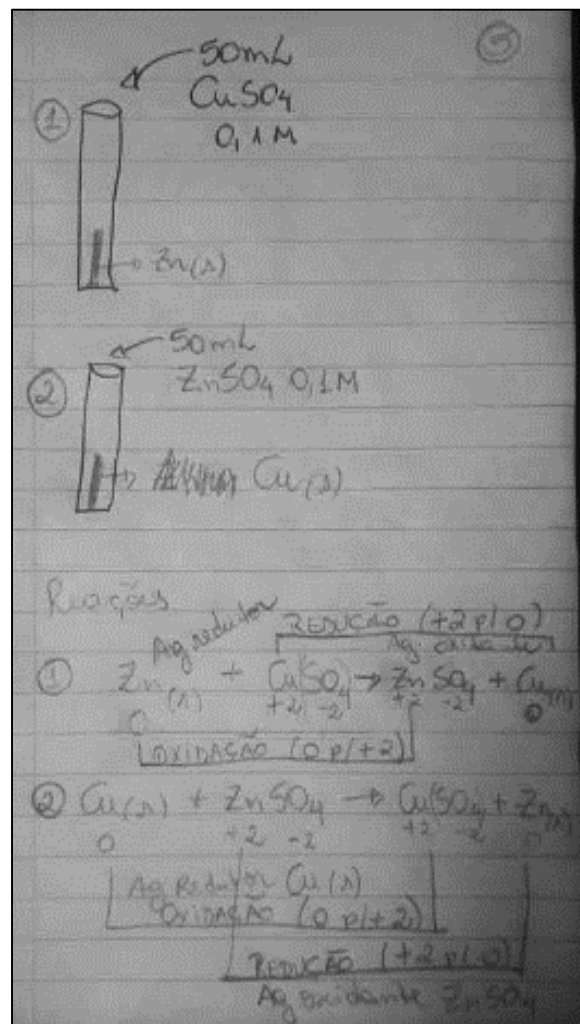


Sujeito S₅

Na perspectiva do sujeito S₅, há ocorrência de uma reação de oxirredução em ambos os béqueres devido a oxidação das duas barras mergulhadas nas soluções (Figura 51), relatando,

“Por exemplo, na primeira, o zinco sofre oxidação, o número de oxidação dele aumenta de 0 para +2, ao passo que o zinco é o agente redutor, e o cobre do sulfato de cobre sofre redução de +2 para 0, sendo o sulfato de cobre o agente oxidante. É ele que vai provocar a oxidação da barra de zinco. Na reação 2, o cobre que sofre oxidação de 0 para +2, sendo ele o agente redutor e o zinco, do sulfato de zinco, sofre redução de +2 para 0, sendo ele o agente oxidante e é o agente oxidante.

Figura 51 - Resultados obtidos pelo sujeito S₅ para a Situação 2



Fonte: Sujeito S₅.

Deste modo, percebe-se que o sujeito apresenta dificuldade para resolver esta situação pois, por mais que tenha aplicado corretamente os conceitos de oxidação e redução, não constatou que precisaria do auxílio da série de reatividade dos metais para averiguar que no segundo béquer não há formação de reação química

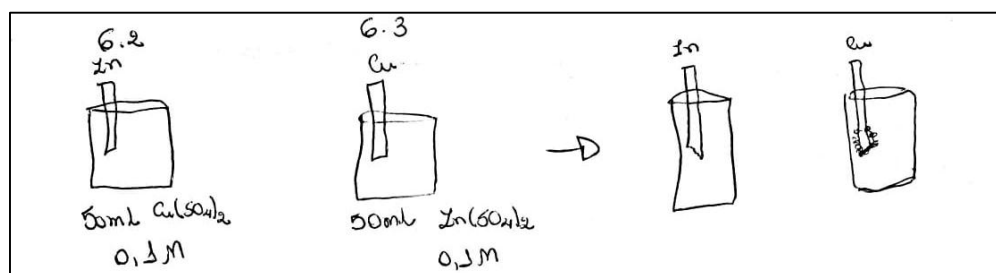
Sujeito S₆

Na resolução desta segunda situação, S₆, foi extremamente conciso em sua resposta, deixando de lado qualquer aprofundamento explicativo, preocupando-se muito mais em descrever as etapas do experimento, sendo isso averiguado tanto em sua fala quanto em seu desenho (Figura 52).

Olhando-se para sua resposta, percebe-se que o sujeito acabou se confundindo na hora de resolver a situação com uma pilha de Daniell pelo fato de ter afirmado que no primeiro béquer haverá diminuição da massa da lâmina do zinco e no segundo, aumento da lâmina do cobre.

“[...] na solução 1 que eu vou ter a solução de sulfato de cobre com uma lamina de zinco mergulhada, eu acredito que vá ocorrer a oxidação do zinco e, conseqüentemente, vai ocorrer a diminuição dessa lamina de zinco. No outro caso, onde eu tenho a solução de sulfato de zinco com uma lamina de cobre mergulhada, vai ocorrer a redução do cobre e, conseqüentemente, o aumento da massa da lâmina. Acredito que vai ser isso. A dificuldade que eu senti nessa questão foi visualizar como isso está ocorrendo nos dois frascos.”

Figura 52 - Resultados obtidos pelo sujeito S₆ para a Situação 2



Fonte: Sujeito S₆.

Sujeito S₇

Ao resolver a Situação 2, o sujeito S₇ deixa claro que no béquer 1 ocorre uma reação química, mas que o mesmo não é visto no béquer 2 não, pelo fato de o zinco apresentar menor potencial de redução do que o cobre, explicando brevemente que,

“O Cu²⁺ pra virar Cu⁰ tem potencial de redução de +0,34 e o Zn tem menor potencial de redução pois é negativo. Então nesse caso aqui, o cobre tem maior potencial de redução, então ele vai pegar os elétrons do zinco. Vai inverter. Eu acho que vai se criar uma camada de Cu⁰, no caso, cobre sólido. Tá, eu vou colar assim: se forma uma camada de Cu⁰ e ele fica sólido em solução. E aqui tu tem zinco que tem menor potencial de redução e aqui não acontece nada.

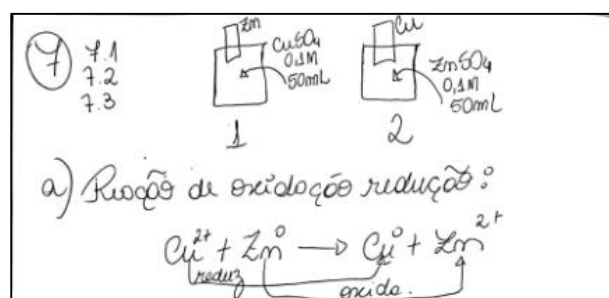
Diante do exposto, constata-se que, por mais que este sujeito tenha apresentado certo grau de dificuldade no decorrer das outras questões, o mesmo soube interpretar a espontaneidade reacional a partir do uso da série de reatividade disponibilizada.

Sujeito S₈

O sujeito S₈ apresentou bastante dificuldade para resolver a segunda situação, chegando a mencionar que sabia que iria ocorrer uma reação de oxirredução nos dois béqueres e descrevendo a reação entre o Cu²⁺ e o zinco metálico, mas ao mesmo tempo afirmando que, em relação à segunda reação ela não sabia o que acontecia (Figura 53).

Através de sua fala e desenho breves, nota-se que em nenhum momento este sujeito atentou-se para a questão das mudanças submicroscópicas e macroscópicas da reação descrita na equação formada por ele, apresentando ainda concepções errôneas sobre o assunto.

Figura 53 - Resultados obtidos pelo sujeito S₈ para a Situação 2



Sujeito S₉

Ao resolver a Situação 2, o sujeito S₉ relata que sua dúvida é a mesma desde a primeira questão, pois não sabe o conteúdo. Todavia, tenta construir sua resposta, mencionando que no primeiro béquer, quando a lâmina de zinco entra em contato com o cobre, acontece uma transferência de elétrons, levando a formação de cobre metálico e diluição do zinco. Porém, em relação ao béquer 2, após pegar sua tabela de potenciais de redução, afirma:

“[...]aqui acontece o contrário. Tu tem a precipitação do cobre e a precipitação do zinco, teoricamente. Porém, tu tem potenciais de oxidação e redução diferentes. O zinco tem 0,76 de oxidação e de redução, sendo maior que o do cobre. Nesse caso aqui, a reação é muito mais espontânea eu acho”

Ou seja, por mais que tenha envolvido a questão dos potenciais de redução para descobrir o que aconteceria com o béquer 2, o sujeito S₉ foi bastante confuso no decorrer de sua resposta, além de apresentar concepções errôneas a respeito pois, segundo ele, a reação que não acontece é aquela que apresenta maior espontaneidade reacional.

Sujeito S₁₀

Embora com bastante dificuldade, este sujeito tentou apresentar uma resposta para a Situação 2, porém, após um tempo relatou que *“A questão é que eu não lembro, não sei se eu entendi isso alguma vez na minha vida do, de onde acontece a deposição de elétrons.”* e, por isso, decidiu deixá-la em branco.

Sujeito S₁₁

S₁₁ inicia sua fala remetendo-se à importância da tabela de potencial de redução para compreender o que irá acontecer em ambos os béqueres ao mencionar que *“[...] essa tabela de potencial de redução, ela vai então nortear e explicar e justificar o porquê que acontece o comportamento do experimento 1 diferente do comportamento do experimento 2”*. Pontua ainda que o potencial de redução do cobre é 0,34V, enquanto que o do zinco é -0,76V e, por isso, a primeira reação ocorre e a segunda não, pelo fato de o cobre ter maior potencial de realizar uma redução, sendo positivo e tendo um valor maior, levando a oxidação do zinco.

Deste modo, em relação à primeira reação química, na concepção deste sujeito, haverá “[...] mudança de coloração, mas não só isso, mudança também na massa da lâmina, pois forma uma camada de cobre sobre essa placa de zinco. Parte da solução vai mudar de cor, de um azul para um marrom acinzentado” e, além do mais, quanto às mudanças submicroscópicas desta reação, relata

“[...] tu tinha sulfato de cobre aquoso se transformando em sólido, exatamente o sentido da reação representada pela tabela. E o zinco tá no sentido inverso e ele faz o papel de oxidação. Se ele tava no sentido inverso ele era zinco metálico e se transforma em zinco aquoso na solução lá da representação do desenho. Então quer dizer que ele está passando do estado sólido para o estado líquido doando dois elétrons para o cobre receber. Nessa situação então nós temos então uma reação com um par de oxirredução em que um doa elétrons e o outro recebe elétrons e essa reação acontece então porquê? porque o zinco é mais reativo do que o cobre, ele é capaz de estar deslocando o cobre da substância aqui, esse sulfato aqui né, vai tá deslocando o sulfato de cobre e com isso que nesse deslocamento do cobre aqui na ligação, vai se ligar ao zinco formando sulfato de zinco. Já o cobre que está nessa solução aquosa se transformou em cobre sólido [...].”

Por outro lado, como já havia explicado a ausência de reação química acontecendo no béquer 2, o sujeito justifica sua fala ao pontuar que,

[...] O cobre não é muito reativo então nessa situação [...] ele não consegue deslocar o zinco para formar o sulfato de cobre nessa solução, então não é uma reação espontânea [...] Então nós não vamos observar mudança na coloração e nem mudança na questão de massa dessa reação química aqui.

Em seu material escrito (Figura 54), pode-se averiguar sua representação da realização do experimento em ambos os béqueres, as semirreações de redução do cobre e do zinco, bem como os seus respectivos potenciais, para que assim pudesse explicar o motivo de apenas a primeira reação ocorrer.

Figura 54 - Resultados obtidos pelo sujeito S₁₁ para a Situação 2

- Remover os metais, deslugar, formular
 - Respo de espontâneas ou não?
 - analisar os valores de potencial e determinar qual tem menor potencial de redução e oxidar

Situação 2

6.2)

Tubo 1
 lâmina de Zn
 CuSO₄
 0,1
 50 mL

Tubo 2
 lâmina de Cu
 ZnSO₄

solubilidade?
 Quantidade de ZnSO₄ formado?

Segundo a Tabela de Potencial de redução

$$\begin{cases} \text{Cu}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Cu}^0 + 0,34\text{V} \\ \text{Zn}^{+2} + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{Zn}^0 - 0,76\text{V} \end{cases}$$

QUAL DAS SUBSTÂNCIAS TEM MAIOR POTENCIAL DE REDUÇÃO?

Respo de deslocamento / Reatividade química

$$\text{CuSO}_4(\text{aq}) + \text{Zn}(\text{s}) \rightarrow \text{ZnSO}_4(\text{aq}) + \text{Cu}(\text{s})$$

6.3)

Tubo 2
 lâmina de Cu
 ZnSO₄
 0,1
 50 mL

$$\text{ZnSO}_4 + \text{Cu} \rightarrow \text{não é espontânea}$$

Fonte: Sujeito S₁₁.

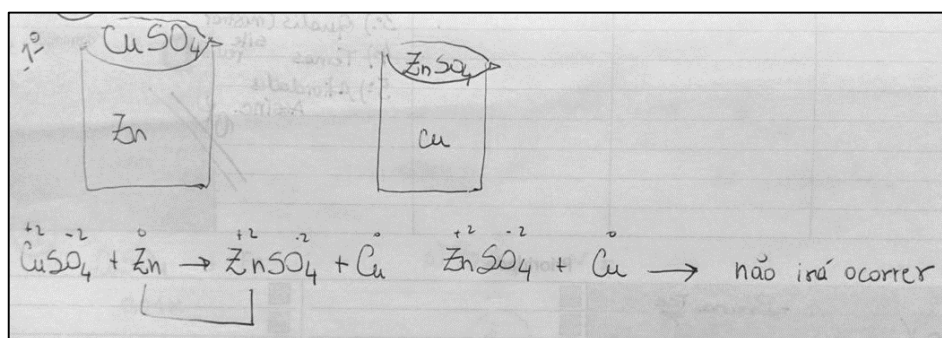
Sujeito S₁₂

Ao começar a explicar sua resposta, este sujeito mencionou que para descobrir a ocorrências de ambas reações seria necessário averiguar a reatividade dos metais, afirmando que,

“[...] no béquer 1 possivelmente ocorre uma reação de oxidação-redução, porque o zinco vai se oxidar né, indo de 0 pra +2, mas o mesmo não acontece no segundo béquer pois, [...] pela reatividade dos metais o cobre não vai conseguir deslocar o zinco, justamente porque ele tem um valor muito baixo né, é quase um nobre[...]”

Além disso, o mesmo descreveu ainda as equações reações para os dois béqueres, destacando a ausência de reação química no segundo (Figura 55). Logo, por mais que o mesmo tenha apresentando uma resposta correta quanto a ocorrência ou não de uma reação de oxirredução, em nenhum momento aprofundou sobre o assunto, sendo muito sucinto em sua explanação.

Figura 55 - Resultados obtidos pelo sujeito S₁₂ para a Situação 2



Fonte: Sujeito S₁₂.

Sujeito S₁₃

Posterior a análise da tabela dos potenciais, o sujeito S₁₃ começou sua resolução relatando como tinha construído sua representação, mostrando seu desenho antes da reação química ocorrer e após sua ocorrência (Figura 56).

“[...] eu coloquei o béquer 1, fiz um desenho do béquer com a solução azulada de novo [...], com a solução de cobre, os íons cobre conferindo a cor azul a solução e uma plaquinha de zinco. Aí o antes. E o depois, a solução então perde a coloração azulada porque ocorre uma reação, a placa metálica sofre um processo de corrosão, perde um pedaço ali, pontos escuros começam surgir em cima da placa. Esses pontos são a deposição do cobre metálico e a solução fica incolor porque diminui a concentração de cobre e o zinco, na forma oxidada, não tem cor.”

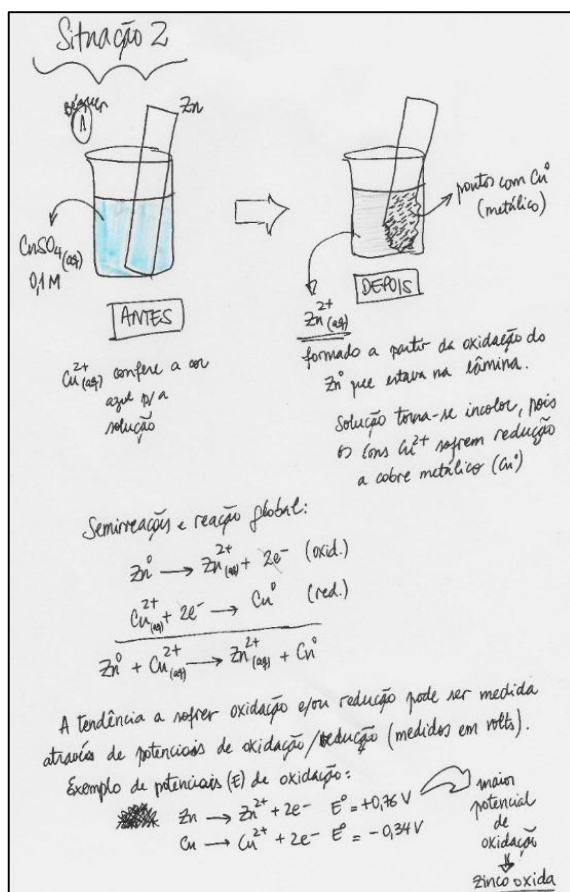
Em seguida passa a descrever as semirreações formadas a partir da reação do béquer 1.

“Aí eu coloco as semirreações do que acontece, o zinco sofrendo oxidação, o cobre sofrendo redução e a equação global do processo. E aí eu coloco que a tendência de sofrer oxidação e/ou redução ela pode ser medida através dos potenciais de oxidação ou redução que são medidos em volts, e aí eu coloco exemplo dos potenciais de oxidação, aí eu coloco do zinco e do cobre, comparando os dois valores. Coloco que o maior potencial de oxidação é do zinco, então é ele que vai oxidar no processo. Ai

comparando os potenciais de redução, do cobre é maior, então é ele que vai sofrer a redução no processo.”

Figura 56 - Resultados obtidos pelo sujeito S₁₃ para a Situação 2

Situação 2



ANTES
 CuSO_4 (aq) 0,1 M
 Zn^+
 Cu^{2+} confere a cor azul na solução

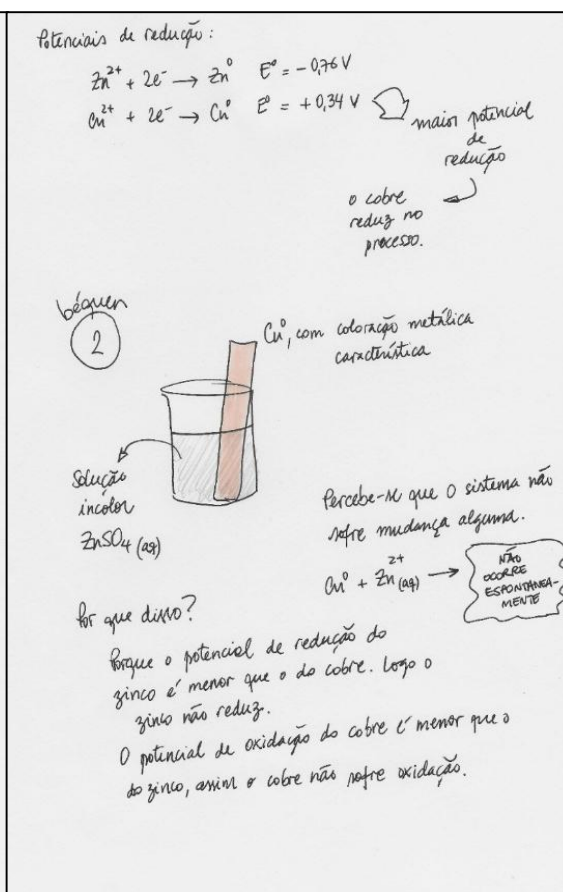
DEPOIS
 Zn^{2+}
 formado a partir da oxidação do Zn que estava na lâmina.
 Solução torna-se incolor, pois os íons Cu^{2+} sofrem redução a cobre metálico (Cu^0)

Semirreação e reação global:
 $\text{Zn}^0 \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ (oxid.)
 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0$ (red.)
 $\text{Zn}^0 + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}^0$

A tendência a sofrer oxidação e/ou redução pode ser medida através de potenciais de oxidação/redução (medidos em volts).
 Exemplo de potenciais (E) de oxidação:
 $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \quad E^\circ = +0,76 \text{ V}$
 $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \quad E^\circ = -0,34 \text{ V}$
 maior potencial de oxidação
 ↓
 zinco oxida

Potenciais de redução:
 $\text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Zn}^0 \quad E^\circ = -0,76 \text{ V}$
 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}^0 \quad E^\circ = +0,34 \text{ V}$
 maior potencial de redução
 o cobre reduz no processo.

Béquer 2



Solução incolor ZnSO_4 (aq)
 Cu^0 , com coloração metálica característica

Percebe-se que o sistema não sofre mudança alguma.
 $\text{Cu}^0 + \text{Zn}^{2+} \rightarrow$ **NÃO OCORRE ESPONTANEAMENTE**

por que disso?
 Porque o potencial de redução do zinco é menor que o do cobre. Logo o zinco não reduz.
 O potencial de oxidação do cobre é menor que o do zinco, assim o cobre não sofre oxidação.

Fonte: Sujeito S₁₃.

Já em relação ao béquer 2, o sujeito também representa processo através de um desenho, mencionando que a solução de sulfato de zinco é incolor e o cobre da placa tem coloração metálica característica, mencionando que,

“[...] o sistema não sofre mudança alguma, né, coloco a reação, os reagentes, coloco que não ocorre espontaneamente, e aí coloco porquê disso, porque o potencial de redução do zinco ele é menor do cobre, logo, o zinco não vai sofrer esse processo. E o potencial de oxidação do cobre ele é menor que o do zinco, assim o cobre não sofre o processo de oxidação. E aí termina aí.”

Análise geral da Situação 2

Para a análise geral da Situação 2, os pontos que direcionaram a realização de uma análise padronizada foram aqui utilizados. Desta forma, a presente análise contemplará os pontos elencados para esta Situação 2, sendo eles: percepção de ocorrência de apenas uma das reações; menção ao tipo de reação química, uso de conceitos atrelados à oxirredução; presença de equações reacionais; relação com a série de atividade dos metais; utilização de representações visuais; mudanças submicroscópicas e macroscópicas; dificuldades.

Nesse sentido, em relação à percepção quanto à formação de apenas umas das reações presentes na Situação 2, somente um sujeito (S₁₀) deixou a questão em branco. Já os demais, cinco deles (S₁, S₂, S₁₁, S₁₂ e S₁₃) conseguiram averiguar que apenas a reação do primeiro béquer seria possível, pelo fato de o zinco ser mais reativo que o cobre, sendo assim um processo espontâneo, não ocorrendo o mesmo no béquer 2, pois ocorre o inverso. Já na perspectiva dos outros sete sujeitos, ambas reações são possíveis, sendo constatado a oxidação do zinco na primeira e do cobre no segundo. Ou seja, a partir da descrição dos dois experimentos ocorrendo nos béqueres, todos os doze sujeitos previram que o tipo de reação que ocorre é de oxirredução e, por conta disso, passaram a utilizar diferentes conceitos para explicarem os processos, como oxidação e redução, reatividade dos metais, potenciais de redução e oxidação, mudança de números de oxidação, dentre outros.

Quanto a construção dos diferentes tipos de equações químicas necessárias para um melhor entendimento de uma reação química de oxirredução, pontua-se que somente os sujeitos S₄ e S₁₃ montara a reação global e as duas semirreações (de oxidação e de redução), porém a reação global do primeiro não estava correta. Já os sujeitos S₁, S₃, S₄, S₆, S₁₁ e S₁₂ explicaram os processos por meio da reação contendo todas as espécies envolvidas, enquanto que S₈ e S₂ utilizaram a reação global. Por outro lado, os sujeitos S₅, S₇, S₉ e S₁₀ não utilizaram nenhum tipo de reação para resolver a Situação 2.

Além do mais, para que os sujeitos fossem capazes de explicar esta situação, deveriam utilizar a série de reatividade dos metais ou então, a tabela de potenciais de redução/oxidação. Todavia, percebe-se que, por mais que nove sujeitos tenham abordado a questão da reatividade ou dos potenciais, nem todos souberam utilizá-la, pois somente cinco deles conseguiu interpretar que apenas no primeiro ocorreria a formação de uma reação de oxirredução.

Em relação às mudanças que ocorrem em nível macroscópico e submicroscópicos apenas os sujeitos S₂, S₁₁ e S₁₃ trazem estas questões de forma mais detalhada, apontando

previsões sobre o que é esperado visível e invisivelmente no decorrer desta segunda situação. Já S₆ e S₇ apenas mencionam sobre a diminuição e aumento das massas das lâminas.

Novamente, mais uma vez o sujeito S₁₃ tem destaque, visto que foi o único que desenhou o que acontece no início e no final das reações nos dois béqueres, e ao mesmo tempo, pontuando o que ocorre tanto em nível macroscópico quanto submicroscópico. Quanto aos demais, praticamente todos só representaram os seus béqueres contendo as respectivas lâminas (zinco e cobre).

5.2.4.5 *Representações mentais em relação às Situações 1 e 2*

Mais do que saber os conceitos sobre oxirredução, os sujeitos precisam saber resolver diferentes situações para que sua aprendizagem se torna significativa (MOREIRA; LAGRECA, 1998), isto é, conforme o sujeito consiga aplicar os conceitos envolvendo este conteúdo em uma determinada situação, passará a formar modelos mentais, explicando e fazendo previsões conforme os modelos científicos aceitos.

Logo, posteriormente à realização da análise geral dos dados encontrados no decorrer das questões envolvendo a Situação 1 (item 4.2 da entrevista) e Situação 2 (item 4.3 da entrevista), os sujeitos foram categorizados em dois tipos novamente: modelizadores e não modelizadores, sendo os primeiros aqueles que conseguiram formar modelos mentais durante a resolução de cada uma das situações, enquanto que os não modelizadores são aqueles que não conseguiram formar modelos, mas sim representações mentais contendo respostas curtas, superficiais, desconexas e desvinculadas envolvendo as Situações 1 e 2.

Para tanto, tanto na primeira quanto na segunda situação, os sujeitos deverão ser capazes de: aplicar os conceitos de oxidação, redução, agente oxidante e redutor, transferência de elétrons, número de oxidação e série de atividade dos metais para resolver cada uma das situações; apresentar as equações químicas das reações que ocorrem; mencionar as mudanças macro e submicroscópicas que acontecem no decorrer do processo de oxirredução das Situações 1 e 2.

Nesta perspectiva, os sujeitos foram ainda subcategorizados, como: Modelizador Proposicional (MP), Modelizador imagístico (MI) ou Modelizador híbrido (MH) ou proposicional (P), imagístico (I) ou Proposicional/Imagístico (PI), conforme já mencionado no Quadro 7.

Destaca-se que os sujeitos serão categorizados separadamente, ou seja, primeiro a partir de suas respostas da Situação 1 e depois, da Situação 2. Para tanto, dentre os treze sujeitos cujos

dados foram analisados, o sujeito S₇ não se enquadrou em nenhuma categoria na Situação 1 por não ter conseguido resolvê-la, ocorrendo o mesmo para sujeito S₁₀ na Situação 2. Os demais encontram-se categorizados a seguir, tanto para a primeira quanto para a segunda situação.

Modelizadores

Aqui encontram-se aqueles sujeitos que conseguiram formar modelos mentais durante a solução de cada uma das duas situações envolvendo as reações químicas de oxirredução, não significando, necessariamente, que os modelos estejam de acordo com o modelo conceitual que abrange o presente conteúdo.

Os sujeitos categorizados como modelizadores na resolução da Situação 1, são: S₁, S₂, S₁₁ e S₁₃. Enquanto que na Situação 2: S₂, S₁₁ e S₁₃.

Destes, S₂ e S₁₁, foram subcategorizados como modelizadores proposicionais (MP) em ambas situações, bem como o sujeito S₁ na Situação 1, pois expressaram-se utilizando textos, além de esquemas compostos basicamente por palavras (SILVA; BOSSOLAN, 2019).

Já o sujeito (S₁₃) foi subcategorizado como modelizador híbrido (MH) nas duas situações também, pelo fato de ter apresentado tanto desenhos representando processos, quanto textos, mostrando coerência em ambos os tipos de externalizações (SILVA; BOSSOLAN, 2019).

Ou seja, pode-se dizer que estes sujeitos foram serem capazes de articular as definições e os símbolos a modelos mentais, que não são, necessariamente, cientificamente aceitos, mas que mesmo assim conseguiram construir uma relação lógica entre a definição, os conceitos e as mudanças submicroscópicas e macroscópicas sobre oxirredução, explicando-os e predizendo-os.

Não modelizadores

Para Moreira e Lagreca (1998), um indivíduo que não constrói um modelo mental de um determinado estado de coisas, acaba não formando uma representação mental mais elaborada. Ou seja, nem sempre é possível obter modelos mentais funcionais, faltando o caráter explicativo e preditivo e, por isso, os sujeitos S₃, S₄, S₅, S₆, S₈, S₉, S₁₀ e S₁₂ foram categorizados como não modelizadores na Situação 1, enquanto que S₁, S₃, S₄, S₅, S₆, S₇, S₈, S₉ e S₁₂ foram assim categorizados na Situação 2, pois estes formaram apenas representações mentais.

Dentre estes, todos os sujeitos foram subcategorizados como não modelizadores proposicionais nas duas situações pelo fato de apresentarem proposições soltas, com frases desarticuladas, sem muita relação entre um conceito e outro, como se fossem meramente memorizadas mecanicamente.

5.2.4.6 Análise comum e confiabilidade dos resultados

Segundo Krey (2000), o modelo mental de um indivíduo diante uma determinada situação é única, sendo possível ter acesso a ele de forma indireta, isto é, através de suas representações externas, ou seja, a partir do que ela escreve, desenha, fala e devido a isso, faz-se necessário analisar o material por ele produzido.

Por conta disso, após a análise individual dos sujeitos em relação aos itens 4.1, 4.2 e 4.3 da entrevista, novamente os dados obtidos foram analisados, fazendo-se a análise comum para a Questão 1 e também para as duas situações. Assim, para a realização desta segunda análise, buscou-se identificar núcleos em comum entre os dados obtidos pelos sujeitos em relação às questões atreladas ao conhecimento do conteúdo.

O método de comparação usado baseou-se no grau de aprofundamento do modelo conceitual de oxirredução, sendo formada três categorias distintas, isto é, três modelos mentais diferentes foram identificados englobando as três questões da entrevista que abordam o conhecimento do conteúdo de oxirredução, os quais são: modelo mental incompleto, modelo mental parcial e modelo mental completo.

Aqui, faz-se necessário esclarecer que os sujeitos podem variar em cada modelo mental, dependendo da questão trabalhada na entrevista. Por exemplo, o modelo mental incompleto será formado por dois sujeitos na Questão 1, mas poderá ter quatro e seis sujeitos nas Situações 1 e 2, respectivamente, e não necessariamente serão os mesmos, por mais que o modelo mental seja.

Desta forma, o modelo mental incompleto é aquele que está muito distante do modelo conceitual de oxirredução, apresentando conceitos soltos, concepções errôneas, sem nenhum aprofundamento, além de não trazer explicações e previsões sobre as mudanças macroscópicas e submicroscópicas tanto na explicação da Questão 1 como na resolução das Situações 1 e 2.

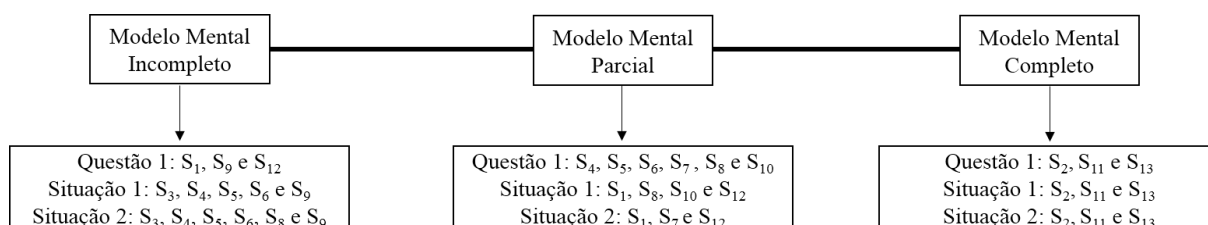
Já o modelo mental parcial tem uma proximidade maior com o modelo cientificamente aceito, ou seja, tem um pouco mais de aprofundamento, contemplando poucas e sucintas previsões e explicações quanto aos fenômenos macroscópicos e submicroscópicos. Já em

relação as situações, pode-se dizer que algumas previsões são encontradas, porém há pouco ou nenhum tipo de explicação.

Por último, tem-se o modelo mental completo, com um grau de proximidade com o modelo conceitual das reações químicas de oxirredução muito maior, abrangendo explicações e previsões macroscópicas e microscópicas, além de desenhos e fórmulas e, além disso, quanto as duas situações, é possível averiguar tanto as resoluções muito próximas do aceito cientificamente.

A figura 57, a seguir, mostra os modelos mentais formados, bem como os sujeitos que fazem parte de cada um destes.

Figura 57 - Modelos mentais formados e os sujeitos presentes em cada um deles



Fonte: Autora (2021).

Todavia, destes três modelos formados, é pertinente mencionar que, por mais que o primeiro modelo seja praticamente incompatível com o modelo conceitual aqui utilizado e que o último seja cientificamente compatível, isso não significa que sejam modelos cientificamente corretos.

A seguir estes modelos serão discutidos, descrevendo suas principais características e frequências, mas, ao mesmo tempo, também será examinado a confiabilidade de cada um deles por meio do modelo conceitual de oxirredução construído no Capítulo II da presente pesquisa. Salienta-se que dos trezes sujeitos que tiveram suas entrevistas analisadas, o sujeito S₃ não faz parte de nenhum modelo mental formado da Questão 1, o sujeito S₇ da Situação 1 e nem o sujeito S₁₀ da Situação 2, pelo fato de não terem utilizado nenhum conceito e explicação durante a resolução destas questões.

Modelo mental incompleto

Este primeiro modelo mental construído é aquele que está distante do modelo conceitual aceito, sendo apresentado conceitos errôneos ou ainda, ausência de conceitos importantes e que levam a uma interpretação e, conseqüentemente, a um entendimento lógico sobre o conteúdo das reações químicas de oxirredução.

Três sujeitos fazem parte da formação deste modelo na Questão 1, cinco na Situação 1 e seis na Situação 2, destacando-se as duas últimas, pois cinco dos seis sujeitos encontram-se neste modelo pela Situação 2, também estão pela Situação 1, porém apenas o Sujeito S₉ faz parte também pela Questão 1. Com isto é possível averiguar que apenas S₉ apresentou dificuldade tanto na hora de explicar o conteúdo quanto na hora de aplica-los para resolver ambas as situações.

Durante os dados obtidos na Questão 1, observou-se um grande distanciamento dos sujeitos em relação aos conceitos essenciais para a compreensão das reações de oxirredução, seja pela ausência destes (S₁ e S₁₂) ou por apresentarem concepções errôneas (S₉). No entanto, o fato de os sujeitos terem deixado de lado maiores explicações na Questão 1 sobre a oxirredução não significa que não saibam resolver situações e que apresentem dificuldades para isto, pois tanto o sujeito S₁ quanto o S₁₂ conseguiram resolver as duas situações propostas, aplicando alguns conceitos em suas breves explicações. Ao mesmo tempo, embora alguns sujeitos saibam explicar os conceitos não significa necessariamente que consigam resolver as situações, visto que os sujeitos presentes neste modelo a partir das situações não estão pela Questão 1.

Nesse sentido, ao realizar a análise comum para que este modelo mental fosse formado, averiguou-se que, em relação à Questão 1, a única relação constatada por S₁ quanto ao seu entendimento do conteúdo de oxirredução é a conceitualização sobre o que são estas reações que, segundo ele, são reações que ocorrem transferência eletrônica. Entretanto, por mais que esta seja uma interpretação correta segundo Atkins e Jones (2012), Brown et al (2016) e Chang e Goldsby (2013), o mesmo faz parte deste modelo por ter deixado de lado todos os demais conceitos.

O mesmo foi observado pelo sujeito S₁₂, visto que, ao utilizar uma reação de oxirredução atrelado à Química Orgânica, em nenhum momento se deteve em explicar como a reação acontecia e os conceitos ali envolvidos. Já o sujeito S₉ teve dificuldade na hora de explicar o conteúdo, apresentando concepções errôneas como, por exemplo, em relação à distribuição eletrônica, demonstrando ter dificuldade inclusive durante a construção dos níveis energéticos, não sabendo encontrar a camada de valência.

Por outro lado, quanto aos sujeitos que se encontram neste modelo por parte das situações foi observado um mesmo padrão entre eles, tanto para a Situação 1 quanto para a 2. Ou seja, analisando-se os dados obtidos, pode-se ver que os mesmos tiveram dificuldade em fazer previsões a respeito do que estava sendo proposto e, conseqüentemente, não conseguiram ou tiveram dificuldade em explicar o que acontecia em cada um dos tubos de ensaios e em cada um dos béqueres, apresentando concepções errôneas.

Logo, pode-se dizer que os sujeitos presentes neste modelo mental apresentaram concepções muito pobres quanto a teoria envolvida na construção do modelo conceitual de oxirredução durante suas explicações a respeito do conteúdo. Por conta disso, é pertinente afirmar que este primeiro modelo mental é incompleto, justamente por envolver poucos conceitos sobre oxirredução, não sendo praticamente apresentado uma definição para tais reações, nem explicações sobre os conceitos básicos, como oxidação e redução, agentes oxidantes e redutores e NO_x no decorrer da Questão 1 e das Situações.

Deste modo, tornou-se praticamente impossível realizar uma comparação entre os modelos mentais e o modelo conceitual, pelo fato de estarem muito distantes um do outro, isto é, praticamente não é averiguado nenhum indício de aprendizagem significativa a partir deste modelo mental incompleto.

Modelo mental parcial

Formado por seis sujeitos a partir da Questão 1, o modelo mental parcial, ao contrário do primeiro, traz a presença de diferentes conceitos atribuídos à oxirredução, porém com concepções errôneas e com pouca ou nenhuma previsão a respeito do que acontece macroscopicamente e submacroscopicamente em uma reação envolvendo transferência de elétrons, com esquemas e desenhos pobres em detalhes, mas que ao mesmo tempo, não estão tão distantes do modelo conceitual aceito.

Para tanto, o Quadro 28 foi criado para melhor visualização dos dados obtidos pelos sujeitos que formam este modelo mental em relação às reações de oxirredução na Questão 1. Salienta-se que nem todos sujeitos estão presentes em todos os conceitos elencados, pelo fato de terem deixado algum em branco.

Quadro 28 - Interpretações dada pelos sujeitos que fazem parte do modelo mental parcial em relação à Questão 1

Conceitos	Interpretação dada pelos sujeitos	Sujeitos
Conceitualização	Reação química que ocorre por meio de uma transferência de elétrons.	S ₄ , S ₅ , S ₇ e S ₁₀
Oxidação/redução	Oxidação envolve a perda de elétrons e a redução o ganho de elétrons.	S ₄ , S ₇ e S ₁₀
	Oxidar é o aumento do NO _x e reduzir é a diminuição do NO _x .	S ₅
	Na oxidação há perda de elétrons, aumentando o NO _x e na redução o ganho de elétrons, diminuindo o NO _x .	S ₆ e S ₈
Agente oxidante/Agente redutor	A espécie que oxida é o agente redutor e a que reduz, o agente oxidante.	S ₄
	Agente oxidante é quem provoca a oxidação de outra espécie e o agente redutor quem provoca a redução de outra espécie	S ₅ , S ₆ , S ₈ e S ₁₀
	O agente oxidante será um íon cátion pois fica com carga positiva e o agente redutor se torna um íon ânion com carga negativa.	S ₁₀
Número de oxidação	É a carga elétrica dos átomos.	S ₅
	Valor assumido pelos átomos ou substâncias, de acordo com o número de elétrons transferidos	S ₁₀
Equações (geral, global e Semirreações)	Reação global entre zinco e cobre	S ₅ e S ₁₀
	Semirreação do cobre e do cloro.	S ₇
	Semirreação do Ferro e do oxigênio.	S ₁₀
	Semirreação incompleta da redução da prata	S ₆
Mudança macroscópica e submicroscópica	Na oxidação há diminuição da massa e na redução, aumento da massa.	S ₆
Desenhos e esquemas	Esquema sobre quem oxida e quem reduz	S ₄ e S ₇
	Desenho de um átomo ao perder ou ganhar elétrons	S ₁₀

Fonte: Autora (2021).

Por outro lado, possui quatro sujeitos pela Situação 1 e três pela Situação 2 e, por meio destas duas questões, nota-se que os sujeitos conseguiram fazer previsões próximas ao esperando, ou seja, determinar que em ambos os tubos de ensaios (Situação 1) há formação do mesmo produto, diferenciando-os apenas pela cinética química, e que somente a reação de oxirredução do béquer 1 (Situação 2) é espontânea, ou seja, forma reação química. No entanto, por mais que tais previsões estejam corretas, os sujeitos tiveram muita dificuldade na hora de explicar o que estava acontecendo em cada uma delas nos níveis macros e submicroscópicos.

Por sua vez, o Quadro 29 também foi criado para melhor visualização dos dados obtidos pelos sujeitos deste modelo mental, tanto para a Situação 1 quanto para a Situação 2, não

estando presentes todos os sujeitos presentes, por não terem conseguido resolver alguma das situações.

Quadro 29 - Interpretações dada pelos sujeitos que fazem parte do modelo mental parcial em relação às Situações 1 e 2

(continua)

Situação 1		
Conceitos	Interpretação dada pelos sujeitos	Sujeitos
Previsões das esponjas	O processo reacional será o mesmo, o que muda é a velocidade.	S ₁ , S ₁₀ e S ₁₂
	O processo reacional será o mesmo, o que muda é a concentração do sulfato de cobre.	S ₈
Explicações	- Representa a equação geral da reação e as semirreações de oxidação do ferro (agente redutor) e de redução do cobre (agente oxidante); - O ferro, segundo a fila de reatividade, é o metal mais reativo quando comparado ao cobre; - Durante a reação, o cobre metálico precipita na forma alaranjada e se deposita na superfície da esponja, enquanto que a coloração azulada da solução de sulfato torna-se menos intensa.	S ₁
	- Ocorre uma reação de oxirredução, onde o cobre é quem reduz e o ferro quem oxida; - Representa a equação global da reação.	S ₈
	- Ocorre a redução do Cu ²⁺ em Cu ⁰ e a oxidação do Fe ⁰ em Fe ⁺³ ; - Representa a equação geral da reação.	S ₁₀
	- O ferro vai oxidar, sendo o agente redutor, enquanto que o cobre reduzir e é o agente oxidante; - A esponja se dissolve e vai do sólido para íons Fe ²⁺ na solução e o cobre vai de +2 para 0, virando sólido; - Representa a equação geral da reação.	S ₁₂
Situação 2		
Conceitos	Interpretação dada pelos sujeitos	Sujeitos
Previsões dos béqueres	No primeiro béquer ocorre uma reação química entre o zinco e o cobre, porém isso não será observado no segundo béquer.	S ₁ , S ₇ e S ₁₂
Explicações	- O segundo béquer não vai ser espontâneo pelo fato de o cobre ser menos reativo que o zinco, pois o cobre tem um maior potencial de redução. - Representa as equações gerais das duas reações, destacando a ausência de produtos na segunda.	S ₁
	- A segunda reação não ocorre porque o zinco tem menor potencial de redução do que o cobre; - Na primeira reação o Cu ²⁺ vira Cu ⁰ , pois tem potencial de redução de +0,34 e o Zn tem potencial de redução negativo, ou seja, o cobre irá reduzir, pegando os elétrons do zinco.	S ₇
	- A segunda reação não ocorre devido a reatividade dos metais, pois o cobre não vai conseguir deslocar o zinco;	S ₁₂

	- Representa as equações gerais das duas reações, destacando a ausência de produtos na segunda.	
--	---	--

(conclusão)

Fonte: Autora (2021).

A seguir, cada um dos tópicos presentes nos Quadros 28 e 29 serão discutidos em conjunto, tendo como base o modelo conceitual de oxirredução a fim de averiguar a confiabilidade dos mesmos.

Dentre as respostas referentes à conceitualização das reações químicas de oxirredução, averigua-se unanimidade no entendimento dos sujeitos em relação a interpretação destes, visto que quatro deles mencionaram que são reações que envolvem transferência de elétrons, indo ao encontro das três obras utilizadas no decorrer do Capítulo II.

Ressalva-se que estas obras se apoiam também na questão da variação do número de oxidação das espécies químicas, sendo pertinente mencionar que, conforme Chang e Goldsby (2013), tal conceitualização enquadra-se aos compostos moleculares, pelo fato destes não envolverem um processo de transferência eletrônica. Isto é, os sujeitos utilizam o “modelo de elétrons” (Quadro 7), um modelo considerado restrito por justamente contemplar apenas as substâncias químicas iônicas. Outro ponto importante é que nem sempre somente elétrons serão transferidos, podendo ocorrer também transferência de átomos e é justamente por isso que a melhor definição para as reações de oxirredução baseia-se na variação do NO_x (ATKINS; JONES, 2012).

Mais do que saber conceitualizar, é preciso saber reconhecer a presença de uma reação de oxirredução e como pode ser visto no quadro x, todos os sujeitos conseguiram identificar tal processo por meio das Situações 1 e 2.

Quantos aos conceitos de oxidação e redução, algumas das definições encontradas, respectivamente, na Questão 1, são: perda/ganho de elétrons; aumento/diminuição do NO_x; perda de elétrons e aumentando do NO_x/ ganho de elétrons e diminuição do NO_x. Comparando-os com as obras aqui utilizadas, é possível constatar que nenhum dos sujeitos possui concepções erradas sobre os processos de oxidação e redução, porém alguns (S₄, S₇ e S₁₀) têm um olhar mais simplório sobre, sendo também observado na obra de Chang e Goldsby (2013), ao definirem estes processos como perda e ganho de elétrons apenas. Já a definição atribuída pelo sujeito S₅, por mais que seja bastante direta, não está errada pelo fato de o aumento e diminuição do NO_x serem dependentes da perda e ganho de elétrons. Por sua vez, os sujeitos S₆ e S₈ deram respostas mais completas, indo ao encontro de Atkins e Jones (2012) e Brown et al (2016).

Outros termos importantes para o entendimento do modelo conceitual de oxirredução são os agentes oxidantes e agentes redutores, obtendo-se três definições diferentes neste modelo mental: quem oxida é o agente redutor/quem reduz é o agente oxidante; agente oxidante é quem provoca a oxidação de outra espécie/agente redutor é quem provoca a redução de outra espécie; agente oxidante será um íon cátion/agente redutor é íon ânion. Ao olhar para as cada uma das obras, percebe-se unanimidade no entendimento dos autores quanto a estes dois conceitos, os quais consideram o agente oxidante aquele que provoca a oxidação de outras espécies, enquanto que o agente redutor provoca a redução, e isto também pode ser averiguado por meio dos dados obtidos pelos sujeitos.

É oportuno destacar aqui o entendimento do sujeito S₁₀ (agente oxidante será um íon cátion e o agente redutor um íon ânion), pois quando ocorre a oxidação formam-se íons positivos (cátions), sendo este o agente redutor, enquanto que na redução formam-se íons negativos, sendo este o agente oxidante. Com isso é possível notar uma concepção errônea do sujeito ao inverter as definições de ambos os agentes, sendo inclusive esta, uma dúvida mencionada pelo mesmo.

Para tanto, em relação à aplicação destes conceitos através das situações, assim como na Questão 1, os sujeitos não tiveram dificuldade para isto, visto que na reação entre o ferro e o cobre elencaram que o ferro é quem sofre oxidação, sendo o agente redutor, enquanto que o cobre sofre redução sendo o agente oxidante (S₁, S₈, S₁₀ e S₁₂), não sendo observado o mesmo na segunda situação.

Por se tratar de um conceito importante para o entendimento do que é uma reação de oxirredução, compreender o que é número de oxidação é muito significativo, tendo-se duas definições pontuadas pela “carga elétrica dos átomos” e “Valor assumido pelos átomos ou substâncias, de acordo com o número de elétrons transferidos”. Ao comparar com as obras utilizadas, percebe-se apenas que o entendimento dos sujeitos está de acordo com o proposto por Chang e Goldsby (2013), porém incompleto, pois estes também conceitualizam o NO_x como o número de cargas de um átomo quando os elétrons são completamente transferidos, indo em direção do átomo mais eletronegativo.

Quanto a inserção deste conceito no decorrer das situações, percebe-se que durante a Situação 1 os sujeitos S₁, S₁₀ e S₁₂ trabalham com a questão dos NO_x no decorrer da reação química entre o ferro e o cobre, sendo observado o mesmo na Situação 2 pelo sujeito S₇.

Aqui, é pertinente destacar ainda sobre a reatividade dos metais, pois a mesma não foi explicada no decorrer da Questão 1. Desta forma, o sujeito S₁ utiliza este conceito para averiguar a presença de reação química entre o ferro e o cobre na Situação 1 e entre o zinco e o

cobre (e vice-versa), na Situação 2. O mesmo ocorre com os sujeitos S_7 e S_{12} em relação apenas da segunda situação. Todavia, em nenhum momento estes sujeitos explicaram detalhadamente como utilizam deste conceito para determinar a presença ou não de uma reação espontânea de oxirredução, apenas pincelam quem é mais reativo ou quem tem maior potencial de redução/oxidação.

Mais do que saber definir um conceito, o sujeito precisa saber utilizar também os símbolos químicos, sendo estes relevantes para a aprendizagem e ensino das reações de oxirredução, bem como de qualquer outro conteúdo de Química. Por conta disso, saber montar as diferentes equações químicas, como a geral, a global e as semirreações, é um indício de que os sujeitos conseguem transpor a mera mecanização da interpretação dos conceitos atrelados a este conteúdo.

Todavia, isso praticamente não foi averiguado neste modelo mental a partir da Questão 1, pois os sujeitos utilizaram uma ou outra equação e, além disso, dos cinco sujeitos que construíram alguma das equações, somente a equação global entre o zinco e o cobre (S_5 e S_{10}) pode-se dizer correta, já as demais semirreações utilizadas representam processos de transferência de elétrons pontuais, seja de perda ou de ganho de elétrons, visto que não estão inseridas numa reação química de oxirredução, apenas demonstram o que significa oxidar e reduzir, sendo esta uma das principais dificuldades deste modelo.

Indo de encontro ao obtido na Questão 1, no decorrer das resoluções das situações a maioria dos sujeitos conseguiram descrever algum dos tipos de equações químicas importantes para um processo de oxirredução, como por exemplo, as equações gerais - S_1 , S_{10} e S_{12} na Situação 1 e S_1 e S_{12} na Situação 2, além das semirreações de oxidação do ferro e de redução do cobre (S_1) e da equação global da reação (S_8), sendo estas da primeira situação. Logo, é válido esclarecer que talvez isso tenha ocorrido pelo fato de que os sujeitos que deveriam elaborar algum exemplo de reação, enquanto que nas Situações 1 e 2 eles tinham acesso às substâncias químicas que estava participando de cada uma delas, sendo o único trabalho deles de montarem as equações.

Além disso, a construção destes símbolos químicos em uma reação de oxirredução corrobora para que o sujeito tenha uma visão mais abrangente do conteúdo, contribuindo para que o mesmo perceba o que acontece macroscopicamente, mas também microscopicamente, e isso foi mencionado brevemente somente pelo sujeito S_6 na Questão 1, ao afirmar que na oxidação diminui a massa e na redução, aumenta. Porém, em nenhum momento este explicou como e o porquê de isso acontecer. No mesmo sentido, o sujeito S_1 é o único a explicar o que

acontece brevemente com a barra metálica e com a solução na Situação 1, deixando de lado maiores explicações também.

Ao saber interpretar os fenômenos macro e submicroscópicos, o sujeito consegue imaginar melhor o processo, representando de uma forma muito mais rica, seja a partir de desenhos, de esquemas ou até mesmo descrevendo de uma forma mais detalhada, e isto não foi constatado no modelo mental parcial, somente esquemas desconexos, os quais demonstraram muito mais a mecanização do entendimento dos sujeitos em relação ao conteúdo, tanto a partir da Questão 1, como das Situações 1 e 2.

Olhando-se para as interpretações obtidas pelos sujeitos em relação ao entendimento das reações químicas de oxirredução, pode-se dizer que este segundo modelo mental está muito mais ligado à parte conceitual. Apesar de os sujeitos conseguirem conceitualizar esses tipos de reação, bem como seus principais conceitos, ainda sim tiveram problemas em construir explicações e fazerem previsões sobre o conteúdo. Logo, conclui-se que o modelo mental parcial, embora apresente conceitos próximos do modelo cientificamente aceito, foi formado por meio de um entendimento mecanizado, não significando uma compreensão significativa a partir das reações de oxirredução.

Modelo mental completo

O modelo mental completo é composto por três sujeitos na Questão 1, assim como nas duas situações, os quais são: S₂, S₁₁ e S₁₃, sendo estes categorizados como modelizadores no decorrer da resolução das três questões envolvendo o conhecimento do conteúdo.

Comenta-se também que este modelo contempla diferentes conceitos envolvidos nas reações químicas de oxirredução, não sendo necessariamente corretos, além de apresentar previsões a respeito dos fenômenos submicroscópicos e macroscópicos que acontecem durante todo o processo reacional das situações, bem como dos exemplos reacionais utilizados pelos sujeitos durante a Questão 1, sendo este o modelo mental mais próximo do modelo conceitual cientificamente aceito.

O Quadro 30 e 31 mostram os dados obtidos pelos três sujeitos deste modelo sobre as reações de oxirredução no decorrer da Questão 1 e das Situações 1 e 2, respectivamente e, assim como no modelo mental anterior, alguns sujeitos não estão presentes em todos os conceitos elencados. Para averiguar a confiabilidade dos conceitos presentes no modelo mental completo, os tópicos serão discutidos tendo como base as obras do referencial teórico de oxirredução quando necessário.

Quadro 30 - Interpretações dada pelos sujeitos que fazem parte do modelo mental completo para a Questão 1

Conceitos	Interpretação dada pelos sujeitos	Sujeitos
Conceitualização	Reação que envolve transferência de elétrons entre as espécies químicas.	S ₂ , S ₁₁ e S ₁₃
Oxidação/redução	Oxidação envolve a perda de elétrons e a redução o ganho de elétrons.	S ₂ , S ₁₁ e S ₁₃
Agente oxidante/ Agente redutor	Quem oxida é o agente redutor e que reduz é o agente oxidante.	S ₂
Número de oxidação	É o comportamento das cargas das substâncias, pra ver se tá aumentando ou diminuindo o valor do NOx.	S ₁₁
	Processo associado à perda ou ao ganho de elétrons entre as espécies químicas.	S ₁₃
Equações (geral, global e Semirreações)	Equação global e semirreações entre o zinco e o cobre.	S ₂
	Equação geral e global, além das semirreações entre o zinco e o cobre.	S ₁₁
	Equação geral e semirreações entre o ferro e o oxigênio	S ₁₃
Mudança macroscópica e submicroscópica	Detalhamento de ambas as mudanças a partir de representações proposicionais.	S ₂ , S ₁₁ e S ₁₃

Fonte: Autora (2021).

Quadro 31 - Interpretações dada pelos sujeitos que fazem parte do modelo mental completo para as Situações 1 e 2

(continua)

Situação 1		
Conceitos	Interpretação dada pelos sujeitos	Sujeitos
Previsões dos efeitos nas esponjas	O processo reacional será o mesmo, o que muda é a velocidade.	S ₂ e S ₁₃
	- Os dois processos reacionais são diferentes, mas não há diferença entre as equações químicas, dos tubos 1 e 2, sendo exposto que a diferença está na cinética.	S ₁₁
Explicações	- Ocorre a oxidação da esponja de aço e a redução do cobre; -Representação das semirreações de oxidação e redução; - O ferro inicialmente tem NOx zero (Fe ⁰) e o cobre, que inicialmente está em solução, tem NOx 2+ (Cu ²⁺). Assim, o ferro será corroído, perdendo massa e essa massa vai para a solução. Com isto, o cobre da solução deposita-se na esponja de aço, transformando-se em Cu ⁰ e o ferro que é sólido vai para a solução, transformando-se em Fe ²⁺ , presente na solução; - Com o tempo a solução ficará menos concentrada, porque o cobre da solução vai se transformar em cobre sólido, ou	S ₂

	<p>seja, a coloração azulada vai diminuir de cor, principalmente no tubo 2, onde a concentração é maior.</p>	
	<p>- O sulfato de cobre aquoso possui coloração azulada e reage com a esponja de aço, que é uma mistura de ferro e carbono, representada por Fe que é sólido;</p> <p>- No processo, o ferro vai passar de Fe^0 pra Fe^{2+} ou Fe^{3+}, aumentando o seu NOx, sendo este um comportamento de uma semirreação de oxidação, passando do estado sólido para aquoso e, por isso, há mudança na coloração da solução;</p> <p>- Quanto ao cobre presente na solução e que tinha coloração azulada, passa de Cu^{2+} para Cu^0, depositando-se na esponja de aço devido a sua redução, deixando de ser aquoso e virando sólido.</p>	S ₁₁
	<p>-No início, a solução de sulfato de cobre tem coloração azul e a esponja de aço tem uma cor mais clara. Já ao final, os fios metálicos da esponja vão adquirir coloração mais escura devido á deposição de cobre metálico, enquanto que a solução vai perdendo a coloração.</p> <p>- O ferro da esponja de aço perde elétrons para o cobre no processo de oxirredução espontâneo, levando à oxidação do ferro e redução do cobre. Com isso, diminui a concentração dos íons Cu^{2+}, perdendo o tom azulado da solução.</p> <p>- Representação das semirreações, equação geral e global;</p> <p>- Desenho do que acontece na esponja detalhadamente.</p>	S ₁₃
Situação 2		
Conceitos	Interpretação dada pelos sujeitos	Sujeitos
Previsões dos efeitos nas esponjas	Ocorre reação somente no primeiro béquer, devido ao poder oxidante das espécies.	S ₂
	Como o potencial de redução do cobre é maior que o do zinco, apenas a primeira reação ocorre.	S ₁₁ e S ₁₃
Explicações	<p>- O cobre tem potencial de redução + 0,34 e o zinco - 0,76, sendo possível averiguar que o cobre tem potencial de redução maior que o zinco, reduzindo-o, enquanto que o zinco oxida. Já o contrário não acontece.</p> <p>- Como na reação do Béquer 1 o zinco é oxidado, verifica-se a perda de massa em sua barra, pois ele era Zn^0 e passou para Zn^{2+}, indo para a solução ao ser corroído. Já o cobre, ao receber os elétrons do zinco, torna-se sólido, depositando-se na barra de zinco.</p> <p>- Já a solução de cobre irá diminuir de concentração e sua coloração azul desaparecerá;</p> <p>- Representação da reação global apenas.</p>	S ₂
	<p>- O potencial de redução do cobre é 0,34V, enquanto que o do zinco é -0,76V e, por isso, a primeira reação ocorre e a segunda não, pois o cobre tem maior potencial de reduzir, sendo positivo e tendo um valor maior, levando a oxidação do zinco.</p> <p>- Quanto a primeira reação, a solução irá perder sua coloração azul e mudará também a massa da lâmina, pois forma uma camada de cobre sobre a placa de zinco;</p>	S ₁₁

	<p>- O sulfato de cobre aquoso se transforma em sólido, enquanto o zinco se oxida, passando de zinco metálico para zinco aquoso na solução, isto é, ele doa dois elétrons para o cobre por ser mais reativo, formando o sulfato de zinco. Já o cobre da solução transforma-se em cobre sólido.</p> <p>- Pelo fato de o cobre não ser muito reativo, ele não consegue deslocar o zinco, não formando o sulfato de cobre no béquer 2, não sendo observado mudança na coloração e de massa;</p> <p>- Representação das semirreações e também das reações gerais.</p>	
	<p>- No início da reação do béquer 1, a solução era azulada por conta dos íons cobre. Já a placa metálica, com o passar do tempo, começou a ser corroída, formando pontos escuros devido a deposição do cobre metálico. Por outro lado, a solução também começa a mudar, ficando incolor por diminuir a concentração de cobre, e o zinco na forma oxidada, não tem cor.</p> <p>- A partir das semirreações é possível prever que zinco sofre oxidação e o cobre, redução, por conta da tendência das espécies em oxidarem e/ou reduzirem. Assim, o zinco terá maior potencial de oxidação e o cobre, maior potencial de redução e, por isso, o cobre tende a reduzir.</p> <p>- Já no béquer 2, o sistema não sofre mudança alguma, pois o potencial de redução do zinco é menor que do cobre, logo, e o zinco não vai sofrer esse processo. Por outro lado, o potencial de oxidação do cobre é menor que o do zinco, não oxidando.</p>	S ₁₃

(conclusão)

Fonte: Autora (2021).

Pode-se dizer que, assim como o modelo mental parcial, a conceitualização sobre oxirredução, bem como os principais conceitos atrelados a esta (oxidação/redução, agente oxidante/agente redutor, número de oxidação), foram definidos praticamente da mesma forma entre os sujeitos presentes aqui no modelo mental completo e, devido a isso, não serão novamente discutidos a partir das obras utilizadas, pelo fato de já ter sido mencionado que tais interpretações e explicações estão bastante próximas do modelo conceitual aceito.

Entretanto, o que diferencia este último modelo do segundo é justamente a riqueza de detalhes fornecida pelos três sujeitos a partir do momento que começam a utilizar exemplos reacionais na Questão 1 e, com isso, a explicarem e fazerem previsões sobre o que será observado no decorrer de um processo de oxirredução, tanto macro quanto microscopicamente. Isto é, começa-se a visualizar uma diferença entre estes modelos mentais através da utilização das equações químicas corretas construídas pelos sujeitos, algo fundamental para o conteúdo de oxirredução. Mas, mais do que saber construí-las, é preciso entendê-las e interpretá-las,

sendo exatamente este um dos principais pontos do modelo mental completo. O mesmo também é visto no decorrer de cada uma das situações.

Desta forma, a partir do momento que os sujeitos passam a exemplificar estas reações na Questão 1 ou resolvem as Situações 1 e 2, elencando as reações químicas que nelas acontecem, começam a utilizar diferentes símbolos que são essenciais para o entendimento de uma reação química de oxirredução, como por exemplo, ao expressarem a variação dos NOx entre as espécies químicas envolvidas, bem como as quantidades de elétrons participantes de cada transferência eletrônica e, assim, conseguem transpor a mera mecanização desses conceitos, demonstrando terem uma visão mais clara do que ocorre em cada uma delas, como se estivessem realmente visualizando o que aconteceria com as espécies químicas caso uma reação estivesse acontecendo fora do papel, tanto em nível atômico e quanto visivelmente.

Nesse contexto, olhando-se para as diferentes formas representacionais destes sujeitos durante a resolução da Questão 1, menciona-se que todos utilizaram representações proposicionais, sendo S₂ e S₁₁ muito mais descritivos verbalmente sobre os efeitos macroscópicos e submicroscópicos, enquanto S₁₃ buscou direcionar sua explicação a partir de sua equação química geral da ferrugem e das semirreações.

O mesmo foi constatado nas Situações 1 e 2, pois S₂ e S₁₁ as resolveram, explicando-as e prevendo-as também por meio de representações proposicionais, de modo extremamente minucioso. Por sua vez, o sujeito S₁₃ passou a explicar e prever o que aconteceria em cada situação por meio de representações pictóricas (desenhos) e proposicionais (verbalmente e a partir do uso de diferentes símbolos químicos), demonstrando e explicando com riqueza de detalhes o que ocorre com cada uma das reações químicas, tanto no início quanto no fim.

Assim, por mais que estes sujeitos tenham compartilhado de representações proposicionais comuns sobre oxirredução, é preciso deixar claro que eles construíram diferentes explicações para dar conta do que estava sendo exigido na Questão 1 relacionada ao conhecimento do conteúdo. Além do mais, os resultados que compõem o presente modelo mental demonstram uma relação profunda dos sujeitos com as reações químicas de oxirredução, principalmente por meio das previsões construídas por eles em ambas as situações.

Nesse contexto, olhando-se para as diferentes formas representacionais que estes três sujeitos utilizaram, destaca-se que S₁₃ utilizou representações analógicas bastante parecidas com as utilizadas por Chang e Goldsby (2013) ao resolver as Situações 1 e 2, restando as características típicas das ilustrações deste livro, além de considerar cuidadosamente o mecanismo detalhado das reações ocorrendo. Isso pode ser observado a partir do momento que

o sujeito passa a ilustrar o antes e depois das reações químicas, explicando o que acontece em cada uma delas.

Conforme pode ser averiguado no decorrer deste modelo mental, pode-se dizer que estes são inacabados e evoluem à medida que um indivíduo passa a adquirir conhecimento, os incorporando a sua estrutura mental, sendo este processo intimamente relacionado à sua capacidade em prever e explicar determinados fenômenos e situações (MOREIRA, 1996; SANTOS; MELO; ANDRADE, 2015). Para tanto, os sujeitos que fazem parte deste modelo mental possuem grande capacidade de preverem e explicarem as questões atreladas ao conhecimento do conteúdo, justamente porque seus modelos encontram-se em constante evolução pelo fato destes três sujeitos trabalharem a bastante tempo com este conteúdo em sala de aula.

Assim, conclui-se que em relação ao modelo mental completo obtido pelos sujeitos S₂, S₁₁ e S₁₃, este possui maior poder explicativo e preditivo em relação aos outros dois modelos, apresentando coerência quando comparado ao conhecimento cientificamente aceito, tornando a aprendizagem mais significativa, pois, por mais que modelos conceituais sejam ensinados, a aprendizagem significativa envolve a construção de modelos mentais, podendo ser averiguado isso através deste modelo mental que, por mais que apresentem explicações errôneas ou contraditórias, mas mesmo assim são funcionais, sendo o mais próximo do modelo conceitual de oxirredução.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Antes de iniciar, deixo claro que, particularmente nesse capítulo, utilizarei a primeira pessoa do singular para falar sobre as considerações e perspectivas que trago.

O conteúdo de reações químicas de oxirredução, particularmente, foi uma das minhas grandes dificuldades durante a graduação, principalmente pelo fato de não conseguir relacionar que os conceitos vistos na disciplina de Química Geral, eram os mesmos trabalhados em Química Analítica, Físico Química, sem falar na Química Orgânica. Para mim eram coisas diferentes, desconexas. Eram caixinhas completamente separadas. Deste modo, por ter se tornando um desafio no decorrer da minha formação, quis buscar conhecer e aprender um pouco mais sobre este conteúdo.

O mesmo ocorreu com a Teoria dos Modelos Mentais, a qual conheci no mestrado ao realizar a disciplina de Teorias de aprendizagem que, pelo fato de ser trabalhada separada por correntes filosóficas, a Teoria de Johnson-Laird foi uma das últimas do semestre a ser vista, tendo apenas uma aula para “tentar” entendê-la. As dúvidas foram muitas, não fazendo nenhum sentido falar sobre modelos mentais. Por conta disso, decidi juntá-la às reações químicas de oxirredução e, após quatro anos de pesquisa, posso afirmar que as dúvidas sobre ambos os assuntos não cessaram.

Nesta perspectiva, com base no que foi desenvolvido, quanto a realização do levantamento bibliográfico da Teoria dos Modelos Mentais (capítulo I), posso dizer que, em se tratando do processo cognitivo, isto é, da aprendizagem, esta teoria permitiu averiguar o quão próximo o conhecimento e o entendimento dos indivíduos está dos modelos conceituais, ou seja, do conhecimento científico, auxiliando a averiguar indícios de aprendizagem significativa.

Já o capítulo II me permitiu realizar a construção do referencial teórico sobre as reações de oxirredução nos livros utilizados pelo curso de Química Licenciatura/UFSM, possibilitando comparar os conceitos cientificamente aceitos às representações mentais utilizadas pelos sujeitos que participaram desta pesquisa. Além do mais, por meio deste capítulo verifiquei a importância do estudo das reações de oxirredução devido a versatilidade destas, pois muitas reações comuns do dia a dia são exemplos de processos que envolvem a oxidação e a redução.

Ao realizar a Pesquisa Bibliográfica (Capítulo III) por sua vez, a qual resultou em um artigo publicado na Revista Investigações em Ensino de Ciências, foi possível ver que, se o foco da presente pesquisa abordasse somente às reações de oxirredução, o número de artigos analisados certamente seria muito maior. Mas, por estar atrelado à Teoria dos Modelos Mentais, ao todo cinquenta e sete artigos foram obtidos, facilitando uma leitura mais aprofundada dos

mesmos e, com isso, por mais que seja um número considerável de publicações nos principais periódicos do Ensino de Ciências e de Química, somente três relacionam a Teoria dos Modelos Mentais às reações de oxirredução, destacando-se a importância da realização desta Pesquisa Bibliográfica para este trabalho.

O Processo de Fichamento 2 que realizei na pesquisa bibliográfica, relacionado a uma leitura mais detalhada dos artigos, me permitiu organiza-los de acordo com o grau de aprofundamento teórico das palavras-chave, tanto por parte dos modelos mentais quanto pelas reações de oxirredução, resultando em quatro níveis diferentes.

Olhando-se para o Nível 1, posso dizer que, por mais que seja um nível com muitos artigos (41), em nenhum momento foram encontradas relações entre os modelos mentais e conceituais de oxirredução. Em relação às reações químicas, embora superficialmente, percebi uma grande abrangência deste conteúdo ao contemplarem diferentes subáreas da Química, como Inorgânica, Orgânica e Analítica, bem como a versatilidade cabível a elas devido aos vários exemplos encontrados. Também averigui que nenhum dos artigos atentou-se a explicar como ocorrem os principais conceitos deste conteúdo. Por outro lado, as palavras-chave sobre os modelos mentais, estão bem mais presentes nas obras e, por isso, é possível constatar maiores implicações destas para o âmbito educacional, seja para o processo cognitivo, como a partir das diferentes estratégias para o ensino.

O Nível 2 vai ao encontro do exposto no primeiro nível, pois mesmo contemplando artigos com baixo aprofundamento teórico acerca do Conjunto 1 de palavras-chave, remetem à importância que os modelos mentais acarretam na construção do conhecimento. Já o conteúdo de oxirredução está um pouco mais aprofundado e mais explanado, preocupando-se com as dificuldades encontradas a partir do entendimento dos seus conceitos, porém deixando de lado os modelos mentais.

Ao contrário do Nível 2, o Nível 3 contempla artigos com maior detalhamento teórico em relação aos modelos mentais, enquanto que as reações de oxirredução se encontram de forma mais sucinta. Por ajudarem na construção do entendimento e do raciocínio, o direcionamento dado neste nível continua voltando-se às estratégias de ensino, destacando a relevância destas representações para o processo de ensino e aprendizagem, em especial ao de Química. Já as palavras-chave do Conjunto 2 contemplam meras exemplificações de oxirredução.

Por sua vez, o Nível 4 é o mais importante para esta pesquisa por ser o único a apresentar interações entre os Conjuntos 1 e 2 de palavras-chave, ou seja, relações entre os modelos mentais e conceituais das reações químicas de oxirredução. De modo geral, os artigos 02, 25 e

31 complementam-se ao afirmarem que as dificuldades, os equívocos e as concepções ingênuas são estabelecidas quando é observado um distanciamento entre modelos mentais e conceituais. Os modelos mentais obtidos nestes três trabalhos permitiram verificar que os sujeitos destas pesquisas possuem concepções ingênuas e errôneas em relação aos conceitos pertencentes às reações químicas de oxirredução, como: transferência de elétrons, ânodo e cátodo, reação de oxirredução, oxidação e redução, agente oxidante e redutor, estado de oxidação e balanceamento de reações. Ao mesmo tempo, estes dados coincidem com os resultados obtidos por outros pesquisadores, os quais não fazem parte da Pesquisa Bibliográfica aqui realiza, mas que também trabalham com as dificuldades conceituais envolvendo estas reações (AKRAM et al., 2014; DE JONG et al., 1995; FREIRE et al., 2011; GOES et al., 2016; KELLY et al., 2017; KLEIN, 2016; LIN et al., 2002; ÖSTERLUND et al., 2010).

Contudo, embora haja um aprofundamento teórico de ambas as partes no Nível 4, é pertinente destacar que nenhuma dessas publicações preocuparam-se somente com as reações de oxirredução e, por isso, os modelos mentais apresentados estão atrelados aos entendimentos referentes também a outros conteúdos, como eletroquímica e formação do ozônio, os quais necessitam destas reações para serem compreendidos.

A partir desta Pesquisa Bibliográfica realizada, é possível concluir que os principais periódicos de Ensino de Química e de Ciências vêm publicando muitos artigos que abordam as reações químicas de oxirredução, como também a Teoria dos Modelos Mentais. No entanto, poucos trazem investigações sobre os modelos mentais que envolvam os modelos conceituais de oxirredução, pois dos cinquenta e sete artigos, apenas em três isso é observado.

Ainda no Capítulo III tem-se a segunda etapa desta pesquisa, a qual buscou responder ao seguinte questionamento - Qual (ais) os modelos mentais que egressos do Curso de Química Licenciatura da UFSM utilizam ao explicar situações envolvendo as reações químicas de oxirredução? - por meio de uma entrevista que foi dividida em quatro partes, destacando-se as três últimas aqui – importância do conteúdo, experiência com o conteúdo e conhecimento do conteúdo.

Deste modo, em relação à importância do conteúdo, foi unanimidade entre os sujeitos ao afirmarem que trata-se de um conteúdo muito relevante, elencando em suas justificativas: *ENEM*, por ser um conteúdo bastante cobrado neste exame; *fenômenos do cotidiano*, sendo destacado diferentes processos de oxidação e redução presentes no dia a dia - fotossíntese, respiração, corrosão, ferrugem, escurecimento da prata, obtenção de minérios, descoloração de tintas, pilhas e baterias, dentre outros; *relação com outros conteúdos*, por se tratar de um conteúdo essencial para a compreensão de outros, como da eletroquímica e da eletrólise;

Fenômenos Macroscópicos, pois, por mais que os conceitos atrelados às reações de oxirredução sejam abstratos, diversos fenômenos macroscópicos podem ser visualizados, como a mudança de coloração ou de perda/ganho de massa; *química orgânica*, por ser um conteúdo extremamente importante para a compreensão de diversas reações químicas orgânicas.

Quanto à experiência dos sujeitos com o conteúdo, averiguou-se que nove dos treze sujeitos já tiveram contato como docentes, destacando-se aqui as dificuldades apontadas, tanto por parte dos estudantes quanto dos próprios sujeitos a partir de suas experiências. Quanto por parte dos estudantes, a interpretação e o entendimento dos conceitos que envolvem tais reações químicas são uns dos principais problemas, indo ao encontro do obtido na análise do Nível 4 da pesquisa bibliográfica, no qual os três artigos presentes identificaram que as maiores dificuldades dos estudantes estão associadas aos conceitos, como oxidação e redução, transferências de elétrons, variação do NO_x, etc. Outro ponto importante por parte dos estudantes é entender o que acontece microscopicamente, ou seja, referente à abstração dos conceitos químicos.

Assim como os estudantes possuem dificuldades, alguns dos sujeitos também os têm, como por exemplo, em relação à inserção deste conteúdo na Química Orgânica e quanto ao entendimento dos conceitos já elencados nas dificuldades dos estudantes. Entretanto, talvez isso aconteça porque as dúvidas e obstáculos que surgem, muitas vezes lá no Ensino Básico, acabam permanecendo e se intensificando no decorrer da Ensino Superior e, conseqüentemente, após formados também.

Em relação à última parte da entrevista, relacionada ao conhecimento do conteúdo, onde os sujeitos tiveram questões para resolver, três modelos mentais foram encontrados a partir dos dados obtidos, os quais são: Modelo mental incompleto, parcial e completo.

Deste modo, o primeiro modelo mental é aquele que está muito distante do modelo conceitual aceito, apresentando conceitos errôneos e/ou ausência destes. Os sujeitos que formam este modelo apresentaram dificuldade em fazer previsões a respeito do proposto, deixando de lado importantes explicações sobre as reações de oxirredução. É válido mencionar que este primeiro modelo mental é incompleto, justamente por envolver poucos conceitos sobre oxirredução, tornando-se praticamente impossível realizar uma comparação entre os modelos mentais e o modelo conceitual pelo fato de estarem muito distantes um do outro, não sendo averiguado nenhum indício de aprendizagem significativa.

Por outro lado, o modelo mental parcial contempla diferentes conceitos sobre oxirredução com algumas concepções errôneas, mas com pouca ou nenhuma previsão a respeito dos fenômenos macroscópicos e submacroscópicos, além de esquemas e desenhos pobres em

detalhes. Ou seja, este modelo está muito mais ligado à parte conceitual, com definições e conceitos próximos do modelo cientificamente aceito, porém observa-se um entendimento mecânico, não significando uma compreensão significativa a partir das reações de oxirredução.

Já o último modelo mental, denominado de completo, contempla diferentes conceitos envolvidos nas reações químicas de oxirredução, não sendo necessariamente corretos, além de apresentar explicações e previsões dos diferentes processos de oxirredução envolvidos, tanto macro quanto microscopicamente, sendo este o modelo mental mais próximo do modelo conceitual cientificamente aceito. Para tanto, pode-se afirmar que este modelo mental tem maior poder explicativo e preditivo, apresentando coerência em relação ao conhecimento cientificamente aceito e, conseqüentemente, indícios de aprendizagem mais significativa é averiguado.

Conforme os modelos mentais obtidos, é válido mencionar que, pelo fato de cada sujeito raciocinar tentando encontrar possibilidades compatíveis com seus conhecimentos prévios, suas crenças e culturas, as diferentes formas de representações o ajudam a guiar o uso das coisas ou entendê-las. Com tudo, cada sujeito formou um modelo mental de como é e como funciona as reações de oxirredução, podendo estar correto ou não, sendo este um processo que depende das experiências de vida e conhecimento dos sujeitos para que possam construir seus entendimentos de como tais reações funcionam.

Destaca-se ainda que investigar e estudar os modelos mentais não é uma tarefa simples e fácil, pois, por serem idiossincráticos, muitas vezes são incoerentes, confusos e incompletos e, por isso, é preciso deixar claro que esse processo é bastante difícil, pelo fato de envolver a mente de um indivíduo.

Para finalizar, o estudo deste conteúdo é um fenômeno que pode e deve ser explorado exaustivamente, em virtude de ilustrar os vários conceitos químicos e físicos abstratos que, embora façam parte da rotina diária de qualquer pessoa, nem sempre são evidentes, criando-se uma indesejável separação entre conceitos e experiência. Assim, relacioná-los aos modelos mentais é muito importante, porque permitem aos indivíduos de construir suas próprias representações, possibilitando a compreensão e aquisição do conhecimento, bem como a inserção destas reações em outros conteúdos de química, como por exemplo, na eletroquímica.

Quanto às implicações desta pesquisa, espera-se que tanto o mapeamento dos artigos realizado na Pesquisa Bibliográfica, quanto a investigação dos modelos mentais dos egressos de Química Licenciatura a partir das entrevistas, possam trazer contribuições para os pesquisadores do Ensino de Química ao instigar a pesquisa de como ocorrem os modelos

mentais, tanto de estudantes quanto de educadores a respeito dos conceitos envolvidos nas reações químicas de oxirredução, bem como de outros conteúdos.

Outro encadeamento é possibilitar que docentes de nível médio e superior passem a considerar a importância de investigar as estruturas cognitivas de seus estudantes, reconhecendo seus conhecimentos, equívocos e representações mentais, trazendo contribuições e melhorias para o ensino e aprendizagem das reações de oxirredução, bem como para o Ensino de Química de modo geral, além de dar suporte teórico às futuras pesquisas.

7 REFERÊNCIAS

ANSELME, J. P. Understanding oxidation-reduction in organic chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 1, p. 69-72.

ARANHA, M. Memória e representações mentais. **Ciências & Cognição**, v. 15, n. 2, p. 001-001, 2010. Disponível em: <<http://pepsic.bvsalud.org/pdf/cc/v15n2/v15n2a01.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

ATKINS, P. W.; JONES, L. **Princípios de Química** - Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente. 5ª edição. Porto Alegre: Editora Bookman, 2012.

AUSUBEL, D. P; NOVAK, J. D; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana. 1980.

AYDIN, S.; BOZ, Y. The nature of integration among PCK components: A case study of two experienced chemistry teachers. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 4, p. 615-24, 2013.

AZINHEIRA, C. M. **Stress, esse desconhecido**: modelos mentais de peritos e não peritos. 2012. 85f. Dissertação (Mestrado Integrado em Psicologia) - Universidade de Lisboa, Portugal, 2012.

BAILER, C.; TOMITCH, L. M. B.; D'ELY, R. C. S. F. Planejamento como processo dinâmico: a importância do estudo piloto para uma pesquisa experimental em linguística aplicada. **Revista Intercâmbio**, v. XXIV, p. 129-146, 2011. São Paulo: LAEL/PUCSP.

BIGUETI, J. R. **Um estudo sobre a influência dos modelos mentais compartilhados entre o chief information officer e o time de executivos da alta direção do alinhamento estratégico de sistemas de informação**. 2007. 96f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade de São Paulo, 2007.

BONI, V.; QUARESMA, S. J. Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em Ciências Sociais. **Revista Eletrônica dos Pós-Graduandos em Sociologia Política da UFSC**, Vol. 2 n° 1 (3), janeiro-julho/2005, p. 68-80.

BORGES, A. T. Como evoluem os modelos mentais. **Ensaio-Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 85-125, 1999.

BORGES, A. T. Modelos mentais de eletromagnetismo. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 1: p. 7-31, 1998.

BORGES, A. T. Um estudo de Modelos Mentais. **Investigações em Ensino de Ciência**. v. 2, n. 3, 1997. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/vol2/n3/borges.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

BRAATHEN, C. Hálito culpado: Princípio Químico do Bafômetro. **Química Nova na Escola**, n. 5, 1997. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc05/quimsoc.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

BROWN, T. L.; et al. **Química: a Ciência Central**. 13 ed. São Paulo: Editora Pearson, 2016.

BUESO, A.; FURIÓ, C.; MANS, C. Interpretación de las Reacciones de Oxidación Reducción por los Estudiantes. Primeiros Resultados. **Enseñanza de las Ciencias**, v.6, n. 3, p.244-248, 1988.

BUNGE, M. Os conceitos de modelo. Modelos na ciência teórica. In: BUNGE, M. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974. p. 11-40.

CARMEL, N.J.C.; PACCA, J.L.A. Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.28, n.1, p.7-26, 2011.

CARVALHO JR., G. D. de; AGUIAR JR, O. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física.**, v. 25, n. 2: p. 207-227, ago. 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/6061/5632>>. Acesso em: 22 dez. 2019.

CHANG, R. **Química Geral: Conceitos Essenciais**. 4ª edição. Porto Alegre: Editora Bookman, 2010.

CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. **Química**. 11ª edição. Porto Alegre: Editora McGraw-Hill Education - Bookman, 2013.

CHI, M.T.H., FELTOVICH, P.J. e GLASER, R. Categorization and representation of physics problems by experts and novices. **Cognitive Science**, v.5, p. 121-152, 1981.

CHIOU, G. L. Reappraising the relationships between physics students' mental models and predictions: An example of heat convection. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, p. 1-15, 2013.

CIDADE, I. G. do N. et al. Modelos Mentais como Condicionante do Pensamento Estratégico: Estudo no Poder Judiciário do Estado de Rondônia. **Universitas: Gestão e TI**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 85-109, jan./jun. 2011.

COSTA, R. G. da; PASSERINO, L. M; ZARO, M. A. Fundamentos Teóricos do processo de formação de conceitos e suas implicações para o ensino e a aprendizagem de química. **Ensaio**, v. 14, n. 1, p. 271-281, 2012.

CRAIK, K.J. W. **The nature of explanation**. Cambridge: Cambridge University Press, 1943.

DAMASCENO, H. C.; BRITO, M. S.; WARTHA, E.J. As representações mentais e a simbologia química. In Anais XIV Encontro Nacional de Ensino de Química – XIV ENEQ, 12p. 2008.

DE JONG, O.; ACAMPO, J.; VERDONK, A.; Problems in Teaching the Topic of Redox Reactions: Actions and Conceptions of Chemistry Teachers. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 33, n. 10, p. 1097-1110, 1995.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.

DIAS, D. T. de A; TONI, D. de. Influência dos modelos mentais no desempenho organizacional: um estudo no setor metalmeccânico. In: Encontro de estudos sobre empreendedorismo e gestão de pequenas empresas. IX EGEPE. Passo Fundo, RS, 2016. **Anais...** Passo Fundo, 2016. Disponível em: <<https://egepe.org.br/anais/arquivos/edicaoatual/Artigo112.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2018.

FELIPE, E. S. Racionalidade limitada e modelos mentais: aspectos cognitivos dos agentes econômicos na economia institucionalista. **Revista de Economia**, v. 34, n. 3, p. 143-163, set./dez., 2008.

FILHO, J. C. dos S.; GAMBOA, S.S. **Pesquisa educacional: Quantidade – Qualidade**. 3ª Edição. São Paulo, Cortez, v. 42, 2000.

FOGAÇA, M. **Papel da inferência na relação entre modelos mentais e modelos científicos de célula**. 2006. 229f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FONSECA, V. da. **Cognição, neuropsicologia e aprendizagem: abordagem neuropsicológica e psicopedagógica**. 7 ed. Petrópolis, RJ: Ed. Vozes, 2017.

GENTIL, V. **Corrosão**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 360 p

GENTNER, D. and STEVENS, A.L. (1983). *Mental Models* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2009.

GIBIN, G. B. **Atividades experimentais investigativas como contribuição ao desenvolvimento de modelos mentais de conceitos químicos**. 2013. 226f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal de São Carlos, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIBIN, G. B.; FERREIRA, L. H. A formação inicial em química baseada em conceitos representados por meio de modelos mentais. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p. 1809-1814, 2010.

GOES, L. F. de; FERNANDEZ, C; AGOSTINHO, S. M. L. Concepções e dificuldades de um grupo de professores de química sobre conceitos fundamentais de eletroquímica. In: XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ), 25 a 28 de julho de 2016, Florianópolis, SC, Brasil. **Anais...** Florianópolis, 2016.

GOLDIN, G. Perspectives on representation in mathematical learning and problem solving. In: L. D. English (Ed.), **Handbook of international research in mathematics education**. 2 ed.. New York, NY: Routledge, 2008. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=en&lr=&id=LDGRAGAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA197&dq=Perspectives+on+representation+in+mathematical+learning+and+problem+solving.&ots=ODFZpcdpd0&sig=Z6j5SCxAIX4LG2kUkPXOQcqX2->>

g#v=onepage&q=Perspectives%20on%20representation%20in%20mathematical%20learning%20and%20problem%20solving.&f=false>. Acesso em: 19 mai. 2018.

GOUVEIA JR, A. O conceito de modelo e sua utilização nas ciências do comportamento: breves notas introdutórias. **Revista Estudos de Psicologia**, PUC-Campinas, v. 16, n. 1, p. 13-16, 1999.

GRECA, I., MOREIRA, M. A. Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imagenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnetico en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.1, n. 1, p. 95-108, abr. 1996.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M.A. Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 15, n. 2, p. 107-120, 1997 a.

HOLDER, D. A.; JOHNSON, B. G.; KAROL, P. J. A.; Consistent set of oxidation number rules for intelligent computer tutoring. **Journal of Chemical Education**. v. 79, n. 4, p. 465-467, 2002.

ILLERIS, K. **Teorias contemporâneas da aprendizagem**. Porto Alegre: Penso, 2013.

INGALLS, R. G. Introduction to Simulation. **Anais...** Proceedings of the Winter Simulation Conference, p. 17-26, 2008.

JAPAISSU, H.; MARCONDES. **Pequeno dicionário de filosofia**. São Paulo: Jorge Zahar Ed., 1989.

JENSEN, W. B. The origin of the oxidation-state concept. **Journal of Chemical Education**, v. 84, n. 9, p. 1418-1419, 2007.

JOESTEN, M. D.; WOOD, J. L. **Word of Chemistry**. 2. Ed. EUA: Saunders College Publishing, 1996.

JOHNSON-LAIRD, P.N. **Mental models and human reasoning**. PNAS Early Edition. 2010. Disponível em: <<http://mentalmodels.princeton.edu/papers/2010mms%26human-reasoning.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models and cognitive change. **Journal of Cognitive Psychology**, v. 25, n. 2, p. 131-138, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/20445911.2012.759935>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models and human reasoning. In: **National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 107, n. 43, p. 1-8, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.1012933107>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

JOHNSON-LAIRD, P. N. Mental models in cognitive science. **Cognitive Science**, v. 4, n. 1, p. 71-115, 1980.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.

JOHNSON-LAIRD, P. N. The history of mental models. In MANKTELOW, K.; CHUNG, M.C. **Psychology of Reasoning: The pretical and Historical Perspectives**. Psychology Press, 2004.

JOHNSON-LAIRD, P. N.; BYRNE, R. M. J. **Deduction**. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum, 1991.

JOHNSON-LAIRD, P. N.; GIROTTO, V.; LEGRENZI, P. Mental models: a gentle guide for outsiders. **Sistemi Intelligenti**, v. 9, n. 68, p. 33, 1998.

JOHNSTONE, A. H. You Can't Get There from Here. **Journal of Chemical Education**, v. 87, n. 1, p. 22-29, 2010/01/01 2009.

JOHNSTONE, A. H. Macro and Microchemistry. **The School Science Review**, v. 64, n. 227, p.377-379, 1982.

JOHNSTONE, A.H. The Development of Chemistry Teaching, **The Forum**, v. 70, n 9, 1993.

JULIÁN, M.S. G.; CRESPO, M.A.G.; POZO, J. I. Conocimiento cotidiano frente a conocimiento científico en la interpretación de las propiedades de la materia. **Investigações em Ensino De Ciências**, v. 7, n. 3. 2002.

JUNIOR, N. V; COLVARA, L. D. Os modelos mentais de alunos em relação a vetores em duas e três dimensões: uma análise da dinâmica da aprendizagem e da inadequação das avaliações tradicionais. **Ciências & Cognição**, v. 15, n. 2, p.55-069, 2010.

JUNIOR, W. E. F.; DOCHI, R. S. Um experimento simples envolvendo oxido-redução e diferença de pressão com materiais do dia-a-dia. **Química Nova na Escola**, n.23, p. 49-51, 2006.

JUSTI, R. Proposição de um modelo para análise do desenvolvimento do conhecimento de professores de ciências sobre modelos. **Anais... IV Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências**. Belo Horizonte MG, 2003.

JUSTI, R. Modelos e Modelagem no Ensino de Química. In: SANTOS, W. L. P. e MALDANER, O. A. (Ed.). **Ensino de Química em Foco**. Ijuí, RS: Ed. Unijuí, 2010. p. 209-230.

KLEIN, S. G.; **Poluição como temática para construção do conhecimento de reações redox sob uma perspectiva CTSA**. 2016. 215f. Dissertação (Mestre em Educação em Ciências) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2016.

KLEIN, S. G.; BRAIBANTE, M. E. F. Reações de oxi-redução e suas diferentes abordagens. **Química Nova na Escola**. v. 39, n 1, p. 35-45, 2017.

KREY, I. G. **Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss `a luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird**. 2000. 99f. Dissertação (Mestrado em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

LAGRECA, M do C. B. **Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de Física Geral na Mecânica Clássica e possíveis modelos mentais nessa área.** 1997. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997. Disponível em:

<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1401/000161670.pdf?sequence=1>>

Acesso em: 19 jun. 2018.

LAGRECA, M. C. B.; MOREIRA, M. A. Representações mentais dos alunos em mecânica clássica: três casos. **Investigações em Ensino de Ciências** v. 3, n. 2, pp. 83-106, 1998.

LAGRECA, M. C. B.; MOREIRA, M. A. Tipos de representações mentais utilizadas por estudantes de Física Geral na Mecânica Clássica e possíveis modelos mentais nessa área. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 1, p. 202- 215, 1999.

LEFRANÇOIS, G. R. **Teorias da aprendizagem: o que o professor disse.** São Paulo: Cengage Learning, 2016.

LEWYS, R. EVAANS, W. **Química.** 4^a ed. Editora LTC, 2014.

LIMA, M. B.; LIMA NETO, P. de. Construção de modelos para ilustração de estruturas moleculares em aulas de química. **Química Nova**, v. 22, n. 6, 1999.

LIMA, T. C. S. de; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katalysis**, v. 10, p. 35-45, 2007.

LIN, H. S et al. Students' Difficulties in Learning Electrochemistry. **Proc. Natl. Sci. Council. ROC(D)** v. 12, n. 3, 2002. pp. 100-105.

MAGOGA, T. F. **Abordagem temática na educação em ciências: um olhar à luz da epistemologia fleckiana.** 2017. 167f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2017.

MANZINI, E. J. **A entrevista na pesquisa social.** Didática, São Paulo, v. 26/27, p. 149-158, 1991.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da Metodologia Científica.** São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MARQUES, D. de A. **Estudo do desenvolvimento de modelos mentais sobre o conceito de ligações químicas e sua relação com obstáculos epistemológicos.** 2015. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) - Universidade Federal do Amazonas, 2015.

MENDONÇA, R. J.; CAMPOS, A. F. JÓFILI, Z. M. S; O conceito de oxidação-redução nos livros didáticos de química orgânica do ensino médio. **Química Nova na Escola.** N. 20, p. 45- 48, 2004.

MENZEK, A. A new approach to understanding oxidation-reduction of compounds in Organic Chemistry. **Journal of Chemical Education.** v. 79, n.6, p. 700- 702, 2002.

MERÇON, F.; GUIMARÃES, P. I. C.; MAINIER, F. B. Corrosão: Um exemplo usual de fenômeno químico. **Química Nova na Escola**, nº19, Maio 2004.

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências**: comportamentalismo, construtivismo e humanismo. Coletânea de breves monografias sobre teorias de aprendizagem como subsídio para o professor pesquisador, particularmente da área de ciências. 2 ed. rev., Porto Alegre, Brasil, 2016.

MOREIRA, M. A. Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**. v. 7, n. 2, p. 1-20, 2014.

MOREIRA, M. A. ¿Al final, qué es aprendizaje significativo? **Curriculum**, La Laguna, n. 25, p. 29-56, 2012.

MOREIRA, M. A. **Metodologias de pesquisa em ensino**. Ed. São Paulo, 2011.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: da visão clássica à visão crítica. In: I ENCUESTRO NACIONAL SOBRE ENSEÑANZA DE LA MATEMÁTICA, 1, 2007. **Anais...** Tandil, Argentina, abril de 2007.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem Significativa subversiva. In: III ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, Lisboa (Peniche), 2000. **Anais...** Lisboa, 2000.

MOREIRA, M.A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: EPU. 1999.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: um conceito subjacente. In: RODRÍGUEZ, M. L. (Org.). **Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo**. España: Burgos, p. 19-44, 1997.

MOREIRA, M. A. Modelos Mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n. 3, pp.193-232, 1996.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M.; PALMEIRO, M. L. R. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las Ciencias. **Revista Brasileira de Investigación em Educação em Ciências**, v. 2, n. 3, p. 84-96, 2002.

MOREIRA, M.A.; KREY, I. Dificuldades dos alunos na aprendizagem da lei de Gauss em nível de física geral à luz da teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 353-360, 2006a.

MOREIRA, M.A.; MASINI, E.A.F.S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. 2 ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006b.

MOREIRA, M.A.; MASSONI, N. T. **Interfaces entre teorias de aprendizagem e Ensino de Ciências/Física** [recurso eletrônico]. Porto Alegre: UFRGS, v. 26, n.6, 42 p. 2015.

NORMAN, D.A. Some observations on mental models. In: GENTNER, D.; STEVENS, A.L. (Eds.). **Mental models**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 1983. p. 6-14.

ÖSTERLUNND, L. L.; BERG, A.; EKBORG, M. Redox models in chemistry textbooks for the upper secondary school: friend or foe?. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 11, p. 182-192, 2010.

ÖSTERLUNND, L. L.; EKBORG, M. **Student's Understanding of Redox Reactions in Three Situation**. Nordina, v. 5 n. 2, 2009.

ÖZAKAYA, A. R.; ÜCE, M.; SAHIN, M.; Prospective Teachers' Conceptual Understanding of Electrochemistry: Galvanic and Eletrolytic cells. **Univesity Chemical Education** v. 7, p. 1- 10, 2003.

OZGUM-KOCA, S. A. **Students' use of representations in mathematics education**. Paper presented at the Annual Meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, 17p. 1998.

PALMA, M.H.C.; TIERA, V.A. de O. Oxidação de Metais. **Química Nova na Escola**, n. 18, p. 52-52, 2003.

PALMERO, M. L. R.; MOREIRA, M. A. Modelos mentales vs Esquemas de célula. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 1, pp. 77-103, 2002.

PAZ, A. M da. Modelos conceituais: a construção de modelos mentais na escola. **Linguagens & Cidadania**, v. 7, n. 2, p. 1 - 13, 2005

PINHEIRO, E. M.; KAKEHASHI, T. Y.; ANGELO, M. O Uso De Filmagem Em Pesquisas Qualitativas. **Ver. Latino-am Enfermagem**, v. 13, n. 5, p. 717-22, 2005

POERSCH, J. M. Simulações conexionistas: a inteligência artificial moderna. **Revista Linguagem em (Dis)curso**, v. 4, n. 2, jan./jun. 2004.

PRIETO, L. J. **Mensagens e sinais**. São Paulo, SP: Editora Cultrix, 1973.

RAMOS, R.T. Os conceitos de representação e informação em teorias explicativas do comportamento humano. **Front Psychol**, v. 5, n. 1034, 2014.

RODRIGUES, A. M. **Psicologia da aprendizagem e da avaliação** [recurso eletrônico]. São Paulo, SP: Cengage, 2016.

RONCA, A. C. C. Teorias de ensino: a contribuição de David Ausubel. **Temas em psicologia**, Ribeirão Preto, v. 2, n. 3,1994.

RIBEIRO, S. P. **Corrosão: uma visão para o ensino médio**. 2008. 59 f. Monografia (Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

SANJUAN, M.E.C. et al. Maresia: Uma Proposta para o Ensino de Eletroquímica. **Química Nova na Escola**, n. 31, p. 190-197, 2009.

SANTOS, A. C. de O. **Reflexões sobre as contribuições do estudo dos modelos mentais de equilíbrio químico na formação de professores de química**. 2014. 134f. Dissertação

(Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) - Universidade Federal do Sergipe, 2014.

SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em Química com uma ferramenta de simulação computacional. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 1, 2005.

SANTOS, A. C. O; MELO, M. R; ANDRADE, T. S. Identificando Modelos Mentais de equilíbrio Químico: Uma alternativa para a melhoria do Processo de ensino e aprendizagem. **Revista Fórum Identidades**, v. 18, n.9, p. 35 – 56, 2015.

SARTORI, E. R.; BATISTA, E. F.; FATIBELLO-FILHO, O. Escurecimento e limpeza de objetos de prata-um experimento simples e de fácil execução envolvendo reações de oxidação-redução. **Química Nova na Escola**, 30, p. 61-65, 2008.

SHIBLEY JR., I. A., AMARAL, K. E., DAVID, J. A. e MCCAULLY, R. J. Oxidation and Reduction Reactions in Organic Chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 87, n. 12, p. 1351-1354, 2010.

SILVA, S. F.; NUÑEZ, I. B. O ensino por problemas e trabalho experimental dos estudantes – reflexões teórico-metodológicas. **Química Nova**, v. 25, n. 6B. nov/dez 2002. p. 1197-1203

SILVERSTEIN, T. Oxidation and reduction: too many definitions? **Journal of Chemical Education**. v. 88, n. 3, p.279-281, 2011.

SOUZA, L. B de; IMBRIACO, L. V. R.; GABRIEL, R. Conexionismo e interacionismo: pontos relevantes para o ensino-aprendizagem de L2. **Antares**, n. 5, 2011.

TAUCEDA, K. C.; DEL PINO, J. C. Modelos e outras representações mentais no estudo do DNA em alunos do ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 2, pp. 337-354, 2010.

THAGARD, P. **Mente**: introdução à ciência cognitiva. Porto Alegre: Artmed, 1998.

WARTHA, E. J.; SILVA, L. E.; BEJARANO, R. R. N. Cotidiano e Contextualização no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, p. 84-91, maio 2013

ZUMDAHL, S. S.; DECOSTE, D. J. **Introdução à química** – Fundamentos. Tradução Noveritis do Brasil, revisão técnica Robson Mendes Matos, 8 ed., São Paulo: Cengage Learning, 2015.

8 APÊNDICES

**APÊNDICE A - ARTIGOS QUALIS A1 E A2 OBTIDOS A PARTIR DA SELEÇÃO 2
DA PESQUISA BIBLIOGRÁFICA**

01. SCHÖNBORN, K. J.; ANDERSON, T. R. Bridging the educational research- teaching practice gap: Foundations for assessing and developing biochemistry students' visual literacy. **Biochemistry and molecular biology education**, v. 38, n. 5, p. 347-354, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/bmb.20436>>. Acesso em: 18 nov. 2017.
02. HOWARD, K. E. et al. College students' understanding of atmospheric ozone formation. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, n. 1, p. 51-61, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C2RP20074K>>. Acesso em: 22 nov. 2017.
03. SEVIAN, H. et al. Use of representation mapping to capture abstraction in problem solving in different courses in chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 16, n. 3, p. 429-446, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C5RP00030K>>. Acesso em: 19 dez. 2017.
04. VLADUŠIĆ, R.; BUCAT, R. B.; OŽIĆ, M. Understanding ionic bonding—a scan across the Croatian education system. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 17, n. 4, p. 685-699, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C6RP00040A>>. Acesso em: 19 dez. 2017.
05. BHATTACHARYYA, G. Trials and tribulations: student approaches and difficulties with proposing mechanisms using the electron-pushing formalism. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 15, n. 4, p. 594-609, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C3RP00127J>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
06. MOHAMED-SALAH, B.; ALAIN, D. To what degree does handling concrete molecular models promote the ability to translate and coordinate between 2D and 3D molecular structure representations? A case study with Algerian students. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 17, n. 4, p. 862-877, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C5RP00180C>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
07. TABER, K. S. The significance of implicit knowledge for learning and teaching chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 15, n. 4, p. 447-461, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C4RP00124A>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
08. KELLY, R. M., AKAYGUN, S., HANSEN, S. J. R., & CERDAS, A. V. The effect that comparing molecular animations of varying accuracy has on students' submicroscopic explanations. **Chemistry Education Research and Practice**, v.18, s/nº, p. 582-600, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C6RP00240D>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
09. SEVIAN, H.; TALANQUER, V. Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 15, n. 1, p. 10-23, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C3RP00111C>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

10. TÜMAY, H. Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: emergence in chemistry and its implications for chemical education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 17, n. 2, p. 229-245, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C6RP00008H>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
11. KÖRHASAN, N. D.; WANG, L. Students' mental models of atomic spectra. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 17, n. 4, p. 743-755, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C6RP00051G>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
12. BRANDRIET, A. R.; BRETZ, S. L. Measuring meta-ignorance through the lens of confidence: examining students' redox misconceptions about oxidation numbers, charge, and electron transfer. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 15, n. 4, p. 729-746, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C4RP00129J>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
13. SOLAS, B. F.; GÓMEZ, P. J. S. Orbitais na educação química: Uma análise através de suas representações gráficas. **Chemistry Education Research and Practice**, v.15, s/n°, p. 311-319, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C4RP00023D>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
14. ZHOU, Q.; WANG, T.; ZHENG, Q. Probing high school students' cognitive structures and key areas of learning difficulties on ethanoic acid using the flow map method. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 16, n. 3, p. 589-602, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C5RP00059A>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
15. TSAPARLIS, G.; FINLAYSON, O. E. Physical chemistry education: its multiple facets and aspects. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 15, n. 3, p. 257-265, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C4RP90006E>>. Acesso em: 27 dez. 2017.
16. AL-BALUSHI, S. M.; AL-HAJRI, S. H. Associating animations with concrete models to enhance students' comprehension of different visual representations in organic chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 15, n. 1, p. 47-58, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C3RP00074E>>. Acesso em: 28 dez. 2017.
17. KERMEN, I.; MÉHEUT, M. Different models used to interpret chemical changes: analysis of a curriculum and its impact on French students' reasoning. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 10, n. 1, p. 24-34, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/B901457H>>. Acesso em: 06 jan. 2018.
18. GANARAS, K.; DUMON, A.; LARCHER, C. Conceptual integration of chemical equilibrium by prospective physical sciences teachers. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 9, n. 3, p. 240-249, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/b812413m>>. Acesso em: 06 jan. 2018.
19. SCHMIDT, H-J.; KAUFMANN, B.; TREAGUST, D. F. Students' understanding of boiling points and intermolecular forces. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 10, n. 4, p. 265-272, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/B920829C>>. Acesso em: 06 jan. 2018.

20. STRICKLAND, A. M.; KRAFT, A.; BHATTACHARYYA, G. What happens when representations fail to represent? Graduate students' mental models of organic chemistry diagrams. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 11, n. 4, p. 293-301, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C0RP90009E>>. Acesso em: 18 jan. 2018.
21. BOUKHECHEM, M-S; DUMON, A; ZOUKRI, M. The acquisition of stereochemical knowledge by Algerian students intending to teach physical sciences. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 12, n. 3, p. 331-343, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C1RP90040D>>. Acesso em: 18 jan. 2018.
22. FLYNN, A. B. How do students work through organic synthesis learning activities?. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 15, n. 4, p. 747-762, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C4RP00143E>>. Acesso em: 20 jan. 2018.
23. GRAULICH, N.; BHATTACHARYYA, G. Investigating students' similarity judgments in organic chemistry. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 18, n. 4, p. 774-784, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C7RP00055C>>. Acesso em: 03 fev. 2018.
24. GEGIOS, T.; SALTA, K.; KOINIS, S. Investigating high-school chemical kinetics: the Greek chemistry textbook and students' difficulties. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 18, n. 1, p. 151-168, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C6RP00192K>>. Acesso em: 04 fev. 2018.
25. SUPASORN, S. Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 16, n. 2, p. 393-407, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C4RP00247D>>. Acesso em: 05 fev. 2018.
26. BLONDER, R.; SAKHNINI, S. Finding the connections between a high-school chemistry curriculum and nano-scale science and technology. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 18, n. 4, p. 903-922, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C7RP00059F>>. Acesso em: 05 fev. 2018.
27. UZUNTIRYAKI-KONDAKCI, E. et al. Exploring the complexity of teaching: the interaction between teacher self-regulation and pedagogical content knowledge. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 18, n. 1, p. 250-270, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C6RP00223D>>. Acesso em: 05 fev. 2018.
28. SEVIAN, H.; COUTURE, S. Epistemic games in substance characterization. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 19, n. 4, p. 1029-1054, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C8RP00047F>>. Acesso em: 08 fev. 2018.
29. AKKUZU, N.; UYULGAN, M. A. **An epistemological inquiry into organic chemistry education:** exploration of undergraduate students' conceptual understanding of functional groups. n, v. 17, n. 1, p. 36-57, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C5RP00128E>>. Acesso em: 14 fev. 2018.
30. DORI, Y. J.; SASSON, I. A three-attribute transfer skills framework—part I: Establishing the model and its relation to chemical education. **Chemistry Education Research and**

Practice, v. 14, n. 4, p. 363-375, 2013. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1039/C3RP20093K>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

31. OUASRI, A. A study of Moroccan pupils' difficulties at second Baccalaureat year in solving chemistry problems relating to the reactivity of ethanoate ions and to copper–aluminium cells. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 18, n. 4, p. 737-748, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C7RP00071E>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

32. JOKI, J. et al. Coulombic interaction in Finnish middle school chemistry: a systemic perspective on students' conceptual structure of chemical bonding. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 16, n. 4, p. 901-917, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1039/C5RP00107B>>. Acesso em: 19 mar. 2018.

33. GUERRERO, M. del M. L.; GUERRERO, G. L.; RAMOS, S. R. Uso de un simulador para facilitar el aprendizaje de las reacciones de óxido-reducción. Estudio de caso Universidad de Málaga. **Educación química**, v. 29, n. 3, p. 79-98, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.3.6372>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

34. ACUÑA, M. E. de la C. Las estrategias argumentativas en la enseñanza y el aprendizaje de la química. **Educación Química**, v. 20, n. 2, p. 143-155, 2009. Disponível em: <<http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/64379/56512>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

35. SZTEINBERG, G. et al. Concepción de la identidad química en estudiantes y profesores de química: Parte II: comparación entre participantes en dos universidades de diferentes países. **Educación química**, v. 26, n. 2, p. 100-116, 2015. Disponível em: <<http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/52917/47067>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

36. FARRÉ, A. S.; LORENZO, M. G.. Para no seguir reinventando la rueda: El conocimiento didáctico en uso sobre los compuestos aromáticos. **Educación química**, v. 25, n. 3, p. 304-311, 2014. Disponível em: <<http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/46237/41522>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

37. BRAVO, A. A. Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. **Educación química**, v. 23, p. 248-256, 2012. Disponível em: <<http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/53169/47299>>. Acesso em: 26 mar. 2018.

38. MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem–Parte I. **Educación química**, v. 20, p. 282-293, 2009. Disponível em: <<http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/64186/56319>>. Acesso em: 26 mar. 2018.

39. RUBILAR, C. M.; I AYMERICH, M. I. Aportes a la modelización según el cambio químico. **Educación química**, v. 22, n. 3, p. 212-223, 2011. Disponível em: <<http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/64192/56325>>. Acesso em: 27 mar. 2018.

40. RODRÍGUEZ, A. G.; MARTÍNEZ, M. del C, C. Contenidos esenciales en la asignatura de Química III en la Escuela Nacional Preparatoria: Un análisis mediante el empleo de redes semânticas naturales. **Educación química**, v. 21, n. 2, p. 139-145, 2010. Disponível em: <<http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/64470/56599>>. Acesso em: 27 mar. 2018.
41. Garófalo, S. J., Alonso, M., & Galagovsky, L. R. (2014). Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje: El caso del metabolismo de los carbohidratos. **Revista Enseñanza de las Ciencias**, 32(3), 155-171. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1042>>. Acesso em: 30 mar. 2018.
42. VILLAGRÁ, J. Á. M.; LACOLLA, L.; VALEIRAS, N. Reacciones químicas y representaciones sociales de los estudiantes. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 32, n. 3, p. 89-109, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1010>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
43. ARAGÓN, M. del M.; OLIVA, J. M.; NAVARRETE, A. Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 31, n. 2, p. 09-30, 2013. Disponível em: <<https://ensciencias.uab.es/article/view/v31-n2-aragon-oliva-navarrete/832-pdf-es>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
44. VALOIS, T. T. et al. Preguntas de los estudiantes de educación secundaria ante dispositivos experimentales. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, 2012. Disponível em: <<https://ensciencias.uab.es/article/view/v30-n1-torres-duqueishiwa-et-al/619-pdf-es>>. Acesso em: 01 abr. 2018.
45. DOW, K. D. S. Enhancing students' corresponding reasoning of cognitive performances by animated concept mapping in electrochemistry. **Journal of Baltic Science Education**, v. 17, n. 4, p. 662, 2018. Disponível em: <<http://oaji.net/articles/2017/987-1533709066.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2018.
46. DEMIRDÖĞEN, B. Examination of chemical representations in Turkish high school chemistry textbooks. **Journal of Baltic Science Education**, v. 16, n. 4, p. 472, 2017. Disponível em: <<http://oaji.net/articles/2017/987-1503904807.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2018.
47. SANTOS, L. C dos.; SILVA, M. G. L da. Conhecendo as dificuldades de aprendizagem no ensino superior para o conceito de estequiometria/Knowing the difficulties of learning in higher education for the concept of stoichiometry. **Acta Scientiae**, v. 16, n. 1, p. 133-152, 2014. Disponível em: <<http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/632/839>>. Acesso em: 08 abr. 2018.
48. ARAGÓN, M del M.; OLIVA, J. M.; NAVARRETE, A. Analogías y modelización en la enseñanza del cambio químico. **Investigación em la Escuela**, n. 71, p. 93-114, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.12795/IE.2010.i71.08>>. Acesso em: 09 abr. 2018.
49. EICHLER, M. L.; DAYAN, S. P.; FAGUNDES, L. DA C. Concepções de adolescentes e de adultos sobre a sublimação do iodo. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.13, n.1, p.

95-126, 2008. Disponível em:

<www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/viewFile/424/253>. Acesso em: 14 abr. 2018.

50. FRANCISCO, C. A.; ALEXANDRINO, D. M.; QUEIROZ, S. L. Análise de dissertações e teses sobre o ensino de química no Brasil: produção científica de Programas de Pós-Graduação em destaque. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 20, n. 3, p. 21-60, 2015. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/viewFile/21/6>. Acesso em: 14 abr. 2018.

51. SILVA, O. B. da; QUEIROZ, S. L. Mapeamento da pesquisa no campo da formação de professores de química no Brasil. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 21, n. 1, p. 62-93, 2016. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/viewFile/28/10>. Acesso em: 14 abr. 2018.

52. GONÇALVES, J. M.; JULIÃO, M. S da S. Analogias em livros didáticos destinados ao ensino superior: Química orgânica versus Físico-Química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 21, n. 3, p. 92-108, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v21n3p92>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

53. OLIVERA, A. del C.; MAZZITELLI, C. A.; GUIRADO, A. M. El conocimiento construido por los alumnos en las clases de Química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 14, n. 1, p. 77-94, 2015. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen14/REEC_14_1_5_ex871.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2018.

54. MATUS, L.; BENARROCH, A.; NAPPA, N. La modelización del enlace químico en libros de texto de distintos niveles educativos. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 10, n. 1, p. 178-201, 2011. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen10/ART9_Vol10_N1.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2018.

55. BADILLO, R. G.; MIRANDA, R. P.; TORRES, A. P. G. Una aproximación histórico epistemológica a las leyes fundamentales de la Química. REEC: **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v. 8, n. 1, p. 19, 2009. Disponível em: <http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen8/ART19_Vol8_N1.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2018.

56. SILVA, G. S.; BRAIBANTE, M. E. F.; PAZINATO, M. S. Os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos: uma análise nos livros didáticos de Química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 2, p. 159-182, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4266/2831>>. Acesso em: 18 abr. 2018.

57. SANTOS, L. R. L.; LIMA, J. P. M.; VITORINO, V. H. V. Concepções de alunos ingressantes no curso de licenciatura em química sobre alguns conceitos de soluções. **REnCiMa**, v.8, n.3, p. 41-60, 2017. Disponível em: <<http://revistapos.cruzeirosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/1239/895>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PPG EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS QUÍMICA DA VIDA E SAÚDE -
DOUTORADO**

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Pesquisadora responsável	Ângela Malvina Durand
Telefone	(55) 99908-5334
Email	durand.angela1989@gmail.com
Profa orientadora	Isabel Krey Garcia
Departamento	Departamento de Física, Prédio 13, sala 130.
Contato orientadora	F. 32208865/ Email: ikrey69@gmail.com
Local de coleta de dados	Universidade Federal de Santa Maria

Caro(a) estudante,

Eu, Ângela Malvina Durand, responsável pela presente pesquisa, gostaria de obter o seu consentimento para participar como voluntário de uma pesquisa intitulada “**Modelos mentais de reações de oxirredução: um estudo exploratório de egressos do curso de Química Licenciatura**”, referente a um projeto de Doutorado.

A intenção deste estudo é averiguar os modelos mentais que os egressos do curso de química licenciatura da Universidade Federal de Santa Maria possuem em relação às reações de oxirredução. Espera-se que com os resultados obtidos, seja possível contribuir, futuramente, com o processo de formação inicial de professores deste curso, possibilitando a criação de novas estratégias e abordagens de ensino sobre o conteúdo em questão.

Para isto, serão feitas entrevistas com egressos do curso em questão para a identificação dos modelos mentais que estes utilizam em situações envolvendo as reações de oxirredução. O mapeamento se baseará na análise dos modelos destes sujeitos.

Desta forma, para o desenvolvimento da presente pesquisa e da coleta de dados, você poderá participar de algumas formas, como por exemplo, participando de entrevistas gravadas e filmadas. Salienta-se que seus dados serão utilizados para tentar verificar qual(ais) seu(s) possível(eis) modelo(s) mental(ais) sobre as reações químicas de oxirredução.

O seu nome não será divulgado em qualquer fase da pesquisa, garantindo o anonimato. Além disso, garantimos também que a divulgação dos resultados será feita de forma sigilosa.

Não será cobrado nenhum valor e não está previsto nenhum tipo ressarcimento ou indenização.

Sua participação na pesquisa é muito importante e ao aceitá-la, você deverá se comprometer em dar informações verdadeiras e íntegras.

Considerando que toda a pesquisa pode gerar algum tipo de risco, nesta, o risco pode ser avaliado como mínimo.

Gostaríamos de deixar claro que a participação é voluntária e que você poderá deixar de participar ou retirar o consentimento, ou ainda descontinuar a participação se assim o preferir, sem penalização alguma ou sem prejuízo de qualquer natureza.

Colocamo-nos à disposição para esclarecimentos adicionais que se fizerem necessários em qualquer momento da realização deste estudo.

Certas de poder contar com a sua colaboração com nossa pesquisa, agradecemos desde já.

<p>Eu, _____ (seu nome), portador do RG n. _____, confirmo que a pesquisadora Ângela Malvina Durand explicou-me os objetivos desta pesquisa, bem como, a forma de participação. Eu li e compreendi este Termo de Consentimento, portanto, eu concordo em participar como voluntário desta pesquisa.</p> <p style="text-align: right;">Santa Maria, _____ de _____ de 2020</p> <p style="text-align: right;">_____</p> <p style="text-align: right;">Assinatura</p>
<p>Eu, Ângela Malvina Durand, obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido do sujeito da pesquisa ou representante legal para a participação na pesquisa.</p> <p style="text-align: right;">_____</p> <p style="text-align: right;">Ângela Malvina Durand Doutoranda do PPGEC-QVS/ UFSM RG: 3105073146</p> <p style="text-align: center;">Pesquisa Financiada pela CAPES</p>