



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação
Instituto de Ciências Biológicas
Faculdade UnB Planaltina
Faculdade de Educação
Instituto de Química
Instituto de Física

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS
DOUTORADO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

**LEITURA DE ESQUEMAS E ENSINO DE BIOLOGIA:
O CASO DA RESPIRAÇÃO HUMANA**

JACQUELINE RIBEIRO DE SOUZA MENDES

BRASÍLIA, DF
Dezembro/2020



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Decanato de Pesquisa e Pós-Graduação
Instituto de Ciências Biológicas
Faculdade UnB Planaltina
Faculdade de Educação
Instituto de Química
Instituto de Física

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS
DOUTORADO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

**LEITURA DE ESQUEMAS E ENSINO DE BIOLOGIA:
O CASO DA RESPIRAÇÃO HUMANA**

JACQUELINE RIBEIRO DE SOUZA MENDES

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências da Universidade de Brasília, em cumprimento a requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Educação em Ciências, sob a orientação da Profa Dra. Maria Helena da Silva Carneiro.

Brasília, DF

Dezembro/2020

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

MM5381 MENDES, JACQUELINE RIBEIRO DE SOUZA
Leitura de Esquemas e Ensino de Biologia: o caso da
respiração humana / JACQUELINE RIBEIRO DE SOUZA MENDES;
orientador Maria Helena da Silva Carneiro. -- Brasília,
2020.
208 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Educação em Ciências) --
Universidade de Brasília, 2020.

1. Ensino de Biologia. 2. Ensino de Ciências. 3. Leitura
de Imagens. 4. Leitura de Esquemas. I. Carneiro, Maria
Helena da Silva , orient. II. Título.

**LEITURA DE ESQUEMAS E ENSINO DE BIOLOGIA:
O CASO DA RESPIRAÇÃO HUMANA**

Jacqueline Ribeiro de Souza Mendes

Tese aprovada pela Comissão Examinadora composta por:

Profa. Dra. Maria Helena da Silva Carneiro
Presidente da Banca Examinadora – FE/UnB

Prof. Dr. Gerson de Souza Mól
Membro Titular – IQ/UnB

Prof. Dr. Helio José Santos Maia
Membro Titular – FE/UnB

Profa. Dra. Marianela Navarro Camacho
Membro Titular – Universidad de Costa Rica

Profa. Dra. Simone Paixão Araújo
Membro Suplente – IFG/GO

Brasília, 7 de dezembro de 2020.

Aos meus pais, José e Joyeuse.
No coração, na alma e na memória.
Sempre.

AGRADECIMENTOS

“... o progresso da ciência não pode ir muito longe, a não ser que conte com colaboração ou, em termos mais precisos, nenhuma mente pode dar um passo sem a ajuda de outras mentes.” (Charles Sanders Peirce)

Muitas mentes estiveram comigo nesta trajetória. Muitos corações também. De fato, há muito pelo que agradecer e há muitos a quem devo gratidão por ter chegado até aqui. Agradecer renova a alma e nos torna leves. Faça-o por prazer, não por formalidade. Nesta página, não há ordem nem hierarquia; há lembrança e gratidão.

Ao Professor Castellano, fonte de inspiração; e à Profa Jô, pela dedicação

À minha eterna amiga e irmã, Jeannine, pelas *good vibes!*

À minha família: Syllas, Diogo, Leandro, Naty e Esther. Por existirem. Já diz tudo!

Aos alunos e às alunas que estiveram comigo ao longo de mais de três décadas de docência. Com certeza, hoje, eu faria muita coisa diferente!

Ao Dhonney, ao King Arthur e à Lu, pelo carinho e pelas palavras de incentivo.

Aos pupilos de Maria Helena: Simone, Rones e Hélio. Vocês deram leveza ao árduo caminho.

Aos colegas da primeira turma do doutorado do PPGEduc, por dividirem as mesmas angústias e incertezas. O sucesso de vocês me incentivou a buscar o meu momento de também “chegar lá”.

Aos alunos e às alunas que voluntariamente participaram desta pesquisa. Sem vocês, este trabalho não existiria.

À Profa. Ana Júlia Pedreira e ao Prof. Hélio Maia, pelo suporte para a coleta de dados; e ao Prof. Gerson Mól, por estar sempre à disposição para ajudar.

Aos membros do colegiado do PPGEduc, representados pela Profa Patrícia Machado, por darem continuidade ao sonho do querido e sempre lembrado Prof. Wildson Santos.

Aos membros da banca de avaliação, por dedicarem seu valioso tempo na leitura desta tese e pelas sugestões para seu aprimoramento.

À Profa Maria Helena, pela paciência, confiança e dedicação. Não tenho palavras para descrever a satisfação e o orgulho de ter sido sua orientanda, tanto no mestrado quanto no doutorado.

À Profa Christine Preston, da Universidade de Sydney, pelo acolhimento, pelas sugestões e pela disposição em dar sequência a este trabalho.

Às queridas Frida e Flora, fiéis e silenciosas companheiras nas madrugadas insones diante da tela branca ...

Lista de Figuras

Figura 1	Esquema das reações da fotossíntese	19
Figura 2	Organização da Tese	27
Figura 3	Tríade semiótica segundo Peirce	40
Figura 4	Exemplo de relação triádica	41
Figura 5	Esquema de um alvéolo pulmonar	48
Figura 6	Tricotomias peirceanas segundo a referência signo/objeto/interpretante	50
Figura 7	Esquema simplificado da hematose pulmonar	53
Figura 8	Judite. Tela de Francesco Maffei – século XVII	61
Figura 9	Síntese da Iconologia de Erwin Panofsky	62
Figura 10	Trajeto dos gases respiratórios	65
Figura 11	Estruturas e processos da TDC	70
Figura 12	Exemplo de dominância textual	73
Figura 13	Exemplo de complementaridade entre texto e imagem	74
Figura 14	Exemplo de contradição na relação texto-imagem 1	75
Figura 15	Exemplo de contradição na relação texto-imagem 2	76
Figura 16	Trajeto dos gases respiratórios/hematose e sistema cardiovascular	82
Figura 17	Exemplo de esquema estrutural	85
Figura 18	Exemplo de esquema estrutural em cascata	87
Figura 19	Exemplo de esquema comparativo	88
Figura 20	Exemplo de esquema funcional	89
Figura 21	Exemplo de esquema de situação	90
Figura 22	Etapas do Percurso Metodológico	115
Figura 23	Síntese do Estudo Piloto	119
Figura 24	Síntese dos Procedimentos do Estudo Principal	120
Figura 25	Esquemas/diagrama usados no momento 1 do estudo principal	123
Figura 26	Esquemas usados no momento 2 do estudo principal	129
Figura 27	Representação gráfica dos órgãos/estruturas identificadas nos esquemas 1, 2 e 5	144
Figura 28	Semelhanças gráficas e composicionais entre os esquemas 5 e segmentos de outros dois esquemas	146
Figura 29	Esquema elaborado por P7	171
Figura 30	Esquema elaborado por P8	172
Figura 31	Esquema elaborado por P6	173
Figura 32	Esquema elaborado por P10	174
Figura 33	Esquema 1 elaborado por P13	175
Figura 34	Esquema 2 elaborado por P13	176

Lista de Quadros

Quadro 1- Níveis de significado e de leitura de esquemas em relação à Figura 10	65
Quadro 2- Relações ortogonais entre os sistemas verbal e não verbal e as modalidades sensoriais	67
Quadro 3- Categorias de investigação e respectivas descrições	102
Quadro 4- Parágrafos para atividade de relação texto-esquema	130
Quadro 5- Categorias de significado atribuído e ocorrências: significado das setas - esquema 1	136
Quadro 6- Categorias de significado atribuído e ocorrências: significado da seta - esquema 3	140
Quadro 7- Categorias de títulos atribuídos e ocorrências: imagens 1 a 5	148

Lista de Abreviaturas

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

ECT 1 – Ensino de Ciências e Tecnologia 1

IES – Instituição de Ensino Superior

EF – Ensino Fundamental

EJA – Educação de Jovens e Adultos

EM – Ensino Médio

ER – Ensino Regular

LD – Livro Didático

LDBi – Livro Didático de Biologia

LDC – Livro Didático de Ciências

PCNEF – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Fundamental

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático

TDC – Teoria da Dupla Codificação

RESUMO

Este trabalho investigou a produção de sentidos a partir da leitura de esquemas didáticos que representam o conhecimento científico acerca da respiração humana. Esquemas são representações visuais amplamente utilizadas no ensino e aprendizagem de conceitos científicos e é crescente sua inserção nos livros didáticos das disciplinas de Ciências Naturais. Entretanto, em nossa prática docente, observamos que os estudantes apresentam dificuldades na interpretação de esquemas. O estudo foi realizado com alunos cursando Licenciatura em Pedagogia em uma Instituição de Ensino Superior no Distrito Federal. A metodologia de coleta de dados foi definida a partir de um estudo piloto. Da primeira etapa da coleta, que consistiu na realização de um exercício individual em sala de aula, participaram 17 alunos. Na segunda etapa, foram realizadas entrevistas individuais com cinco alunos. As atividades envolviam a leitura e a elaboração de esquemas. Definimos três níveis de leitura com base em princípios da Iconologia de Erwin Panofsky. A Teoria da Dupla Codificação de Alan Paivio também integrou nosso quadro teórico para análise dos dados. Os resultados indicaram que alguns alunos desconhecem o significado convencional de elementos composicionais dos esquemas, como as cores; fazem leituras narrativas acrescentando elementos aos esquemas a partir de seu conhecimento sobre o assunto veiculado; nem sempre realizam as inferências necessárias para a interpretação do esquema; apresentam dificuldade para expressar conhecimento nas formas verbal e por meio da elaboração de esquemas. Por fim, resultados do estudo principal foram semelhantes em alguns aspectos aos do estudo piloto, inclusive no que se refere às concepções sobre a respiração.

Palavras-chave: Leitura de esquemas. Respiração. Teoria da Dupla Codificação. Iconologia.

ABSTRACT

This work aimed to investigate the reading and interpretation of schematic diagrams that represent scientific knowledge about human respiration. Schematic diagrams are visual representations widely used in the teaching and learning of scientific concepts. Their insertion in textbooks of the disciplines of Natural Sciences is increasingly high. However, in our teaching practice, we observed that students face difficulties in interpreting schematic diagrams. We carried out this study with students taking a degree in Pedagogy at a Higher Education Institution in the Federal District of Brazil. The data collection methodology was defined based on a pilot study. Seventeen students participated in the first stage of data collection. It consisted of individually answering a six questions exercise. Five students attended the second stage, wich involved reading and drawing schematic diagrams activities. We defined three levels of reading and interpreting based on the principles of Iconology by Erwin Panofsky's. Also, we considered Alan Paivio's Dual Coding Theory as a part of our theoretical framework for data analysis. The results indicated that some students are unaware of the conventional meaning of compositional elements of schematic diagrams, such as arrows and colours. We also found they do narrative readings adding elements from their knowledge to the schematic diagrams. Also, they do not always make the necessary inferences for the interpretation of the schematic diagrams; present difficulties in expressing knowledge in verbal forms and through the elaboration of schematic diagrams. Finally, results from the main study were similar in some respects to those from the pilot study, including preconceptions about respiration.

Keywords: Reading of schematic diagrams. Respiration. Dual Coding Theory. Iconology.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
O PROBLEMA DA PESQUISA	14
QUESTÃO CENTRAL E OBJETIVOS DA PESQUISA	25
ORGANIZAÇÃO DA TESE	26
REFERÊNCIAS	28
1 QUADRO TEÓRICO-CONCEITUAL	33
1.1 ESQUEMA: CONSTRUINDO UM CONCEITO	34
1.1.1 Representação, signo, imagem	36
1.1.2 Classificação dos signos	43
1.1.3 Conceito de esquema	50
1.2 ESQUEMAS COMO ELEMENTOS PARA A SIGNIFICAÇÃO: A LEITURA	53
1.2.1 A construção de sentidos na leitura de esquemas	56
1.2.2 A Teoria da Dupla Codificação - TDC	66
1.2.3 A relação entre imagem e texto verbal	72
1.3 ESQUEMAS E O ENSINO E A APRENDIZAGEM DA RESPIRAÇÃO	78
1.3.1 Tipologia dos esquemas	84
REFERÊNCIAS	91
2 ESQUEMAS COMO OBJETO DE ESTUDO: REVISÃO DA LITERATURA	95
2.1 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DA REVISÃO	96
2.1.1 Seleção dos periódicos	97
2.1.2 Seleção dos artigos	98
2.1.3 Categorização dos artigos	101
2.2 O ESQUEMA COMO OBJETO DE ESTUDO	104
2.2.1 Elaboração de esquemas	104
2.2.2 Interpretação de esquemas	107
2.2.3 Papel pedagógico dos esquemas	109
2.2.4 Relação texto-esquema	110
2.3 CONSIDERAÇÕES E POSSIBILIDADES	111
REFERÊNCIAS	113
3 PERCURSO METODOLÓGICO	115
3.1 ESTUDO PILOTO	116
3.2 ESTUDO PRINCIPAL	120
3.2.1 Local de realização e perfil dos participantes	120
3.2.2 Procedimentos iniciais	121
3.2.3 Momento 1 – Em sala de aula	122
3.2.4 Momento 2 – Entrevistas individuais	126
3.2.4.1 <i>Atividade: Elaboração de esquema</i>	127
3.2.4.2 <i>Atividade: Leitura de esquema</i>	128
3.2.4.3 <i>Atividade: Identificação da relação texto-esquema</i>	128
3.2.5 Sobre a análise dos dados	130
REFERÊNCIAS	133
4 ANÁLISE E RESULTADOS	134
4.1 MOMENTO 1- ATIVIDADE INDIVIDUAL	135
4.1.1 Reconhecimento de signos	135

4.1.2	Elemento composicional de destaque	147
4.1.3	Estabelecimento de relações entre diferentes formas de representação	149
4.2	MOMENTO 2 - ENTREVISTA	152
4.2.1	Elaboração de esquema	152
4.2.2.	Leitura de esquemas	160
4.2.3	Relação entre texto e esquemas	164
4.2.4	Algumas observações	169
	REFERÊNCIAS	177
	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	178
	APÊNDICES	183
	ANEXOS	200

INTRODUÇÃO

A visão chega antes das palavras. A criança olha e vê antes de falar. Porém, isso é também certo em outro sentido. A visão é o que estabelece nosso lugar no mundo que nos cerca; explicamos esse mundo com palavras, porém as palavras não anulam o fato de que estamos rodeados por ele. Nunca se estabelece a relação entre o que vemos e o que sabemos. Todas as tardes, *vemos* o Sol se pôr. *Sabemos* que a Terra gira ao redor dele. Sem dúvida, o conhecimento, a explicação, nunca se adequam completamente à visão (BERGER, 2010, p. 13).

Representações visuais imagéticas como desenhos, fotografias, ilustrações, gráficos, esquemas, infográficos fazem parte do cotidiano dos estudantes; algumas desde os anos iniciais da escolarização básica. Pró (2003) salienta que o conhecimento das coisas do mundo apresentado por uma criança, por vezes, deve-se mais às imagens que ela vê na televisão ou no cinema, por exemplo, do que à própria experiência com as coisas.

Brooks (2009) aponta o desenho como um dos primeiros registros das ideias das crianças e o ato de desenhar é, para a autora, tanto uma forma de comunicação quanto uma ferramenta para a resolução de problemas. Desenhar possibilita à criança ver o que está pensando, testar e transformar suas ideias.

Nesse sentido, Gómez (2019) salienta que se expressar por meio de imagens é uma atividade inata no ser humano e surge muito cedo, mesmo antes de outras formas de comunicação como a linguagem verbal. Destaca ainda que, atualmente, a linguagem visual das imagens é uma das formas mais utilizadas de comunicação.

É certo que vivemos rodeados por imagens, o que se tem tornado, no cenário de pandemia¹ em que vivemos, bastante evidente pela profusão desses recursos nos meios de comunicação de massa. Como forma de ilustrar reportagens sobre o avanço da pandemia; apresentar dados referentes a números de infectados, recuperados e mortos ou representar a estrutura viral, por exemplo, representações

¹ Referimo-nos à Coronavirus Disease 19 (COVID-19), doença causada pelo então chamado novo corona vírus, caracterizada como pandemia pela Organização Mundial de Saúde – OMS em 11 de março de 2020.

visuais de diversos tipos chegam até nossas casas diariamente. É uma miríade de gráficos, infográficos, esquemas, montagens fotográficas e tantas outras formas de representação visual, construídas graças aos avanços nas tecnologias de produção e edição de imagens.

De fato, como sustenta Jewitt (2008), o século XXI pode ser considerado um marco histórico em que a tecnologia possibilita a produção e circulação de imagens em um nível inimaginável. Para a autora, isto requer a compreensão de como imagens e outras formas não-verbais são utilizadas em contexto educacional.

O PROBLEMA DA PESQUISA

Segundo Garcia, Palácios e Javier (2007), representações visuais são recursos simbólicos que, por suas características, estruturas, organização e inter-relações podem influenciar a aprendizagem. Quillin e Thomas (2015, p. 1) avançam acerca do papel desses recursos ao afirmar que “é difícil imaginar o ensino, a aprendizagem ou o fazer biológico sem o uso de representações visuais”.

Endossamos essas afirmações, tendo por base nossa experiência docente, uma vez que também consideramos imprescindível o suporte das representações visuais para o ensino e a aprendizagem de determinados conteúdos da Biologia. Citamos, entre vários exemplos, o desenvolvimento embrionário humano, a estrutura em dupla-hélice do DNA e fenômenos que ocorrem nos níveis microscópico e sub-microscópico como a divisão celular, a respiração e a fotossíntese, entre tantos.

Atualmente, entende-se a aprendizagem como um fenômeno com origem a partir da interação do aluno com inúmeros fatores, tais como os tipos de recursos materiais, simbólicos e tecnológicos aos quais os estudantes têm acesso (BROWN, COLLINS e DUGUID; GREENO; RESNICK, apud GARCIA, PALÁCIOS E JAVIER, 2007) e, segundo Jewitt et al. (2001) envolve a transformação, pelo aluno, da informação recebida por meio de diferentes sistemas comunicativos, como por exemplo do verbal para o visual.

Entre esses recursos encontra-se o livro didático (LD), amplamente utilizado na educação básica nas escolas brasileiras, embora a constante evolução

das tecnologias de informação e comunicação forneça a professores e alunos novos instrumentos para o ensino e a aprendizagem.

No LD, as linguagens verbal e visual se articulam na composição de um texto multimodal, aqui entendido como aquele que se vale de diferentes formas de representação, a exemplo do que ocorre com o discurso científico, no qual gráficos, esquemas, fotografias, gestos, entre outras, participam de sua constituição.

Investigando as transformações nas representações visuais em livros didáticos de ciências publicados nos Estados Unidos, Lee (2010) encontrou quase o dobro dessas representações por página em comparação com publicações datadas de seis décadas. Esse acréscimo já havia sido declarado por Bezemer e Kress (2008), comparando livros didáticos publicados a partir de 1930. Os autores observaram, ainda, diferenças na aparência e função das representações visuais e na relação entre elas e o texto didático. É possível atribuir essas diferenças às novas tecnologias de produção e impressão de recursos visuais, bem como a uma tendência atual no sentido de ampliar o uso da comunicação por meio da linguagem visual.

Carneiro (1977), a partir de pesquisa realizada com professores do 1º ao 4º ano do Ensino Fundamental em escolas da rede pública de ensino de Brasília, observou que as imagens influenciam fortemente os professores na escolha do LD.

Representações visuais motivam o leitor para interagir com o conteúdo apresentado no texto. Na opinião de Martins (1997), em determinado sentido constituem o próprio conteúdo. Barlex e Carré (1985), também Buckley (2000) afirmam que as representações visuais, além de ajudarem os estudantes na compreensão de conceitos e experiências práticas, auxiliam no aprendizado de conteúdos que envolvem a compreensão de abstrações. Calado (1994) salienta que os educadores reconhecem o potencial pedagógico das representações visuais que, segundo Cheng (1999) são outra forma de apresentação da informação que potencialmente podem ampliar a aprendizagem de conceitos.

Não há dúvida da importância das representações visuais para a aprendizagem das disciplinas das Ciências Naturais e de outras disciplinas. Entre os objetivos do Ensino Fundamental que figuram no primeiro volume dos

Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Fundamental (PCNEF), consta que os alunos sejam capazes de

[...] utilizar as diferentes linguagens - verbal, matemática, gráfica (grifo nosso), plástica e corporal - como meio para produzir, expressar e comunicar suas ideias, interpretar e usufruir das produções culturais, em contextos públicos e privados, atendendo a diferentes intenções e situações de comunicação (BRASIL, 1997, p.108).

Em referência específica às Ciências Naturais, o quarto volume do PCNEF aponta para a necessidade de organizar atividades e temas de estudo de forma a possibilitar ao aluno o desenvolvimento de capacidades de, entre outras, “elaborar individualmente e em grupo relatos orais, escritos, perguntas e suposições acerca do tema em estudo, [...] registrando suas próprias sínteses mediante tabelas, gráficos, esquemas (grifo nosso), textos ou maquetes” (BRASIL, 1998, p.90).

De maneira semelhante, as orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio (PCNEM+) para o componente curricular Biologia sugerem aos professores que promovam entre seus alunos o aprendizado de linguagens, não apenas as matemáticas, que além de meio para o aprendizado da disciplina constituam-se em instrumento para a vida.

Nessa perspectiva, os PCNEM+ apresentam, no que se refere à expressão e comunicação, alguns exemplos explicativos que possibilitam uma possível correspondência entre as competências gerais estabelecidas para as disciplinas da área de Ciências da Natureza e as competências para a área de Biologia. Às competências gerais de ler, articular e interpretar símbolos e códigos em diferentes linguagens: sentenças, equações, esquemas, diagramas, tabelas, gráficos e representações geométricas, os PCNEM+ correspondem os seguintes exemplos:

Representar dados obtidos em experimentos, publicados em livros, revistas, jornais ou documentos oficiais, na forma de gráficos, tabelas, esquemas e interpretá-los criticamente. [...] Interpretar fotos, esquemas, desenhos, tabelas, gráficos, presentes nos textos científicos ou na mídia, que representam fatos e processos biológicos e/ou trazem dados informativos sobre eles (BRASIL, 2002, p.36).

Por sua vez, a Base Nacional Comum Curricular² (BNCC), na etapa referente ao Ensino Fundamental, explicita que

[...] o ensino de Ciências deve promover situações nas quais os alunos possam [...] desenvolver e utilizar ferramentas, inclusive digitais, para coleta, análise e representação de dados (imagens, esquemas, tabelas, gráficos, quadros, diagramas, mapas, modelos, representações de sistemas, fluxogramas, mapas conceituais, simulações, aplicativos etc.) (BRASIL, 2018, pp. 322-323).

A BNCC aponta, ainda, a utilização de diferentes linguagens como uma das competências específicas de Ciências da Natureza a serem desenvolvidas pelos alunos durante a etapa do Ensino Fundamental.

Para a etapa do Ensino Médio³, entre as habilidades elencadas para a área de Ciências da Natureza na BNCC, destacamos a habilidade do educando se comunicar por meio de diferentes linguagens, a partir da elaboração e/ou interpretação de textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, equações, entre outros (BRASIL, 2018, p. 559).

Todavia, é necessário observar que, apesar destes documentos indicarem a necessidade do desenvolvimento de competências para o uso de diferentes linguagens, e de o LD valer-se delas para a veiculação de seus conteúdos, a realidade das práticas escolares evidência que ainda é dada nfase a atividades de ensino e aprendizagem que privilegiam a linguagem verbal em detrimento de outras linguagens, como a visual.

Entendemos que isso não é uma ocorrência restrita à realidade das escolas brasileiras, uma vez que Jewitt (2008) já havia se manifestado acerca do assunto ao referir-se ao paradoxo de ser o ambiente educacional multimodal e altamente visual e, contudo, tanto a visualidade quanto a multimodalidade, de certa forma, permanecerem à margem do currículo. A autora argumenta também que a

² A BNCC, em atendimento à Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e ao Plano Nacional de Educação, aplica-se à Educação Básica. Foi instituída como documento de caráter normativo por meio da Resolução do Conselho Nacional de Educação – Conselho Pleno CNE/CP Nº2, de 22 de dezembro de 2017, publicada no Diário Oficial da União em 22 de dezembro de 2017, Seção 1, pp.41 a 44. Em seu Art. 5º, essa Resolução postula que a BNCC é referência nacional para os sistemas de ensino construírem ou revisarem seus currículos, e tal se aplica às instituições ou redes escolares públicas e privadas da Educação Básica dos sistemas federal, estaduais, distrital e municipais. A Resolução em questão refere-se à BNCC etapa Ensino Fundamental.

³ A BNCC na etapa do Ensino Médio, etapa final da Educação Básica, foi instituída como instrumento normativo pela Resolução CNE/CP Nº 4, de 17 de dezembro de 2018, publicada no Diário Oficial da União em 18 de dezembro de 2018, seção 1, pp. 120 a 122.

transição da imagem para a palavra ainda é vista como uma progressão intelectual e acrescenta que em contextos educacionais nos quais a imagem é reconhecida pelo seu potencial de despertar o interesse e motivar os alunos, raramente é estabelecida a relação entre as formas de apresentação visual do conhecimento e a aprendizagem.

É legítima a preocupação com o ensino e a aprendizagem de linguagens no âmbito das disciplinas científicas, considerando que o próprio discurso científico se caracteriza pela presença de diferentes modos de representação, como o verbal, o visual e o gestual. Também a ciência escolar veiculada nos livros didáticos lança mão de textos escritos acompanhados de uma variedade de representações visuais - fotografias, esquemas, desenhos, gráficos, infográficos - que os complementam, suplementam ou substituem.

Entretanto, como afirmam Roth, Pozzer-Ardenghi e Han (2005), a proliferação de representações visuais nos livros didáticos não garante eficiência na comunicação de conteúdos científicos. Complementamos a observação dos autores, apontando que nem sempre essas representações facilitam a aprendizagem, podendo inclusive se constituir em fonte de equívocos, dependendo de como são construídas e da forma como são utilizadas pelo professor.

Em nossa dissertação de mestrado⁴, ilustramos situações nas quais alunos demonstraram dificuldade na interpretação de representações visuais, especificamente as do tipo esquema, referentes à membrana plasmática e à fotossíntese. Nos dois casos, chamamos a atenção para elementos presentes nos esquemas, como fórmulas químicas, cores, setas e palavras, que poderiam interferir na aprendizagem e até mesmo originar concepções sobre os conteúdos representados em desacordo com o conhecimento científico vigente (ao qual, a partir deste ponto, iremos nos referir apenas como conhecimento científico).

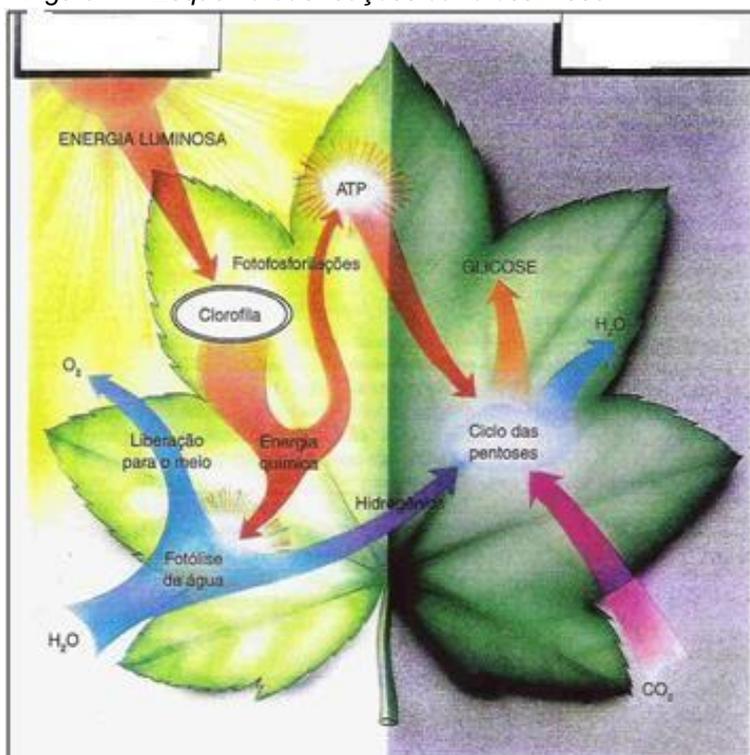
A Figura 1 apresenta um dos esquemas usados durante a pesquisa relatada na referida dissertação. De maneira simplificada, o esquema representa as reações “de claro” e “de escuro” da fotossíntese, esquematizadas sobre o

⁴ MENDES, J.R.S. *O papel instrumental das imagens na formação de conceitos científicos*. 2006. 140 f. Dissertação (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação. Universidade de Brasília.

desenho de uma folha dividida ao meio. O lado esquerdo, mais claro, mostra etapas da “reação de claro”, dependentes da energia luminosa. O lado direito, mais escuro, mostra as reações que utilizam a energia armazenada nas moléculas de ATP, formadas nas “reações de claro”. Cores, setas coloridas, palavras, traços raiados e disposição espacial dos componentes representados são as principais características do esquema.

Evidenciamos em nossa pesquisa que diferentes significados foram atribuídos aos componentes usados na elaboração do esquema. Uma participante interpretou os traços raiados em volta da expressão “fotólise da água” como gotículas de água, quando de fato indicam energia necessária para a fotólise. Essa leitura pode ter sido influenciada pela parte verbal, já que junto à representação raiada está escrito “fotólise da água”.

Figura 1 – Esquema das reações da fotossíntese



Fonte: Amabis e Martho⁵

*Foram suprimidas as informações “reações do claro” e “reações do escuro” respectivamente no lado esquerdo e direito da imagem.

⁵ AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R. Fundamentos da Biologia Moderna. Vol Único. 3.ed. São Paulo: Moderna, p.119.

Outro participante ficou em dúvida sobre o processo representado ser a fotossíntese, pois teve dificuldade em interpretar o desenho como sendo de uma folha. Cabe observar que se tratava de aluno que já havia concluído o Ensino Médio, mas que não identificou outros elementos do esquema, como as palavras glicose e clorofila, como indicativos da fotossíntese.

Esses exemplos nos alertam que, em muitos casos, faz-se necessário o auxílio do professor na leitura de representações esquemáticas, explicitando aspectos que os estudantes desconhecem ou que são passíveis de interpretações equivocadas.

Essas são questões que devem ser levadas em consideração, já que os esquemas são bastante frequentes nos livros didáticos de Ciências (LDC) e de Biologia (LDBi). Junto com outras representações pictóricas, são um componente significativo de muitas aulas dessas disciplinas (LOWE, 1987), usados como suporte para a representação de ideias (CHENG e GILBERT, 2015).

Entretanto, a interpretação do conteúdo veiculado por esquemas não é uma atividade simples. Barlex e Carré (1985) salientam que, sendo formas especializadas de comunicação visual com um sistema simbólico codificado, os esquemas requisitam do estudante um nível profundo de processamento da informação para que possam efetivamente aprender a partir deles.

Neste ponto, abrimos um parênteses para acrescentar que, em nossa visão, mais do que aprender a partir dos esquemas, os alunos aprendem com os esquemas, ativamente construindo sentidos a partir da interação com esse tipo de representação visual.

Pesquisas evidenciam que os estudantes têm dificuldades na interpretação de esquemas (BOWEN e ROTH, 2002; CHITTLEBOROUGH e TREAGUST, 2008; KOTZEBUE, GERSTL e NERDEL, 2015). Sua compreensão não é intuitiva (DREYFUS e EISENBERG, apud KOTZEBUE et al., 2015) e o seu uso no aprendizado de ciências pode ser desafiador para os estudantes (LIU, WON e TREAGUST, 2014).

Em nossa visão, essa dificuldade pode ser creditada a uma educação visual deficiente, cujas consequências, segundo Lowe (1987), podem não se manifestar de forma tão imediata quanto as deficiências relacionadas às

habilidades de leitura e escrita. Entretanto, de acordo com o autor, as consequências virão em longo prazo, refletindo na capacidade dos estudantes para compreender e operar com conceitos e relações científicas mais complexas.

Assim, como argumentamos, se por um lado observamos a crescente inserção de representações visuais nos livros didáticos e o reconhecimento docente de seu potencial pedagógico, por outro se encontram as dificuldades enfrentadas pelos alunos para fazer uso dessas representações em situações de aprendizagem.

Essas contradições merecem a atenção dos pesquisadores em ensino de Ciências. Para Pozzer-Ardenghi e Roth (2004), o fato de os estudantes enfrentarem dificuldade na compreensão de representações visuais, elaboradas justamente para facilitar o entendimento do conteúdo, salienta a importância de se compreender não apenas como as imagens são construídas, mas também como são interpretadas.

O panorama apresentado aponta a necessidade de empreender estudos que busquem a compreensão das relações estabelecidas entre os alunos e as representações visuais, sobretudo os esquemas, buscando ampliar as possibilidades de efetivamente fazer uso desses recursos pedagógicos para o ensino e a aprendizagem de conceitos científicos.

Como já pontuamos, no ensino e aprendizagem das Ciências Naturais os processos e suas relações envolvidos nos fenômenos, cuja compreensão se faz necessária para a formação dos conceitos científicos, são representados verbalmente, visualmente ou por meio da combinação entre as formas verbal e visual, tal qual ocorre com o discurso científico. Muitos deles demandam o conhecimento de sua dimensão macro e microscópica, exigindo do estudante maior nível de abstração para a sua compreensão.

Entre esses conceitos encontra-se o de respiração, que é parte do conteúdo trabalhado na Educação Básica, tanto no Ensino Fundamental quanto no Ensino Médio, com diferentes níveis de complexidade. Para compreender o fenômeno respiratório, em certo nível é necessário que o aluno articule conteúdos de diferentes áreas do conhecimento, como a Física, a Química e a Biologia. Como afirmam Astolfi e Develay (2002), os conceitos científicos não seguem uma

ordenação linear, mas situam-se em nós de uma complexa rede conceitual envolvendo diferentes disciplinas.

O aluno chega à escola com conhecimentos sobre a respiração, assim como sobre outros fenômenos naturais que, muitas vezes, estão em desacordo com o conhecimento científico. São conhecimentos construídos a partir de suas relações com o mundo e geralmente referidos na literatura como representações, termo sobre o qual Giordan e De Vecchi (1996) teceram apontamentos que cabem ser consideradas neste momento. Os autores argumentam que as diferentes conotações assumidas pelo termo representação, relacionadas às diversas escolas que o utilizam, citando, entre outras, a Psicologia a Pedagogia e a Didática, fazem dele um conceito de definição confusa. Justificam a afirmação com base em levantamento no qual encontraram 28 qualificativos e 27 sinônimos, entre os quais pré-representações, pré-requisitos, paradigmas dos alunos.

Dessa forma, em razão de clareza conceitual, Giordan e De Vecchi (1996) assumem a utilização do termo concepção ou construto, com o sentido de elemento motor que entra na construção de um saber, possibilitando a ocorrência de transformações. Salientamos que ao termo construção subjaz não a ideia de acumulação, porém de apropriação do saber.

As concepções, mais do que um produto, correspondem a um processo que resulta de uma atividade de elaboração mental do real.

Essa elaboração efetua-se, é claro, a partir das informações que o aprendente recebe pelo intermédio de seus sentidos, mas também das relações que mantém com outrem, indivíduos ou grupos, durante sua história, e que permanecem gravadas em sua memória. Mas essas informações são codificadas, organizadas, categorizadas num sistema cognitivo global e coerente, em relação com suas preocupações e os usos que lhes dá (GIORDAN e DE VECCHI, 1996, p.95).

Uma concepção, na condição de processo, é uma estruturação progressiva do conhecimento, que ocorre durante um longo período e sob influência do meio cultural familiar, das mídias, das práticas sociais escolares e profissionais.

O importante da concepção, porém, não é o que é expresso diretamente, mas sim as inferências que podemos fazer sobre o funcionamento mental do aprendente. Este último mobiliza certas noções (ou esquemas) durante a atividade representativa durante a qual podemos inferir numa concepção (GIORDAN e DE VECCHI, p. 91).

As concepções sobre a respiração têm sido investigadas, tanto no Brasil quanto em outros países, em pesquisas com estudantes em diferentes níveis de escolaridade. Por exemplo, Banet e Núñez (1996); Luís (2004); Sá, Jófili e Carneiro-Leão (2005); e Acedo e Fiedler-Ferrara Júnior (2008) realizaram estudos com alunos da Educação Básica (Ensino Fundamental e Médio).

Na Educação Superior (graduação e pós-graduação), encontram-se entre outras as pesquisas conduzidas por Sá, Souza e Jófili (2014), Sá et al (2015), Bajd, Praprotnik e Matyasek (2010) e Sá, Jófili e Carneiro-Leão (2009). Há, ainda, pesquisas que envolveram concomitantemente estudantes da educação básica e superior, como as realizadas por Asci, Özkan e Tekkaya (2001); e Sá, Jófili e Carneiro-Leão (2011).

A despeito da diferença na escolaridade dos sujeitos investigados nesses trabalhos e do emprego de métodos de levantamento de dados diversos, os resultados evidenciaram semelhanças quanto à dificuldade na articulação de conceitos de diferentes áreas do conhecimento, obstaculizando a compreensão do processo respiratório em sua totalidade. Foi possível, ainda, observar que os alunos mantêm concepções em desacordo com o conhecimento científico, mesmo que tenham passado por um longo processo de educação formal.

Entre essas concepções, destacamos as que se referem à respiração como um processo cujas finalidades são a “limpeza” do sangue (conversão de CO_2 em O_2 , remoção de CO_2 , substituição do ar impuro do pulmão por ar puro), a provisão de O_2 para o organismo (sem explicitar o destino e a função do oxigênio), a conversão da glicose em amido (uma inversão de processos metabólicos não envolvidos na respiração). Ressaltamos também a permanência da concepção de que as plantas respiram apenas durante a noite, o que nos leva a supor que alguns estudantes consideram a fotossíntese como um processo que substitui a respiração nas plantas durante o dia.

De fato, as concepções são persistentes (GIORDAN e DE VECCHI, 1996) bastante resistentes a mudanças por meio de métodos tradicionais de ensino (ASCI, ÖZKAN e TEKKAYA, 2001), tendem a permanecer na estrutura cognitiva do indivíduo (POSNER et al, 1982) e, dessa forma, influenciam a aprendizagem futura (VIENNOT, 1979; DRIVER, 1989; BIZZO e KAWASAKI, 1999).

Em nossa prática docente, tanto na educação básica quanto superior, também observamos que, mesmo após anos de educação formal, alunos da educação superior frequentemente apresentam explicações com base no senso comum bastante semelhantes às aquelas evidenciadas em estudantes da educação básica e nos estudantes das investigações citadas.

Partindo de estudos que buscaram levantar as concepções de estudantes, realizadas por outros pesquisadores, Asci, Özkan e Tekkaya (2001) e Kwen (2005) sumarizaram suas possíveis origens. Dentre elas, destacamos o conhecimento inadequado do conteúdo por parte do professor; as estratégias de ensino adotadas pelo professor; a apresentação de conceitos de forma compartimentada; a ênfase excessiva em detalhes, resultando em um aprendizado memorizado em lugar de um aprendizado com base na compreensão; o raciocínio a partir da experiência sensorial; o uso de linguagem cotidiana em contextos científicos e as observações e experiências do indivíduo em sua vida cotidiana.

Além dessas possíveis origens, que se referem não apenas ao aluno como também ao professor, os autores incluíram os livros didáticos. Nesses, entre os fatores que podem originar ou reforçar as concepções dos alunos, destacam-se a sequência de apresentação e a falta de integração entre os conteúdos; as incorreções nas informações; a ausência de figuras e exemplos; e os esquemas apresentados. Convém destacar a referência feita às representações visuais (figuras e esquemas), considerando, como temos afirmado até aqui, que elas têm sido um recurso bastante frequente no ensino e aprendizagem de conceitos científicos.

Acrescentamos à observação de que as representações visuais presentes nos livros didáticos são possíveis origens das concepções acerca de conhecimentos a constatação advinda de nossa prática docente de que alunos em diferentes níveis de escolaridade manifestam dificuldade na interpretação de representações visuais, particularmente os esquemas.

Estudos empíricos conduzidos por Bowen e Roth (1998, 2002), Chittleborough e Treagust (2008), Garcia, Palácios e Javier (2007), Topsakal e Oversby (2013) com alunos em cursos de graduação em diferentes países corroboram nossa afirmação. Acreditamos que essas dificuldades, que podem

levar a equívocos de interpretação, também podem estar na gênese das concepções dos estudantes em desacordo com o conhecimento científico.

Diante do panorama apresentado nas seções anteriores, nas quais chamamos a atenção para a dificuldade encontrada em estudantes de diferentes níveis de escolaridade em relação à compreensão do fenômeno respiratório; a existência de concepções que não se alinham ao conhecimento científico e que, sendo resistentes a mudanças exercem influência na aprendizagem; e as possíveis origens dessas concepções, entre elas o professor e os esquemas presentes nos livros didáticos, realizamos uma investigação que possibilitou aprofundar o conhecimento acerca da relação que se estabelece entre o aluno e a representação imagética do tipo esquema, a fim de compreender os processos de construção de sentidos a partir da leitura dessa representação visual.

QUESTÃO CENTRAL E OBJETIVOS DA PESQUISA

A pesquisa realizada buscou responder a seguinte questão central:

De que forma os alunos constroem sentidos a partir da leitura de esquemas que representam o fenômeno da respiração humana?

Três desdobramentos da questão central nos auxiliaram a buscar a resposta para a questão central que motivou este trabalho, a saber:

- Quais as estratégias utilizadas pelos alunos para a leitura de esquemas científicos?
- Que elementos composicionais dos esquemas são selecionados pelos alunos ao realizar a leitura?
- Há semelhanças ou diferenças no desempenho dos alunos ao ler esquemas e ao elaborar o próprio esquema?

Face aos questionamentos expressos anteriormente e que nortearam a investigação relatada nesta tese, o objetivo geral da pesquisa foi compreender como alunos de um curso de formação de professores, Licenciatura em Pedagogia,

leem esquemas científicos representativos de estruturas e processos relacionados ao fenômeno da respiração humana.

Especificamente, os objetivos foram identificar quais elementos estruturais dos esquemas são selecionados pelos alunos durante sua leitura; compreender as relações estabelecidas pelos alunos entre os elementos estruturais dos esquemas durante a leitura e identificar possíveis semelhanças ou diferenças apresentadas pelos alunos quando solicitados a ler esquemas e a elaborar os esquemas.

Partimos do pressuposto que a leitura de um esquema ocorre em três níveis. Inicialmente, em um nível superficial com a identificação dos elementos componentes e seu arranjo espacial. Posterior a essa leitura de superfície, o aluno realiza a leitura em segundo nível, na qual mobiliza conhecimentos sobre o conteúdo ao qual o esquema se refere, atribuindo significados aos elementos identificados para, posteriormente, realizar as inferências possíveis.

A fim de alcançar os objetivos expressos anteriormente, realizamos um estudo empírico, de natureza qualitativa, tendo como sujeitos de pesquisa licenciandos do curso de Pedagogia de uma instituição de educação superior pública do Distrito Federal.

O delineamento do estudo foi decidido a partir da avaliação de um estudo piloto⁶ (Apêndice A) realizado com alunos de um curso de formação de professores – licenciandos em Ciências Biológicas, na mesma instituição de ensino onde foi conduzido o estudo principal.

ORGANIZAÇÃO DA TESE

Além desta introdução, esta tese estrutura-se em 4 capítulos e as considerações finais resultantes das discussões apresentadas. Para cada capítulo, optamos por apresentar um texto introdutório na forma de um resumo do conteúdo, bem como as referências bibliográficas ao final de cada um.

⁶ Informamos, para que não se impute cometimento de autoplágio, que uma versão do estudo piloto foi publicada no periódico *Contexto e Educação* n. 112.

Uma vez que optamos por esse tipo de organização, buscando evitar repetições, limitaremos a apresentação da organização desta tese às informações constantes na Figura 2.

Figura 2 – Organização da tese



REFERÊNCIAS

- ACEDO, P.H.; FIEDLER-FERRARA JUNIOR, N. Concepções de alunos de Ensino Médio sobre a respiração humana. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11., 2008, Curitiba, **Atas eletrônicas...** Disponível em:<<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xi/atas/resumos/T0056-1.pdf>> Acesso em: 30 jul. 2017.
- ASCI, Z.; ÖZKAN, S.; TEKKAYA, C. Students' misconceptions about respiration: a cross-age study. **Education and Science** v. 26, n. 120, p. 29-36, 2001.
- ASTOLFI, J.P.; DEVELAY, M. A didática das ciências. 7.ed. Campinas: Papirus, 2002.
- BANET, E.; NÚÑEZ, F. Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración. **Enseñanza de las ciencias**, v. 8, n. 2, p. 105-110, 1990.
- BAJD, B.; PRAPROTNIK, L.; MATYÁŠEK, J. Students' ideas about respiration: a comparison of slovene and czech students. **School and Health**, v. 21, p. 245-251, 2010.
- BARLEX, D., CARRÉ, C. Visual communication in science. Cambridge:University Press, 1985.
- BERGER, J. Modos de ver. 2. ed. Barcelona: GG, 2010.
- BEZEMER, J., KRESS, G. Writing in multimodal texts: a social semiotic account of designs for learning. **Written Communication**, v.25, n.2, p. 166-195, 2008.
- BIZZO, N.; KAWASAKI, C. S. Este artigo não contém colesterol: pelo fim das impostoras intelectuais no ensino de ciências. **Projeto-Revista de Educação**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 25-34, 1999.
- BOWEN, G. M., ROTH, W. M. Why students may not learn to interpret scientific inscriptions. **Research in Science Education**, v.32, p. 303-327, 2002.
- _____. Lecturing graphing: what features of lectures contribute to student difficulties in learning to interpret graphs? **Research in Science Education**, v.28, p.77-90, 1998.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais** -Ensino Fundamental. Brasília:MEC/SEF, 1997, Volume 1. 126 p.

_____. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais / Secretaria de Educação Fundamental**. Brasília: MEC /SEF, 1998. Volume 4. 138 p.

_____. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+)** - Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2002.

_____. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília.MEC/SEB, 2018. Disponível em:
<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_verseofinal_site.pdf>Acesso em: 15 set 2019.

BROOKS, M. Drawing, visualization and young children's exploration of "big ideas". **International Journal of Science Education**, v. 31, p. 319-341, 2009.

BUCKLEY, B. C. Interactive multimedia and model-based learning in biology. **International Journal of Science Education**, v. 22, p. 895-935, 2000.

CALADO, I. A utilização educativa das imagens. Porto: Porto Editora, 1994.

CARNEIRO, M.H.S. As imagens no livro didático. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 1, 1997, Águas de Lindóia. **Anais ...** p. 366-376.

CHENG, P.C.H. Unlocking conceptual learning in mathematics and science with effective representational systems. **Computers and Education**, v. 33, p. 109-130, 1999.

CHENG, M. M. W., GILBERT, J. K. Students' visualization of diagrams representing the human circulatory system: The use of spatial isomorphism and representational conventions. **International Journal of Science Education**, v. 37, p.136-161, 2015.

CHITTLEBOROUGH, G.; TREAGUST, D. Correct interpretation of chemical diagrams requires transforming from one level of representation to another. **Research in Science Education**, v. 38, p. 463-482, 2008.

DRIVER, R. Student's conceptions and the learning of Science. **International Journal of Science Education**, v. 11, special issue, p. 481- 490, 1989.

GARCÍA, J. J., PALACIOS, J. J. P., JAVIER, F. Comprenden los estudiantes las gráficas cartesianas usadas en los textos de ciencias? **Enseñanza de las ciencias**, v.25, n.1, p. 107-132, 2007.

GIORDAN, A.; de VECCHI, G. As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos. 2.ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

GÓMEZ, P.M. El universo de las imágenes: enseñar a deconstruir imágenes em Educación Artística. In: 3rd INTERNATIONAL VIRTUAL CONFERENCE ON EDUCATIONAL RESEARCH AND INNOVATION, 2019, **Conference Proceedings...** CIVINEDU 2019. Madrid, Spain: Redine. Disponível em <<http://www.civinedu.org/wp-content/uploads/2019/12/CIVINEDU2019.pdf>> Acesso em 27 mar. 2020.

JEWITT, C. The visual in learning and creativity: a review of the literature. Institute of Education, University of London, 2008.

JEWITT, C. et al. Exploring Learning Through Visual, Actional and Linguistic Communication: the multimodal environment of a science classroom. **Educational Review**, Vol. 53, No. 1, 2001.

KOTZEBUE, L., GERSTL, M., NERDEL, C. Common mistakes in the construction of diagrams in biological contexts. **Research in Science Education**, v. 45, p. 193-213, 2015.

KWEN, B. H. Teachers' misconceptions of biological science concepts as revealed in science examination papers. In: INTERNATIONAL EDUCATION RESEARCH CONFERENCE, 2005, Sydney. **Anais...** Meulbourne: AARE, 2005. Disponível em: < <https://www.aare.edu.au/data/publications/2005/boo05099.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2016.

LEE, V. R. Adaptations and continuities in the use and design of visual representations in US middle school science textbooks. **International Journal of Science Education**, v. 32, p. 1099-1126, 2010.

LIU, Y., WON, M., & TREAGUST, D. Secondary biology teachers' use of different types of diagrams for different purposes. In: EILAM, B.; GILBERT, J. K. (Eds.). **Models and modeling in science education 8**, 2014 [ResearchGate version]. doi: 10.1007/978-3-319-06526-7_5

LOWE, R. Drawing out ideas: a neglected role for scientific diagrams. **Research in Science Education**, v. 17, p.56-66, 1987.

LUÍS, N. M. L. Concepções dos alunos sobre respiração e sistema respiratório: um estudo sobre a sua evolução em alunos do ensino básico. 2004, 167 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Instituto de Educação e Psicologia, Universidade do Minho, Portugal, 2004.

MARTINS, I. O papel das representações visuais no ensino-aprendizagem de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 1., 1997, Águas de Lindóia. **Anais ...** p. 294-299.

POSNER, G., STRIKE, K.; HEWSON, P.; GERTZOG, W. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, p. 211- 227, 1982.

POZZER-ARDENGHI, L., & ROTH, W. M. (2004). Making sense of photographs. **Science Education**, v. 89, p. 219-241, 2004.

PRÓ, M. Aprender com imagens: incidência y uso de la imagen en las estratégias de aprendizaje. Barcelona:Paidós, 2003

QUILLIN, K.; THOMAS, S. Drawing-to-Learn: a framework for using drawings to promote model-based reasoning in Biology. **CBE Life Science Education**, v. 14, n.1, p. 2 mar. 2015. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4353088/>> Acesso em: 2 ago. 2017.

ROTH, W.M.; POZZER-ARDENGHI, L.; HAN, J. Y. Critical graphicacy: understanding visual representation practices in school science. Netherlands: Springer, 2005.

SÁ, R. G. B. et al. Sequência Didática Interativa no Estudo do Conceito de Respiração. ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 10., 2015, Águas de Lindóia. **Atas eletrônicas ... Águas de Lindóia: Abrapec, 2015** . Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/listaresumos.htm>>. Acesso em: 24 set. 2016.

SÁ, R. G. B; JÓFILI, Z. M. S.; CARNEIRO-LEÃO, A. M. Um estudo sobre a evolução do conceito de respiração. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 8., 2011, Campinas. **Atas eletrônicas ...Rio de Janeiro: UFRJ, 2011**. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viiienpec/resumos/R1457-2.pdf>. Acesso em: 25 set. 2016.

_____. Refletindo a construção do conceito sistêmico de respiração entre alunos de pós-graduação *stricto sensu*. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Atas eletrônicas... Belo Horizonte: UFMG, 2009**. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/1662.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2016.

_____. Concepções espontâneas de respiração pulmonar por alunos do ensino fundamental 1. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 5., 2005, Bauru. **Atas eletrônicas...Bauru: Abrapec, 2006**. Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/venpec/conteudo/artigos/1/pdf/p609.pdf>. Acesso em: 25 set. 2016.

SÁ, R. G. B; SOUZA, A. F.; JÓFILI, Z. M. S. A compreensão do processo respiratório por licenciandos em biologia: implicações para sua formação. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO SUPERIOR: formação de professores e ensino por competências, 2., 2014, João Pessoa. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269394863_A>

COMPREENSAO _DO_PROCESSO_RESPIRATORIO_POR_LICENCIANDOS_EM_BIOLOGIA_IMPLICACOES_PARA_SUA_FORMACAO>. Acesso em: 26 set. 2016.

TOPSAKAL, U. U.; OVERSBY, J. What do scientist and non-scientist teachers notice about biology diagrams? **Journal of Biological Education**, v.47, p. 2128, 2013.

VIENNOT; L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **European Journal of Science Education**, v. 1, n. 2, p. 205-221, 1979.

1 QUADRO TEÓRICO-CONCEITUAL

Este capítulo está organizado em três seções. Na primeira, apresentamos nossa construção do conceito de esquema adotado nesta tese. Assumimos que os esquemas utilizados em situações de ensino e aprendizagem de conceitos científicos são representações visuais imagéticas. Dessa forma, partimos do conceito de esquema de Vezin (1987) e do significado dicionarizado das palavras esquema e representação, avançando na conceituação de esquema tendo como referencial a Semiótica de Charles Peirce e seus estudos sobre signo.

A segunda seção é dedicada à leitura de esquemas. Nela, apresentamos inicialmente ideias referentes à leitura de textos escritos e nos posicionamos em favor de um conceito ampliado de texto, materializado em diferentes suportes, o que aponta para a existência de textos imagéticos. Assim, entendendo que uma imagem veicula um texto, é legítimo falar em leitura de *imagens* e trazer à discussão considerações acerca da leitura de textos escritos que consideramos pertinentes também aos textos imagéticos. A partir dos conceitos da Iconologia de Erwin Panofsky, concebida como um método historiográfico para análise de obras de arte, apresentamos uma adaptação para a leitura de esquemas, aplicada na análise dos dados coletados na pesquisa. Apresentamos, também, elementos da Teoria da Dupla Codificação de Alan Paivio, que busca explicar os mecanismos do processamento da informação no sistema mental dos indivíduos. Ainda na mesma seção, discorreremos sobre relações sintáticas, semânticas e pragmáticas entre texto-imagem, com base em Santaella (2012) e exemplificamos com algumas imagens em livros didáticos de Ciências e Biologia.

Na terceira e última seção deste capítulo, tecemos considerações sobre esquemas e o ensino e a aprendizagem da respiração. Na sequência, apresentamos nossa tipologia de esquemas juntamente com algumas breves considerações sobre essas representações e suas relações com o texto didático e as legendas, que consideramos pertinentes no contexto de utilização de esquemas em contexto educacional. Ao final, informamos as referências bibliográficas utilizadas neste capítulo.

1.1 ESQUEMA: CONSTRUINDO UM CONCEITO

Consideramos que os esquemas objeto deste estudo são parte de um conjunto de *representações* visuais comumente utilizadas no contexto escolar e presentes em grande quantidade nos materiais didáticos, particularmente nos livros didáticos produzidos para o ensino e a aprendizagem de disciplinas científicas.

Em Santaella e Nöth (1998), encontramos exemplos do que são representações visuais: desenhos; pinturas; gravuras; fotografias; imagens cinematográficas, televisivas, holográficas e infográficas. Acrescentamos aos exemplos citados os gráficos, organogramas, heredogramas, cladogramas e esquemas.

Mendes e Carneiro (2020) apontam a variedade de significados atribuídos ao termo esquema, tais como sinopse, resumo, esboço, representação de um corte anatômico, descrição do funcionamento de um sistema, entre outras, o que nos leva necessariamente a definir, no âmbito deste trabalho, a que nos referimos quando falamos de esquema. Vezin (1987) se refere a esquema como a representação figurada de um conhecimento, utilizando formas e dimensões para reproduzir as características consideradas essenciais para uma categoria de objetos, conceitos ou fenômeno.

Partiremos da definição dos autores citados acima, buscando suporte, também, no significado dicionarizado das palavras esquema e representação. Para tanto, nossas referências são o Dictionnaire Alphabétique & Analogique de La Langue Française, o Oxford Advanced Learner's Dictionary, o Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa, o Dicionário de Latim-Português, o Dicionário Etimológico Nova Fronteira da Língua Portuguesa e o Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa Michaelis online.

No Dicionário Latim-Português é apresentada a origem grega da palavra esquema como “forma, figura, aspecto, figura geométrica” (FERREIRA, 1987). Na língua francesa, conforme nossa tradução, dois entre significados possíveis da palavra esquema são: uma figura geométrica; representação figurada simplificada e funcional de um objeto, de um movimento ou de um processo. “Schéma: figure

géométrique; figure donnant une représentation simplifiée et fonctionnelle (d'un objet, d'un mouvement, d'un processus". (ROBERT, 1977, p.1776).

Na língua inglesa, traduzimos o adjetivo *schematic* como: na forma de um diagrama que mostra as principais características ou relações, mas não os detalhes. "Schematic: in the form of a diagram that shows the main features or relationships but not the details: a schematic diagram". (HORNBY, 2015, p. 1365).

Na língua portuguesa esquema significa, entre outros, "figura que representa não a forma dos objetos, mas as suas relações e funções; sinopse, resumo, esboço". (FERREIRA, 2010, p. 710).

Em relação ao verbo representar, etimologicamente derivado do latim *repraesentare*, temos "ser a imagem ou a reprodução de", "patentear", "significar". (CUNHA, 1982, p. 677). Quanto ao substantivo representação, o Dicionário Michaelis, versão online, traz 18 significados, entre eles, "ato pelo qual se faz vir à mente a ideia ou conceito correspondente a um objeto que se encontra no inconsciente",

Observa-se nas definições anteriores que *representação* se refere a algo que apresenta, mostra as características ou qualidades de outro além de si mesmo. Também se refere ao efeito que essa apresentação desencadeia, originando uma ideia.

Certo é que poderíamos ampliar essa busca por um significado para representação a partir de derivações, como por exemplo o significado de ideia e de reprodução. Entendemos, entretanto, que já alcançamos o suficiente para atender, preliminarmente, ao propósito da busca por um significado para *representação* que nos permita apresentar nosso conceito de esquema.

Em caráter provisório, partindo das definições de esquema e representação apresentadas anteriormente, neste trabalho consideramos esquema, inicialmente, como uma *imagem que reproduz as principais características, relações ou funções de um objeto, fenômeno ou processo*.

Tendo em vista que a palavra imagem é usada na definição de representação, faz-se necessário esclarecer também o que é imagem. Nas seções subsequentes, apresentaremos considerações teórico-conceituais acerca do

fenômeno da representação, a partir do conceito de signo até alcançar o conceito de imagem para então apresentarmos o conceito de esquema utilizado nesta tese.

1.1.1 Representação, signo e imagem

É comum o uso da expressão “civilização da imagem”. O uso banal dessa expressão revela, como observa Aumont (2002), o sentimento generalizado de imersão em um mundo onde proliferam imagens cada vez mais variadas e intercambiáveis.

De fato, inúmeras são as esferas da atividade humana envolvidas com as imagens que o vocábulo termina por incorporar significados diversos e, por vezes, ambíguos. A polissemia da palavra imagem exemplifica-se por meio de seu uso para designar reflexo, semelhança, imitação, representação, fotografia, imaginação, mídia, metáfora, entres outros exemplos. (JOLY, 2003; SANTAELLA, 2012).

Santaella e Nöth (1998, p.15) contribuem para uma organização primária dessa diversidade ao se referirem a dois domínios nos quais pode-se dividir o mundo das imagens: o domínio das representações visuais, no qual imagens como desenhos, pinturas, fotografias “são objetos materiais, signos que representam nosso meio ambiente visual”; e o domínio imaterial das imagens mentais. Podemos então falar em imagens materiais e imagens imateriais; representações visuais e representações mentais⁷.

Posteriormente, Santaella (2012) refere-se à aplicação ao uso do termo *imagem* para realidades não visuais (nesse caso tem-se, por exemplo, a *imagem musical*) e realidades visuais, “território da visualidade” para o qual a autora apresenta cinco domínios da imagem:

- Imagens diretamente perceptíveis, apreendidas do mundo visível, da realidade que nos cerca.
- Imagens verbais, tais como as metáforas e as descrições.
- Imagens ópticas, exemplificadas pelos espelhos e pelas projeções.

⁷ Formas de representar internamente o mundo exterior.

- Imagens como representações visuais, exemplificadas pelos desenhos, fotografias, gravuras, imagens computacionais, pinturas, entre outras criadas e produzidas artificialmente pelos seres humanos – e nesse domínio se incluem os esquemas científicos objeto desta tese.
- Imagens mentais, que podem ou não ter vínculos com imagens já percebidas, existentes no mundo real, porquanto nossa mente tem o poder de projetar formas e configurações.

É oportuno uma breve digressão para apresentarmos uma distinção que consideramos bastante didática entre imagens mentais e esquemas mentais, para esclarecermos acerca da distinção entre esquemas mentais e o esquema objeto deste trabalho.

a imagem mental corresponde à impressão que temos, quando [...] lemos ou ouvimos a descrição de um lugar, de *vê-lo* quase como se estivéssemos lá. [...] A imagem mental distingue-se do esquema mental, que reúne os traços visuais suficientes e necessários para reconhecer um desenho, uma forma visual qualquer. Trata-se de um modelo perceptivo de objeto, de uma estrutura formal que interiorizamos e associamos a um objeto, que pode ser evocado por alguns traços visuais mínimos. (JOLY, 2003, p. 19).

Um quadrado sobre dois círculos é o esquema mental que muitos elaboram para um automóvel. É o modelo perceptivo associado ao objeto automóvel, que nos possibilita evocar esse objeto pelo reconhecimento dos traços visuais mínimos do quadrado como a carroceria e dos dois círculos como as quatro rodas.

As imagens mentais e os esquemas mentais são objeto de estudo da ciência da cognição, ao passo que o esquema para o qual buscamos elaborar um conceito é um objeto do mundo material, uma representação visual, um *signo* do mundo e, como tal, objeto de estudo da Semiótica, domínio para o qual nos voltaremos agora.

A palavra semiótica, etimologicamente, é derivada do grego *semeion* (signo), e *sema* (sinal, signo), e pode em suas origens ser entendida como campo de estudo dos signos e dos sinais (Nöth, 2006).

Atualmente, considera-se a Semiótica “a ciência que tem por objeto de investigação todas as linguagens possíveis, ou seja, que tem por objetivo o exame

dos modos de constituição de todo e qualquer fenômeno de produção de significação e de sentido" (SANTAELLA, 1983, p.13).

Joly (2003) apresenta a Semiótica como uma disciplina recente, porém com raízes na Antiguidade grega e aponta como seus grandes precursores o linguista Ferdinand de Saussure e o cientista Charles Sanders Peirce⁸. Também Santaella (1983, p. 11) considera a semiótica “a mais jovem ciência a despontar no horizonte das chamadas ciências humanas” e indica três origens distintas e quase simultâneas, na União Soviética, na Europa Ocidental e nos EUA, neste a partir dos trabalhos de Peirce.

Saussure, apesar de ter como princípio não ser a língua o único sistema de signos para expressar as ideias com as quais nos comunicamos, empenhou-se em estudar a natureza do signo linguístico, o que não se aplica a esta tese.

Não contrariamente, mas sob um viés mais abrangente e generalizante por não se pretender especializada, a teoria semiótica de Peirce, mais especificamente em seu ramo⁹ chamado *gramática especulativa*, ocupou-se do estudo dos mais variados tipos de signos. Forneceu-lhes “as definições e classificações para a análise de todos os tipos de linguagens, signos, sinais, códigos etc., de qualquer espécie e de tudo que está neles implicado, a representação e os três aspectos que ela engloba: a significação, a objetivação e a interpretação” (SANTAELLA,

⁸ “Charles Sanders Peirce (1839-1914) pode ser considerado o maior filósofo nascido no continente americano. Polímata, foi cientista por formação e profissão. Formou-se em química em Harvard, obtendo pela primeira vez a distinção *summa cum laude*, a mais alta da universidade. De 1859 a 1891, foi geofísico e astrônomo da *United States Coast and Geodetic Survey*, e, com suas pesquisas, inseriu definitivamente os EUA no cenário internacional das ciências físicas. Foi o primeiro a relacionar o comprimento do metro ao comprimento de onda da luz e também o primeiro a tentar definir a forma da Via Láctea pela medição do brilho das estrelas, apontando erros nas observações gravitacionais europeias e estabelecendo um novo modelo internacional para medições estatísticas. Da matemática à história da filosofia e da ciência, passando pela enologia e pela fonética da língua inglesa do período elizabetano, sua obra é imensa. Mas ele mesmo sempre se declarou acima de tudo um lógico. De fato, seu trabalho nessa ciência é prolífico e aparentemente inesgotável, com proeminência para a sua semiótica, ou teoria geral dos signos, pela qual ficou mundialmente conhecido. (Enciclopédia Jurídica, PUC/SP).

⁹ A Semiótica peirceana, ou Lógica, organiza-se em três ramos: a gramática especulativa, mais conhecido no decorrer do século XX e onde são estudados os mais variados tipos de signos; a lógica crítica estuda os tipos de inferências, raciocínios ou argumentos; e o terceiro ramo, chamado de retórica especulativa ou metodêutica analisa os métodos originados de cada um dos tipos de raciocínio. A Lógica ou Semiótica de Peirce é uma das disciplinas que compõem a tríade das ciências normativas (estética, ética e lógica). O complexo arcabouço filosófico peirceano compõe-se, dessa forma, pelas ciências normativas antecedidas pela fenomenologia e precedidas pela metafísica (SANTAELLA, 2005, 2012).

2012, p.5). Daí porque nossa opção pelos conceitos da semiótica peirceana neste trabalho.

Representar, para Peirce (2005, p.61), significa “estar em lugar de, isto é, estar em relação tal com outro que, para certos propósitos, é considerado por alguma mente como se fosse esse outro”.

Santaella e Nöth (1998) destacam que em sua fase inicial Peirce intercambia o uso dos termos *signo* e *representação*. Posteriormente¹⁰, na intenção de estabelecer a distinção entre os dois termos, Peirce referiu-se à representação como o ato ou relação de representação e introduz o termo *representâmen* (face perceptível do signo) para distinguir representação de signo. “Quando se deseja distinguir entre aquilo que representa e o ato ou relação de representação, pode-se denominar o primeiro de *representâmen* e o último de *representação*”. (PEIRCE, 2005, p.46).

Entre as diversas definições de signo apresentadas por Peirce, transcrevemos uma bastante esclarecedora em relação tanto à estrutura quanto ao funcionamento do signo.

In another paper, I intend to give the formal definition of a sign, which I have worked out by arduous and long labour. I will omit the explanation of it here. Suffice it to say that a sign endeavours to represent, in part at least, an Object, which is therefore in a sense the cause, or determinant, of the sign even if the sign represents its object falsely. But to say that it represents its Object implies that it affects a mind, and so affects it as, in some respect, to determine in that mind something that is mediately due to the Object. That determination of which the immediate cause, or determinant, is the Sign, and of which the mediate cause is the Object may be termed the *Interpretant* [...] (CP 6.347)¹².

¹⁰ No capítulo intitulado Fragmentos esparsos, numa alusão ao fato de Peirce nunca ter escrito um tratado de semiótica, Romanini (2006) observa que a variedade de fontes e tempos dos quais os textos de Peirce foram coletados e compilados evidencia uma teoria sempre em evolução. Peirce revisava sua classificação dos signos e introduzia novos termos cada vez que se debruçava sobre ela.

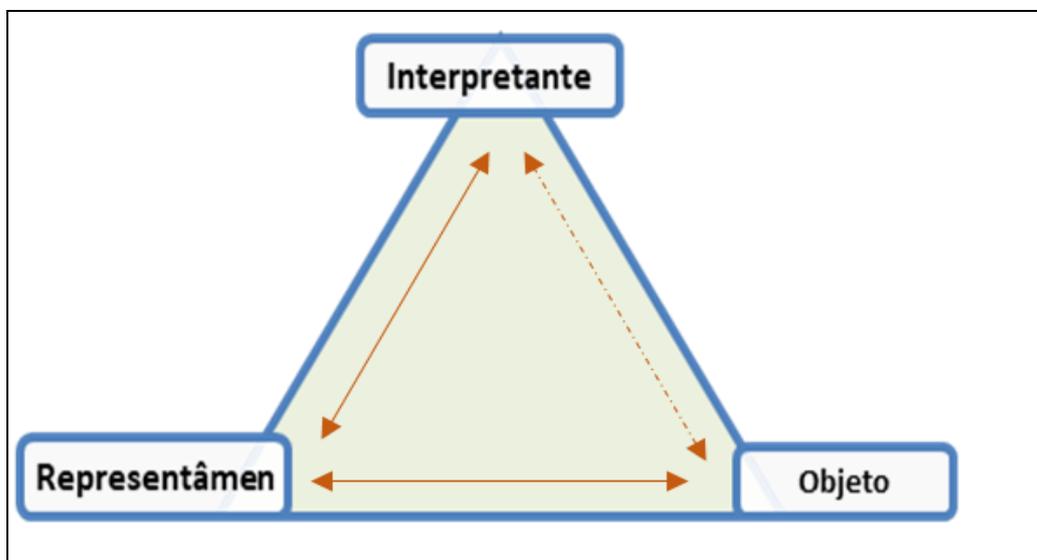
¹¹ Em outro artigo, pretendo apresentar uma definição formal de signo, na qual cheguei por meio de longo e árduo trabalho. Omitirei a explicação aqui. Basta dizer que um signo procura representar, pelo menos em parte, um Objeto, que é em certo sentido a causa ou determinante do signo, mesmo se o signo representar falsamente seu objeto. Entretanto, dizer que o signo representa seu objeto implica que ele afete uma mente de forma a nela determinar algo que é mediatamente devido ao Objeto. Essa determinação cuja causa imediata ou determinante é o Signo, e da qual a causa mediata é o Objeto, pode ser chamada **Interpretante [...]** (tradução nossa).

¹² CP refere-se a Collected Papers, uma coletânea dos textos de Peirce, capítulo VI, parágrafo 347.

Podemos afirmar que, para Peirce, o signo é uma *coisa* que representa outra *coisa*, que é o objeto do signo. Ele representa esse objeto para um intérprete, em cuja mente é produzido um efeito interpretativo que é um outro signo também, relacionado ao objeto não diretamente mas mediado pela ação do signo-representâmen. Esse efeito interpretativo denomina-se interpretante e o processo de apreensão e compreensão de um signo é designado semiose.

Dessa forma, o signo para funcionar como tal (ou seja, representar) pressupõe três componentes: o representâmen, o objeto e o interpretante, em uma relação triádica (Figura 3).

Figura 3 – Tríade semiótica segundo Peirce



Fonte: A autora com base em Peirce

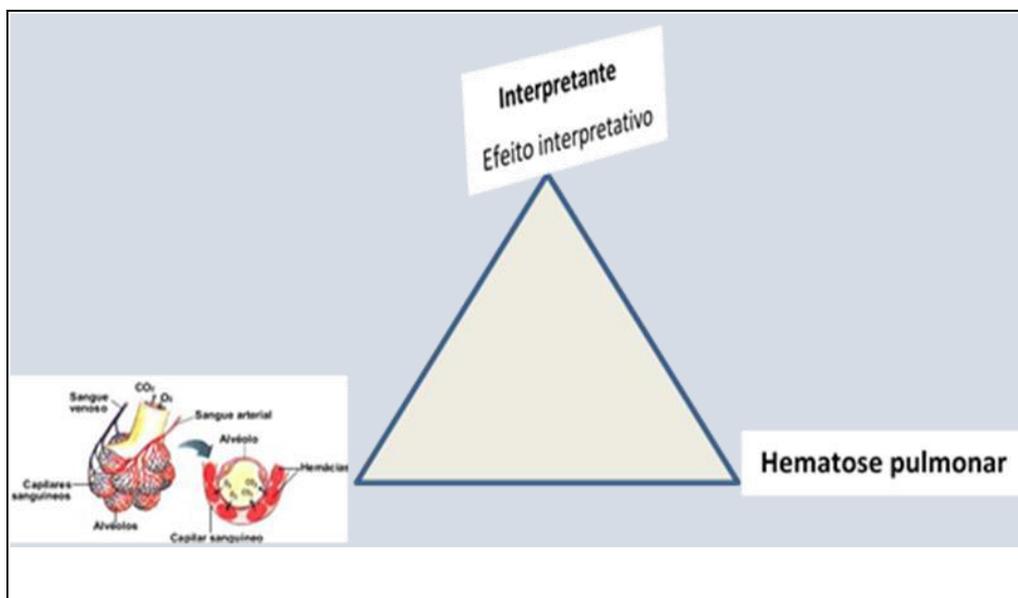
*A seta pontilhada representa uma relação mediada pelo signo

Um esquema representativo de um objeto do conhecimento científico em um livro didático é um signo na medida em que representa algo para um intérprete – professor ou aluno; ou seja, o esquema representa um fenômeno, uma estrutura, uma função (que são o objeto do signo) gerando no intérprete do signo (professor, aluno) um efeito interpretativo (interpretante), como ilustrado na Figura 4.

Um signo tem dois objetos: o objeto dinâmico, que é aquilo que o signo substitui e o objeto imediato, que é a forma como o objeto dinâmico está representado no signo (a aparência, as cores utilizadas, o ângulo, a iluminação, a perspectiva, a tipografia, a intensidade, o volume etc). Tomando a Figura 4 como exemplo, o objeto dinâmico é algum aspecto do fenômeno da hematose pulmonar

a ser representado pelo signo. Esse aspecto está representado no signo por meio de uma composição formada por desenho em cores associado a setas, palavras e fórmulas, que indicam estruturas, compostos e processos. Essa composição é o objeto imediato do signo.

Figura 4 - Exemplo de relação triádica



Fonte: Elaborado pela autora

*A imagem usada na composição dessa figura foi extraída de <http://www.alunosonline.com.br/upload/conteudo/images/alveolo.jpg> Acesso em: 16 jan 2020.

Os objetos dinâmico e imediato de um signo resultam em três interpretantes: imediato, dinâmico e final. O interpretante imediato é a *potencialidade* do signo em produzir algo na mente do intérprete e depende da natureza do signo. Ainda que não exista o intérprete, o signo carrega em si essa potencialidade. É como um documentário sobre atrocidades cometidas em uma guerra que, ainda que censurado ou nunca assistido, tem em si um potencial interpretativo. Devido a seus atributos, possivelmente desencadeará no intérprete que porventura o assista reações de indignação, tristeza, revolta, negação.

O interpretante dinâmico corresponde ao que o signo efetivamente produz na mente a qual o signo se dirige. O resultado interpretativo a que toda mente exposta ao signo deveria chegar corresponde ao interpretante final.

É importante esclarecer que um signo não representa seu objeto em todos os aspectos, mas naqueles possíveis de serem representados em função da

natureza do signo, do seu fundamento, conforme explanaremos adiante. Se assim o fizesse, não seria um signo e, sim, o próprio objeto.

Santaella (2005) chama a atenção para a limitação do repertório do intérprete do signo na determinação do interpretante dinâmico. Esta é uma observação que tem implicações para a utilização de imagens e diagramas que, como veremos, são signos que juntamente com representações simbólicas estruturam representações visuais presentes nos livros didáticos, tais como gráficos, pirâmides de energia, cadeias e teias alimentares, tabela periódica, esquemas etc.

Ainda que essas representações, na condição de signos de processos, fenômenos etc., tenham o potencial de produzir um efeito interpretativo que corresponda à correta compreensão dos objetos que representam, o interpretante dinâmico depende do repertório de conhecimentos do aluno. Isso inclui também conhecimento sobre a forma de produção e leitura dessas representações.

Uma ocorrência que ilustra a afirmação acima relaciona-se a nossa prática docente e, possivelmente, seja comum a muitos dos professores de Ciências e Biologia que porventura venham a ler esta tese: as dificuldades apresentadas pelos estudantes na identificação de células em aulas práticas de microscopia. O repertório de conhecimento do aluno em relação à célula, grosso modo, tem o suporte referencial do livro didático, no qual a célula é representada de forma geralmente arredondada, colorida, em corte, evidenciando as organelas. Ao observar a célula com o auxílio do microscópio, em um primeiro momento o aluno não identifica a célula, não “enxerga” porque busca uma imagem que corresponda àquela do livro didático. Há também o caso de o aluno enxergar a bolha de ar que se forma entre a lâmina e a lamínula e identificar como célula ao comparar o atributo forma arredondada da imagem da célula ao microscópio com a forma arredondada da célula representada no livro didático.

No exemplo exposto, a ideia que o aluno tem de célula, seu repertório de conhecimento acerca do objeto célula influencia a determinação do interpretante dinâmico célula. Decorre daí a importância de o professor ter conhecimento desse repertório, a fim de orientar sua prática no sentido de maximizar as potencialidades

das representações visuais em termos de suporte para a construção de novos conhecimentos e a compreensão dos fenômenos estudados.

Além disso, discutir com os alunos as representações visuais, no sentido de evidenciar seus atributos formais, os significados simbólicos das cores utilizadas, a escala na composição e outros, além de ampliar o repertório de conhecimentos contribui para evitar significações equivocadas do ponto de vista do conhecimento formal, que podem obstaculizar a aprendizagem.

No caso da visualização da célula ao microscópio, deve-se explicar ao aluno que o que ele vê de fato não é a célula, mas a imagem da célula construída por meio de um jogo de lentes e espelhos e que, tal qual a imagem colorida da célula no livro didático, a imagem da célula obtida por meio do microscópio é uma entre muitas representações possíveis do objeto célula com as quais ele pode se deparar ao longo de sua escolarização.

1.1.2 Classificação dos signos

Peirce elaborou uma extensa e complexa classificação dos signos, organizando-os em tricotomias, tendo como base as categorias referenciais e fenomenológicas. Primeiramente, a partir da observação direta dos fenômenos e da forma como esses se apresentam, estabeleceu as categorias elementares e universais de toda a experiência e de todo o pensamento, esse compreendido como mediação interpretativa entre nós e os fenômenos. “Elementares porque são constituintes de toda e qualquer experiência, universais porque necessárias a todo e qualquer entendimento que possamos ter das coisas, reais ou fictícias” (SANTAELLA, 2005, p.34).

Considerando o que aparece a cada um de nós, Peirce (2005) chegou a suas três categorias universais, referidas como tríade, para as quais forjou os termos *Firstness*, *Secondness* e *Thirdness*, traduzidos como Primeiridade, Secundidade e Terceiridade, tendo afirmado serem essas categorias “ingredientes constantes de nosso conhecimento”.

Parece, portanto, que as verdadeiras categorias da consciência são: primeira, sentimento, a consciência que pode ser compreendida como um instante do tempo, consciência passiva da qualidade, sem

reconhecimento ou análise; segunda, consciência de uma interrupção no campo da consciência, sentido de resistência, de um fato externo ou outra coisa; terceira, consciência sintética, reunindo tempo, sentido de aprendizado, pensamento (PEIRCE, 2005, p.13)

A primeiridade é, assim, uma qualidade de sentimento não analisado, sem resistência, “algo que é aquilo que é sem referência a qualquer coisa dentro dele, ou fora dele, independentemente de toda a força e de toda razão” (PEIRCE, 2005, p. 24). Um instante de consciência imediata, sem julgamento. O sentimento puro diante do branco, por exemplo, da qualidade do branco da nuvem, do branco da neve, mas sem a nuvem e sem a neve. Sem a referência externa, apenas o branco. Qualidade do que é tal qual é, uma relação monádica.

A secundidade é a categoria da reação, na qual o sentimento não analisado se materializa como condição de sua existência. O sentimento imediato do branco é agora a neve. É, assim, uma relação diádica que nos impulsiona para a terceiridade, para a síntese intelectual o *branco da neve* a partir da camada mediadora da razão ou lei.

A terceiridade é a camada de inteligibilidade por meio da qual interpretamos o mundo com a mediação dos signos. Um exemplo bastante utilizado em textos sobre as categorias universais de Peirce é o esclarecimento a seguir, feito por Pignatari

Estou caminhando por uma via de um grande centro urbano, sem que nenhuma ideia me ocupe a mente de modo particular e nenhum estímulo exterior enrijeça a minha atenção: em estado aberto de percepção cândida, digamos. Ou seja, em estado de primeiridade. Por um acidente qualquer – um raio de sol refletido num vidro de um edifício – minha atenção isola o referido edifício do conjunto urbano, arrancando-me da indeterminada situação perceptiva do estado anterior, ancorandome no aqui-e-agora da secundidade. Em seguida, constato que essa construção é um “arranha-céu de vidro”, que se insere no sistema criado por Mies van der Rohe, nos anos 20; que Mies, por seu lado, nada mais fez do que desenvolver as possibilidades construtivas do aço e do vidro, coisa que Paxton já havia feito no seu famoso “palace made of windows” (Thackeray), o Palácio de Cristal, de Londres, em 1851 etc. etc. Este estado de consciência corresponde à terceiridade. (PIGNATARI, 2004, p. 46).

Para Peirce, a forma mais simples da terceiridade manifesta-se no signo, uma vez que o signo é algo que se apresenta à mente (um primeiro), ligando aquilo

que ele representa (um segundo) ao efeito interpretativo (um terceiro) que ele, signo, provocará em um intérprete. É, portanto, uma relação triádica.

Na condição de relação triádica, pressupõe a presença imperativa de três elementos fundamentais interdependentes: o objeto (que será representado), um signo correspondente ao objeto e um efeito interpretativo na mente de um intérprete do signo, efeito esse que é o interpretante (que, por sua vez, também é um signo).

Desta forma, signo pode ser qualquer coisa (um esquema, um mapa, um gesto, uma música, uma roupa, um livro, um prédio, um filme, uma bandeira tremulando, um pensamento) que representa algo além de si mesmo (objeto do signo, que pode também ser qualquer coisa) produzindo em uma mente real ou potencial um efeito interpretativo.

No que concerne às categorias referenciais, Peirce (2005) classificou o signo em relação a si mesmo, em sua relação com o objeto e em sua relação com o interpretante.

A primeira tricotomia trata da relação do signo consigo mesmo e determina três tipos de signo: qualissigno, sinsigno e legisigno. O qualissigno é uma qualidade que é um signo. “Não pode realmente atuar como signo até que se corporifique; mas esta corporificação nada tem a ver com seu caráter como signo, só podendo atuar como signo ao corporificar algo” (PEIRCE, 2005, p. 52). Voltando ao exemplo da cor branca, sem a neve ou qualquer outra referência que a corporifique. As inúmeras possibilidades sugestivas da cor branca – espuma do mar, nuvem, algodão, véu da noiva lhe conferem a possibilidade de funcionar como signo.

O sinsigno refere-se ao caráter de existência do signo. Um evento, qualquer evento ou existente real em sua singularidade, é um signo. O sinsigno incorpora as qualidades do qualissigno. A cor vermelha em seu caráter de qualidade é um qualissigno que, ao corporificar-se na fita indicadora de pH, por exemplo, atua como um signo, neste caso um sinsigno: o evento singular *fita indicadora de pH de cor vermelha*.

Um legisigno é uma lei estabelecida por convenção, que é um signo. Uma palavra tem a propriedade de lei por pertencer a um sistema próprio de cada língua que faz com que cada vez que ela ocorra, seja em um dicionário, em um texto, ou

em um diálogo ela signifique aquilo que o sistema a que pertence determina. Vermelho, na condição de uma palavra, é um legissigno.

A segunda tricotomia refere-se à relação do signo com seu objeto e, assim, a que importa ao nosso propósito de construir um conceito para esquema. O ícone é o “signo que se refere ao objeto que denota apenas em virtude de seus caracteres próprios, *caracteres que ele igualmente possui* (grifo nosso)” (PEIRCE, 2005, p. 52). O desenho do pulmão no esquema dos movimentos dos gases respiratórios (Figura 5) é um *ícone*, uma vez que denota o objeto pulmão reconhecível pelas características (forma, cor, proporção) compartilhadas pelo signo, em uma relação de analogia.

É importante registrar que, muitas vezes, essa analogia não é percebida pelo aluno. Lembramos aqui o exemplo já mencionado, quando o aluno se depara com a imagem da célula ao microscópio que em nada se assemelha à representação da célula em um livro didático e reforçamos a necessidade do professor trabalhar com os alunos a leitura das representações visuais, apontando as semelhanças quando existirem e esclarecendo as generalizações aportadas por esses dispositivos, bem como atentar para a importância da legenda e da relação entre a representação visual e o texto didático que a complementa, contextualiza ou explica.

Ainda na segunda tricotomia, o *índice* é um signo que se refere ao objeto em virtude de ser afetado por ele (PEIRCE, 2005), de maneira que o interpretante se constitui a partir do estabelecimento de relações de contiguidade física entre signo e objeto que, de alguma forma, afeta o signo. Uma pegada na areia é um índice de que alguém pisou no lugar onde a marca foi deixada, uma vez que denota uma contiguidade física entre o pé e a areia. Deve-se apontar, entretanto, o caráter icônico de alguns índices, como quando deixamos nossas digitais na maçaneta de uma porta ou a marca dos dentes ao mordermos uma maçã, por exemplo.

A palidez no rosto pode representar espanto ou medo, uma vez que em um mecanismo de defesa recebemos uma descarga de adrenalina que nos prepara para a ação ao mesmo tempo em que nossos vasos periféricos se contraem para aumentar o fluxo sanguíneo em nossos órgãos internos; a cor vermelha na fita de pH é um índice que denota acidez, uma vez que os indicadores impregnados no

papel de que é feita a fita mudam de cor em contato (contiguidade física, relação causal) com os íons presentes em uma solução. A mesma cor vermelha no rosto de uma criança ao voltar do recreio na escola pode indicar que ela estava correndo. O índice é, assim, o signo que é afetado por seu objeto.

Por último, na relação do signo com o objeto, o *símbolo* é o signo que se refere ao objeto que denota em virtude de uma lei (PEIRCE, 2005). As palavras ar, oxigênio, gás (e todas as demais no esquema dos movimentos dos gases respiratórios), são símbolo dos objetos que denotam por convenção da língua a que pertencem. Da mesma forma são as setas ou as cores, pois se tratam de signos interpretados por regras convencionadas. É, assim, uma relação caracterizada pela arbitrariedade, na qual o signo se conecta ao seu objeto por meio de uma regra associativa em virtude de uma ideia existente na mente que usa o signo. Santaella (2012) chama a atenção para o fato de que é premissa para que o símbolo signifique (represente) que a lei que lhe dá fundamento esteja internalizada na mente daquele a quem o signo se apresenta: o intérprete do signo.

Peirce dedica várias páginas de seus manuscritos, ainda que nem sempre em sequência, descrevendo a tríade ícone-índice-símbolo. Dentre as inúmeras descrições, uma explícita de maneira bastante esclarecedora a tríade.

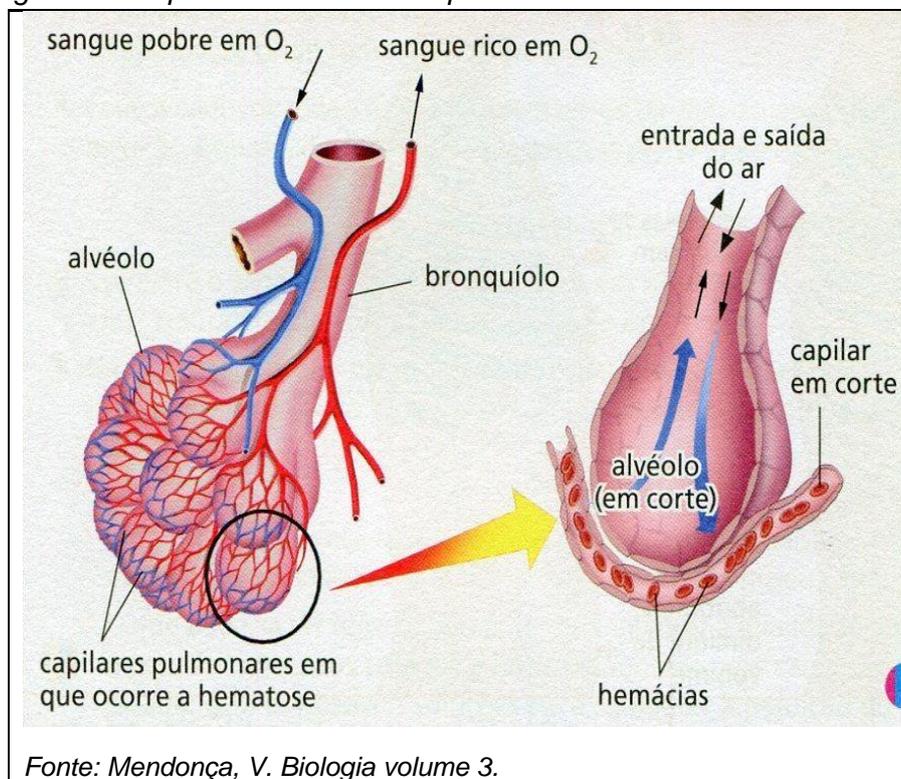
O ícone não tem conexão dinâmica alguma com o objeto que representa; simplesmente acontece que suas qualidades se assemelham às do objeto e excitam sensações análogas na mente para a qual é uma semelhança.[...] O índice está fisicamente conectado com seu objeto; formam, ambos, um par orgânico, porém a mente interpretante nada tem a ver com essa conexão, exceto o fato de registrá-la, depois de ser estabelecida. O símbolo está conectado a seu objeto por força da ideia da mente que usa o símbolo, sem a qual essa conexão não existiria. (Peirce, 2005, p. 73).

Essa conexão necessária do símbolo a uma ideia na mente do intérprete é de suma importância na utilização de representações visuais que aportam elementos simbólicos em sua composição. Tomando como exemplo o esquema do movimento dos gases respiratórios (Figura 5), evidenciamos a presença de símbolos, tais como palavras, cores, setas, fórmulas. Se as regras associativas que permitem conectar os símbolos citados ao seu objeto não estiverem presentes na mente do aluno, ou seja, se este não tiver internalizado as leis que fundamentam

os símbolos, seu uso torna-se inócuo uma vez que sem o seu fundamento nenhum símbolo pode significar.

Em nossa prática docente, inúmeras vezes presenciamos situações em que alunos não respondiam questões em provas ou testes por não identificarem elementos ou substâncias por meio de suas fórmulas. Até mesmo as cores, que no caso do esquema abaixo são distintas da característica rico em oxigênio (vermelho) e pobre em oxigênio (azul), dependem da internalização de regras interpretativas para determinarem a significação.

Figura 5 - Esquema de um alvéolo pulmonar.



Especificamente em relação a essas duas cores, não encontramos nenhuma alusão ao porquê do seu uso como signo para a qualidade de rico/pobre em oxigênio. Os livros didáticos não explicam, nem mesmo uma enquete informal com professores de Ciências e Biologia apresentou respostas consensuais. Nossa hipótese explicativa é que se trata de uma analogia, uma vez que o sangue arterial se apresenta de cor vermelha bastante viva em decorrência da oxidação dos átomos de ferro da hemoglobina (a cor vermelha, no caso do sangue que circula

no corpo, é um índice da quantidade de oxigênio). Entretanto, tratando-se de convenção para representar o objeto rico em/pobre em oxigênio, ela precisa ser compartilhada pelas mentes intérpretes do signo. Parece-nos, e isso inferimos de nossa prática docente, tratar-se de uma convenção estabelecida de maneira tácita e não explícita, uma vez que o aluno é desde cedo exposto a essas duas cores em situações de representação de arterial/venoso, rico em oxigênio/pobre em oxigênio que acaba por internalizar a convenção, ainda que sem uma exposição formal à regra.

A terceira tricotomia¹³ apresenta a relação entre o signo e o efeito interpretativo (interpretante) na mente daquele a quem o signo se apresenta (o intérprete do signo). Nöth (1995) explica que a terceira tricotomia corresponde à dos signos que superaram o quadro proposicional e participam de um discurso racional mais estendido. O signo em relação ao interpretante pode ser um rema, um dicente ou um argumento.

O rema é um signo em nível de possibilidade qualitativa, sendo interpretado como o representante de uma qualidade que poderia se corporificar em algum objeto possivelmente existente “[...] qualquer signo que não é verdadeiro nem falso, como quase cada palavra por si, exceto sim e não” (CP,8.337, tradução nossa), dado que palavras enunciadas isoladamente não são passíveis de certificação.

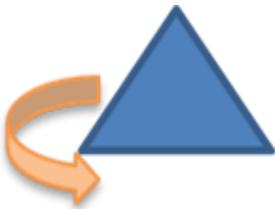
O dicente ou dicissigno é “um signo de existência real” (CP,2.251) ou um “signo que veicula informação” (CP,2.309). “A prova característica mais à mão que mostra se um signo é um dicissigno ou não, é que o dicissigno ou é verdadeiro ou é falso, mas não fornece as razões de sê-lo.” (CP,2.310, tradução nossa). Um dicente é a combinação de ao menos um argumento e um predicado, do tipo “A” é “B”. Nöth (1995, p.88) situa o signo dicente na categoria lógica da proposição, que corresponde à unidade mínima para exprimir ideias que podem ser verdadeiras ou falsas.

¹³ Segundo Peirce, a terceira tricotomia “corresponde à antiga divisão (da lógica) entre termo, proposição e argumento, modificada para ser aplicável aos signos em geral”. (tradução nossa) [...] This corresponds to the old division, Term, Proposition, and Argument, modified so as to be applicable to signs generally. (CP, 8.337).

O argumento é o “signo de uma lei” (CP, 2.252), “[...]segundo a qual a passagem das premissas para as conclusões tende a ser verdadeira” (CP,2:263). Nöth (1995) exemplifica a categoria do argumento com o caso do silogismo, “a dedução formal de uma conclusão de, ao menos, duas premissas do tipo A é B, B é C, logo A é C”.

A Figura 6 ilustra as três tricotomias segundo características referenciais dos signos, descritas anteriormente.

Figura 6 – Tricotomias peirceanas segundo a referência signo/objeto/interpretante

 <p>Signo-Signo</p>	 <p>Signo-Objeto</p>	 <p>Signo-Interpretante</p>
<p>Qualissigno Sinsigno Legissigno</p>	<p>Ícone Índice Símbolo</p>	<p>Rema Dicente Argumento</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

Peirce avançou na classificação dos signos e, a partir da combinação das três tricotomias apresentadas chegou a dez principais divisões dos signos. Essas divisões, entretanto, não se aplicam ao propósito da conceitualização de esquema, de maneira que não serão tratadas neste trabalho.

1.1.3 Conceito de esquema

Para finalmente chegar ao conceito de esquema no âmbito deste trabalho, retornaremos à tríade ícone, índice símbolo, referente à classificação do signo segundo a relação do representâmen com seu objeto.

Peirce (2005) admite a existência de diferentes tipos de ícone, considerando a similaridade que apresentam com o objeto. Sendo a similaridade relacionada às

qualidades formais do objeto, tais como cor, forma, proporção, trata-se de uma relação de analogia qualitativa. Neste caso, o ícone pertence à categoria da *imagem*, exemplificada por desenhos, pinturas e esculturas figurativas, além de outros tipos de representações que permitam reconhecer o objeto pela reprodução de suas qualidades formais.

Quando a analogia se refere a um tipo de organização interna ao objeto, o ícone é do tipo *diagrama*. A Figura 2, por meio da qual apresentamos ao leitor a organização desta tese, é um exemplo de diagrama uma vez que representa as relações internas do referente (objeto) *tese*, ou seja, como está organizada a sequência de capítulos e como estes relacionam-se entre si.

A *metáfora* é outro tipo de ícone, caracterizado por se relacionar com o objeto que denota por meio de um paralelismo qualitativo. Quando dizemos que fulana é uma cobra, ou que sicrano é um Judas, o que estamos de fato fazendo é comparando qualidades salientes da cobra e de Judas àquelas dos sujeitos de quem falamos. Em outras palavras, o que estamos dizendo é que fulana é venenosa, perigosa e que sicrano é um traidor.

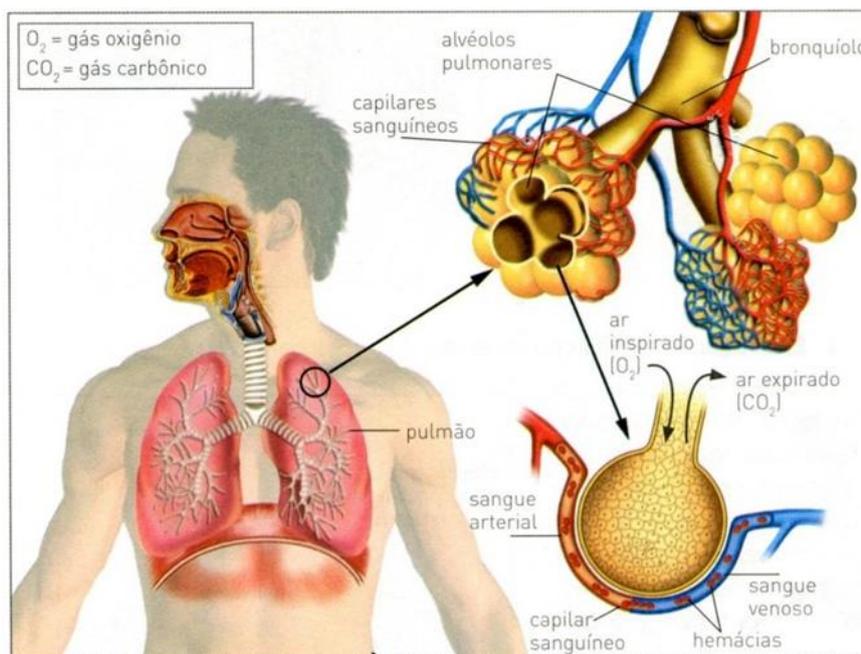
Considerando a descrição das categorias de ícone e as especificidades dos índices e símbolos em suas relações com o objeto representado, revisamos o conceito de esquema inicialmente apresentado, em caráter provisório - *uma imagem que reproduz as principais características, relações ou funções de um objeto, fenômeno ou processo* e avançamos para o conceito adotado neste trabalho, segundo o qual um esquema é *a representação visual plana, composta por uma associação de imagens fixas e símbolos, elaborada com o objetivo didático de representar sinteticamente estruturas e/ou relações entre estruturas, funções e processos que integram os fenômenos, objetos de estudo das Ciências Naturais.*

Aplicando o conceito em referência à Figura 7, temos:

- *Representação visual plana*: Trata-se de um desenho em duas dimensões (altura X largura), ainda que por regras de composição a percepção possa ser tridimensional.

- *composta por uma associação de imagens fixas*: Em oposição à imagem em movimento (como no caso de vídeos). O termo imagem foi utilizado com o sentido de signo que guarda com seu objeto uma relação de analogia qualitativa (o desenho figurativo em corte dos pulmões e das vias aéreas; o desenho dos alvéolos pulmonares e demais estruturas representadas).
- *e símbolos*: signos simbólicos, tais como palavras, setas e cores, que representam seus objetos por convenção. O significado das palavras é compartilhado pelos usuários da língua; em que pese o caráter icônico das cores, há nelas também o caráter convencional como o uso da cor azul para indicar maior concentração de gás carbônico (sangue venoso) e da cor vermelha indicando maior concentração de oxigênio (sangue arterial); as setas que, por convenção, representam a ideia de fluxo, de movimento, de temporalidade, de relação hierárquica, sequência; as fórmulas químicas dos gases oxigênio e carbônico.
- *elaborada com o objetivo didático*: o objetivo da elaboração da representação é sua utilização em situações de ensino e aprendizagem do fenômeno da hematose pulmonar.
- *de representar sintética e analogicamente estruturas e/ou relações entre estruturas, funções e processos que integram os fenômenos, objetos de estudo das Ciências Naturais*. O esquema apresenta uma síntese dos processos envolvidos no fenômeno da hematose pulmonar, em termos de sequência de eventos e relação entre os entes envolvidos na ocorrência do fenômeno, bem como representa estruturas que participam do processo.

Figura 7 – Esquema simplificado da hematose pulmonar



Fonte: Pereira;Waldhem;Santana (2012, p.202)

Tendo definido o que consideramos esquema, discutiremos na sequência questões referentes à leitura de esquemas e apresentaremos nosso referencial para a análise dos dados coletados nesta pesquisa.

1.2 ESQUEMAS COMO ELEMENTOS PARA A SIGNIFICAÇÃO: A LEITURA

Ler não é decodificar palavras, mas produzir um sentido além do que está explícito no texto. É buscar o implícito por meio da interação entre os conhecimentos do leitor e os dados expressos no texto (SCOTT, 1983; MARTINS, PICOSQUE e GUERRA, 1988).

A qualidade e a intensidade dessa interação, de acordo com Walty, Fonseca e Cury (2000), é determinada pelos elementos extratextuais aportados pelo leitor no processo de leitura e relacionam-se a suas expectativas, conhecimentos prévios e visão de mundo.

No primeiro capítulo do livro *Ler e compreender os sentidos do texto*, Koch e Elias (2008) apresentam uma reflexão sobre leitura, texto e sentido com base em três focos distintos: no autor, no texto e na interação autor-texto-leitor.

Com o foco no autor, cabe ao sujeito leitor captar suas intenções e ideias sem que sejam consideradas as experiências e conhecimentos prévios desse leitor.

Quando o foco se desloca para o texto, no segundo caso, admite-se que ao leitor compete reconhecer o sentido das palavras e estruturas do texto. Em comum, essas duas concepções de leitura têm a ideia de que cabem ao leitor apenas as tarefas de reconhecer e de reproduzir.

Considerando a interação entre o autor, o texto e o leitor, no terceiro caso, as autoras assumem a leitura como uma atividade dialógica, em que o sentido de um texto é construído a partir da interação entre os sujeitos autor e leitor com base em elementos presentes no texto. Nessa visão, a leitura é tida como

[...] uma atividade interativa altamente complexa de produção de sentidos, que se realiza evidentemente com base nos elementos linguísticos presentes na superfície textual e na sua forma de organização, mas requer a mobilização de um vasto conjunto de saberes no interior do evento comunicativo (KOCH e ELIAS, 2008, p. 11).

A expressão “superfície textual” indica a existência de, pelo menos, outro nível além dessa superfície atuando também na composição da mensagem veiculada. Recorrendo à metáfora do *iceberg*, Koch (2014) explica que todo texto possui uma pequena superfície exposta, explícita, a qual subjaz uma imensa área imersa, implícita. Para acessar e extrair um sentido do conteúdo implícito, deve-se recorrer a conhecimentos e ativar processos e estratégias cognitivas e interacionais. Importante observar que a autora faz referência a extrair “um” sentido (entre os vários sentidos possíveis) e não “o” sentido. Isso porque deve-se levar em conta as interpretações possíveis, guiadas pelas variáveis de sentido relacionadas aos elementos extratextuais acrescentados pelo leitor.

Apoiada em Chartier¹⁴ (2011), Araújo (2017, p.39) afirma que “ler é criar um sentido que se articula entre o desejado pelo autor e o sentido percebido pelo leitor, influenciado por suas memórias de leituras anteriores e de seus dados culturais” e acrescenta, ainda, que o mesmo texto pode suscitar múltiplas e, por vezes, contrastantes interpretações.

¹⁴ CHARTIER, R, Do livro à leitura. In: CHARTIER, R. (Org.). *Práticas da Leitura*. 5.ed. São Paulo: Estação da Liberdade, 2011.

Marcuschi (1985) refere-se a essa variedade de interpretações para um mesmo texto como algo inquietante e com implicações não apenas para a Linguística como também para outras ciências, entre várias a Psicologia, a Antropologia e a Sociologia. Entre as atividades cognitivas realizadas durante a leitura, o autor aponta a inferência como uma das razões para a multiplicidade de interpretações que podem se vincular a um texto e destaca a influência dos conhecimentos de mundo, das experiências e das crenças individuais no processo inferencial.

Esclarecemos que neste trabalho adotamos a noção de inferência, conforme expresso por Marcuschi (1985), como uma operação cognitiva que permite ao leitor construir novas proposições a partir de outras já dadas, mantendo-se entre essas proposições relações passíveis de identificação.

Essa visão de leitura como um processo de interação conduz-nos, obrigatoriamente, a uma reavaliação do conceito de texto, que deixa de ser apenas o produto da codificação de um emissor e destinado a um decodificador passivo a quem bastaria tão somente o conhecimento do código linguístico. A convergência entre os autores citados é o entendimento do texto como unidade de sentido que se constitui a partir da interação estabelecida pelo leitor e com uma gama de elementos extratextuais que esse traz consigo no ato da leitura.

Embora as afirmações apresentadas até o momento refiram-se à leitura de textos escritos, consideramos relevantes incluí-las no contexto desta tese uma vez que nossa posição é a favor de um conceito ampliado de texto, que não se limita à produção escrita, mas incorpora outras formas de comunicação, como por exemplo as imagens que compõem os esquemas científicos, consoante Belmiro quando assevera que

Aceitar que as imagens podem se constituir como textos é poder dizer que, antes de tudo, elas se estruturam na forma de um texto visual que pode ser lido. A questão que se coloca é como podemos ler esse texto imagético. Lembramos que a definição de texto toma por base as teorias linguísticas atuais que vêm ampliando esse conceito como uma produção, seja verbal, sonora, gestual, imagética, em qualquer situação de comunicação humana, estruturada com coerência e coesão. São necessários minimamente os interlocutores, um contexto e um texto, que pode apresentar diferentes materialidades. Podemos falar em texto visual, texto sonoro, texto gestual etc., observando as especificidades de cada linguagem. (BELMIRO, sd.)

Em decorrência da visão de leitura como um processo de interação autor-texto-leitor e da ampliação do conceito de texto, é necessário definir a quem nos referimos quando falamos em leitor. A esse respeito, cabe trazer à discussão Santaella (2012) para quem o leitor não se restringe ao sujeito que lê livros, mas é também aquele que lê imagens e toda uma gama de signos nos quais estamos todos imersos: letreiros, sinais de trânsito, semáforos, mapas, ícones na tela dos aparelhos celulares, nos monitores de computador, imagens da TV e cinema e tantos outros signos que nos cercam.

A autora usa em defesa dessa ideia de leitor a incorporação, pelo ato de ler, de diversas relações entre palavra e imagem estabelecida a partir dos livros ilustrados e, a seguir, com jornais e revistas.

Diante de tudo isso, não há por que manter uma visão purista da leitura restrita à decifração de letras. Do mesmo modo que, desde o livro ilustrado e as enciclopédias, o código escrito foi historicamente se mesclando aos desenhos, esquemas, diagramas e fotos, o ato de ler foi igualmente expandindo seu escopo para outros tipos de linguagens. [...] É por isso que podemos afirmar que, fora e além do livro, há uma multiplicidade de tipos de leitores [...]. Há, assim, o leitor da imagem no desenho, na pintura, na gravura e na fotografia. Há o leitor de gráficos, mapas, sistemas de notação (SANTAELLA, 2012, p.11).

Transpondo essas considerações para o contexto do ensino de Ciências e Biologia, o aluno/leitor interage com o texto veiculado nos esquemas, considerando também as relações entre esquemas e legendas que os acompanham e, ainda, a relação entre o texto verbal ou imagético nas páginas dos livros didáticos, cuja diagramação busca dar destaque a alguns elementos constitutivos em detrimento de outros.

Calado (1994, p.21) defende a aplicação dos conceitos de leitura, alfabetização e aprendizagem também à linguagem visual, uma vez que consideramos as imagens materiais como sistemas de representação.

Tendo explicitado nosso entendimento acerca do que assumimos como texto e leitura e, em decorrência, quem é o sujeito leitor, apresentaremos na sequência considerações acerca da construção de sentidos na leitura de esquemas e o referencial utilizado para análise dos dados coletados nesta pesquisa.

1.2.1 A construção de sentidos na leitura de esquemas

A partir da assunção de um conceito ampliado de texto, admitimos que esquemas presentes nos livros didáticos de Ciências e Biologia, utilizados na representação de estruturas e processos relacionados ao fenômeno da respiração, materializam textos imagéticos cujos sentidos ser-lhe-ão atribuídos por leitores/alunos no ato da leitura.

Entretanto, enquanto em um texto verbal, seja ele escrito ou oral, os elementos formadores são ordenados em uma sequência linear e dessa forma orienta-se sua leitura, um texto imagético apresenta seus elementos formadores simultaneamente, sem o ordenamento linear característico do texto escrito.

É preciso destacar que, embora o texto imagético materializado em um esquema possa “mostrar-se” em uma única visada, isso não implica que a apreensão de seu sentido assim também ocorra. Assim como no texto verbal, há nas imagens conteúdos implícitos cujo sentido precisa ser extraído.

Como é que o sentido vem à imagem? Esse questionamento de Barthes (1964, p.28), dirigido à imagem fotográfica utilizada no contexto publicitário levou-o a estabelecer os conceitos de denotação e conotação aplicados à leitura de imagens. O primeiro conceito diz respeito à mensagem de natureza icônica que a imagem carrega. No campo da conotação, a imagem possibilita outra leitura a partir da leitura denotada.

Interpretando os dois conceitos, a denotação é dimensão da mensagem na qual é possível ao leitor reconhecer os elementos icônicos que lhes são familiares, os quais seu repertório de conhecimentos das coisas do mundo natural lhe permite identificar. O sentido denotado permite que o leitor responda a pergunta: o que a imagem mostra?

A conotação é a dimensão construída a partir da denotação e da mobilização de valores dentro de um determinado contexto social. É, de fato, um sentido segundo atribuído ao texto imagético, de natureza simbólica e dependente da cultura.

Goldsmith¹⁵ (1984, *apud* CALADO, 1994) faz referência a três níveis interatuantes e hierarquizados de significado de uma imagem, a partir da operacionalização dos conceitos de sintaxe, semântica e pragmática. O nível sintático é aquele em que o leitor reconhece a imagem a partir da percepção dos sinais gráficos que a definem como tal, ou seja, os limites e contornos da imagem. Tanto o nível semântico quanto o pragmático dizem respeito a conteúdo. Enquanto o nível semântico corresponde a uma identificação literal da imagem, relacionada às intenções de significação do autor, o nível pragmático refere-se à interpretação do leitor, ancorada em suas experiências e julgamentos.

Tendo por objeto o estudo do significado da imagem nas artes visuais, a iconologia de Erwin Panofsky é um método de análise que se assenta no pressuposto de que existem três níveis de significados ou temas e, em consequência, três níveis de interpretação.

Extraímos dos princípios básicos da iconologia elementos para construir categorias para análise dos dados nesta tese, de maneira que explicitaremos a seguir cada um dos três níveis estabelecidos por Panofsky.

O primeiro nível corresponde ao tema primário ou natural, dividido em fatural e expressional. A apreensão do significado nesse nível ocorre a partir da identificação das formas puras; configurações de linha e cor; elementos representativos de objetos naturais, tais como animais, seres humanos, plantas, casas, utensílios; bem como da percepção de algumas qualidades expressionalis, como a tristeza representada por algum gesto ou pose específicos. O mundo das formas puras pode também ser chamado de mundo dos motivos artísticos¹⁶, cuja enumeração corresponde a uma descrição pré-iconográfica de uma obra de arte.

O tema secundário ou convencional é apreendido a partir do estabelecimento da relação entre os motivos artísticos e suas composições (combinações de motivos artísticos) com assuntos e conceitos. Panofsky (2001) situa o tema secundário ou convencional no domínio do que é chamado iconografia.

¹⁵ GOLDSMITH, E. **Research into illustration – an approach and review**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

¹⁶ Panofsky (2001, p. 51) explica que motivos artísticos reconhecidos como portadores de um significado secundário ou convencional podem chamar-se imagens. A combinação de imagens era chamada pelos antigos teóricos de arte de *invenzioni*. “Nós costumamos dar-lhes o nome de estórias e alegorias.”

Possivelmente, o exemplo mais conhecido para ilustrar esse nível de interpretação seja a percepção de que um grupo de figuras sentadas a uma mesa de jantar, em determinada disposição e pose, refira-se à Última Ceia.

No terceiro nível, interpretação iconológica, reside o significado intrínseco ou conteúdo, cuja apreensão ocorre pela “determinação daqueles princípios subjacentes que revelam a atitude básica de uma nação, de um período, classe social, crença religiosa ou filosófica – qualificados por uma personalidade e condensados numa obra” (Panofsky, 2001, p. 52).

Afirmar que um grupo de 13 homens em volta de uma mesa de jantar representa a Última Ceia resultou da identificação pré-iconográfica das formas puras e dos motivos artísticos (tema primário ou natural), seguida do estabelecimento de relações entre motivos artísticos com assuntos e conceitos na análise iconográfica. Já a interpretação iconológica, ultrapassando os dois níveis que lhe antecedem, busca compreender, por exemplo, a *Última Ceia*¹⁷ de Leonardo da Vinci como um documento da personalidade de seu autor ou da civilização de sua época ou mesmo de uma determinada atitude religiosa. Nesse nível, são descobertos e interpretados os valores simbólicos da obra.

Panofsky preocupou-se em diferenciar, detalhadamente, iconografia e iconologia, recorrendo inicialmente à etimologia. Discorre o autor:

O sufixo ‘grafia’ vem do verbo grego *graphein*, ‘escrever’; implica um método de proceder puramente descritivo. [...] A iconografia é, portanto, a descrição e classificação das imagens, assim como a etnografia é a classificação e descrição das raças humanas [...] a iconografia é de auxílio incalculável para o estabelecimento de datas, origens e, às vezes, autenticidade; e fornecer as bases necessárias para quaisquer interpretações ulteriores. Entretanto, ela não tenta elaborar a interpretação sozinha. [...] Se o sufixo ‘grafia’ denota algo descritivo, assim também o sufixo ‘logia’ – derivado de *logos*, que quer dizer ‘pensamento’, ‘razão’ – denota algo interpretativo. [...] Assim, concebo a iconologia como uma iconografia que se torna interpretativa e, desse modo, converte-se em parte integral do estudo da arte [...]. Iconologia, portanto, é um método de interpretação que advém da síntese mais que da análise. E assim como a exata identificação dos motivos é o requisito básico de uma correta análise iconográfica, também a exata análise das imagens, estórias e alegorias é o requisito essencial para uma correta interpretação iconológica. (PANOFSKY, 2001, pp.53,54)

¹⁷ Aqui, trata-se da pintura sobre parede realizada no século XV, entre os anos de 1494 e 1497, no Convento de Santa Maria Delle Grazie, em Milão, na Itália. As duas citações à Última Ceia, feitas anteriormente, referem-se ao episódio bíblico narrado nos evangelhos de Mateus, Marcos, Lucas e João.

Para a interpretação iconológica, na qual é desvelado o significado intrínseco ou conteúdo da obra, é necessário mais do que a familiaridade com conceitos ou temas específicos expressos em fontes literárias. Panofsky (2001, p. 62) descreve como “intuição sintética” a faculdade mental “comparável a de um clínico nos seus diagnósticos” necessária para captar os princípios subjacentes que possibilitam chegar ao conteúdo de uma obra.

A possibilidade de erros de interpretação nos três níveis, decorrentes da subjetividade do processo interpretativo, impôs o estabelecimento do que Panofsky (2001) denominou princípios corretivos, peculiares a cada nível interpretativo e relacionados ao que o autor estabeleceu como equipamentos utilizados para a interpretação.

Dessa forma, a familiaridade do leitor da obra de arte com objetos e eventos, na condição de equipamento para a interpretação no primeiro nível, é indispensável e suficiente para a descrição pré-iconográfica e pode ter seu alcance ampliado por meio da consulta à literatura ou do auxílio de um perito, por exemplo. Entretanto, não garante a exatidão da descrição pré-iconográfica.

Panofsky (2001) chama a atenção para a influência das condições históricas na descrição pré-iconográfica de uma obra. Segundo o autor, lemos o que vemos de acordo com a maneira como formas, que variam segundo condições históricas, expressam objetos e fatos. Agindo dessa forma, a experiência prática é submetida a um princípio corretivo ao qual chamou de história dos estilos. Dito de outra forma, a história dos estilos consiste na variação das formas de representação dos motivos artísticos de acordo com as condições históricas.

A familiaridade com temas e conceitos, advinda do conhecimento expresso por meio de fontes literárias, constitui o equipamento necessário para a análise iconográfica, cujo instrumento corretivo é a história dos tipos. Essa consiste na compreensão da maneira pela qual objetos e eventos (descritos no nível anterior) expressam temas ou conceitos em determinado contexto histórico. A dúvida¹⁸ na análise iconográfica de uma obra do século XVII (Figura 8), é usada por Panofsky (2001, p.59) como exemplo para o princípio corretivo fundado na história dos tipos.

¹⁸ Panofsky refere-se ao fato de o quadro de autoria de Francesco Maffei, pintor veneziano do século XVII, ter sido publicado como o retrato de Salomé com a cabeça de São João Batista.

Nas palavras do autor, a obra representa uma mulher jovem que segura uma espada e uma travessa, sobre a qual jaz a cabeça degolada de um homem. O elemento “cabeça degolada” indica que a figura feminina pode tratar-se tanto de Salomé quanto de Judite. A Bíblia, como fonte literária para a análise iconográfica da obra, aponta para Salomé se forem considerados os elementos travessa, mulher jovem e cabeça degolada. Entretanto, a espada não condiz com a história de Salomé. Já os elementos mulher jovem, cabeça degolada e espada apontam para Judite. Entretanto, ao degolar Holofernes Judite dá à sua serva a cabeça para que a coloque em um saco. Nesse caso, a travessa não faz parte da narrativa de Judite.

Figura 8. Judite Tela de Francesco Maffei



Fonte: <https://wetenschap.nu/salome-judith-twee-fatalevrouweneen-vroegmoderne>

Assim como a história dos estilos é aplicada como princípio corretivo para a descrição pré-iconográfica, tem-se na história dos tipos o princípio corretivo para a análise iconográfica, de modo a complementar e corrigir o conhecimento expresso em fontes literárias. No caso da obra de Maffei, um trabalho comparativo com obras anteriores encontrou várias pinturas do século XVI representando Judite com uma travessa, mas nada foi encontrado em relação a Salomé com uma espada. Panofsky (2001) conclui, com segurança, que a obra de Maffei representa Judite.

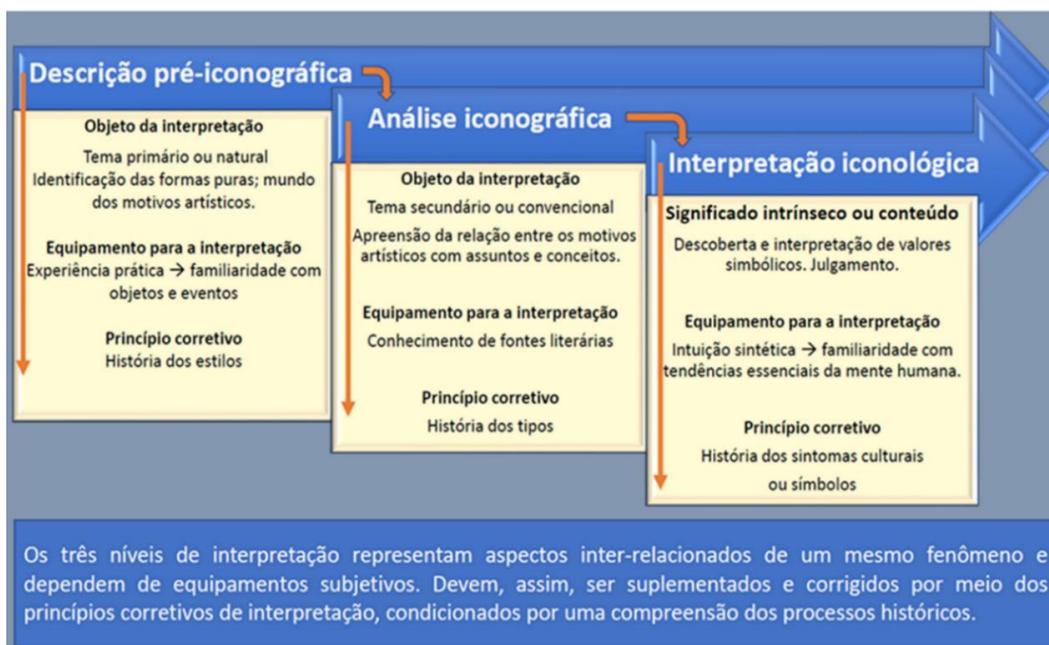
Na interpretação iconológica, a intuição sintética, na condição de equipamento interpretativo essencialmente subjetivo, está mais sujeita a desvios quando aplicada a obras de arte do que a experiência prática ou os conhecimentos de fontes literárias em relação à interpretação nos níveis pré-iconográfico e

iconográfico. Assim, ainda mais do que nos níveis anteriores, é necessário fazer uso de princípios corretivos também no nível de interpretação iconológica, por meio da história dos sintomas culturais ou símbolos, que consiste na “compreensão da maneira pela qual, sob diferentes condições históricas, as tendências gerais e essenciais da mente humana foram expressas por temas específicos e conceitos” (PANOFSKY, 2001, p. 63).

A um historiador de arte compete a tarefa de relacionar o que considera ser o significado intrínseco de uma obra ou conjunto de obras, com aquilo que considera como significado intrínseco de outros documentos historicamente relacionados com essa obra ou conjunto de obras as quais se dedica a interpretar o significado. Panofsky (2001) refere-se a documentos que testemunham tendências de ordem política, religiosa, filosófica e social da personalidade, época ou país investigado.

Na Figura 9, apresentamos um diagrama que sintetiza a iconologia de Panofsky, sendo possível visualizar as relações entre os níveis de significado e de interpretação, bem como os elementos constituintes de cada um.

Figura 9 – Síntese da Iconologia de Erwin Panofsky



Fonte: Elaborado pela autora, a partir do quadro síntese de Panofsky (2001, pp. 64 e 65)

A partir de uma adaptação da iconologia de Panofsky, identificamos três níveis de significado, por conseguinte três níveis de leitura, em esquemas que

representam a respiração humana. Por se tratar de uma adaptação, os níveis foram renomeados; mantivemos, entretanto, a nomenclatura dos elementos que orientam internamente cada nível, tais como designados originalmente pelo autor - objeto da interpretação, equipamento para a interpretação e princípios corretivos - porém foram definidos em função do tipo de representação visual a que se referem, no caso esquemas didáticos representativos de estruturas e processos relacionados à respiração humana.

No primeiro nível, o objeto da interpretação é o que denominamos de conteúdo formal do esquema e compreende as representações visuais de entes¹⁹ do mundo natural; elementos formais tais como cores, linhas, pontos, arranjo espacial; formas geométricas; fórmulas químicas; palavras e outros.

O ato interpretativo, tal como no nível pré-iconográfico, corresponde a uma identificação desses entes e elementos e depende do repertório de conhecimentos do leitor, repertório esse que representa o equipamento para a interpretação. Como estamos nos referindo à leitura de esquemas relacionados à respiração, esse conhecimento envolve conteúdos de anatomia; fisiologia; química; citologia; física; das artes plásticas, tais como ponto, linha, cor, plano, espaço; e outros.

Neste trabalho, ao nos referirmos a leitor do esquema didático temos em mente um aluno. Portanto, devemos considerar que muitos dos entes envolvidos no processo respiratório não são conhecidos desse leitor por experiência direta, mas por meio de representações visuais de diferentes tipos, tais como modelos anatômicos e imagens veiculadas em diferentes mídias e bastante frequentes nos livros didáticos. Entre vários exemplos, citamos os pulmões e demais integrantes das vias aéreas. Dessa forma, além da familiaridade com entes e eventos envolvidos na respiração, deve ser considerada também a familiaridade com as diferentes formas de representação desses entes e eventos.

As concepções dos alunos acerca do fenômeno respiratório, a qualidade do esquema a ser interpretado e das representações visuais a que os alunos já foram expostos, e as lacunas de conhecimento relacionadas a outras disciplinas, como a Química e a Física, estão entre fatores que podem interferir na identificação

¹⁹ Optamos pelo uso do termo *ente*, em vez de objeto como faz Panofsky, para evitar repetição e confusão com o que chamamos de objeto da interpretação. Ente, nesse contexto, significa aquilo que tem existência; matéria; coisa; objeto.

dos entes representados. A leitura do texto didático que acompanha um esquema; a legenda e o título; e a atuação do professor, além de funcionarem como princípios corretivos, atuam também ampliando o repertório de conhecimentos do leitor e o alcance do equipamento disponível para a interpretação.

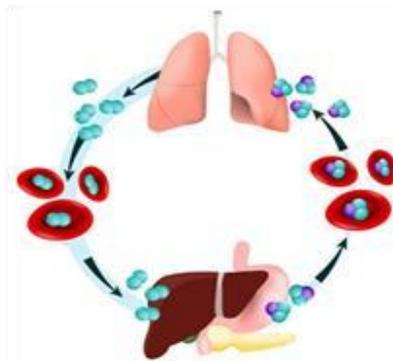
A esse primeiro nível de interpretação denominamos de leitura superficial, em alusão à metáfora do *iceberg* citada por Koch (2014) ao referir-se à conteúdo explícito e conteúdo implícito de um texto escrito. A interpretação nesse nível pode ser sintetizada em uma questão: o que o esquema mostra?

No segundo nível, o objeto da interpretação é o assunto tratado no esquema. Aos entes formais identificados na leitura superficial, são atribuídos os significados convencionais, quando aplicável, e são estabelecidas as relações entre os entes representados com conceitos e conteúdos. O equipamento para a interpretação nesse nível é o conhecimento do aluno acerca do significado dos entes formais e tudo aquilo que já conhece sobre o conteúdo sobre o qual o esquema se refere, e cuja ampliação e princípio corretivo, à exemplo do nível anterior, depende de fontes de informação, entre elas o texto do livro didático, o professor, a legenda e o título do esquema. A qualidade da interpretação nesse nível, ao qual chamamos de leitura referencial posto que é nesse nível que é identificado o objeto do esquema - o referente ou aquilo a que o esquema se refere, depende diretamente da correta identificação realizada no nível anterior. Em resumo, a interpretação no nível referencial responde às questões: Qual é o assunto tratado no esquema? O que o esquema representa?

No terceiro nível de significado, o objeto da interpretação é o que o esquema não dá a ver, mas dá a entender. Ou seja, o conteúdo implícito revelado pelas inferências geradas pelo leitor. Considerando que uma inferência equivale a uma conclusão, o equipamento para a interpretação nesse nível é a capacidade de observação e de síntese do leitor, associada às concepções e todo o repertório de conhecimentos do aluno acerca do assunto, uma vez que esses irão determinar o estabelecimento das relações entre as informações explícitas para a geração das inferências. Os princípios corretivos são as intervenções do professor e os textos didáticos que acompanham o esquema ou outras fontes de informações textuais a que o aluno tenha acesso. A esse terceiro nível denominamos leitura inferencial e

corresponde ao que pode ser acrescentado, a partir daquilo que o esquema mostra. Equivale à resposta para a questão: O que o esquema sugere? Exemplificamos, no Quadro 1, possibilidades de leitura do esquema da Figura 10.

Figura 10 – Trajeto dos gases respiratórios 1



Fonte: Adaptado de Beduka, *Biologia*. Disponível em: <<https://beduka.com/blog/materias/biologia/fisiologia-do-sistema-respiratorio/>> Acesso em 22 ago. 2020.

Quadro 1- Níveis de significado e de leitura de esquemas em relação à Figura 10

Primeiro nível	Segundo nível	Terceiro nível
Conteúdo formal	Conteúdo referencial/assunto	Conteúdo implícito
<p>Possibilidade 1</p> <p>Círculos azuis/verdes e roxos, elementos ovais vermelhos, formas de cores diversas (marrom, amarelo, verde) setas pretas, tubos de cor clara</p>	<p>Ciclo</p> <p>Movimento das duplas de círculos</p>	<p>É possível que o leitor não realize uma leitura inferencial, dependendo da qualidade da leitura realizada nos dois níveis anteriores.</p>
<p>Possibilidade 2</p> <p>Pulmões, hemácias, setas pretas, traqueia, brônquios, fígado, estômago, pâncreas, talvez a vesícula biliar, gás oxigênio, gás carbônico (apesar da representação gráfica não ser linear)</p>	<p>Respiração: Caminho que os gases respiratórios percorrem dos pulmões ao corpo e de volta aos pulmões.</p>	<p>Respiração celular em nível dos órgãos.</p>
Leitura superficial	Leitura referencial	Leitura inferencial

Fonte: Elaborado pela autora

Há uma variedade de leituras possíveis para esse esquema (apresentamos duas), que se vinculam ao equipamento para interpretação de cada leitor, ou seja, seu repertório de conhecimentos. Deve-se, no entanto, considerar que um esquema didático serve a um propósito definido de comunicação de uma mensagem que, no contexto do ensino de Ciências e Biologia, refere-se a um

conhecimento cientificamente válido em um determinado momento. Esse pode ser, por exemplo, a estrutura de um órgão, aparelho ou sistema; os processos envolvidos em um determinado fenômeno; as relações entre fenômenos. Dessa forma, a abertura do esquema a diferentes interpretações pode implicar desvio da finalidade para o qual foi elaborado.

Se o leitor não estiver familiarizado com as formas de representação dos órgãos ou das moléculas dos gases respiratórios, decerto que encontrará dificuldades, ou mesmo impossibilidade, de identificá-los. Isso terá implicações nos próximos níveis de leitura, uma vez que dependem da correta identificação do conteúdo formal do esquema. Aí reside a importância dos princípios corretivos.

Ao elencarmos as mensagens verbais (texto do livro didático, legenda do esquema, título do esquema, discurso do professor) como princípios corretivos, não estamos relegando à imagem um papel secundário ou de dependência hierárquica em relação a um texto verbal. Esse, assim como o texto imagético, também é passível de múltiplas interpretações. No entanto, assumimos que existe uma relação entre a imagem e seu contexto verbal e que, como defendido por Calado (1994), uma imagem não substitui um texto escrito ou oral, assim como esse não substitui uma imagem para determinadas mensagens, como por exemplo as que representam relações espaciais.

No próximo tópico, discorreremos sobre aspectos da Teoria da Dupla Codificação de Alan Paivio que possui elementos que consideramos relevantes para a compreensão do processo de produção de sentidos a partir da leitura de esquemas.

1.2.2 A Teoria da Dupla Codificação - TDC

Convém que façamos uma ressalva antes de iniciar a exposição dos princípios básicos da Teoria da Dupla Codificação (TDC), na intenção de respeitar as ideias de Allan Paivio e evitar julgamentos reducionistas sobre o trabalho do autor. O que apresentaremos nas páginas seguintes é um simples recorte da teoria, de forma a nos ater nos aspectos aplicáveis ao nosso objeto de estudo.

Conforme afirmado por Sadoski e Paivio (2004), a TDC é uma teoria da cognição desenvolvida, originalmente, para explicar as influências verbais e não verbais na memória, e sua aplicação tem sido estendida para diversas outras áreas da cognição, com base em inúmeras investigações.

A TDC refere-se a estruturas e processos mentais básicos para processamento da informação, sendo as estruturas definidas como redes associativas de representações mentais verbais e não verbais; e os processos correspondem às formas de desenvolvimento e ativação dessas estruturas.

A premissa básica da TDC é a de que as representações mentais conservam algumas das qualidades concretas das experiências linguísticas e não linguísticas das quais derivam, desenvolvendo-se em dois sistemas mentais independentes porém interconectados: o sistema verbal e o sistema não verbal (CLARK e PAIVIO, 1991; SADOSKI e PAIVIO, 2004). Os dois sistemas e o sistema sensorial formam arranjos ortogonais, de forma que ambos os sistemas, verbal e não verbal, possuem subconjuntos de representações mentais qualitativamente relacionadas às experiências sensoriais que lhes deram origem.

Sadoski e Paivio (2004) alertam para a distinção correta entre sistemas mentais e modalidades sensoriais, de forma a evitar a caracterização equivocada da TDC como uma teoria que trata de sistemas verbais e visuais. Os autores esclarecem que a distinção correta se dá entre sistema verbal e não verbal; e entre modalidade sensorial visual e as outras modalidades sensoriais. O Quadro 2 ilustra os arranjos entre os sistemas verbal e não verbal e as modalidades sensoriais.

Quadro 2 – Relações ortogonais entre os sistemas verbal e não verbal e as modalidades sensoriais.

Modalidade sensorial	Sistema	
	Verbal	Não verbal
Visual	Palavra escrita (visível)	Objetos visíveis
Auditiva	Palavra falada (audível)	Sons do ambiente
Tátil	Escrita manual, Braille	“Toques” de objetos
Gustativa	_____	Memórias gustativas
Olfativa	_____	Memórias olfativas

Fonte: Tradução da autora a partir de Sadoski e Paivio, 2004.

Não existe representação da linguagem nas modalidades sensoriais químicas (olfato e paladar), embora tenhamos representações não verbais para essas modalidades (SADOSKI e PAIVIO, 2004).

Os dois sistemas são formados por unidades representacionais mentais básicas. No sistema verbal, a unidade foi denominada *logogen*²⁰; no sistema não verbal a unidade é a *imagen*²¹. Correspondem basicamente a geradores de palavras e imagens, respectivamente.

Embora as representações em nossa memória sejam, em certa medida, permanentes, os termos *logogen* e *imagen* correspondem a unidades evolutivas flexíveis, de forma que nosso vocabulário está em constante evolução à medida que experienciamos palavras em diferentes contextos, da mesma forma que imagens que nos são familiares passam a integrar novas cenas (SADOSKI e PAIVIO, 2004).

No âmbito da TDC, quando os autores citam imagem ou imagens (diferentemente de *imagen/imagens*, que são as estruturas básicas) no sistema mental não verbal, referem-se não apenas à visualidade, mas também a imagens acústicas, olfativas, táteis.

No sistema verbal, as unidades são arbitrárias e denotam tanto objetos e eventos concretos como ideias abstratas. Cada unidade, ainda que possa estar conectada hierarquicamente a outra ou a outras unidades (ver Figura 11), mantém sua identidade.

Parafraseando Clark e Paivio (1991), tomemos como exemplo as palavras pulmão e lung. Ambas são símbolos arbitrários para o mesmo objeto (referente) e estão conectadas de forma associativa dentro do sistema verbal. Elas mantêm, entretanto, sua identidade quando usadas na seguinte sentença: Lung é a palavra que, na língua inglesa, significa pulmão.

²⁰ Paivio et al. (1989) explicam que o termo *logogen* foi cunhado por Morton, que por sua vez creditou a sugestão do nome a Hallowell Davis. Segundo Morton (1969) explica, *logogen* deriva de “logos” – palavra e “genus” -nascimento (tradução nossa).

²¹ *Imagen*, grafada com “n”. Difere de *image* (no plural, *images*), na língua inglesa; ou *imagem*, na língua portuguesa. Grafaremos em itálico sempre que nos referirmos à estrutura mental básica do sistema não verbal (*imagen/imagens*).

O sistema não verbal, diferentemente do verbal, não é arbitrário. Nele, as representações são análogas ou perceptualmente similares aos eventos que denotam, em termos visuais e táteis por exemplo, e podem codificar a informação de forma simultânea. Há unidades que se associam e são incluídas como partes de uma unidade maior.

A imagem mental da ventilação pulmonar, por exemplo, contém um detalhamento muito grande em termos informacionais, de maneira que os objetos se tornam imbricados ou mesmo incluídos a outros na formação de um todo. É possível também, no sistema não verbal, visualizar mentalmente transformações dinâmicas, como os movimentos de levantamento e abaixamento da caixa torácica, e ouvir mentalmente o som da inspiração e da expiração, tudo isso de forma simultânea, o que não seria possível no sistema verbal.

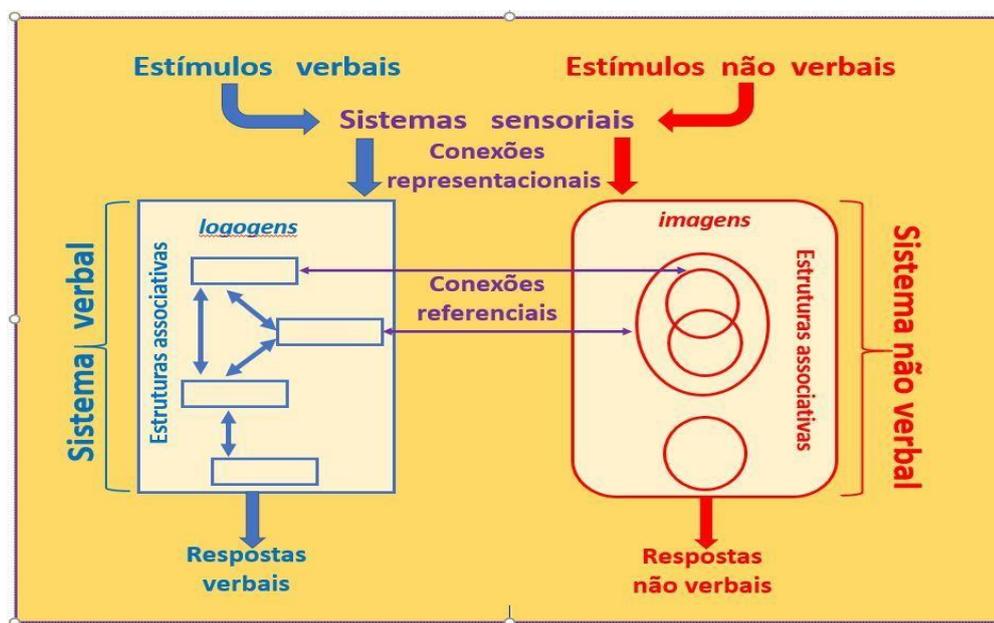
De acordo com a TDC, o processamento e recuperação da informação ocorre pelo estabelecimento de diferentes tipos de conexões entre as unidades básicas dos sistemas, ou seja, as conexões que se estabelecem intrassistemas (*logogens/logogens*; *imagens/imagens*) e intersistemas (*logogens/imagens*; *imagens/logogens*).

As conexões referenciais são as que ocorrem entre os dois sistemas, ligando entre si códigos verbais e não verbais. Essas conexões possibilitam, por exemplo, dar nome aos objetos ou evocar imagens mentais de objetos a partir de seu nome. Segundo a TDC, a informação é recuperada e manipulada mais facilmente quando é processada pelos dois sistemas (CLARK E PAIVIO, 1991), ou seja, quando são estabelecidas conexões referenciais (*logogens/imagens*).

As conexões que ocorrem dentro de cada sistema são denominadas associativas. Por meio delas, no sistema verbal, palavras são associadas a outras palavras. A palavra ventilação pode associar-se a um conjunto de palavras tais como inspiração, expiração, respiração, pulmão, diafragma. Pode também associar-se a outro conjunto tal como janela, brisa, ventilador, ar. O que irá determinar qual conjunto será ativado é o contexto, ou seja, a palavra ventilação usada em uma aula sobre o sistema respiratório provavelmente ativará o primeiro conjunto de palavras. Já em um ônibus lotado, em plena estação de verão, o conjunto ativado poderá ser o segundo.

O diagrama da Figura 11 mostra a organização das estruturas e processos da TDC.

Figura 11 - Estruturas e processos da TDC



Fonte: Tradução da autora, a partir do original de Paivio, republicado em Clark e Paivio (1991).

Ao definirmos nesta tese o nosso conceito de esquema, apresentamos ao leitor um contexto que irá determinar o conjunto de palavras associadas, no sistema verbal, à palavra esquema. Referencialmente, serão estabelecidas conexões entre as palavras ativadas e imagens visuais no sistema não verbal, de forma que o leitor formará uma imagem mental visual do objeto esquema. A categorização é também um tipo de conexão associativa, quando por exemplo ligamos as palavras pulmão, coração, intestino, estômago à palavra órgão.

No sistema não verbal, as conexões associativas ligam imagens de mesma modalidade sensorial (imagens visuais a imagens visuais; imagens acústicas a imagens acústicas) ou de modalidades sensoriais diferentes. A imagem mental de um esquema do sistema respiratório visto em uma aula de Ciências ou Biologia pode ser associada à imagem mental de um outro esquema relacionado ao mesmo tópico ou à imagem mental de uma aula prática na qual foram manipuladas peças anatômicas do sistema respiratório, incluindo também a imagem auditiva de uma peça anatômica caindo no chão.

As conexões representacionais determinam a ativação inicial de logogens e *imagens* por meio do simples reconhecimento da familiaridade com alguma coisa externa aos sistemas, como a visão de uma palavra em um texto escrito ou uma imagem figurativa em um livro didático, sem que necessariamente haja atribuição de sentido. Essa ativação depende das características do estímulo (legibilidade de uma palavra escrita ou de uma figura em um livro, por exemplo) e de diferenças individuais, como a habilidade para a identificação da palavra escrita ou a familiaridade com a palavra pronunciada, ou ainda a familiaridade com a representação figurativa de uma estrutura anatômica.

Um esquema da respiração humana, dependendo dos seus elementos constituintes – imagem, símbolos como palavras, setas, cores - é um estímulo não verbal, verbal ou ambos. A produção de sentidos na leitura desse esquema depende da ativação das estruturas básicas de representação em cada sistema, verbal e não verbal, e das conseqüentes conexões associativas e referenciais estabelecidas. O título atribuído a um esquema, por exemplo, é uma resposta verbal ao estímulo inicial, que evidencia o estabelecimento das relações e a produção de sentido a partir da leitura.

O sentido inverso também ocorre, quando por exemplo ouvimos a palavra respiração (estímulo verbal) e em resposta desenhamos um esquema representando processos envolvidos na respiração. Inicialmente, uma conexão representacional foi estabelecida a partir da ativação inicial de logogens. A ativação então se propaga e um conjunto de palavras tais como pulmão, diafragma, traqueia, hematose são ativadas e, por sua vez, estabelecem conexões referenciais com estruturas do sistema não verbal resultando uma resposta não verbal na forma de um esquema da respiração.

Cabe retomar aqui a importância da relação entre um esquema didático e o contexto verbal que o acompanha, seja o texto do livro didático, a legenda ou ambos. Ao apresentarmos a informação nas duas formas – verbal e não verbal, estimulamos os dois sistemas de processamento da informação a estabelecerem conexões referenciais e associativas que, considerando a flexibilidade de suas unidades básicas, possibilitam que essas evoluam, com a conseqüente ampliação

do vocabulário e das possibilidades de associações entre imagens visuais mentais no sistema não verbal.

Esse efeito é particularmente relevante no ensino e aprendizado da respiração, uma vez que o aprendizado desse conteúdo passa, necessariamente, pela leitura e pelo estabelecimento de relações entre os esquemas apresentados nos livros didáticos, representando diferentes aspectos do fenômeno respiratório. Requer também a leitura de textos verbais que acompanham esses esquemas.

Nesse sentido, apresentamos na próxima seção considerações sobre as formas de relação entre texto e imagem, com algumas observações e comentários a partir de exemplos extraídos de livros didáticos de Ciências e Biologia.

1.2.3 A relação entre imagem e texto verbal

Santaella (2012) analisa a relação entre a imagem e o texto verbal²² do ponto de vista das relações sintáticas, semânticas e pragmáticas. No primeiro caso, trata-se de analisar o lugar que ambos, texto e imagem, ocupam no plano gráfico. As possíveis trocas de significados entre texto e imagem referem-se às relações semânticas, e as relações pragmáticas dizem respeito aos efeitos que imagem e texto produzem no leitor. Interessam-nos particularmente, para este trabalho, as relações semânticas e pragmáticas as quais explicitaremos a seguir.

Na perspectiva da semântica, investiga-se a contribuição dos elementos verbais e imagéticos na composição de uma mensagem. Nesse domínio, as relações imagem-texto podem ser dos tipos dominância, redundância, complementaridade e discrepância (ou contradição).

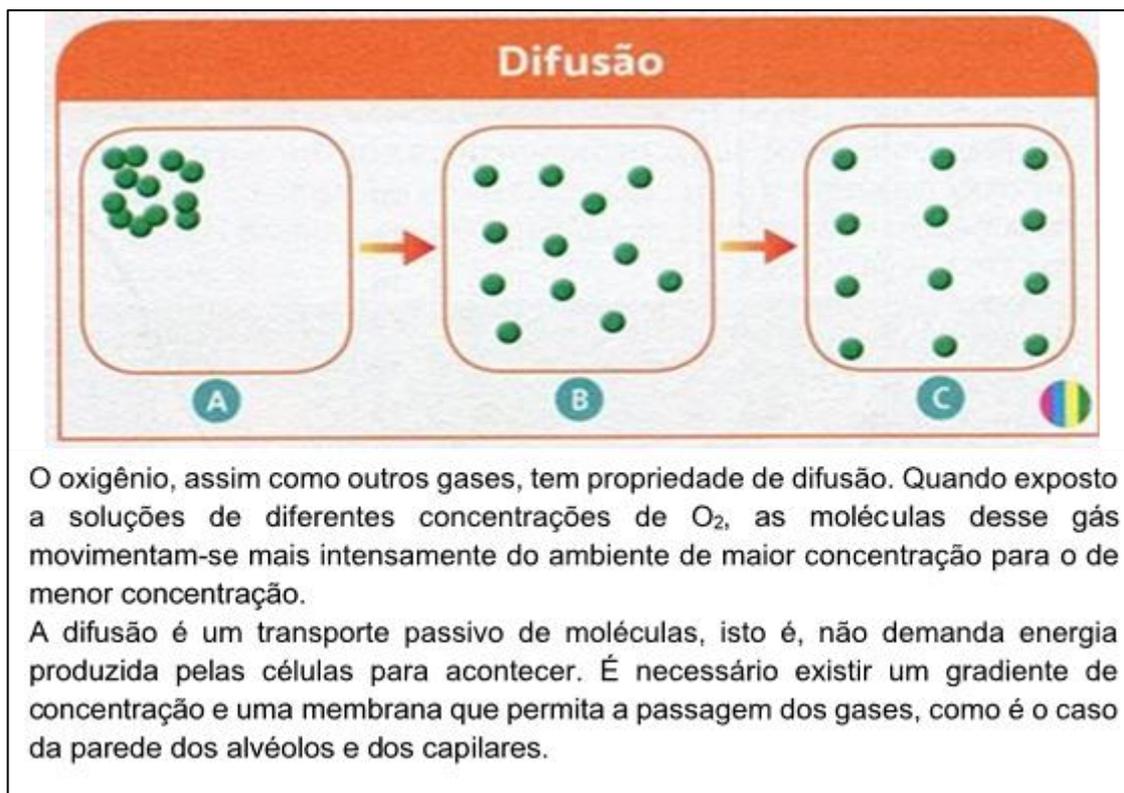
Na dominância, que tanto pode ser da imagem sobre o texto quanto o inverso, a referência é a informatividade. Dominante é a informação que permanece compreensível sem a outra, ou seja, aquela considerada mais interessante ou

²² Diferentes perspectivas podem ser adotadas para estudar as imagens, como por exemplo os seus aspectos morfológicos ou funcionais. Carneiro (1997) destaca, em relação aos aspectos morfológicos, as tipologias elaboradas por Fleming e Knoweton. Em relação ao aspecto funcional, a autora destaca a classificação de Duchastel (1980) que, em relação ao texto, apresenta três funções básicas para as imagens: função motivadora, função explicativa e função retencional.

importante para quem comunica e para quem recebe a mensagem. Na dominância textual, a imagem cumpre função ilustrativa, decorativa ou didática, servindo para a visualização de conteúdos textuais abstratos. Já na dominância imagética, é difícil compreender um texto sem a imagem correspondente. A Figura 12 ilustra um caso de dominância textual, considerando o primeiro parágrafo do texto que a acompanha, pois é possível compreender a mensagem verbal sem o suporte da imagem que, nesse caso, cumpre uma função ilustrativa. Quanto ao segundo parágrafo iremos nos manifestar mais à frente.

A redundância ocorre quando a mensagem verbal repete o que a imagem mostra e vice-versa, sem acréscimo de informação. Uma imagem redundante pode contribuir para a memorização da mensagem verbal. De forma oposta, ao desviar-se do conteúdo do texto, cumprindo função meramente decorativa, uma imagem pode diminuir a capacidade de memorização.

Figura 12 – Exemplo de dominância textual

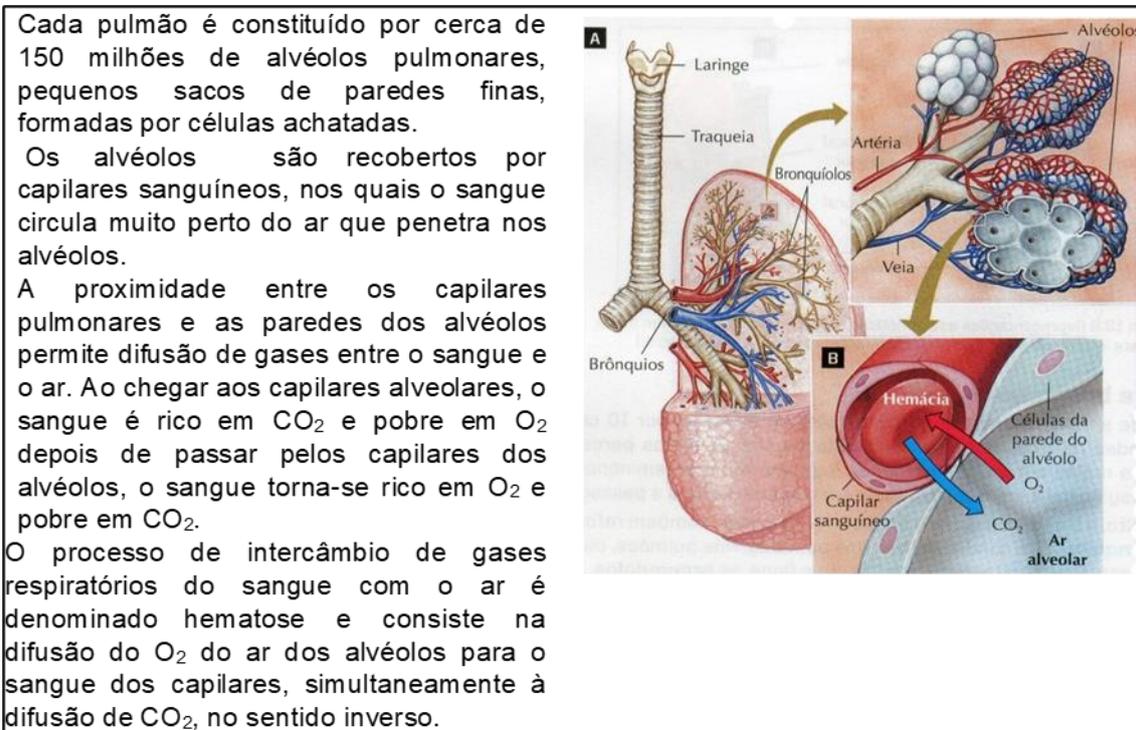


Fonte: MENDONÇA, V. *Biologia: o ser humano, genética, evolução*, p. 87.

Quando imagem e texto têm a mesma importância para a compreensão de uma mensagem, há uma relação de complementaridade. Há uma equivalência entre texto e imagem, referida geralmente como determinação recíproca. Nesse caso, são observadas as potencialidades específicas de texto e imagem em um sentido de ser a imagem superior ao texto para mostrar o que é difícil de ser representado linguisticamente, como a representação espacial de objetos concretos, ao passo que o texto supera a imagem para representar ideias, fatos abstratos e relações temporais e causais. Na Figura 13, exemplificamos uma relação de complementaridade entre o esquema e o texto do livro didático.

Nesse exemplo, informações que se referem à localização e relação entre as estruturas citadas no texto são melhor representadas por meio da imagem. Já as informações referentes a quantidades e relações temporais são mais adequadamente expressas por meio do texto verbal (“150 milhões de alvéolos”; “rico em O₂”; “pobre em CO₂”; “simultaneamente”).

Figura 13 – Exemplo de complementaridade entre texto e imagem.



Fonte: AMABIS e MARTHO. *Biologia: Biologia dos organismos. Volume 2.*

Há casos em que texto e imagem não combinam. Contradizem-se ou encontram-se ladeados de forma incoerente, não havendo entre ambos nem redundância nem informatividade. Trata-se de relações de discrepância ou de contradição, que podem ocorrer de forma não intencional, devido a um erro de produção, ou intencionalmente, buscando despertar no leitor uma inquietação que o leve a pensar e a buscar uma solução para o enigma. “Em seu esforço para compreender a mensagem presumida entre o texto e a imagem, o observador pode descobrir sentidos surpreendentes naquilo que, à primeira vista, parecia discrepante.” (SANTAELLA, 2012, p. 116).

Figura 14 – Exemplo de contradição na relação texto-imagem 1



Fonte: Dafont.com. Disponível em:
<<https://www.dafont.com/pt/forum/read/108692/recherche-typo-ceci-n-est-pas-une-pipe><https://www.dafont.com/pt/forum/read/108692/recherche-typo-ceci-n-est-pas-une-pipe>> Acesso em: 20 jun. 2020.

Na discrepância, o leitor não consegue ligar o texto à imagem. Na contradição, o conteúdo da imagem contradiz o texto. A pintura de René Magritte, retratada na Figura 14, é um exemplo conhecido de contradição. Sob a imagem de um cachimbo lê-se o texto que afirma, contrariamente, “isto não é um cachimbo” (Ceci n'est pas une pipe).

O título original da obra de Magritte retratada na Figura 14, *La trahison des images* (A traição das imagens), contextualiza a imagem, dando sentido à

contradição intencionalmente produzida. Buscar um sentido para a pintura, inicialmente, leva o leitor da imagem a um estranhamento, pois ele vê um cachimbo, porém a mensagem verbal contraria o que ele vê. A leitura prévia do título dá ao leitor uma pista sobre a mensagem visual, de forma que ainda que lhe cause estranhamento, ele irá buscar essa traição, esse engano anunciado pelo título.

Usando o exemplo citado por Santaella (2012, p. 117), a frase “a foto de um prato de comida não mata a fome” contém o mesmo conteúdo implícito da pintura de Magritte, ou seja, a imagem de um objeto não é o objeto. Isso pode ser exemplificado por outra relação de contradição intencional ilustrada na Figura 15.

Figura 15 – Exemplo de contradição na relação texto-imagem 2



Fonte: Montagem elaborada pela autora, a partir de imagem extraída de <<https://stock.adobe.com/pt/search/images>> Acesso em: 20 maio 2020.

Voltando à Figura 12, que ilustra a difusão, se considerarmos o segundo parágrafo a relação já não será de dominância textual (conforme apontamos para o primeiro parágrafo), mas de discrepância. O texto verbal cita uma membrana que não está representada na imagem. No caso, o leitor terá dificuldade de associar o texto à imagem.

É importante ressaltar que na página original de onde foram extraídos o texto e a imagem, a página foi diagramada de forma que há uma relação de

contiguidade entre o parágrafo citado e a imagem da difusão, de maneira que o leitor é induzido a passar do texto à imagem. Esse é um fator que deve ser levado em conta pelos produtores de livros didáticos, pois sabemos que nem sempre os autores podem interferir em questões referentes às ilustrações ou à diagramação das páginas de um livro.

Apresentamos esses exemplos para chamar atenção para a importância das relações semânticas texto-imagem para a compreensão de uma mensagem, uma vez que citamos como princípios corretivos na interpretação de esquemas os textos do livro didático, as legendas e os títulos que os acompanham.

Uma imagem é, sem dúvida, polissêmica. Um texto verbal também é aberto a diferentes interpretações, como temos afirmado. Entretanto, em situações de ensino e aprendizagem de conteúdos das disciplinas escolares, a abertura à livre interpretação é limitada à validade conceitual. A interpretação de um esquema de estruturas ou processos envolvidos no fenômeno respiratório deve ocorrer dentro dos limites do conhecimento cientificamente aceito em dado momento.

Quanto às relações pragmáticas, essas dizem respeito aos modos de referência entre texto e imagem, diferenciados por Barthes²³ (1964, *apud* SANTAELLA, 2012) como ancoragem e *relais*.

Na ancoragem, o leitor é dirigido pelo texto que o leva a considerar alguns sentidos da imagem ignorando outros. O texto dirige a interpretação da imagem por meio dos indicadores linguísticos dêiticos (“vê-se aqui”, “esse lugar”) ou por meios não linguísticos como setas, linhas pontilhadas ou a própria relação de contiguidade entre o texto e o elemento imagético a quem se dirige. Na relação de *relais*, a atenção do leitor dirige-se igualmente da palavra ao texto e vice-versa, que não precisam fazer referência entre si.

Santaella (2012) cita ainda a relação pragmática de denominação ou etiquetamento, na qual a palavra designa²² o que é representado na imagem. Em relação ao esquema da Figura 10, a inclusão de palavras nominando as estruturas

²³ BARTHES, R. *Réthorique de l'image*. *Communications*. Paris: Seuil, n.4, p. 40-51. ²² Em termos sintáticos (relação espacial entre texto e imagem), corresponde a uma inclusão do tipo inscrição indicial. Essa ocorre quando as palavras estão inscritas na imagem com a função de indicadores, referindo-se ao que a imagem descreve.

ampliaria o equipamento necessário para a leitura superficial (identificação do conteúdo formal), assim como legenda e título, repercutindo na qualidade das leituras referencial e inferencial.

1.3 ESQUEMAS E O ENSINO E A APRENDIZAGEM DA RESPIRAÇÃO

Conhecer os processos envolvidos no fenômeno da respiração é requisito para a compreensão da fisiologia humana; da relação entre saúde e meio ambiente, e da conseqüente necessidade de preservá-lo; das transformações de energia e das relações entre fenômenos que ocorrem em níveis micro e macroscópico.

A palavra respiração é empregada para designar dois processos distintos, embora relacionados: as reações químicas intracelulares de liberação de energia a partir da oxidação de substâncias orgânicas e as trocas gasosas que acontecem nos diferentes tipos de órgãos respiratórios (pulmões, brônquias, pele, traqueias) de seres vivos. No primeiro caso, a palavra refere-se à respiração celular, no interior das mitocôndrias; no segundo, à respiração pulmonar no caso dos seres humanos.

Em uso coloquial, a palavra respiração está associada aos movimentos visíveis de elevação e abaixamento da caixa torácica que possibilitam a entrada e saída de ar dos pulmões; à ventilação pulmonar, inspiração e expiração; ao uso metafórico (“eu respiro poesia”), entre outros.

Sabe-se que o aluno ingressa na escola com concepções acerca da respiração que muitas vezes são equivocadas do ponto de vista do conhecimento científico. Em muitos casos, essas concepções referem-se ao uso cotidiano do termo respiração e, ainda que durante a escolarização novos significados sejam construídos, muitas dessas concepções acompanham os estudantes e persistem mesmo na vida adulta.

O ensino e a aprendizagem da respiração têm nos LD um de seus suportes para as atividades realizadas em sala de aula. Nesses livros, o conteúdo é veiculado por textos visuais e, em grande parte, por textos imagéticos materializados em esquemas.

Como ocorre com qualquer texto, também a leitura do texto veiculado na representação esquemática depende dos conhecimentos do leitor. Esses conhecimentos, na condição de elementos extratextuais, são mobilizados para interagir com o texto determinando o sentido produzido.

O ensino e a aprendizagem do fenômeno respiratório humano envolvem diretamente conhecimentos acerca das estruturas anatômicas que integram o sistema respiratório; das reações químicas envolvidas no metabolismo celular e nas transformações energéticas; dos processos fisiológicos relacionados às trocas gasosas entre o organismo e o ambiente. Recorre também a conhecimentos referentes ao sistema circulatório em termos de estruturas e função, devido à estreita relação e dependência fisiológica entre os fenômenos respiratório e circulatório.

Os esquemas utilizados no ensino e aprendizagem da respiração, celular ou pulmonar, apresentam níveis de complexidade variados, na medida em que são elaborados para representar diferentes aspectos desses fenômenos biológicos, seja em termos de estruturas ou de processos envolvidos em sua ocorrência.

Assim, há esquemas que representam os aspectos anatômicos do sistema respiratório; as relações entre os sistemas respiratório e circulatório em termos fisiológicos; os cortes representando estruturas internas dos pulmões; a hematose pulmonar; as mitocôndrias em corte revelando sua estrutura interna e as reações químicas que se processam nessa organela; a relação entre a respiração celular e as trocas gasosas em nível dos alvéolos pulmonares, sem citar todos.

Na elaboração desses esquemas, devem ser levados em conta o conteúdo, os objetivos didáticos e o público para o qual se destinam. Esses fatores irão determinar os elementos composicionais icônicos e simbólicos; o arranjo espacial e as formas de representar as relações entre esses elementos; as legendas e os títulos.

Aparici e García-Matilla (1998) salientam que a complexidade de uma imagem é determinada pela quantidade de elementos que entram em sua composição e como eles estão estruturados. Sob a ótica perceptiva, uma imagem que apresente mais de quatro elementos diferentes em relação à cor, forma e textura não é possível de ser observada, em sua totalidade, em uma única visada.

Acrescentam os autores que o nível de complexidade aumenta se os elementos mantêm relação entre si.

Há também outro fator a ser levado em conta e diz respeito à iconicidade, entendida como uma grandeza também aplicável à imagem e referida por Moles²⁴ (1981, apud Calado, 1994) como a qualidade de identidade da representação em relação ao objeto representado. Em outras palavras, a iconicidade refere-se ao realismo de uma imagem, o que vem a ser o oposto da abstração.

Moles elaborou uma escala (Anexo A) de 13 níveis (0 a 12) decrescentes de iconicidade (e crescentes em relação à abstração). A maior iconicidade, portanto grau 12, é representada pelo próprio objeto. À menor iconicidade, o grau zero, corresponde a maior abstração, nível no qual se encontram as fórmulas algébricas.

Segundo a escala, a iconicidade de um esquema anatômico é maior do que a de um esquema vetorial, o que significa que há mais realismo naquele do que neste. Dito de outra forma, no esquema vetorial a abstração é maior do que no esquema anatômico. Aparici e García-Matilla (1998) alertam para o fato de que representações com alto grau de abstração exigem maior esforço na codificação e decodificação dos signos, o que pode ser uma das explicações para a dificuldade dos estudantes na interpretação de alguns tipos de esquemas.

Em relação aos esquemas objeto desta tese, são representações visuais formadas pela associação de elementos com diferentes graus de iconicidade, uma vez que em um mesmo esquema podem ser representados, por exemplo, o corte de um alvéolo pulmonar e as fórmulas dos gases respiratórios oxigênio e carbônico, como é o caso de um esquema da hematose pulmonar. Entretanto, é possível que um leitor identifique com mais facilidade os gases pelas suas fórmulas, se essas já lhe forem conhecidas, do que o alvéolo em corte, se esse não lhe for familiar nem pela experiência direta nem pela experiência por meio de algum tipo de representação, como um desenho ou uma fotografia.

De qualquer forma, a leitura de um esquema exige do leitor a identificação de seus componentes, ou seja, das imagens “dentro” do esquema, o que elas representam, qual o referente; a identificação dos signos convencionais; o

²⁴ MOLES, A. *L'image, communication fonctionnelle*. Tournai: Casterman, 1981.

mapeamento das disposições espaciais dos componentes do esquema; e o estabelecimento das relações entre esses elementos.

Calado (1994) chama a atenção para as variáveis de sentido que devem ser consideradas na escolha ou elaboração de imagens para fins didáticos, o que se aplica à elaboração de esquemas e que envolve, nesse caso, autores e editores de livros didáticos. Embora em diferentes proporções, todas contribuem para a construção dos sentidos das imagens. A autora refere-se a elas como variáveis enfáticas pelo fato de conferirem ênfase a certos elementos como cor, tamanho, complexidade, contraste, valor informativo dos elementos presentes e condicionantes culturais e ontogenéticos tais como experiências, nível de desenvolvimento, expectativas.

A autora aponta também algumas questões de caráter prático em relação à elaboração de imagens que, mais do que replicar, devem realçar os caracteres pertinentes daquilo que representam. São os considerados atributos da boa forma: a omissão de detalhes desnecessários, o cuidado na escolha de formas visuais não ambíguas e dos traços mais significativos.

Acrescentamos a isso, por considerarmos de extrema relevância, a questão da correção da informação. Embora pareça óbvio e implícito nas recomendações acerca da elaboração de imagens, particularmente aquelas que se destinam ao uso em contextos educativos, nem sempre é o que ocorre na prática.

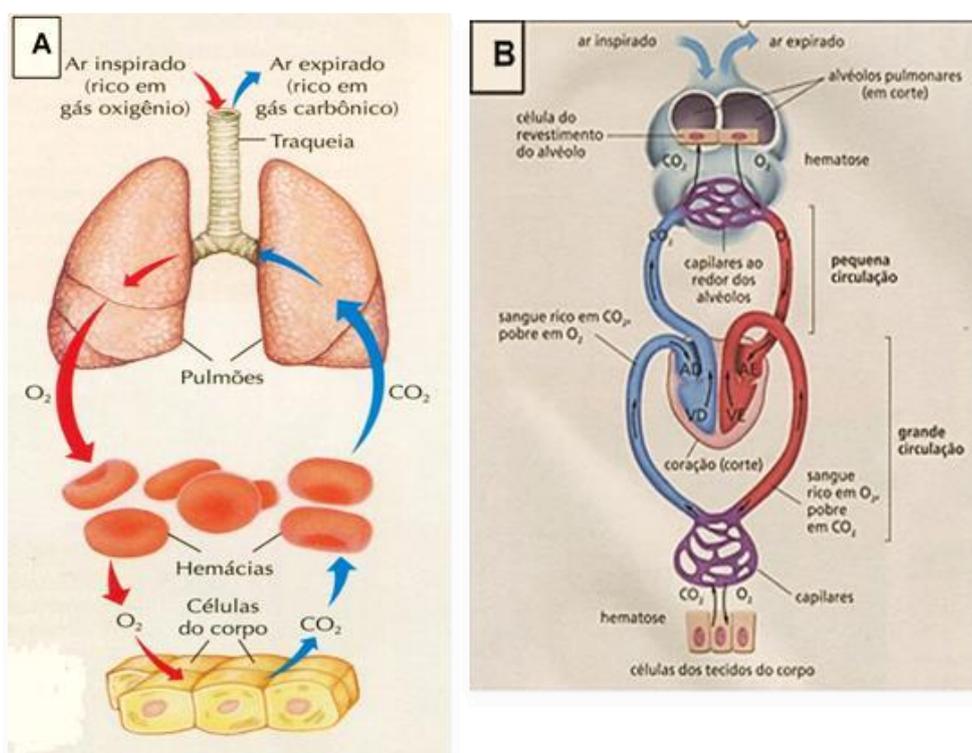
Embora esta tese não tenha como objetivo uma análise crítica dos esquemas e das imagens utilizadas em sua construção, é pertinente ilustrarmos o que afirmamos como forma de alerta para elaboradores e usuários de imagens, neste último caso os professores. Faremos uso de dois esquemas, apresentados lado a lado na Figura 16, para explicar a que nos referimos. Esses dois esquemas, bem como os esquemas apresentados na subseção 1.3.1 – Tipologia dos esquemas, foram extraídos de livros didáticos de Ciências e Biologia, cujas páginas completas, com os respectivos textos e legendas, encontram-se no Anexo B.

Os dois esquemas representam aspectos da respiração. O esquema A mostra o trajeto dos gases respiratórios; o B mostra a relação entre o sistema cardiovascular e a hematose. Nos dois esquemas são utilizadas as cores vermelha e azul para representar quantificação expressa por “rico em” e “pobre em”. O que

se refere ao oxigênio está representado em vermelho, e ao gás carbônico em azul. Já nos referimos a essas duas cores na introdução do trabalho, de forma que não repetiremos nesta seção.

No esquema A, as duas setas coloridas indicam entrada e saída de ar: ar inspirado representado por seta vermelha e ar expirado por seta azul. A partir dos pulmões, as setas indicam apenas os gases respiratórios, uma vez que o ar não circula no interior do organismo.

Figura 16 – Trajeto dos gases respiratórios/hematose e sistema cardiovascular



Fonte: Esquema A – AMABIS; MARTHO. *Biologia vol.2*, p.562; Esquema B – MENDONÇA, V. *Biologia vol.3*, p. 98.

No esquema B, tanto o ar expirado quanto o inspirado são representados por setas azuis. O esquema A representa os dois pulmões, ao passo que o esquema B representa o que há no seu interior, no caso um alvéolo pulmonar. Vale notar que no esquema B há uma modificação na cor do sangue na representação de “capilares ao redor dos alvéolos”, como se estivesse a indicar uma mistura entre as cores azul e vermelha do sangue, ou seja, algo acontece em nível de alvéolo pulmonar para que o sangue sofra uma transformação (essa é uma leitura possível,

pode haver outras). Essa representação contrasta com a forma como geralmente são mostrados os capilares sanguíneos que cobrem os alvéolos (ver Figuras 7 e 13) e apresenta outra maneira de representar a hematose.

Voltando ao esquema A, o que está representado, interpretando de maneira simplificada, é que o ar inspirado entra pela traqueia e passa ao pulmão direito (não passa pelo pulmão esquerdo). Do pulmão direito o gás oxigênio que estava no ar passa às hemácias e dessas às células do corpo. O gás carbônico passa das células do corpo às hemácias, dessas ao pulmão esquerdo (não passa pelo pulmão direito) e é liberado no meio externo. Simplificando ainda mais: O ar inspirado entra pelo pulmão direito e é expirado pelo pulmão esquerdo.

Essa interpretação ainda pode ter a influência do conhecimento acerca do sistema cardiovascular, cuja representação também faz uso das cores vermelha e azul, separando nitidamente os dois lados do coração (nesse caso azul do lado direito e vermelho no lado esquerdo).

Além disso, há uma expressão de uso já cristalizado para referir-se às concentrações dos gases oxigênio e carbônico: “rico em” e “pobre em”. Afirmar que o ar inspirado é rico em oxigênio e que o ar expirado é rico em gás carbônico pode induzir o aluno a comparar a concentração do gás carbônico no ar expirado com a do oxigênio no ar inspirado. Tanto no ar expirado quanto no inspirado é maior a concentração de O_2 em relação à de CO_2 . As expressões “rico em” e “pobre em” só tem validade se usadas em um contexto de comparação entre as concentrações de cada gás, separadamente, no momento da inspiração e da expiração. Acrescente-se a isso o fato de o ar inspirado não conter apenas oxigênio e gás carbônico, o que raramente é comentado nos textos didáticos sobre respiração.

Feitas essas considerações, sem a pretensão de ter esgotado a análise (até porque não é o propósito deste trabalho), cabe chamar atenção para a necessidade de limitar a livre interpretação, quanto se trata da leitura de esquemas que veiculam conhecimento científico. Para tanto, são importantes a legenda, as etiquetas verbais nominando estruturas e processos, quando necessário, e a intervenção do professor no momento da leitura. É um processo, no dizer de Calado (1994), de ancorar sentidos na imagem. É evitar a ambiguidade, que não contribui no processo de aprendizagem.

1.3.1 Tipologia dos esquemas

Carneiro e Mendes (2004) comentam a inexistência de consenso quanto à categorização dos esquemas; as tipologias são propostas em função da natureza do conteúdo representado.

Na classificação apresentada por Lavarde (1992) sobre esquemas utilizados no ensino e aprendizagem da circulação sanguínea, são três os tipos de esquemas: (1) anatômico, cujos objetivos são representar particularmente um órgão (nesse caso são do subtipo croquis anatômicos) ou o sistema como um todo; (2) mecânico, que representa o movimento do sangue no corpo e, para tanto, utiliza códigos como setas indicativas do sentido do movimento e cores para diferenciar o sangue; e (3) fisiológico, que representa os mecanismos de troca.

Hegarty²⁵ et al (1991 *apud* Liu; Won; Treagust, 2014) também propõem três tipos de esquemas²⁶ aos quais denominaram diagramas icônicos; diagramas esquemáticos; e tabelas e gráficos. Os diagramas icônicos correspondem a imagens realistas ou desenhos bastante semelhantes ao que representam e são efetivos para estabelecer comparações ou auxiliar os estudantes na visualização do que não é possível enxergar a olho nu. Os diagramas esquemáticos são mais abstratos, tais como a representação de circuitos elétricos. Tabelas e gráficos apresentam relações entre dados quantitativos.

Partindo do pressuposto que um esquema é um signo na medida em que representa algo para o seu intérprete (leitor do esquema), propomos uma tipologia para esquemas empregados no ensino e aprendizagem da respiração considerando dois aspectos. Em primeiro lugar, o objeto dinâmico do signo, aquilo que o signo substitui²⁷. Em segundo lugar, a forma como o objeto dinâmico está representado no signo, ou seja, consideramos o objeto imediato do signo. Dessa

²⁵ HEGARTY, M.; CARPENTER, P.A.; JUST, M.A. Diagrams in the comprehension of scientific texts. In: R. Barr, M.L. Kamil, P. Mosenthal; P.D. Pearsno (Eds.), *Handbook of Reading research*. Vol 2, pp. 641-668. New York, NY: Longman.

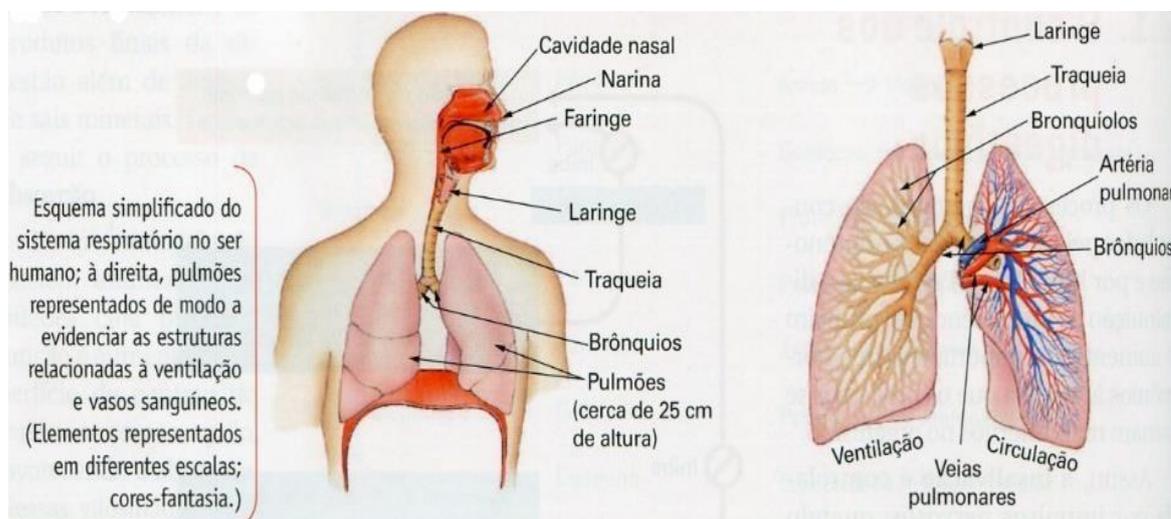
²⁶ Na língua inglesa, é utilizada a palavra *diagram*. Mantivemos como diagrama em nossa tradução. Originalmente, os autores denominaram *iconic diagram*; *schematic diagrams*; *charts and graphs*.

²⁷ Lembrando que o signo substitui o objeto (referente) em algum aspecto, não em sua totalidade.

forma, a tipologia proposta resultou em cinco tipos de esquemas, conforme ilustrado a seguir.

- *Esquema estrutural*: Nesse tipo de esquema, o referente é um órgão do sistema respiratório, do qual interessa destacar um aspecto específico; ou o sistema como um todo, com o objetivo de destacar a composição e a localização dos órgãos componentes ou um componente específico. A representação respeita a disposição espacial das estruturas em relação ao referente. Os esquemas estruturais podem ser *simples*, quando representam um aspecto do referente com a mesma escala; ou *em cascata*, quando se utilizam de outra escala para destacar aspectos pertinentes ao objetivo de representação do esquema (no caso dos esquemas que destacam certas estruturas a partir de uma ampliação de uma estrutura representada).

Figura 17 – Exemplo de esquema estrutural



Fonte: LOPES; ROSSO. *Conecte: Bio 2*, p. 154.

Separadamente, cada um dos dois esquemas da Figura 16 exemplifica um esquema estrutural simples. O conjunto, entretanto, é um esquema estrutural em

cascata, sendo o esquema da direita uma representação ampliada e em corte dos pulmões do esquema à esquerda.

Embora aparentemente simples, a interpretação dos dois esquemas requer do leitor a compreensão de que o rosto em perfil representa um corte das vias aéreas até a laringe. A partir da traqueia, a forma de representar é distinta, uma vez que não há um plano de corte e o que se evidencia é a organização espacial das estruturas representadas.

Em relação ao esquema da direita, os pulmões ampliados são representados em corte para visualização de parte da estrutura interna, ao passo que os demais componentes do esquema não estão em corte e estão representados de forma a evidenciar a relação espacial entre eles.

Destacamos, no tocante ao esquema ampliado, o fato de os dois pulmões evidenciarem estruturas relacionadas a processos diversos, como indicado verbalmente abaixo de cada pulmão: o direito refere-se à ventilação e o esquerdo à circulação.

Em que pese o poder de objetivação de um esquema, é preciso ter em conta que ele se destina a um leitor em situação de aprendizagem e para o qual não está expresso na legenda, nem no texto do livro didático²⁸, que essa é uma divisão didática apenas e que os dois pulmões apresentam as estruturas relacionadas à ventilação e à circulação.

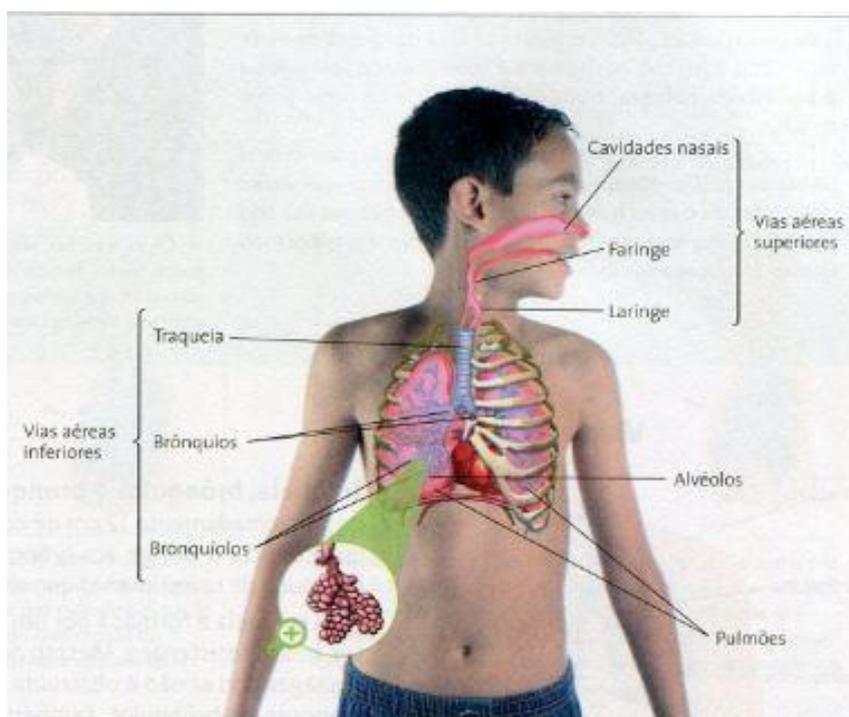
Também a Figura 18, extraída de um livro de Ciências do 8º ano, exemplifica um esquema estrutural em cascata. Trata-se de uma montagem em que um esquema dos componentes do sistema respiratório é sobreposto a uma fotografia.

Assim como a Figura 17, esse esquema exige do leitor a compreensão das diferentes formas de representação: o rosto está de perfil e as vias aéreas superiores apresentadas em corte. O tronco, em vista frontal, mostra internamente a caixa torácica em corte apenas no lado direito, evidenciando o pulmão direito. Deste, parte uma figura cônica verde cuja abertura (“luz”) mostra em um círculo branco a representação ampliada dos alvéolos pulmonares. Próximo aos alvéolos ampliados, uma representação do que pode ser uma lupa circunscreve o sinal “+”.

²⁸ Ver Anexo B.

A legenda expressa “Ilustração esquemática dos órgãos que compõem o sistema respiratório”, sem fazer alusão aos cortes, à ampliação, à representação do que parece ser uma lupa e à montagem feita a partir de uma fotografia e de um desenho figurativo. Tampouco o texto do livro didático do qual foi extraído o esquema faz referência a esses detalhes.

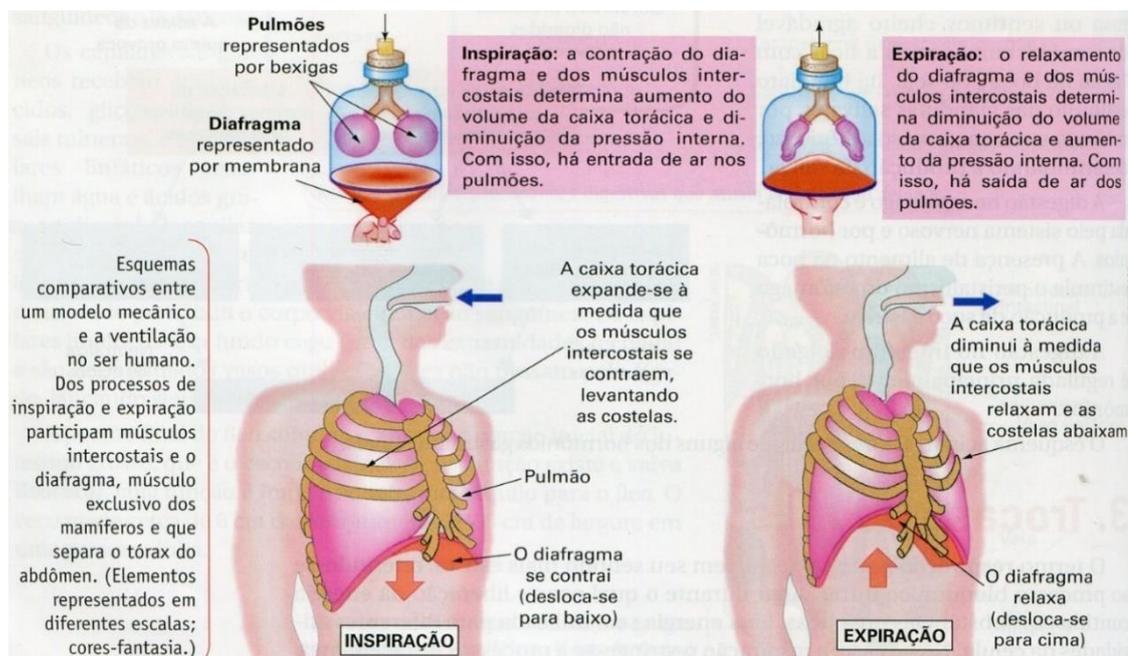
Figura 18_ Exemplo de esquema estrutural em cascata



Fonte: USBERCO et al. *Companhia das Ciências*. p.69

- *Esquema comparativo*: Nessa categoria, encontram-se os esquemas que colocam em evidência diferenças ou semelhanças entre entidades (um evento, um órgão, um processo, um organismo) diferentes; ou diferenças e semelhanças apresentadas pela mesma entidade submetida a situações diferentes. São também os esquemas que ilustram analogias, como exemplificado pela Figura 19.

Figura 19 – Exemplo de esquema comparativo



Fonte: LOPES; ROSSO. *Conecte: Bio 2*, p. 154.

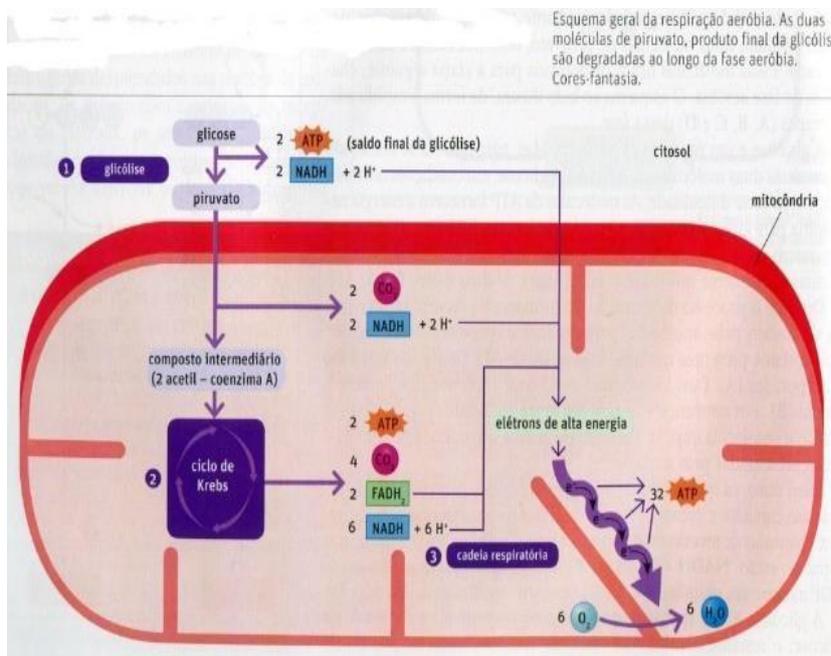
Além de mostrar duas situações nas quais é possível visualizar diferenças anatômicas durante a inspiração e a expiração, os esquemas comparativos acima ilustram uma analogia utilizada para explicar o processo de ventilação. O modelo análogo dos pulmões e do diafragma estão representados com as mesmas cores do esquema da ventilação.

Cabe aqui uma breve e pontual observação em relação à representação esquemática de uma analogia. Deve-se considerar que, além de interpretar o esquema, o aluno deve compreender a relação analógica que ele veicula. Se já nos manifestamos em relação à necessidade da intervenção do professor no sentido de auxiliar o aluno na interpretação de um esquema, no que diz respeito à analogia buscamos suporte na afirmação de Mól (1999) que aponta a importância de o professor orientar os alunos na compreensão das analogias, a fim de que esses não desenvolvam concepções em desacordo com o conhecimento científico. No caso do esquema da Figura 19, alertamos que o uso das bexigas para representar os pulmões pode induzir o aluno ao equívoco de considerar que, durante a

expiração, o pulmão murcha. Esse é um exemplo em que a intervenção do professor se faz necessária na compreensão da analogia.

- *Esquema funcional:* Esquemas incluídos nessa categoria representam etapas de processos ou eventos sucessivos. A sequência de ocorrência temporal é indicada por meio de números, setas ou outro signo convencional ou, ainda, por meio de sequência de imagens dispostas horizontalmente lado a lado, respeitando a orientação de leitura ocidental da esquerda para a direita.

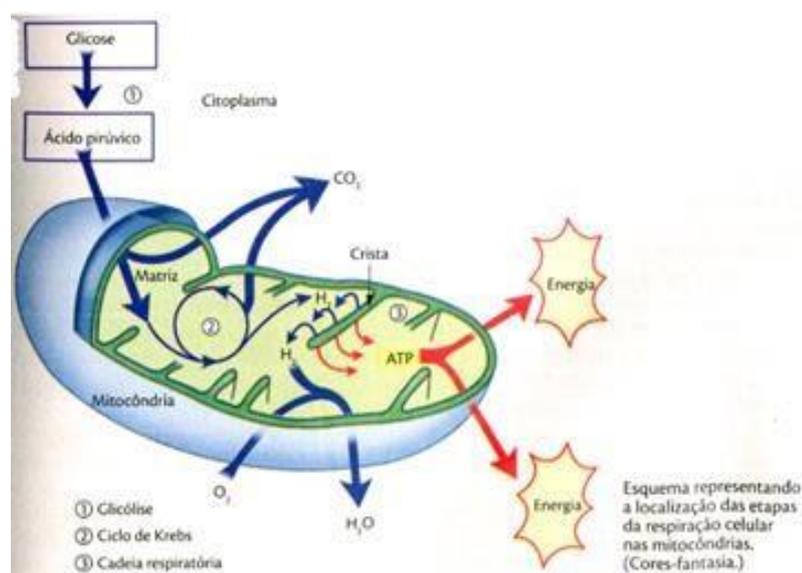
Figura 20 – Exemplo de esquema funcional



Fonte: CATANI et al. *Biologia 1* . p. 134

- *Esquema de situação:* Os esquemas de situação indicam o local de ocorrência de determinado processo ou evento em um espaço físico determinado (um órgão, um sistema, uma organela, um tecido).

Figura 21 – Exemplo de esquema de situação



Fonte: CESAR; SEZAR; CALDINI. *Biologia 1*, p. 265

Cabe observar que, em todos os esquemas exemplificados nesta seção do trabalho, a legenda é pouco explorada na condição de um elemento verbal que pode, e deve, acrescentar informações necessárias para a interpretação do esquema e direcionar a leitura para um sentido unívoco. Além disso, a informação apresentada nos dois sistemas mentais, verbal e não verbal, amplia a possibilidade de memorização e recuperação da informação. Nos exemplos apresentados, a legenda pode ser comparada a um título, considerando a extensão e as informações aportadas.

Bowen e Roth (2002), a partir de um estudo realizado no Canadá, no qual analisaram as legendas e os textos que acompanham diferentes tipos de imagens, incluindo gráficos, em livros didáticos do Ensino Médio, livros de ecologia de estudantes de graduação e periódicos científicos, encontraram diferença significativa na extensão das legendas e no conteúdo dos textos.

De acordo com os autores, enquanto nos periódicos científicos vários parágrafos do texto principal são dedicados a direcionar o leitor à interpretação dos gráficos, nos livros universitários há uma diminuição nesse direcionamento, que decresce ainda mais nos livros didáticos do Ensino Médio. Em relação às legendas, eles apontam que nos periódicos científicos elas são frequentemente extensas,

geralmente acima de 100 palavras, podendo chegar até 200, ao passo que nos livros universitários elas contêm menos de quatro dúzias de palavras e nos livros didáticos do Ensino Médio são ainda menores, com menos de uma dúzia de palavras.

Essas observações embasam o que temos insistido até aqui, no que diz respeito à importância de que o professor realize a leitura dos esquemas junto com o aluno, a fim de evitar equívocos na interpretação, estabelecimento de relações que não favoreçam a compreensão das analogias, emergência de concepções em desacordo com o conhecimento científico e tantos outros desvios de significado. De outra feita, um esquema, inicialmente elaborado com os objetivos de tornar evidentes estruturas e relações com as quais o aluno não tem um contato por experiência direta e facilitar a aprendizagem de um conteúdo, pode tornar-se fonte de informações equivocadas e comprometer essa aprendizagem.

REFERÊNCIAS

APARICI, R.; GARCÍA-MATILLA, A. Lectura de imágenes. Madrid: Ediciones de La Torre, 1998.

ARAÚJO, S. P. Leitura no ensino de Biologia na Educação de Jovens e Adultos. 2017. 253 f. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de Brasília.

AUMONT, J. *A Imagem*. 7.ed. Campinas: Papirus, 2002.

BARTHES, R. O óbvio e o obtuso. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1964.

BELMIRO, C.A. Textos Visuais. In: *Glossário Ceale – Termos de Alfabetização, Leitura e Escrita para Educadores*. Centro de Alfabetização, Leitura e Escrita. Faculdade de Educação. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.ceale.fae.ufmg.br/app/webroot/glossarioceale/verbetes/textosvisuais#:~:text=A%20quest%C3%A3o%20que%20se%20coloca,estruturada%20com%20coer%C3%A2ncia%20e%20coes%C3%A3o.>> Acesso em: 7 ago. 2020.

BOWEN, G.M.; ROTH, W.M. Why students may not learn to interpret scientific inscriptions. *Research in Science Education*, 32, pp 303-327, 2002.

CALADO, I. A utilização educativa das imagens. Porto: Porto Editora, 1994.

CARNEIRO, M.H.S. As imagens no livro didático. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE CIÊNCIAS, 1, 1997, Águas de Lindóia. **Anais ...** p. 366-376.

CARNEIRO, M.H.S.; MENDES, J.R.S. Texto e imagens na educação em Biologia Trabalho apresentado na BIOED 2004 - International Conference on Biology Education, Sustainable Development, Ethics and Citizenship, 13 -18 de setembro/2004, Rio de Janeiro. 2004.

CLARK, J.M.; PAIVIO, A. Dual coding theory and Education. *Educational Psychology Review*, v.3. n.3, 1991.

CUNHA, A. G. **Dicionário etimológico Nova Fronteira da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.

FERREIRA, A. B. de H. Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. – 5. Ed. – Curitiba: Positivo 2010.

FERREIRA, A.G. Dicionário de Latim-Português. Lisboa: Dicionários Editora, 1987.

HORNBY, A. S. Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English. 8. ed. Oxford: University Press, 2015.

JOLY, M. Introdução à análise da imagem. Campinas: Papirus, 2003.

KOCH, I. V. O Texto e a Construção dos Sentidos. 10.ed., 3ª reimpressão. São Paulo: Contexto, 2014.

KOCH, I. V.; ELIAS, V. M. Ler e compreender: os sentidos do texto. 2.ed. São Paulo: Contexto, 2008.

LAVARDE, A. Contribution a l'étud de la schématisation dans l'enseignement de la circulation sanguine. Tese (Doutorado em Educação). Universidade Paris VII, 1992.

LIU, Y.; WON, M.; TREAGUST, D. Secondary biology teachers' use of diferente types of diagrams for diferente purposes. In: EILAM, B.; GILBERT, J.K. (eds.) *Science teachers' use of visual representations, models and modeling in Science Education 8*. DOI 10.1007/978-3-319-06526-7_5, Springer International Publishing, Switzerland, 2014.

MARCUSCHI, L. A. Leitura como processo inferencial num universo culturalcognitivo. In: **Leitura: Teoria e Prática**, n.5. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1985.

MARTINS, M.C., PICOSQUE, G.; GUERRA, M. T. **Didática do ensino da arte: a língua do mundo**. São Paulo: FTD. 1998.

MENDES, J. R. S.; CARNEIRO, M. H. S. Produção de sentidos a partir da leitura de esquemas didáticos representativos da respiração humana. In: **Contexto e Educação**, n. 112, pp. 259-279, 2020.

MICHAELIS. *Dicionário brasileiro da Língua Portuguesa*. Versão online. Editora Melhoramentos, 2015. Disponível em:
<michaelis.uol.com.br/modernoportugues/busca/português-brasileiro>

MÓL, G. S. *O uso de analogias no ensino de Química*. 1999. 225 f. Tese (Doutorado em Química). Instituto de Química, Universidade de Brasília.

MORTON, J. Interaction of information in word recognition. *Psychological Review*. Vol. 76, n. 2, 1969, pp.165-178.

NÖTH, W. Panorama da Semiótica: de Platão a Peirce. 4.ed. São Paulo: Annablume, 1995, pp. 59 a 92.

- NÖTH, W. Semiótica e Semiologia: os conceitos e as tradições. In: *Com Ciência: Revista Eletrônica de Jornalismo Científico*. 2006. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/comciencia/index.php?section=8&edicao=11&id=82> > Acesso em: 3 maio 2020.
- PAIVIO, A. et al. Referential processing: reciprocity and correlates of naming and imaging. *Memory & Cognition*, n.17 (2), 1989, pp. 163-174.
- PANOFSKY, E. *Significado nas Artes Visuais*. São Paulo: Perspectiva, 2001.
- PEIRCE, C. S. *Semiótica*. São Paulo: Perspectiva, 2005.
- _____. The Collected Papers of Charles Sanders Peirce. Vols. I-VI. HARTSHORNE, C.; WEISS, P. (eds). Cambridge, MA: Harvard University Press, 1931-1935. Vols. VII-VIII, BURKS, A. (ed.), Cambridge, MA: Harvard University Press, 1958. Edição eletrônica, CP.
- PIGNATARI, D. *Semiótica e Literatura*. 6. Ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2004.
- ROBERT, P. Dictionnaire Alphabétique & Analogique de La Langue Française. Société Du Nouveau Littré. 1977.
- ROMANINI, A. V. *Semiótica Minuta: especulações sobre a gramática dos signos e da comunicação a partir da obra de Charles S. Peirce*. Tese (Tese- Doutorado em Ciências da Comunicação). Universidade de São Paulo – USP. São Paulo, 2006, 245 p.
- SADOSKI, M.; PAIVIO, A. A dual coding theoretical model of reading. In: RUDEL, R.B.; UNRAU, N.J. (Eds.) *Theoretical models and processes of reading*. 5 ed. pp. 1329-1362. Newark, DE: International Reading Association, 2004.
- SANTAELLA, L. *O que é semiótica*. São Paulo: Brasiliense, 1983.
- SANTAELLA, L. *Leitura de Imagens*. São Paulo: Melhoramentos, 2012; Coleção Como Eu Ensino.
- SANTAELLA, L.; NÖTH, W. *Imagem: Cognição, semiótica, mídia*. São Paulo: Iluminuras, 1998.
- SCOTT, M. Lendo nas entrelinhas. *Cadernos PUC*, nº 16, 1983. p.101-124.
- VEZIN, J.F. L'apprentissage des schémas leur rôle dans l'assimilation des connaissances. *Revue Critique*. 1987
- WALTY, I. L.; FONSECA, M. N. S.; CURY, M. Z. F. *Palavra e imagem: leituras cruzadas*. Belo Horizonte: Autêntica, 2000.

2 ESQUEMAS COMO OBJETO DE ESTUDO: REVISÃO DA LITERATURA

Além da linguagem verbal, o discurso científico estrutura-se a partir da linguagem gestual e da linguagem visual em suas diferentes formas. Lemke (1998) enfatiza o papel complexo desempenhado pela linguagem ao afirmar que não é possível fazer ou comunicar ciência apenas por meio da linguagem verbal, mas pela combinação do discurso verbal com expressões matemáticas, representações gráficas, gestos e simulações.

Em relação aos conceitos biológicos, Cheng e Gilbert (2015) afirmam que sua representação inclui as formas verbal e visual, esta última por meio de diferentes tipos de imagens. Da mesma forma, a ciência escolar veiculada em especial pelo livro didático e pelos professores durante as aulas integra textos na modalidade verbal e representações visuais como fotografias, mapas, desenhos, esquemas, tabelas, gráficos, infográficos, entre outras imagens.

O reconhecimento da importância das diferentes linguagens no ensino e aprendizagem das disciplinas científicas, aliado ao considerável aumento na quantidade das imagens nos materiais didáticos, têm-se refletido nas pesquisas em ensino de ciências e nas consequentes publicações científicas especializadas na área de educação em ciências.

Observamos, entretanto, que essas pesquisas não acompanham, na mesma escala, a ampliação na variedade de representações visuais possibilitada por meio das novas tecnologias de criação e tratamento de imagens. Esse desalinhamento se torna ainda mais evidente se considerarmos que a utilização das representações visuais ocorre em todos os níveis de escolarização, do básico ao superior.

Acrescentamos ainda, à observação anterior, que a preocupação com as representações visuais no ensino e aprendizagem deve, necessariamente, envolver tanto aluno quanto professor. Tal fato resulta na ampliação do escopo das investigações sobre imagens no ensino de ciências, pois considerar o professor em sua relação com as representações visuais nos leva a dirigir o olhar para o professor em formação: alunos de licenciaturas em disciplinas científicas e pedagógicas.

A investigação proposta neste projeto faz parte de uma linha de pesquisa mais abrangente que tem centralidade nas imagens e irradia-se a partir de dois focos dos quais derivam diferentes perspectivas adotadas nas pesquisas sobre representações visuais em contextos educativos: análise de imagens nos livros didáticos e o papel das imagens em situações de ensino e aprendizagem.

Com o objetivo de situar a investigação proposta neste projeto dentro de um campo de pesquisas mais abrangente, realizamos uma revisão da literatura na qual identificamos e analisamos artigos de divulgação científica que relatam pesquisas cujo objeto de investigação são as imagens do tipo esquema.

Cabe pontuar que o termo esquema é utilizado para designar diferentes tipos de representações, tais como quadro resumo, síntese, desenho representativo, entre outros. Tal polissemia nos levou a assumir o conceito de esquema que elaboramos e apresentamos no capítulo 1, uma *representação visual plana, composta por uma associação de imagens fixas e símbolos, elaborada com o objetivo didático de representar sinteticamente estruturas e/ou relações entre estruturas, funções e processos que integram os fenômenos, objetos de estudo das Ciências Naturais*.

2.1 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DA REVISÃO

Realizamos uma revisão bibliográfica por meio de um levantamento das versões em meio digital de periódicos dedicados à divulgação de pesquisas em ensino de ciências, conforme critérios descritos a seguir. A revisão é de natureza qualitativa, com geração de dados quantitativos aos quais não foi, entretanto, aplicado tratamento estatístico. A cobertura temporal abrangeu o período compreendido entre os anos de 1996 e 2016 ou, em alguns casos, a partir da data inicial de publicação do periódico, caso essa fosse posterior ao ano de 1996.

A revisão foi realizada em quatro etapas, descritas detalhadamente nos parágrafos subsequentes: seleção dos periódicos, seleção dos artigos, categorização dos artigos, análise dos artigos cujo objeto é a imagem do tipo esquema.

2.1.1 Seleção dos periódicos

Com o propósito de assegurar o mesmo padrão de qualidade de publicação nos artigos incluídos nesta revisão, o primeiro critério para a seleção foi a inclusão do veículo de divulgação no sistema Qualis²⁹ da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Nesse sistema, selecionamos os periódicos com evento de classificação Qualis 2013 e 2014, da área de avaliação ensino, estrato de qualidade A1. Obtivemos o total de 67 títulos de periódicos nacionais e internacionais, em diferentes idiomas, que reuniam publicações cujos temas abrangiam diversas áreas do conhecimento. Foi necessário aplicar um novo filtro a partir desse resultado, eliminando as duplicidades de títulos e focando nos periódicos que reuniam divulgações relacionadas ao ensino de ciências. Entendemos que dessa forma foram contempladas as áreas de ensino de Ciências Naturais, Física, Química e Biologia.

Para tanto, entre os 47 periódicos obtidos após a eliminação das duplicidades, selecionamos aqueles cujo título apresentava as palavras *ciência* ou *science*, abrangendo assim publicações em língua portuguesa, espanhola e inglesa. A intenção foi conferir maior consistência e cobertura à revisão, ampliando o panorama que buscávamos construir em relação ao objeto de nosso estudo.

A busca a partir das palavras do título apresentou um retorno de nove periódicos. Entre esses, excluímos o periódico *Revista de Educacion de las Ciencias* dado o fato de não se encontrar disponível para acesso na base de dados

²⁹ Qualis é o conjunto de procedimentos utilizados pela Capes para estratificação da qualidade da produção intelectual dos programas de pós-graduação. Como resultado, disponibiliza uma lista com a classificação dos veículos utilizados pelos programas de pós-graduação para a divulgação da sua produção. O Qualis afere a qualidade dos artigos e de outros tipos de produção a partir da análise da qualidade dos periódicos científicos. A classificação, atualizada anualmente, é realizada pelas áreas de avaliação. Os periódicos são enquadrados em estratos indicativos de qualidade: A1, o mais elevado; A2; B1; B2; B3; B4; B5; C. Fonte: FAUSTO, Sibeles. **Capas divulga atualização do Qualis Periódicos 2013-2014**. Set. 2015. Disponível em: <<http://www.sibi.usp.br/noticias/capes-divulga-atualizacao-qualis/>>. Acesso em: 22 setembro 2017.

eletrônica da Biblioteca Central da Universidade de Brasília. Dessa forma, a revisão teve como alvo artigos publicados na versão eletrônica de oito periódicos indexados no sistema Qualis-CAPES, da área de ensino de ciências, estrato A1, publicados em inglês, espanhol e português, entre os anos de 1996 e 2016. Apresentamos a seguir a lista de periódicos incluídos nesta revisão:

- Ciência e Educação
- Cultural Studies of Science Education
- Enseñanza de las Ciencias
- Internacional Journal of Science Education
- Journal of Baltic Science Education
- Science & Education
- Research in Science Education
- Interciencia

2.1.2 Seleção dos artigos

A despeito da grande diversidade de imagens que podem ser produzidas atualmente, consideramos necessário estabelecer um recorte antes de adentrarmos na tarefa de seleção dos artigos. Tendo em vista que a maior parte das imagens às quais os alunos têm acesso no ambiente escolar ainda são as imagens fixas veiculadas pelo livro didático, decidimos nesta fase da revisão pela inclusão de artigos que tivessem como foco a divulgação de estudos com qualquer tipo de imagem externa fixa, excluindo assim as investigações com imagens dinâmicas. O objetivo era obter um panorama das pesquisas com imagens fixas no ensino de ciências e, a partir daí, concentrar a análise especificamente nas representações esquemáticas.

Para definir os critérios de seleção dos artigos, levamos em consideração particularidades referentes ao objeto desta pesquisa. Em primeiro lugar, o fato de que o estudo das imagens do tipo esquema insere-se em um universo maior de pesquisa relacionado à utilização de imagens ou representações visuais em contextos educativos, especificamente em nosso caso no contexto do ensino de ciências. Ocorre que a polissemia da palavra imagem, que pode significar, entre outros, representação, sombra, semelhança, modelo, fantasia, reflexo, vincula seu

uso a diferentes áreas do conhecimento como por exemplo matemática, psicologia, comunicação, física, artes visuais.

Outro aspecto observado diz respeito à ausência de um consenso na denominação da imagem do tipo esquema, a qual pesquisadores referem-se também como diagrama, representação esquemática, representação gráfica, desenho, *diagram*, *graphics*, *graphs*, *schematic diagram*, *drawings*, *inscriptions*. Em alguns casos, nenhuma denominação específica é utilizada e o esquema é tratado apenas como representação visual.

Estas duas particularidades sinalizaram a fragilidade de uma busca com base no uso de palavras-chave. Por um lado, poderíamos obter um retorno no qual artigos sem vínculo com o objeto desta pesquisa seriam selecionados em um primeiro momento e, por outro lado, artigos que deveriam compor a revisão poderiam estar sendo excluídos. Dessa forma, optamos inicialmente pela busca a partir da leitura dos títulos publicados em todos os volumes dos periódicos selecionados, respeitando a cobertura temporal anteriormente determinada.

Entretanto, em muitos casos apenas a leitura dos títulos não se mostrou suficiente como procedimento de seleção, em virtude de que esses nem sempre evidenciavam de forma inequívoca o objeto da investigação divulgada. Tal fato nos obrigou a incluir também, em eventos específicos, a leitura do resumo. Alguns artigos tiveram que ser lidos na íntegra ainda nesta fase de busca, pois sentimos necessidade de nos assegurar, por meio do texto e das imagens presentes, a que tipo de imagem a investigação descrita se referia. Obtivemos nesta segunda etapa da revisão um retorno de 105 artigos.

Acreditamos que essa forma de busca, embora mais lenta e trabalhosa em comparação à realizada por meio de palavras-chave, conferiu mais confiabilidade à seleção. Essa afirmação é reforçada ainda pela constatação posterior de que alguns artigos não apresentavam palavras-chave e, em muitos deles, consideramos que as palavras-chave não refletiam o conteúdo do trabalho, pois não se referiam nem à imagem, nem à esquema, nem mesmo à representação visual.

À medida que acessávamos os volumes dos periódicos, realizávamos uma contagem manual dos textos publicados em cada volume, independentemente do

objeto investigado. A intenção era estabelecer posteriormente a representatividade das pesquisas sobre imagens no campo de pesquisas em ensino de ciências.

Computamos um total de 8262 artigos, o que corresponde ao número de títulos lidos. A relação entre o número de artigos selecionados (n=105) e o total de artigos publicados (n=8262) no período delimitado para a revisão (1996-2016) determina um percentual aproximado de 1,3% de publicações destinadas a divulgar pesquisas sobre imagens no ensino de ciências. A Tabela 1 apresenta o resultado destas duas etapas da revisão.

Evidenciamos que a distribuição temporal das pesquisas com imagens fixas não se deu de maneira uniforme. A primeira década da cobertura (1996-2005) apresentou um número significativamente menor (n=25) de publicações em relação à segunda (2006-2016), na qual houve um retorno de 80 artigos para o período.

Tabela 1 – Panorama das publicações sobre imagens no período 1996-2016

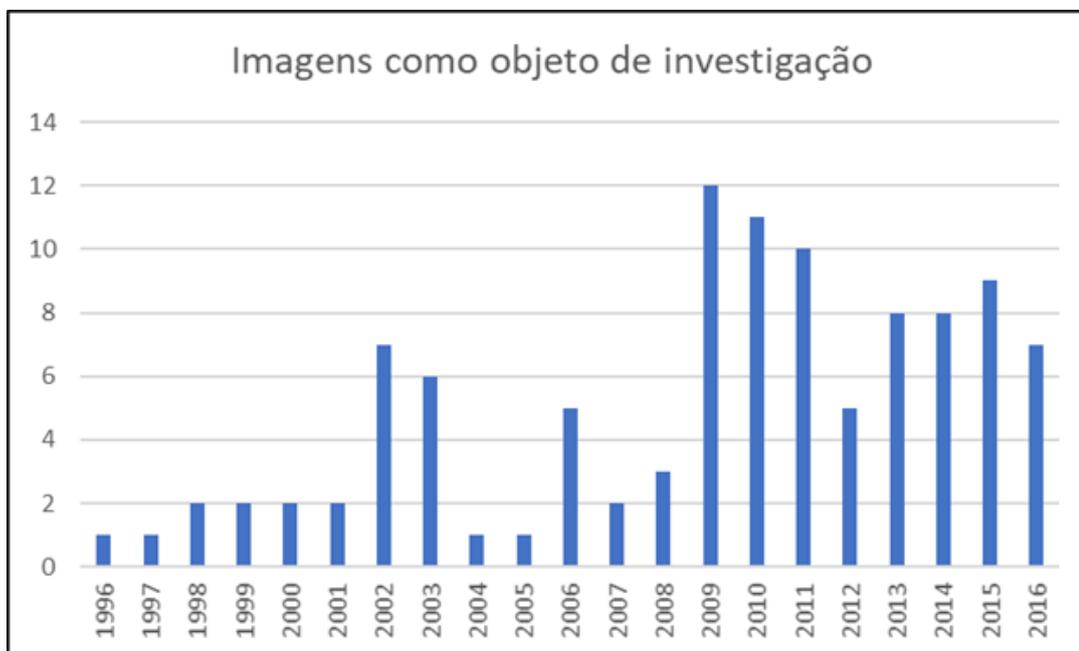
Periódico	Período consultado	Idioma de publicação	Artigos publicados (Ap)	Artigos sobre imagens (Ai)	Relação Ai/AP %
Ciência e Educação	1998 a 2016	Português	684	9	1,3
Cultural Studies of Science Education	2006 a 2016	Inglês	652	-	-
Enseñanza de las Ciencias	1996 a 2016	Espanhol	694	15	2,2
Internacional Journal of Science Education	1996 a 2016	Inglês	1932	50	2,6
Journal of Baltic Science Education	2002 a 2016	Inglês	484	8	1,6
Science & Education	1996 a 2016	Inglês	1365	-	-
Research in Science Education	1996 a 2016	Inglês	758	23	3,0
Interciencia	2000 a 2016	Inglês Espanhol Português	1693	-	-
Total	1996 a 2016		8262	105	1,3

Fonte: A autora

Em 2009, o periódico *International Journal of Science Education* publicou uma edição especial, nomeada *Visual and Spacial Modes in Science Learning*, com o foco no uso de representações no ensino e aprendizagem de ciências. No ano de 2010, foi a vez do *Research in Science Education* dedicar uma edição com o

mesmo foco, sob o título *Representing Science Literacies*. Juntos, os dois periódicos reúnem quase 70% dos artigos selecionados na primeira etapa desta revisão. O Gráfico 1 ilustra essa distribuição.

Gráfico 1 - Distribuição das publicações por ano.



Fonte: A autora.

É importante ressaltar a evolução no número de investigações envolvendo imagens fixas, o que aponta para uma mudança na forma como diferentes linguagens são consideradas no âmbito do ensino das disciplinas científicas.

2.1.3 Categorização dos artigos

Nesta etapa, o objetivo foi classificar os 105 artigos selecionados de forma a obter uma visão sobre as diferentes vertentes de pesquisas que tem como objeto as imagens externas fixas no ensino de Ciências.

Estabelecemos, a priori, duas categorias: *imagens nos livros didáticos*, com um total de 15 artigos e *imagens em contextos de ensino e aprendizagem*, englobando 90 artigos. As duas categorias surgiram ainda no processo de seleção dos artigos, a partir da leitura de seus títulos e resumos.

Na categoria *imagens nos livros didáticos*, reunimos os artigos de divulgação de estudos com o foco na análise de imagens presentes em livros didáticos das disciplinas de Ciências da Natureza, abrangendo a educação básica e superior.

Em relação à categoria *imagens em contextos de ensino e aprendizagem*, o fato de abranger investigações com diferentes tipos de imagens fixas e com objetivos ainda bastante diversos nos sinalizou a necessidade de realizar uma segunda classificação para essa categoria, de forma a obter categorias mais homogêneas e focar no tipo de imagem de interesse à nossa pesquisa: o esquema.

A partir da análise das questões de pesquisa declaradas em cada artigo da categoria *imagens em contextos de ensino e aprendizagem*, identificamos quatro linhas de investigação, que vieram então a se constituir nas seguintes categorias: *relação aluno-imagem*; *multimodalidade e múltiplas representações*; *relação professor-imagem* e *estudos sobre esquemas*. Incluindo as investigações sobre imagens nos livros didáticos, essa fase da revisão resultou em cinco categorias, cujas descrições são apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Categorias de investigação e respectivas descrições

Categoria	Descrição
Imagens nos livros didáticos	Inclui artigos que relatam pesquisas com o foco na análise das imagens nos livros didáticos das disciplinas de Ciências Naturais.
Relação aluno/imagem	Inclui artigos que relatam investigações didáticas centradas na relação entre alunos de qualquer nível de escolaridade e imagens fixas (desenhos, fotografias, gráficos, infográficos e outras), excetuando os esquemas.
Multimodalidade	Inclui artigos que divulgam investigações didáticas com o foco na multimodalidade e na multirrepresentação em suas relações com os processos de ensino e aprendizagem de conceitos científicos.
Relação professor/imagem	Inclui artigos de divulgação de investigações didáticas focadas na utilização das imagens por professores de disciplinas de Ciências Naturais, em diferentes níveis de escolaridade.
Estudos sobre esquemas	Inclui artigos destinados à divulgação de investigações didáticas que focam em imagens do tipo esquema isoladamente, sem considerá-los em associação com outras formas de representação.

Fonte: A autora.

Embora para nosso estudo interessem as imagens do tipo esquema, nessa etapa incluímos também as investigações didáticas com outros tipos de imagens, considerando que um dos objetivos desta revisão é situar as pesquisas sobre os esquemas em um universo maior de pesquisa com as imagens fixas em situações de ensino e aprendizagem.

A maior parte das publicações concentra-se na categoria *relação aluno/imagem*, com aproximadamente 43% das ocorrências. Publicações classificadas com *multimodalidade*, *estudos sobre esquemas* e *imagens nos livros didáticos* aparecem em sequência decrescente, com ocorrências aproximadas de 23%, 16% e 15%. Em número consideravelmente menor, encontram-se os artigos que divulgam pesquisas dedicadas às relações entre professor/imagem, pertencentes à categoria *relação professor/imagem*, com apenas 3% das ocorrências.

Vale comparar esse percentual com os 44% referentes às pesquisas com foco nas relações aluno/imagem, ou ainda ao somatório das categorias *relação aluno/imagem*, *multimodalidade* e *estudos sobre esquemas* (82%), que de alguma forma representam também pesquisas com o foco no aluno em suas relações com as imagens. Essa discrepância indica uma carência de pesquisas que merece atenção por parte dos investigadores em ensino de ciências, particularmente porque as imagens têm estado bastante presentes em contextos de ensino e aprendizagem, o que envolve não apenas o aluno como também o professor.

Em relação à imagem do tipo esquema, também é necessário pontuar que apesar das dificuldades de leitura e interpretação, apontadas por diversos autores citados na introdução deste trabalho, e do seu amplo uso em contextos de ensino e aprendizagem, apenas 16% das investigações se concentraram especificamente neste tipo de imagem. Revela-se aí outra carência de pesquisa que precisa ser suprida.

A maior parte das publicações envolvendo investigações sobre esquemas, conforme descrição da categoria no Quadro 1, ocorreu entre os anos 2008 e 2016, 12 no total. Destas, metade foi publicada nos anos de 2015 e 2016. Entretanto, não é possível inferir uma tendência a partir dessa observação pois para tanto seria necessário ampliar a busca por pesquisas em outros periódicos.

2.2 O ESQUEMA COMO OBJETO DE ESTUDO

Nesta subseção, apresentamos o resultado da análise dos 12 artigos incluídos na categoria de estudos específicos sobre esquemas. Desses, oito foram publicados no *International Journal of Science Education*, e quatro no *Research in Science Education*.

Embora todos esses artigos tenham como objetivo relatar investigações cujo objeto são imagens do tipo esquema, há diferenças substantivas entre os estudos no que se refere aos objetivos implícita ou explicitamente declarados. Tendo por base as questões de pesquisa, classificamos os 12 trabalhos em quatro categorias: elaboração de esquemas; interpretação de esquemas; papel pedagógico dos esquemas; e relação texto/esquema.

Na primeira categoria, incluímos os estudos direcionados para a investigação das competências representacionais dos estudantes e das implicações, para a aprendizagem, da elaboração do esquema pelo estudante sobre um tópico específico. As demais categorias comportam estudos focados na interpretação dos estudantes de esquemas elaborados para eles, presentes nos livros didáticos ou nas apresentações dos professores.

2.2.1 Elaboração de esquemas

Os três estudos incluídos nesta categoria envolveram alunos de ensino médio e universitário e exploraram diferentes aspectos relacionados à produção de esquemas pelos próprios alunos.

Pena e Quiles (2001), buscando compreender os efeitos da elaboração de esquemas na aprendizagem de conceitos relacionados às fases da Lua, conduziram uma investigação com alunos de um curso de formação de professores, envolvidos com a tarefa de explicar e representar esquematicamente essas fases. Os resultados evidenciaram que os estudantes têm dificuldade de se expressar por meio de esquemas, e quando o fazem elaboram representações esquemáticas confusas, incompletas (sem títulos ou setas, por exemplo) e, conseqüentemente, com baixa qualidade no sentido de representar um conceito.

Alguns alunos limitam-se apenas a reproduzir os esquemas presentes nos livros didáticos. Para os autores, o fato de os alunos não possuírem uma ideia clara do modelo Sol/Terra/Lua, nem o domínio de conceitos de ótica, geometria e luz necessários para construir essa ideia interfere na elaboração dos esquemas.

Por certo, concordamos que a falta de um suporte conceitual é um dos elementos que influem na elaboração de esquemas, na medida em que impossibilitam o aluno de estabelecer relações entre elementos representados, reduzindo o conteúdo informacional da representação. No entanto, alertamos para o fato de que diferentes representações se prestam a diferentes propósitos e é necessário verificar a adequabilidade de cada uma ao conteúdo que se pretende representar. Isso significa reconsiderar o uso de esquemas para a representação das fases da Lua, embora esta seja a forma tradicionalmente utilizada nos livros didáticos.

O estudo de Gebre e Polman (2016) focou na competência representacional de estudantes do ensino médio, incumbidos da elaboração coletiva de infográficos sobre tópicos científicos. Em relação à mensagem, os infográficos analisados evidenciaram que aspectos visuais tais como cor ou forma foram mais valorizados do que o conteúdo informacional, a abrangência e a credibilidade das informações. Quanto aos aspectos tipológicos, os pesquisadores destacaram o uso e a combinação de diferentes tipos de representações não textuais, predominantemente as icônicas e as simbólicas. Entretanto, apesar de fazerem uso de diferentes representações e à exemplo dos resultados apontados por Pena e Quiles (2001), neste estudo também ficou evidente a dificuldade dos alunos em representar informações visualmente.

Entendemos que possivelmente essa discrepância entre utilizar variadas representações não textuais e apresentar dificuldade em representar visualmente se explique pelo fato de que elementos icônicos e simbólicos fazem parte do cotidiano dos estudantes, pois estão presentes nas representações visuais dos materiais didáticos. Entretanto, atividades que envolvam alunos na construção de suas próprias representações ainda não são comuns nas práticas escolares. Como assinala Lowe (1987), construir esquemas científicos envolve um conjunto de requerimentos que dizem respeito não apenas à forma de representar, mas

também à forma de colocar em relação uns com os outros os elementos representados, de maneira que importantes relações científicas dentro do esquema sejam representadas com precisão.

O terceiro estudo nesta categoria foi centrado em um tipo específico de esquema geralmente encontrado em livros didáticos de Física e bastante utilizado na resolução de problemas de mecânica: o diagrama de vetores. Heckler (2010) empreendeu um conjunto de experimentos com o objetivo de investigar em que medida solicitar aos alunos de um curso de Física que construam diagramas de vetores para a resolução de problemas básicos de mecânica afeta o desempenho na resolução desses problemas. Os resultados indicaram que alunos que foram solicitados a construir os diagramas tenderam a usar métodos de resolução formal, com os quais não têm ainda familiaridade, em oposição a formas mais intuitivas de resolução que geralmente utilizam.

A elaboração de diagramas de vetores é uma etapa comum no procedimento formal de resolução de problemas. Estudos anteriores citados por Heckler demonstraram uma correlação positiva entre o uso espontâneo destes diagramas e a correta solução de problemas. Essa diferença nos sinaliza que a elaboração desse tipo de esquema tanto pode auxiliar quanto dificultar o aluno e, dessa forma, devemos levar em conta suas experiências anteriores e seu desenvolvimento no planejamento de atividades envolvendo a elaboração de esquemas.

Embora bastante distintos em seus objetivos, os estudos se alinham quanto a evidenciar a importância de um ensino de ciências que valorize atividades voltadas para o desenvolvimento de competências representacionais, aqui entendidas no sentido expresso por Nitz, et al (2014) como um componente do letramento visual relacionado à tomada de decisão sobre a seleção e adequabilidade das representações visuais, bem como à habilidade de interpretar, transformar e produzir representações para a formação e comunicação de conceitos científicos.

2.2.2 Interpretação de esquemas

Nesta categoria, quatro estudos examinaram a interpretação de esquemas por estudantes universitários, pré-universitários e da educação básica.

Kragten, Admiral e Rijlaarsdam (2013) analisaram o desempenho de alunos concluintes do ensino médio em 64 questões de uma prova nacional de realização compulsória, cuja resolução envolvia a interpretação de esquemas, para determinar a relação entre variáveis relacionadas às dificuldades das tarefas propostas nas questões e às características dos respondentes e dos esquemas.

O domínio do conteúdo foi uma das variáveis associadas às características dos alunos e que mostrou influência favorável na resolução de tarefas com alta demanda cognitiva, as quais exigiam uma leitura global do esquema em contraposição às tarefas com baixa demanda cognitiva, relacionadas à leitura parcial ou superficial do esquema.

Resultado semelhante foi apresentado por Chittleborough e Treagust (2008) em estudo com estudantes universitários e na investigação de Cook, Carter e Wiebe (2008) com alunos do ensino médio. Nestes dois trabalhos, os autores indicaram uma estreita relação entre o conhecimento prévio dos alunos e as diferenças na interpretação de esquemas, uma vez que em ambos os estudos alunos com pouco conhecimento do conteúdo em questão executaram uma leitura em nível superficial, a partir identificação de componentes representados sem, no entanto, atribuir um significado ou realizar inferências a partir das relações representadas entre eles.

Contrariamente ao que esperavam, Kragten, Admiral e Rijlaarsdam (2013), observaram que algumas tarefas com alta demanda cognitiva envolvendo a interpretação de esquemas com setas de significados conhecidos mostraram-se mais difíceis do que as tarefas de mesma demanda, envolvendo setas de significados desconhecidos. Os autores atribuem esse resultado provavelmente ao fato de que, coincidentemente, as setas conhecidas estavam representadas em esquemas com menos componentes, mais abstratos e mais difíceis de serem interpretados.

Apesar desta particularidade, de maneira geral o conhecimento das convenções usadas nos esquemas é um fator que se relaciona positivamente à facilidade de compreensão dos alunos, bem como o agrupamento e o arranjo espacial dos elementos representados no esquema, que interferem na orientação da leitura.

Nesse sentido, o trabalho de investigação de Cheng e Gilbert (2015) no qual os autores se dedicaram a compreender a interpretação de esquemas do sistema circulatório humano por alunos do final do ensino fundamental, também traz alguns apontamentos em relação às convenções. Os pesquisadores ressaltam que além do isomorfismo espacial, característica descrita como uma relação de analogia entre o referente e a imagem, a convenção também é uma forma pela qual um esquema representa seu referente e que a capacidade do leitor em identificar quais elementos representam por convenção é um dos fatores dos quais depende a correta interpretação de um esquema. A falha nesta identificação leva alguns estudantes a associar um isomorfismo espacial a componentes convencionais, o que resulta em erros de interpretação. O estudo aponta ainda a importância da especificidade das legendas, que devem descrever explicitamente o que é esperado do leitor, a fim de evitar a livre interpretação; e o uso adequado de setas na representação de processos dinâmicos.

O trabalho de Cook, Carter e Wiebe (2008), que buscou determinar a influência do conhecimento prévio na interpretação de esquemas, apresenta um diferencial no procedimento metodológico. A partir da triangulação de dados obtidos por *eye tracking*, questionário e entrevista, os autores examinaram como os alunos percebem e interpretam a informação sobre o transporte celular veiculada por esquemas biológicos. Os participantes com pouco conhecimento acerca do conteúdo foram atraídos, durante a leitura dos esquemas, por características mais salientes como cores, contrastes e formas, identificando esses elementos sem, no entanto, atribuir-lhes um significado que possibilitasse a compreensão do fenômeno representado. Por outro lado, alunos com mais conhecimento foram capazes de atribuir significado a essas características, sem fixarem-se a elas no momento da leitura. Os autores alertam para o fato de que cores não comunicam

conceitos mas podem indicar ao leitor um detalhe relevante e que isso deve ser considerado na elaboração de representações visuais com fins didáticos.

2.2.3 Papel pedagógico dos esquemas

Determinar o efeito de um esquema científico na compreensão do conceito de magnetismo foi o objetivo da investigação realizada por Preston (2016) com estudantes dos anos iniciais do ensino fundamental, um público-alvo ainda não contemplado nas pesquisas relatadas nesta revisão. Por meio de entrevistas associadas a atividades que requeriam a leitura de esquemas, a autora identificou uma grande variação nos resultados, a qual atribuiu a características individuais dos estudantes, associadas às características do esquema.

Em alguns casos, as novas informações as quais os estudantes tiveram acesso por meio da interação com o esquema promoveram a ampliação na compreensão do fenômeno. Em outras situações, os esquemas promoveram a emergência de explicações equivocadas sobre o fenômeno, em termos do conhecimento científico vigente, e ainda, em outras situações, nenhum efeito foi identificado após a interação do aluno com o esquema. A grande contribuição do trabalho de Preston, entretanto, foi apresentar um resultado que contradiz estudos anteriores, uma vez que a autora não identificou nos alunos dificuldade em interagir com a representação, ainda que não tenham sido ensinados a ler esquemas. Essa diferença aponta para a replicação do estudo em maior escala, de forma a poder comparar os resultados das novas investigações com as anteriores. Além disso, é possível que um estudo com um número maior de alunos possibilite identificar as características individuais que influenciam a leitura de esquemas.

Resultados semelhantes foram encontrados por Stylianidou e Boohan (1998), porém com alunos dos anos finais do ensino fundamental, que também não demonstraram dificuldade na leitura de esquemas. Essas representações desempenharam um papel de suporte às explicações dos alunos, durante intervenções planejadas com o uso de esquemas, sobre transformações físicas e químicas, auxiliando na compreensão das especificidades desses fenômenos. Para

um dos alunos, não houve evidência da compreensão do significado simbólico das setas.

Algumas observações são necessárias em relação aos resultados dos trabalhos de Preston (2016) e Stylianidou e Boohan (1998). Embora os alunos não tenham demonstrado dificuldade na leitura, em alguns casos ela ocorreu em um nível superficial, apenas com a identificação dos componentes simbólicos ou icônicos. É válido notar também que em ambos os casos os alunos realizaram uma leitura motivada, no sentido em que eram incentivados ou pela pesquisadora durante a entrevista ou pelo professor que orientou a atividade envolvendo leitura dos esquemas. Este fato talvez possa explicar o desempenho dos estudantes ao ler essas representações.

Por meio de um estudo comparativo, Vienot e Kaminski (2006) investigaram o desempenho de estudantes universitários, professores estagiários e alunos do ensino médio na resolução de uma atividade envolvendo fenômenos ópticos, com o suporte de um esquema modificado a partir de um modelo canônico. Os autores reportam a dificuldade em determinar se houve a compreensão do fenômeno, tendo em vista que a resposta verbal imprecisa dada por alguns alunos por vezes não correspondia à boa compreensão evidenciada na resolução de atividades, uma melhora no desempenho a partir da interação com a imagem. Resultados preliminares indicaram diferentes efeitos do esquema, os quais foram relacionados ao nível acadêmico dos estudantes e à complexidade da atividade proposta. É possível que, para alguns fenômenos, apenas um recurso isoladamente não seja suficiente para melhorar o desempenho e, dessa forma, é válido considerar a possibilidade de associação entre diferentes recursos educacionais.

2.2.4 Relação texto-esquema

Os dois trabalhos incluídos nesta categoria foram realizados com estudantes da educação básica. O trabalho de Mathai e Ramadas (2009), com alunos no final do ensino fundamental buscou compreender o papel de textos e esquemas na compreensão dos sistemas do corpo humano, por meio da aplicação de um questionário combinando respostas escritas e elaboração de esquemas. As

autoras apontaram a influência cultural no desempenho dos estudantes, uma vez que a Índia tem uma forte tradição oral em termos de aprendizagem, resultando em uma escassez de recursos visuais para a educação, o que se reflete inclusive na quantidade e qualidade das imagens nos livros didáticos. As representações em corte, esquemas de processos químicos e que representavam a relação entre estrutura e função foram as que os alunos mais encontraram dificuldade para a leitura. Muitas delas estavam relacionadas a conteúdos específicos e a características dos esquemas, como excesso de informação a ser processada. Dificuldade em interpretar convenções e relacionar legenda com o esquema também foram evidenciadas.

A coordenação entre texto e esquema foi investigada por Bergey, Cromley e Newcombe (2015) com alunos do ensino médio, por meio de uma intervenção com o objetivo de ampliar a compreensão de esquemas em aulas de Biologia. Foram comparados os efeitos de uma intervenção na qual os alunos eram informados o momento de passar do texto para o esquema e vice versa (coordenar múltiplas representações) e visava também ampliar a compreensão das características convencionais dos esquemas com uma intervenção que buscou apenas a compreensão das convenções dos esquemas. Os resultados apontaram a efetividade de ambas para ampliar a compreensão de esquemas e para a construção de conhecimentos básicos de Biologia, embora alunos com baixas habilidades espaciais tenham se beneficiado mais da intervenção que coordenava a passagem texto-esquema e visava à compreensão das convenções.

2.3 CONSIDERAÇÕES E POSSIBILIDADES

Esta revisão levantou algumas questões relevantes para o ensino e a aprendizagem de disciplinas científicas, nas quais os esquemas são um tipo de representação visual bastante utilizada.

Apesar dos resultados das pesquisas terem apontado, em sua maioria, uma relação positiva entre o uso de esquemas e a aprendizagem, devemos considerar que em alguns casos a leitura dessas representações foi uma tarefa desafiadora para os estudantes. Fatores como o conhecimento prévio do aluno, a

complexidade dos esquemas em termos de convenções utilizadas e a quantidade de informações que um esquema pode conter exercem grande influência na leitura dessas representações e devem ser levadas em consideração na sua elaboração e utilização.

Diferentes características dos esquemas, em termos de cores, arranjo espacial e convenções utilizadas são eleitas pelos alunos no momento da leitura, e estão relacionadas aos seus conhecimentos prévios e familiaridade com essas representações. Dessa forma, o efeito da utilização dos esquemas não se dá de igual maneira entre os alunos, sendo necessário desenvolver estratégias que levem em conta essas diferenças para que todos possam se beneficiar desses recursos.

Observamos também que as pesquisas focaram em sua maioria na leitura de esquemas, havendo lacunas a serem preenchidas referentes a investigações envolvendo alunos em atividades de elaboração do próprio esquema e a investigações que tenham como objetivo identificar que tipo de informação os alunos processam melhor quando é apresentada por meio de esquemas.

A revisão apontou ainda que esses estudos têm se concentrado em alunos no final da educação básica e no ensino superior, porém não em cursos de formação de professores. Dessa forma, é relevante e necessário considerar a realização de investigações tendo como público-alvo alunos dos anos iniciais do Ensino Fundamental e de cursos de formação de professores, como as Licenciaturas em Biologia, Física, Pedagogia e Química.

Por fim, é preciso ainda considerar a necessidade de que as investigações sejam realizadas *in loco*, no ambiente de sala de aula, com a participação dos professores, o que pode evidenciar resultados diferentes daqueles realizados em ambientes controlados.

REFERÊNCIAS

BERGEY, B.W.; CROMLEY, J. G.; NEWCOMBE, N. S. Teaching high school biology students to coordinate text and diagrams: relations with transfer, effort, and spatial skill. **International Journal of Science Education**, v.37, n. 15, p. 2476-2502, 2015.

CHENG, M. M. W., GILBERT, J. K. Students' visualization of diagrams representing the human circulatory system: The use of spatial isomorphism and representational conventions. **International Journal of Science Education**, v. 37, p.136-161, 2015.

CHITTLEBOROUGH, G.; TREAGUST, D. Correct interpretation of chemical diagrams requires transforming from one level of representation to another. **Research in Science Education**, v. 38, p. 463-482, 2008.

COOK, M.; CARTER, G.; WIEBE, E. N. The interpretation of cellular transport graphics by students with low and high prior knowledge. **International Journal of Science Education**, v. 30 n. 2, p. 239-261, fev. 2008

GEBRE, E. H.; POLMAN, J. L. Developing young adults' representational competence through infographic-based science news reporting. **International Journal of Science Education**, v. 38, n. 18, p. 2667–2687, 2016.

HECKLER, A. F. Some consequences of prompting novice physics students to construct force diagrams. **International Journal of Science Education**, v.32, n. 14, p.1829-1851, 15 set. 2010.

KRAGTEN, M.; ADMIRAAL, W.; RIJLAARSDAM, G. Diagrammatic Literacy in Secondary Science Education. **Research in Science Education**, v. 43, p. 1785-1800, 2013.

LEMKE, J. Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In J. R. Martin, & R. Veel (Eds.). *Reading science: critical and functional perspectives on discourses of science*. New York: Routledge, 1998, p. 87–113.

LOWE, R. Drawing out ideas: a neglected role for scientific diagrams. *Research in Science Education*, v. 17, p.56-66, 1987.

MATHAI, S.; RAMADAS, J. Visuals and visualisation of human body systems. **International Journal of Science Education**, v.31, n. 3, p.439-458, 1 fev. 2009.

NITZ, S. et al. Do student perceptions of teaching predict the development of representational competence and biological knowledge? **Learning and Instruction**, v.31. p.13-22, 2014.

PENA, B. M.; QUILES, M. J. G. The importance of images in astronomy education. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 11, p. 1125-1135, 2001.

PRESTON, C. Effect of a science diagram on primary students' understanding about magnets. **Research in Science Education**, v. 46, n. 6, p. 857-877, dez. 2016.

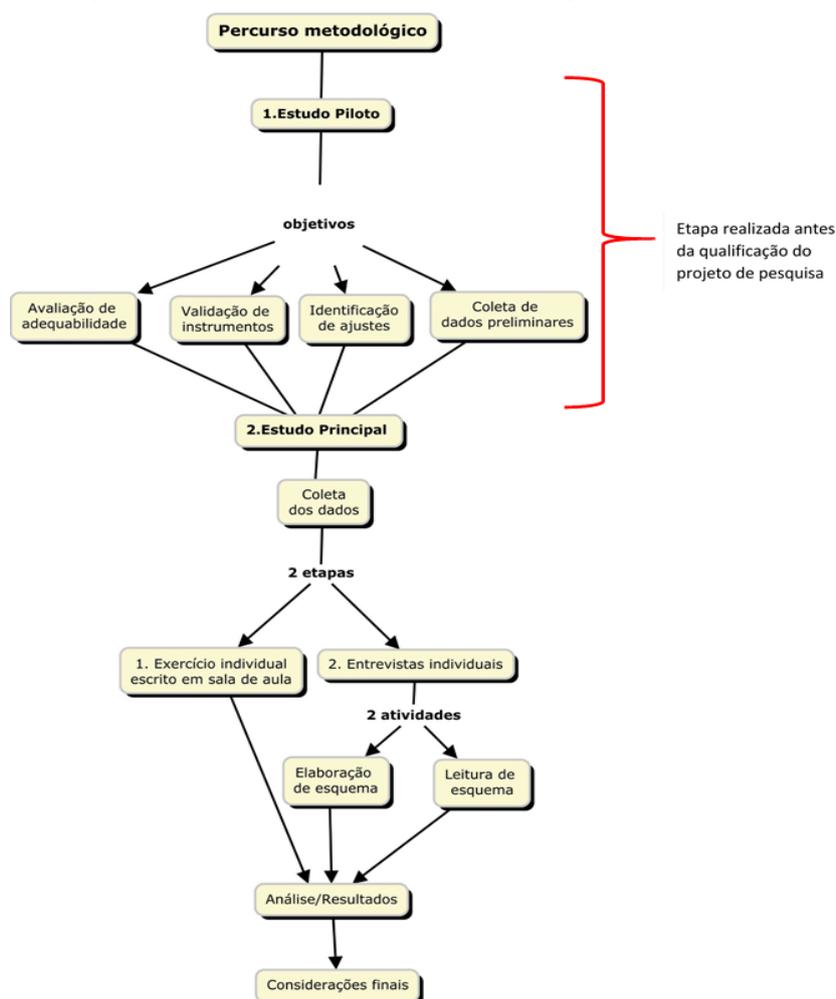
STYLIANIDOU, F.; BOOHAN, R. Understanding why things happen: casestudies of pupils using an abstract picture language to represent the nature of changes. **Research in Science Education**, v. 28, n. 4, p. 447-462, dez. 1998.

VIENNOT; L.; KAMINSKI, W. Can we evaluate the impact of a critical detail? The role of a type of diagram in understanding optical imaging. **International Journal of Science Education**, v.28, n. 15, p.1867-1885, 15 dez. 2006.

3 PERCURSO METODOLÓGICO

Neste capítulo, descrevemos o percurso metodológico para a coleta de dados. A definição teve como base um estudo piloto realizado com alunas de graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas em uma instituição de Ensino Superior (IES) em Brasília. Esse estudo inicial é apresentado sinteticamente na primeira seção do capítulo. Na segunda seção, descrevemos o processo e os instrumentos de coleta de dados do estudo principal, que foi realizado com alunos de Licenciatura em Pedagogia, na mesma instituição de ensino em que se deu o estudo-piloto. Os dados coletados, bem como a análise, são objeto do próximo capítulo. O diagrama apresentado na Figura 22 resume os objetivos da realização de um estudo-piloto e os eventos do estudo principal.

Figura 22 – Etapas do Percurso Metodológico



Fonte: A autora.

3.1 ESTUDO-PILOTO

Constituindo-se na etapa preliminar desta investigação, o estudo-piloto³⁰ foi delineado tendo como base a questão central expressa na introdução deste trabalho:

De que forma os alunos constroem sentidos a partir da leitura de esquemas que representam o fenômeno da respiração humana?

Bem como seus desdobramentos:

Quais as estratégias utilizadas pelos alunos para a leitura de esquemas científicos?

Que elementos composicionais dos esquemas são selecionados pelos alunos ao realizar a leitura?

Quais as semelhanças e as diferenças no desempenho dos alunos ao ler esquemas e ao elaborar o próprio esquema?

De acordo com Mackey e Gass (2005), o propósito de um estudo-piloto é testar os procedimentos, os materiais e os métodos definidos para uma investigação, a fim de identificar eventuais problemas e, assim, efetuar os ajustes necessários antes da realização do estudo principal.

A etapa de pilotagem foi conduzida com três alunas cursando a disciplina Estágio em Docência do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas de uma IES do Distrito Federal. A opção por realizar o piloto com estas alunas deveu-se à receptividade da professora titular da disciplina em relação a esta pesquisa, possibilitando o acesso às participantes durante o horário em que cursavam a disciplina.

Todos os alunos da referida disciplina foram convidados a participar do piloto, cujos objetivos e atividades a serem realizadas foram previamente esclarecidos. Inicialmente, sete alunos e alunas manifestaram interesse em participar; entretanto, apenas três alunas compareceram nas datas agendadas para a realização das

³⁰ Resultados do estudo-piloto encontram-se no Apêndice A.

atividades individuais, que aconteceram em dois momentos distintos resumidos a seguir.

No primeiro momento, buscamos identificar as concepções das entrevistadas acerca da respiração humana. Para tanto, utilizamos um questionário impresso, composto por cinco questões elaboradas com base em estudos das concepções sobre respiração humana de alunos em diferentes níveis de escolaridade, realizados por diferentes pesquisadores no Brasil e em outros países, aos quais já fizemos referência na introdução desta tese.

No segundo momento da coleta de dados, cujo objetivo foi investigar as relações das participantes com esquemas representativos de processos envolvidos na respiração, foram realizadas entrevistas individuais por meio das quais buscamos evidenciar de que forma ocorria a leitura dessas representações visuais.

As entrevistas foram gravadas com o consentimento das alunas e durante sua realização levamos em conta aspectos relevantes apontados por alguns autores (GASKELL, 2002; LÜDKE e ANDRÉ, 1986; TRIVIÑOS, 1987) no que se refere ao caráter interacional da entrevista. Para tanto, buscamos estabelecer com as participantes um clima de simpatia, evitando assumir uma postura que pudesse denotar superioridade hierárquica na relação entre pesquisadora e pesquisada, além de enfatizarmos a importância da participação de cada uma na pesquisa. Duas atividades foram realizadas durante cada entrevista.

A primeira delas foi a elaboração de um esquema representativo da respiração humana, e teve como objetivos estabelecer a aproximação entre entrevistadora/entrevistada, evidenciar o conhecimento e o domínio na utilização de elementos icônicos e simbólicos comumente empregados na elaboração de esquemas da respiração humana, e familiarizar as alunas com a técnica *Think Aloud*, utilizada nas duas atividades do segundo momento das entrevistas.

A técnica consiste em solicitar ao entrevistado que verbalize o pensamento enquanto resolve um problema ou tarefa. O registro das verbalizações é chamado *Think aloud protocol* e integrou o *corpus* do estudo piloto.

Charters (2003), explicitando que esse método tem suas raízes na psicologia cognitiva, recorre à asserção de Vygotsky (1962)³¹, segundo o qual a fala interna do adulto evolui a partir da fala egocêntrica da criança, que teria, entre outros, o objetivo de solucionar problemas. Olson et al.³² (1984, apud CHARTERS, 2003) afirmam que o uso dessa técnica é uma das formas mais efetivas de avaliar processos de pensamento que envolvam a memória de trabalho.

Someren, Barnard e Sandberg (1994) explicam que a memória de trabalho armazena e manipula temporariamente a informação ativa que chega ao sujeito por via sensorial e tem a capacidade de evocar informações armazenadas na memória de longo prazo, que é a parte da memória onde o conhecimento é armazenado de forma mais ou menos permanente. Dessa forma, a memória de trabalho representa a capacidade do cérebro para armazenar e processar as informações sobre a atividade que está realizando no momento presente.

Dois pontos merecem atenção no uso de *Think Aloud*: a postura do entrevistador e a receptividade do entrevistado. No primeiro caso, o entrevistador deve evitar ao máximo a interferência na atividade que está sendo realizada, cabendo-lhe observar e lembrar ao entrevistado que verbalize, caso este se mantenha por longo período em silêncio.

No segundo caso, deve-se considerar o fato de que nem todas as pessoas têm facilidade de verbalizar o pensamento. De acordo com Someren, Barnard e Sandberg (1994), há quem necessite de alguns minutos de prática para que se sinta à vontade com o método e, assim, os autores aconselham uma atividade de *warm up* semelhante àquela que o indivíduo deverá desenvolver. Os autores alertam que se após um período de 15 minutos o entrevistado continuar demonstrando dificuldade em expressar seus pensamentos, deve-se interromper a entrevista pois, provavelmente, não será possível obter protocolos úteis para a investigação.

³¹ VYGOTSKY, L. S. *Thought and language*. (HANFMANN,E.; VAKER,G. Eds., Trans.) Cambridge, MA: MIT Press, 1962.

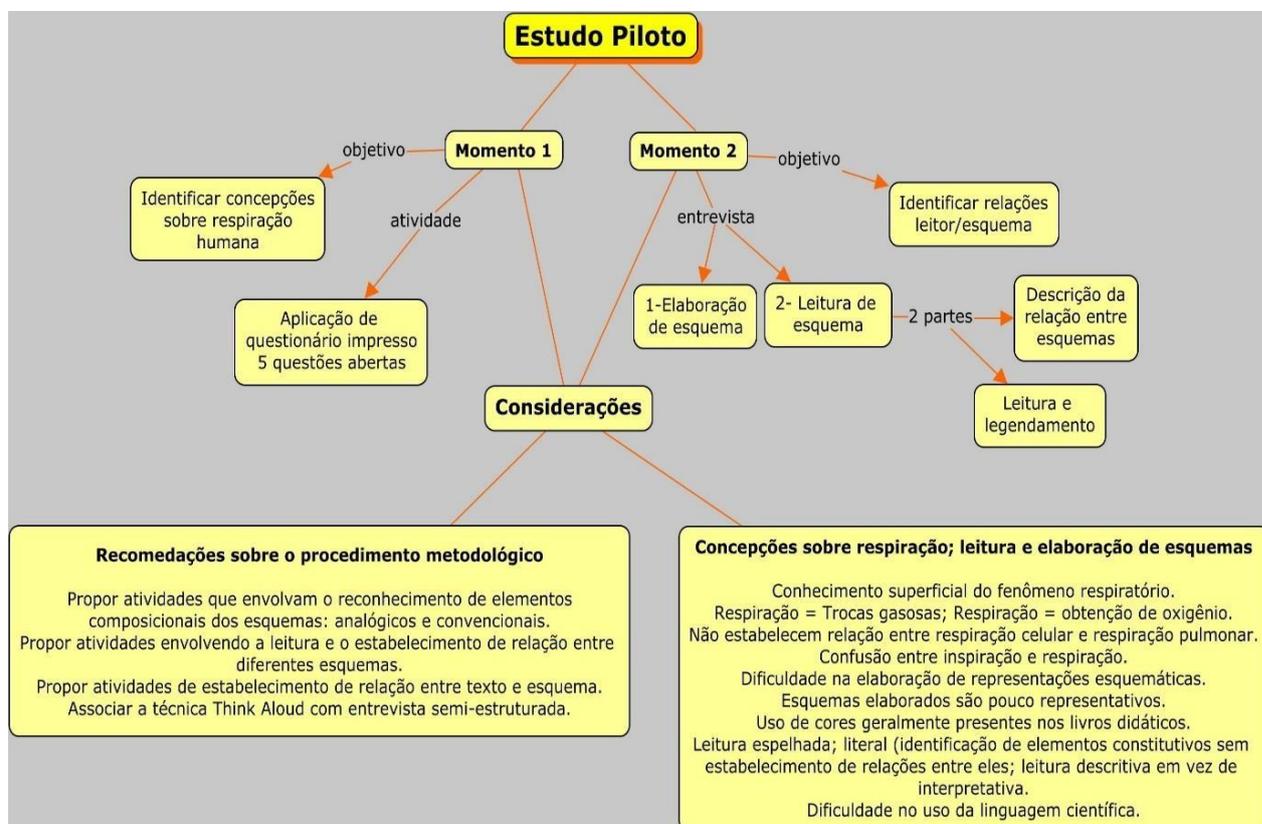
³² OLSON, G. J., DUFFY, S.A., & MACK, R. L. Thinking-out-loud as a method for studying real time comprehension processes. In KIERAS, D.E.; JUST, M.A. (Eds.) *New methods in reading comprehension research* (pp. 253-286). Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1984.

Todas as participantes receberam explicações sobre essa técnica, bem como foram informadas que o desempenho delas nas atividades propostas não era o alvo da avaliação, e sim o procedimento metodológico planejado.

A segunda atividade realizada durante cada entrevista dividiu-se em duas partes: (1) leitura e legendamento e (2) descrição da relação entre esquemas. Em ambas as partes foram utilizados esquemas adaptados de um dos livros didáticos de Biologia selecionados no Programa Nacional do Livro Didático – PNLD e adotado em diversas escolas de Educação Básica no Distrito Federal.

Da análise dos dados obtidos a partir das respostas às atividades realizadas nos dois momentos da entrevista emergiram hipóteses em relação às concepções das alunas sobre o processo respiratório, bem como evidências que indicaram suas dificuldades no que se refere à leitura de esquemas representativos de estruturas e processos relacionados à respiração humana, sumarizadas no diagrama da Figura 23, no qual indicamos também as recomendações sobre o procedimento metodológico a ser adotado no estudo principal.

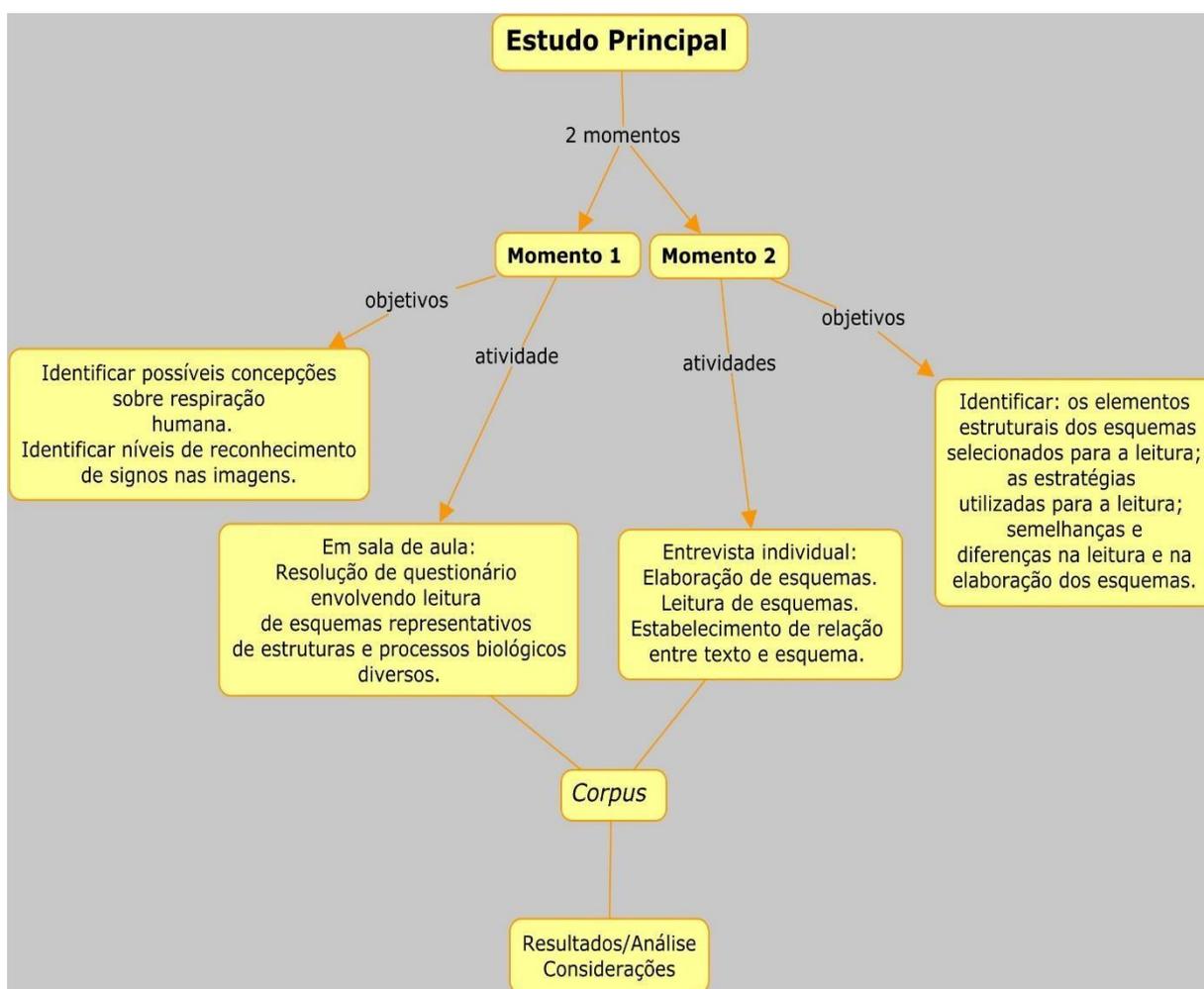
Figura 23 - Síntese do Estudo Piloto



3.2 ESTUDO PRINCIPAL

A adequação do percurso metodológico inicialmente proposto para esta investigação, a partir da avaliação e das recomendações resultantes do estudo piloto, levou-nos a conduzir o estudo principal de acordo com a síntese apresentada no diagrama da Figura 24.

Figura 24 - Síntese dos Procedimentos do Estudo Principal



Fonte: A autora.

Os procedimentos adotados são descritos nas subseções a seguir.

3.2.1 Local de realização e perfil dos participantes

A pesquisa foi realizada na mesma IES em que foi conduzido o estudo piloto. Participaram, na primeira fase do estudo principal (Momento 1), 17 alunos e alunas

do curso de Pedagogia cursando a disciplina Ensino de Ciências e Tecnologia 1 (ECT1). Entre os participantes, a maioria (n= 14) cursava o terceiro ou o quarto semestre do curso, enquanto os demais cursavam semestres distintos, entre o quinto e o décimo semestres.

À exceção de um participante que concluiu a educação básica na modalidade Educação de Jovens e Adultos (EJA), os demais concluíram na modalidade Ensino Regular (ER). É relevante pontuar que nove alunos haviam concluído a educação básica há pouco menos de dois anos, uma vez que a distância temporal em relação a conteúdos estudados pode exercer influência no desempenho dos alunos na resolução de atividades relacionadas a estes conteúdos, em particular no que concerne a conteúdos memorizados.

A maioria dos alunos (n= 11) não informou possuir experiência em docência. Entre os que apontaram possuir alguma experiência, dois indicaram estágio em Educação Infantil (EI) em instituições de ensino privadas, um indicou o estágio obrigatório da graduação, uma aluna afirmou ter experiência docente com Ensino Fundamental (EF) e Ensino Médio (EM) com a disciplina Educação Física, uma aluna apontou experiência docente com EI e EJA e um aluno respondeu que sua experiência docente é como professor de curso preparatório para acesso ao Ensino Superior, sem contudo indicar a disciplina.

Dos 17 participantes do Momento 1, cinco voluntariaram-se para seguir participando da pesquisa passando, dessa forma, a integrar o Momento 2 deste estudo.

3.2.2 Procedimentos iniciais

Entramos em contato com o docente da disciplina ECT1, com o objetivo de apresentar a pesquisa, sensibilizá-lo para a relevância da investigação proposta e solicitar autorização para conversar com os alunos sobre a participação deles na pesquisa.

O passo seguinte foi uma conversa, previamente autorizada pelo docente, com os possíveis participantes, durante uma das aulas da disciplina. A escolha pelo

grupo de alunos deu-se devido à facilidade de acesso à turma, dado o conhecimento profissional das pesquisadoras com o docente.

Na data agendada, apresentamo-nos ao grupo de alunos presentes e explicamos a relevância e implicações desta pesquisa, bem como as atividades que seriam realizadas. Não adiantamos, contudo, detalhes ou objetivos da investigação de forma a não tendenciar as respostas às atividades propostas. Enfatizamos a importância da participação de todos, embora tenhamos esclarecido o caráter voluntário dessa participação.

Na sequência, solicitamos aos presentes que tivessem interesse em participar o preenchimento e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e Identificação do Participante (Apêndice B). Agendamos um novo encontro para a semana subsequente, também durante a aula da disciplina ECT1, para a realização da primeira atividade. Informamos que, após sua realização, daríamos início à fase das entrevistas individuais, em data e horário que fosse mais conveniente para os voluntários. Contamos com a solicitude do docente de ECT1 que colocou sua sala na IES à disposição para a realização das entrevistas.

3.2.3 Momento 1 – em sala de aula

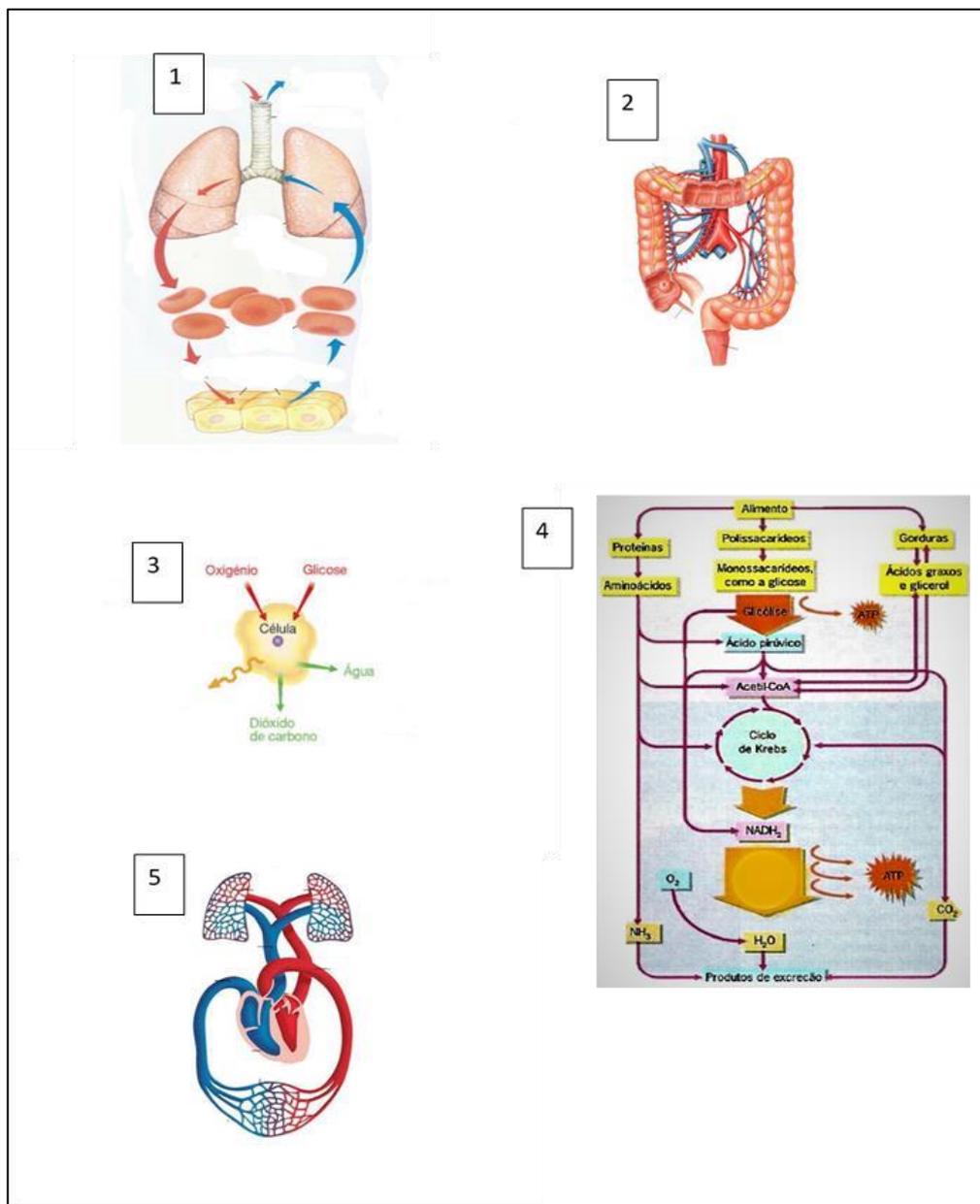
A primeira etapa da coleta dos dados contou com a participação de 17 (dezesete) voluntários e ocorreu durante uma das aulas de ECT1. Com duração de 65 (sessenta e cinco) minutos, teve como objetivos: (1) identificar possíveis concepções dos participantes acerca de processos relacionados ao fenômeno da respiração; (2) identificar a familiaridade com diferentes signos analógicos e/ou convencionais utilizados na construção de representações visuais do tipo esquema e (3) evidenciar o estabelecimento de relações entre diferentes formas de representação de um mesmo fenômeno.

O instrumento de coleta de dados (Apêndice C) consistiu em um exercício composto por 6 (seis) questões, cujos enunciados indicavam a ação a ser realizada.

A resolução foi individual, sendo que cada participante recebeu, além das folhas com as questões impressas, uma folha contendo as imagens em cores às quais se referiam às questões. Essas imagens foram também projetadas em

quadro branco, por meio de projetor multimídia, de forma a assegurar a visualização e são apresentadas na Figura 25.

Figura 25– Esquemas/diagrama usados no momento 1 do estudo principal



Fonte: Os esquemas foram modificados a partir das fontes a seguir:

- (1e4): AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R. *Biologia das células*, Vols. 1 e 2.
 (2) <https://aneste.org/o-papel-fisiologico-do-intestino-grosso-na-absorcao-de-gua-eletr.html>
 (3) <http://oscombustados.weebly.com/combustotildeesno-nosso-corpo.html>
 (5) <https://afh.bio.br/sistemas/cardiovascular/3.php>

Retiramos todas as legendas, e dos esquemas 1, 2 e 5 suprimimos também as informações verbais que indicavam nome de estruturas ou processos, uma vez que um dos objetivos da atividade do primeiro momento era evidenciar o reconhecimento de signos (analógicos ou simbólicos), sem o recurso da informação verbal.

Questão 1: Solicitava ao participante nomear ou intitular cada uma das cinco imagens (esquemas e diagrama) recebidas em folha impressa, coloridas e projetadas. O objetivo foi investigar que elementos constitutivos dos esquemas e do diagrama apresentados se destacavam no momento da leitura por meio da indicação desses elementos no nome ou título atribuído.

Questão 2: O segundo enunciado *O que representam as setas azuis e vermelhas na imagem 1?* objetivava evidenciar o conhecimento dos alunos acerca de duas convenções representacionais: seta e cor.

De maneira geral, nos livros didáticos o sangue venoso, com maior concentração de gás carbônico em relação ao sangue arterial, é representado pela cor azul. Já o sangue mais concentrado em oxigênio, arterial, é representado pela cor vermelha. Na imagem 1, as setas vermelhas indicam, no esquema original³³, entrada de ar rico em gás oxigênio (ar inspirado) enquanto as azuis indicam a saída de ar rico em gás carbônico (ar expirado). Indicam, ainda, o trajeto dos gases oxigênio e carbônico no interior do corpo. As setas indicam movimento.

Questão 3: A terceira questão tinha como referência o esquema 3, uma representação simplificada da respiração celular.

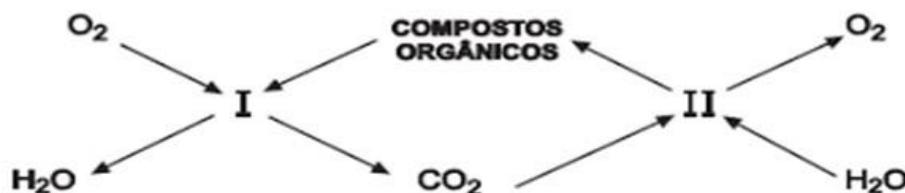
O objetivo do terceiro enunciado - *A qual ou a quais das outras 4 imagens você associa a imagem 3? Justifique.* - foi buscar compreender como os alunos associam diferentes formas de representar o mesmo fenômeno, com níveis de abstração diferentes; e se realizavam leituras no nível inferencial.

A imagem 3 pode ser associada às representações 1 e 4. Na imagem 1 infere-se a respiração celular, uma vez que ela não está diretamente representada. Uma parte do diagrama 4 também representa a respiração celular. Entretanto, o

³³ Como informamos na fonte da Figura 26, os esquemas foram modificados.

nível de abstração e conhecimento para identificar a respiração no diagrama 4 é maior do que aquele exigido na imagem 1.

Questão 4: Na sequência, o instrumento apresentava o seguinte diagrama, representando as relações entre respiração e fotossíntese:



O enunciado [*Leia atentamente a representação a seguir.*], vinha seguido do diagrama e dos comandos [a) *Quais os processos indicados pelos algarismos romanos I e II?* b) *Qual(is) das cinco imagens está diretamente relacionada à representação acima? Justifique.*]. O objetivo foi identificar possíveis concepções acerca da respiração, envolvendo a fotossíntese e as substâncias representadas nos dois processos por meio de suas fórmulas e pela expressão “compostos orgânicos”. Também buscava investigar, assim como a questão 3, se o participante identificava o mesmo fenômeno em diferentes formas de representação. O processo indicado em I é a respiração celular. Em II, é a fotossíntese. As relações possíveis em vista dos fenômenos representados são com os esquemas 1 e 3 e com o diagrama 4.

Questão 5: Com o enunciado da quinta questão - *O que representa a seta amarela na imagem 3?* - nosso propósito foi buscar o significado atribuído pelos alunos à seta amarela sinuosa que parte da célula em direção ao seu exterior. No contexto da imagem, essa seta indica transferência de energia, resposta a que o aluno poderia chegar de duas formas: pelo conhecimento prévio do fenômeno respiratório em nível celular ou por associação com outra imagem a que já tenha tido acesso e na qual a cor amarela tenha sido relacionada de alguma forma à energia, convenção que é bastante utilizada em esquemas nos LD.

No capítulo 1, o esquema da Figura 20 representa o ATP (molécula referida como “armazenadora” de energia para as células) na forma de uma figura ovalada de bordas irregulares pontiagudas, raiadas. Já no esquema da Figura 21, existe uma representação de formato irregular, com bordas cor de laranja, raiadas, em cujo interior está escrito “energia”, sobre um fundo amarelo. Essa figura parte de um retângulo amarelo, representado na matriz mitocondrial, no qual está escrito “ATP”.

Questão 6: O objetivo da sexta e última questão - *Identifique as estruturas/órgãos representados nas imagens 1, 2 e 5* - foi investigar a familiaridade dos participantes com as representações dos órgãos/estruturas utilizados na composição dos esquemas.

3.2.4 Momento 2 – entrevistas individuais

O objetivo desta etapa foi buscar aprofundar a compreensão acerca da leitura de esquemas, por meio da identificação de seus elementos composicionais selecionados para essa leitura, identificar as estratégias utilizadas na leitura e evidenciar semelhanças e diferenças na elaboração de esquemas e na leitura de esquemas.

Dos 17 participantes que integraram a primeira etapa da coleta dos dados, cinco prosseguiram para o segundo momento da pesquisa, que consistiu em entrevistas individuais, realizadas quinze dias após momento 1.

As entrevistas foram agendadas por contato telefônico e realizadas na sala do professor da disciplina ECT1, na IES na qual os alunos participantes estudavam. Todas as entrevistas, com duração média de 35 minutos, foram consentidamente gravadas e posteriormente transcritas integralmente.

Cada entrevista contou com três atividades, que serão na sequência explicitadas: elaboração de esquema, leitura de esquema e identificação da relação texto-esquema.

Não havia um roteiro de entrevista rígido por se tratar de uma entrevista semi-estruturada. Priorizamos a espontaneidade na realização das atividades propostas, no intuito de evidenciar as estratégias utilizadas para a produção de

sentidos a partir da leitura das imagens. Havia, no entanto, informações que eram de nosso interesse conhecer, de maneira que se o entrevistado não manifestasse de forma espontânea, buscaríamos esclarecer no curso da entrevista, procurando o momento apropriado para indagar sobre elas. Tais informações, que tínhamos relacionadas em um caderno de anotações, relacionavam-se a uso de cores, setas e outros elementos de representação (cortes e ampliações) presentes tanto na elaboração quanto na leitura dos esquemas.

3.2.4.1 Atividade: elaboração de esquema

Nesta primeira atividade, cada participante deveria elaborar um esquema representativo da respiração humana. Sem explicitar se o esquema deveria se referir à respiração celular ou às trocas gasosas em nível pulmonar, solicitamos que o participante simulasse estar preparando uma aula sobre respiração e dessa forma elaborasse um esquema para apresentar aos seus alunos.

Cada participante recebeu lápis de cores diferentes, folhas de papel ofício em branco e dois esquemas representando o corpo humano em seu traçado externo, sendo um deles com os elementos constitutivos da face (olhos, nariz e boca) representados. A escolha pelo uso dos traçados ou da folha em branco foi do entrevistado.

A atividade foi semelhante à utilizada na etapa de pilotagem e, assim, solicitamos que o aluno verbalizasse o pensamento à medida que fosse elaborando o esquema. Como havia sido definido no estudo piloto, fizemos uma adaptação da técnica *Think Aloud*, pois realizamos intervenções sempre que necessário para esclarecer as verbalizações.

O objetivo desta atividade foi identificar o repertório de elementos conhecidos pelos alunos possíveis de serem utilizados para representar o fenômeno respiratório, bem como os conhecimentos sobre o fenômeno de forma a estabelecer comparação com as respostas apresentadas no Momento 1, no qual buscamos evidenciar os conhecimentos prévios acerca do processo respiratório, o conhecimento de diferentes signos utilizados para representar elementos constitutivos dos esquemas selecionados para a leitura, os níveis de leitura e o

estabelecimento de relações entre diferentes formas de representar o mesmo fenômeno.

3.2.4.2 Atividade: leitura de esquema

Nesta segunda atividade, solicitamos a leitura de dois esquemas representativos da respiração. O primeiro, bastante semelhante ao esquema 1 apresentado anteriormente, no Momento 1. Diferia do anterior, entretanto, pelo fato de apresentar legenda e texto indicando estruturas e outras informações verbais.

O segundo esquema a ser lido foi uma composição de três esquemas que buscavam, em sequência indicada por setas, apresentar estruturas anatômicas pulmonares em diferentes níveis de visualização, do macro ao microscópico. À exemplo do anterior, apresentava também informações verbais por meio da legenda e por indicações de estruturas e outras informações constituintes do próprio esquema.

Tratava-se da representação esquemática de parte do sistema respiratório humano, que apresentava um corte do pulmão esquerdo e suas estruturas internas, detalhando um corte transversal de alvéolo pulmonar, a partir do qual foi apresentada uma ampliação evidenciando o processo de hematose. Associado a essa composição, havia a imagem de uma arteriografia de pulmão humano. Essa última foi apresentada no intuito de evidenciar se o leitor buscaria referência na legenda para a leitura, considerando tratar-se de uma imagem médica, incomum no cotidiano dos entrevistados.

O objetivo dessa segunda atividade realizada durante a entrevista foi conhecer a influência do repertório de conhecimentos prévios na leitura de esquemas, bem como do conhecimento dos elementos simbólicos utilizados em sua composição.

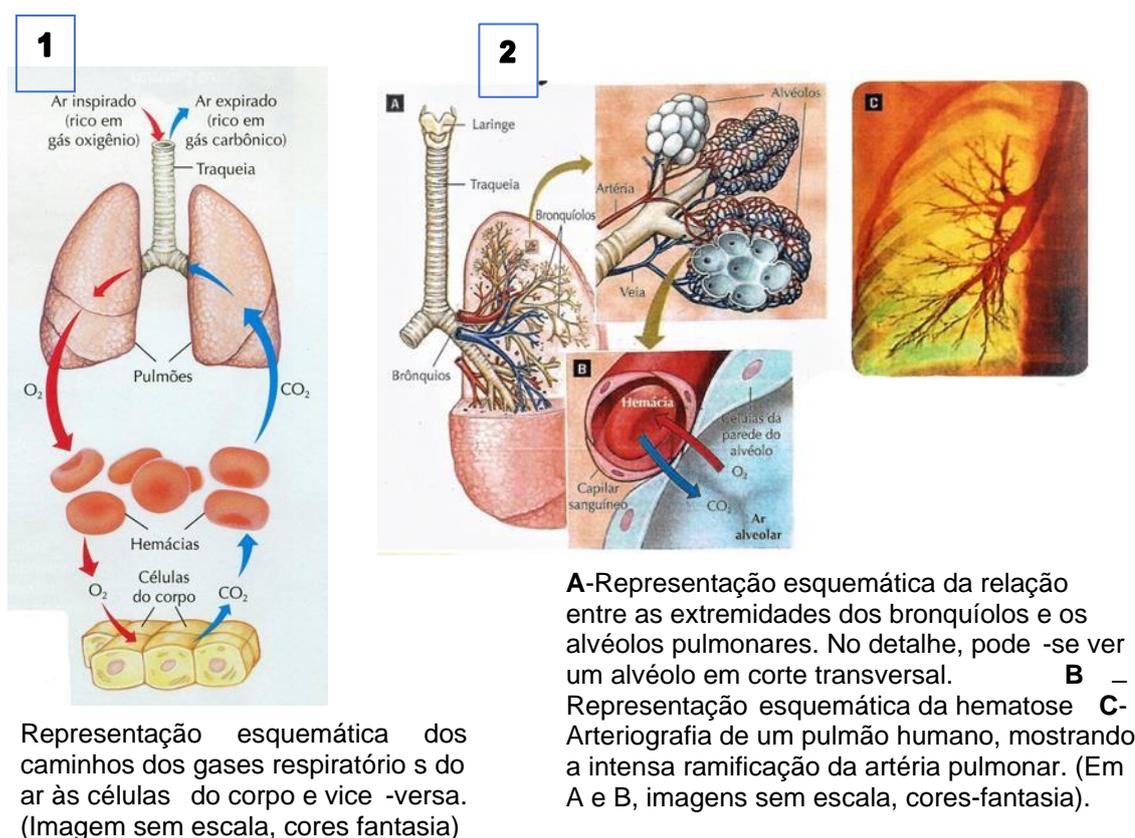
3.2.4.3 Atividade: identificação da relação texto-esquema

Na última atividade da entrevista, apresentamos aos participantes 4 parágrafos com informações sobre processos fisiológicos da respiração e solicitamos que realizassem uma leitura prévia. Na sequência, solicitamos que

indicassem a qual ou a quais dos esquemas cada parágrafo estava associado. Esta atividade da entrevista teve por objetivo evidenciar de que forma o aluno estabelecia a relação do texto com o esquema. Buscamos identificar o nível de leitura de cada aluno, definidos previamente como leitura superficial, leitura referencial ou leitura inferencial, ou seja, respectivamente: o que o esquema mostra, o que o esquema representa e o que o esquema sugere. Havia informações explícitas no texto que, entretanto, no esquema deveriam ser inferidas a partir de uma leitura interpretativa, considerando o conhecimento prévio do leitor.

Os dois esquemas legendados, 1 (funcional) e 2 (estrutural em cascata, associado a um esquema funcional – parte B) e os parágrafos utilizados nas atividades de leitura de esquemas e de relação entre texto e esquema são apresentados, respectivamente, na Figura 26 e no Quadro 4, a seguir.

Figura 26 – Esquemas usados no momento 2 do estudo principal



Quadro 4 - Parágrafos para atividade de relação texto-esquema

Parágrafo	Redação
1	Todas as células do corpo humano executam a respiração celular. Nesse processo, que ocorre no interior das mitocôndrias, as substâncias orgânicas reagem com gás oxigênio, liberando energia para os processos vitais. Os produtos da respiração celular são água e gás carbônico: a água é reutilizada pelas células, mas o gás carbônico não tem utilidade para o organismo e é eliminado no sangue.
2	Ao mesmo tempo que o sangue é abastecido de gás oxigênio nos pulmões, o gás carbônico é eliminado do corpo no ar expirado. O conjunto dos processos de trocas gasosas entre o ar atmosférico e o sangue, que ocorre nos pulmões, constitui a respiração pulmonar.
3	O ar dos pulmões é constantemente renovado, o que garante suprimento contínuo de gás oxigênio ao sangue que circula nos alvéolos pulmonares. Essa renovação de ar nos pulmões é o que se denomina ventilação pulmonar.
4	A proximidade entre os capilares pulmonares e as paredes dos alvéolos permite difusão de gases entre o sangue e o ar. Ao chegar aos capilares alveolares, o sangue é rico em CO ₂ e pobre em O ₂ ; depois de passar pelos capilares dos alvéolos, o sangue torna-se rico em O ₂ e pobre em CO ₂ .

Fonte: AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R. *Biologia: biologia dos organismos*. Vol. 2. 3ed. São Paulo: Moderna, 2009. pp 562 a 565.

3.2.5 Sobre a análise dos dados

Assumimos, com base nas suas características, que essa pesquisa é de natureza qualitativa e com essa visão os dados coletados foram analisados. Bogdan e Biklen (1982, apud Lüdke e André, 1986; Triviños, 1987), apresentam características da pesquisa qualitativa, algumas das quais identificamos em nosso trabalho como o envolvimento direto do pesquisador com a situação pesquisada;

a preocupação não apenas com os resultados, mas também com o processo que levou a eles; e a natureza descritiva dos dados.

Ludke e André (1986, p. 45) expressam de maneira bem simples o que é analisar os dados em uma pesquisa qualitativa: “[...] ‘trabalhar’ todo o material obtido durante a pesquisa, ou seja, os relatos de observação, as transcrições de entrevista, as análises de documentos e as demais informações disponíveis”.

Expressando de uma forma mais elaborada, segundo Creswell (2010) analisar os dados qualitativos envolve um conjunto de etapas que tem início com a preparação dos dados para análise (transcrição de entrevistas; digitalização de imagens ou outros materiais; digitação de notas de campo). Em seguida, o pesquisador realiza a leitura de todos os dados a fim de obter um panorama das informações e refletir globalmente sobre seu significado; organiza o material em blocos de texto ou imagens, rotulando-os na forma de tópicos que poderão se constituir em futuras categorias, em um processo de codificação; descreve as categorias ou temas para análise; escolhe a forma como a descrição e os temas serão representados na narrativa (utilização de um fragmento de texto para comunicar os resultados da análise, discussões de vários temas, citações, etc.) e realiza a interpretação, que consiste na extração de um significado dos dados.

Gomes (2004) explica que o termo categoria, de maneira geral, refere-se a um conceito que abrange elementos ou aspectos com características comuns ou inter-relacionados. É uma palavra ligada à ideia de classe ou série. Ludke e André (1986), por sua vez, alertam que a categorização não esgota a análise, sendo necessário que o pesquisador avance na proposição de novas explicações e interpretações.

Neste trabalho, seguimos as etapas descritas acima e que serão explicitadas com maiores detalhes à medida que os dados forem sendo apresentados, no próximo capítulo.

Uma preocupação significativamente importante em uma pesquisa diz respeito à confiabilidade qualitativa, questão sobre a qual Gibbs³⁴ (2007, apud CRESWELL, 2010) se refere como a consistência da abordagem do pesquisador

³⁴ GIBBS, G.R. Analyzing qualitative data. In: FLICK, U. (Ed.). *The Sage qualitative research kit*. London: Sage, 2007.

entre diferentes pesquisadores. O autor sugere vários procedimentos de confiabilidade, entre os quais a verificação das transcrições, processo esse que foi adotado nesta tese.

A transcrição das entrevistas foi impressa e foram realizadas duas escutas para verificar a existência de inconsistências ou supressões e a necessidade de acréscimos ou exclusões na transcrição. A verificação foi feita a partir da comparação entre o texto impresso e as gravações, com um intervalo de dois dias entre cada escuta, sendo que a primeira verificação ocorreu uma semana após a finalização da transcrição da última entrevista.

Também foi verificada a transcrição das repostas da atividade do momento 1, comparando a folha onde estavam registradas as perguntas e respostas entregues pelos participantes com as tabelas geradas (Apêndice D) após a transcrição.

Cada participante recebeu um código iniciando pela letra P seguida de um número. Todos foram referidos no masculino.

Cabe registrar ainda que os cinco participantes das duas etapas foram informados de que poderiam conferir as transcrições, caso desejassem. Nenhum deles, entretanto, manifestou interesse e um alegou que “confiava no nosso trabalho de transcrição”.

Feitas essas considerações, necessárias para contextualizar esta etapa do trabalho, apresentamos no próximo capítulo os dados coletados e respectivas análises.

REFERÊNCIAS

- CHARTERS, E. The use of think-aloud methods in qualitative research: an introduction to think-aloud methods. In: **Brock Education**, vol. 12, n.2, 2003. Ontário: Canadá.
- CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3.ed. Tradução de Magda Lopes. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- GASKELL, G. Entrevistas individuais e grupais. In: BAUER, M.; GASKELL, G. (Eds.) *Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático*. 2.ed. Tradução de Pedrinho A. Guareschi. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.
- GOMES, R. A análise de dados em pesquisas qualitativas. In: MINAYO, M.C.S. (Org.). *Pesquisa Social*. 23. Ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2004.
- LUDKE, M.; ANDRÉ, M. Pesquisa em educação: abordagens qualitativas. São Paulo: EPU, 1986
- MACKEY, A.; GASS, S.M. *Second language research: methodology and design*. New Jersey: LEA, 2005.
- SOMEREN, M.W.; BARNARD, Y.F.; SANDBERG, J. The think-aloud method: a practical guide to modelling cognitive processes. London: Academic Press, 1994.
- TRIVIÑOS, A.N.S. Introdução à pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

3 ANÁLISE E RESULTADOS

Este capítulo destina-se à apresentação e à análise do *corpus*, que neste trabalho constitui-se das respostas, por escrito, a um exercício realizado individualmente pelos 17 alunos que participaram do primeiro momento da coleta de dados. Integram também o *corpus* de análise as transcrições das cinco entrevistas individuais realizadas no segundo momento da coleta de dados, durante o qual os participantes elaboraram representações esquemáticas da respiração, que serão também analisadas em busca das respostas expressas no início deste trabalho. No final do capítulo, apresentamos algumas observações a respeito dos resultados, e estabelecemos comparações com os resultados do estudo piloto. Os esquemas elaborados pelos alunos, assim como as referências bibliográficas, encontram-se no final do capítulo, antecedendo as considerações finais.

4.1 MOMENTO 1 – ATIVIDADE INDIVIDUAL

Os dados coletados no primeiro momento, por meio da atividade individual descrita no capítulo anterior, buscaram atender aos objetivos: identificar o reconhecimento de signos icônicos e/ou convencionais utilizados na construção de representações visuais do tipo esquema; identificar qual elemento composicional se destaca na leitura de um esquema; evidenciar o estabelecimento de relações entre diferentes formas de representação de um mesmo fenômeno e como ela ocorre, e identificar possíveis concepções dos participantes acerca de processos relacionados ao fenômeno da respiração. Nas seções a seguir, apresentamos as análises dos dados coletados em função de atender aos objetivos propostos.

4.1.1 Reconhecimento de signos

As questões 2, 5 e 6 do exercício individual forneceram dados para identificar se os participantes reconheciam e atribuíam significados a signos icônicos e simbólicos utilizados na composição de esquemas, uma vez que a leitura dessas representações depende da identificação correta do referente, ou seja, do objeto representado pelo signo.

A Figura 25 apresenta as cinco imagens às quais se referem as questões que serão discutidas a seguir.

As questões 2 e 5 versavam sobre o significado de setas coloridas presentes em dois esquemas. Setas são elementos simbólicos, portanto representam por convenção que pode estar ligada ao seu traçado (reta, oblíqua, sinuosa, tracejada, ondulada, curva, etc.), às suas cores ou a ambos.

Entre as utilidades das setas podem ser citadas a representação de conexões espaciais, causais ou temporais; a indicação de movimento ou direção; chamar atenção para certos aspectos ou indicar algum elemento específico, etc. (PINTÓ e AMETLLER, 2002; HEISER e TVERSKY, 2006).

Quadro 5 – Categorias de significado atribuído e ocorrências – significado das setas: esquema 1

Significado	Descrição		Ocorrências
Identificação dupla	As setas representam em virtude da forma (indicação de movimento) e da cor (azul representa gás carbônico e vermelho gás oxigênio).		3
Identificação pela cor	As setas representam pela cor veiculada.		
	Subcategorias		
	Direta	Azul = gás carbônico; vermelho = oxigênio	3
Inversa	Azul + oxigênio; vermelho = gás carbônico	2	
Identificação pela forma	As setas representam em virtude da forma gráfica que assumem.		
	Ordenação	As setas representam a ordem de ocorrência de eventos.	1
	Movimento	As setas indicam a ocorrência de movimento de uma entidade em um dado espaço.	5
	Processo	As setas representam a ocorrência de um processo.	3

Fonte: Elaborado pela autora a partir das respostas à questão 2 do exercício individual.

Cores são signos que também³⁵ representam por convenção, como a cor branca simbolizando paz, a cor vermelha usada para indicar perigo, o verde significando esperança ou o amarelo usado para representar luz, entre alguns exemplos. Ametller e Pintó (2002) citam a relação normalmente estabelecida entre temperatura e as cores vermelha e azul, no estudo da energia. Acrescentamos que essas duas cores, no estudo do sistema circulatório ou da respiração, têm outro significado associado, como será exposto a seguir.

Na questão 2, a pergunta foi sobre o que representavam as setas azuis e vermelhas na imagem 1.

Além de representar movimento, as setas nesse esquema representam o referente por convenção relacionada às cores azul e vermelha, geralmente utilizadas nos esquemas dos LD de Ciências e Biologia para representar respectivamente venoso e arterial; rico em CO₂ e rico em O₂; CO₂ e O₂. As respostas a essa questão variaram bastante, de forma que foram agrupadas, inicialmente, nas duas categorias descritas a seguir.

³⁵ Uma cor também representa por analogia qualitativa, como por exemplo as cores usadas em uma pintura naturalista ou na ilustração científica de um espécimen vegetal ou animal.

- Identificação dupla: as setas representam o movimento dos gases respiratórios e pela cor também representam os gases – oxigênio ou carbônico.
- Identificação simples: as setas representam uma entidade ou um processo.

Considerando a heterogeneidade da categoria identificação simples, ela foi renomeada e dividida em subcategorias. O Quadro 5 sintetiza a classificação final e o número de ocorrências.

Um total de oito alunos relacionou as cores aos gases oxigênio e carbônico. Desses, seis responderam de acordo com o que é convencionalmente utilizado: vermelho para representar oxigênio (rico em oxigênio) e azul para representar gás carbônico (rico em gás carbônico).

Dois alunos associaram de forma inversa, um deles, P15, referindo-se à azul como oxigênio e vermelho como gás carbônico. O outro, P5, associou ambas as setas ao oxigênio, sendo a vermelha ao oxigênio absorvido e a azul ao “oxigênio filtrado”.

P15: As azuis, o sangue rico em oxigênio e as vermelhas o sangue rico em gás carbônico.

P5: Setas azuis - O₂ filtrado. Setas vermelhas – O₂ absorvido.

Uma hipótese para essa interpretação de P5 é o desconhecimento ou a não inferência da etapa da realização da respiração celular que, no caso, está subentendida quando a seta vermelha aponta para as células, em amarelo, e delas parte a célula azul. Consideramos também a existência de uma concepção de respiração como um processo de filtragem do ar.

Outra observação que cabe salientar refere-se a três alunos que citaram o sangue em suas respostas, como ilustram as transcrições a seguir:

P4: Setas azuis o sangue rico em CO₂ e as setas vermelhas o sangue rico em oxigênio.

P8: Setas azuis, retorno venoso, sangue com gás carbônico. Setas vermelhas transporte de oxigênio para as células.

P16: Vermelho, sangue rico em oxigênio, azul, sangue rico em gás carbônico.

Essas três respostas estão corretas se forem desconsideradas as setas vermelha e azul que aparecem entrando e saindo da traqueia, uma vez que pela traqueia entra e sai o ar, não o sangue.

Uma hipótese que levantamos para essas respostas é que os alunos responderam mobilizando um conhecimento já existente em relação ao uso convencional das cores azul e vermelha para representar os gases respiratórios, ou a concentração deles, no sangue. Entretanto, não avançaram desse nível de leitura referencial que, segundo Panofsky (2001), consiste na atribuição de significados convencionais aos entes e objetos identificados no nível de leitura superficial, para o nível de leitura inferencial, no qual são realizados os julgamentos, as inferências.

No nível de leitura inferencial (o que a imagem sugere), exclui-se a possibilidade de as setas representarem sangue, como já explicamos acima; fica excluída também a possibilidade de representar ar com CO₂ ou O₂, uma vez que o ar não circula no interior do organismo ou das células. Nesse caso, infere-se que as setas vermelhas e azuis representam simplesmente os gases oxigênio e carbônico. A mesma observação é cabível em relação as respostas transcritas a seguir.

P6: As setas vermelhas representam a entrada de ar, e as azuis as saídas. Elas representam juntas o que ocorre no nosso sistema respiratório.

P9: Azul: entrada de ar, vermelha: saída de ar.

P14: Representa o ar saindo e entrando, o processo respiratório.

Nesses três exemplos, foi atribuído apenas o significado convencional de movimento de entrada e saída veiculado pelas setas, sem inferir a impossibilidade de estar representando o ar, uma vez que ele não circula no interior do organismo ou das células, como já citamos. A leitura, assim caracterizada, permaneceu em um nível referencial.

As respostas de P6, P9 e P14 podem indicar a concepção de que o ar inspirado circula pelo organismo, ou simplesmente que os alunos fizeram uso do vocabulário cotidiano, genericamente utilizando a palavra ar como sinônimo de oxigênio e de gás carbônico. Outra hipótese para explicar as respostas é a de que

os alunos focaram a leitura apenas na parte superior do esquema, na qual as setas entram na/saem da traqueia.

Cabe citar também que entre os seis alunos cuja resposta foi alocada na subcategoria movimento, dois referiram-se às setas como indicativo de um ciclo. Supomos, com o suporte da TDC (Clark e Paivio, 1991; Sadoski e Paivio, 2004), que o traçado curvo das setas sugerindo uma formação quase circular tenha ativado imagens mentais de estruturas circulares que, referencialmente ativaram no sistema mental verbal um conjunto de palavras ligadas a círculo, entre elas a palavra ciclo, que terminou por ser emitida como resposta verbal escrita a essa questão.

A última observação em relação às respostas à questão 2 diz respeito ao fato de que apenas seis entre os dezessete alunos respondentes associaram as cores azul e vermelha aos gases respiratórios carbônico e oxigênio. O conhecimento e o uso dessa convenção é nuclear para a formação de sentidos a partir da leitura de esquemas, não só os que representam a respiração pulmonar (ventilação) ou celular, mas também os que representam processos relacionados ao sistema cardiovascular, entre outros.

Nesse caso, as legendas dos esquemas são elementos importantes como princípios corretivos da interpretação, minimizando ou evitando a polissemia e favorecendo uma significação unívoca. São igualmente importantes como fonte de informação a ser codificada no sistema mental verbal.

Na questão 5, o objetivo foi identificar o significado atribuído pelos respondentes à seta amarela sinuosa no esquema 3. O amarelo é utilizado com frequência nos esquemas didáticos da fotossíntese para representar transferência de energia. É possível também encontrar tonalidades amarelo/alaranjadas nas representações de transferência de energia ou do ATP em esquemas da respiração celular. O esquema 3 é um esquema bastante simplificado da respiração celular, com a indicação dos reagentes iniciais (oxigênio e glicose), dos produtos (dióxido de carbono e água) e da transferência de energia. A seta, nesse caso, significa uma ação (convenção gráfica).

Nesta questão, o respondente deveria apresentar também uma justificativa para a sua resposta. As categorias de respostas para a quinta questão estão sistematizadas no Quadro 6.

As dezessete respostas foram alocadas em sete grupos, entre categorias e subcategorias, evidenciando um caráter bastante polissêmico do signo seta, nesse esquema. Entre respostas justificadas e não justificadas, cinco alunos identificaram a seta como signo para energia. Para o significado de liberação, foram oito citações.

Quadro 6 – Categorias de significado atribuído e ocorrências – significado da seta: esquema 3

Categoria	Descrição		Ocorrências
Identificação dupla	A seta representa <u>liberação/saída</u> e <u>energia/calor</u>.		
	Subcategorias		
	Justificada	Associa o amarelo à energia.	1
	Não Justificada	Não associa o amarelo à energia.	2
Identificação da energia	A seta representa energia.		
	Subcategorias		
	Justificada	O amarelo justifica a identificação.	1
	Não justificada	Não justifica o porquê da identificação.	1
Identificação de entidade	A seta representa apenas uma estrutura, uma entidade ou uma substância.		2
Identificação de movimento/liberação	A seta representa a liberação de uma entidade ou substância.		5
Desconhecido	O respondente afirmou desconhecer ou não respondeu.		5

Fonte: A autora.

As duas justificativas para a representação de energia foram dadas pelos participantes P5 e P15, como segue.

P5: Energia, porque é produto de muitas reações metabólicas entre oxigênio e glicose. Além disso, a cor amarela é muito utilizada para representar luz, no caso energia.

P15: Liberação energética, porque a seta é amarela e é cheia de curvas, remete a calor, e calor me lembra energia.

Em relação a P5, a resposta evidencia que houve uma identificação dos elementos composicionais do esquema, quando o aluno cita as substâncias

oxigênio e glicose. O aluno não cita a respiração celular, porém faz referência a reações metabólicas, mesmo título que foi atribuído ao esquema como resposta para a questão 1. É possível que o aluno tenha realizado uma leitura em nível inferencial, considerando que o esquema não explicita nem a respiração nem as reações metabólicas, porém as sugere a partir da indicação da entrada do oxigênio e da glicose, e da saída do dióxido de carbono e da água. Em relação à cor amarela, a resposta evidencia que houve uma conexão associativa entre as palavras luz e energia.

Admitimos que o aluno P15 identificou o esquema como a representação da respiração celular, uma vez que esse foi o título dado ao esquema. Apesar disso, a resposta transcrita acima em relação à liberação de energia não evidencia uma leitura inferencial, ou seja, o aluno não deduziu a liberação da energia a partir de uma reação entre as substâncias representadas. No entanto, a partir da resposta, evidenciamos o estabelecimento de conexões associativas no sistema mental verbal entre as palavras calor e energia, que tiveram início a partir das conexões referenciais estabelecidas com imagens mentais ativadas pelo estímulo não verbal “seta amarela curva”.

Cabe ressaltar que energia e calor não são entidades materiais. Nesse caso, a afirmação de P5 “*Energia, porque é produto de muitas reações metabólicas*” e P15 “*Liberação energética*” podem ser indicativos de concepções acerca da energia como algo material.

Comparamos o significado atribuído por P10 à seta amarela com o título que o aluno deu ao esquema. À seta, o aluno atribuiu o significado de “liberação de calor”. O título dado ao esquema foi “*transpiração*”. Inferimos que o aluno leu o esquema como uma representação da transpiração. Fisiologicamente, existe uma relação entre transpirar e transferir energia térmica, que no caso P10 expressou como “liberação de calor”. Possivelmente essa tenha sido a associação feita pelo aluno, inclusive por experienciar o processo da transpiração. Entretanto, a resposta de P10 pode também evidenciar a concepção de que o aluno considera que calor é uma entidade material.

Uma observação relevante foi o fato de cinco alunos não terem atribuído nenhum significado à seta. Setas são signos amplamente utilizados em diferentes

representações visuais, entre elas os esquemas, em todas as disciplinas de Ciências da Natureza e em outras disciplinas também. Portanto, é de se esperar que alunos que já estejam em um curso de graduação tenham experienciado contato com esses signos e com suas possibilidades de significação.

Possíveis explicações podem ser devido à forma sinuosa da seta, uma vez que nos exemplos já citados acerca das possibilidades de representação das setas, esses signos são comumente formados por uma linha reta. Na condição de estímulo não verbal, a imagem da seta sinuosa, no caso do esquema 3, não ativou, no caso específico desses cinco alunos, as estruturas de representação básicas no sistema mental não verbal, ou seja, não houve formação de imagens mentais associadas a uma seta sinuosa de forma a estabelecer conexões referenciais com uma palavra ou conjunto de palavras no sistema mental verbal, como movimento, liberação, saída, transferência, por exemplo.

Cabe aqui uma observação em relação ao uso das expressões liberar energia e transferir energia no contexto da leitura do esquema 3. Liberar tem o significado de tornar algo livre; já transferir significa, entre outros, mudar alguma coisa de um lugar para outro. No esquema 3, a seta parte da célula, porém não está representado um outro local para onde a seta possa estar se dirigindo e, nesse caso, ela não estaria indicando transferência e, sim, liberação. Trouxemos essa observação porque esse detalhe pode explicar o uso, pelos alunos, da palavra liberação de em vez de transferência. Nesse caso, uma característica de composição da imagem pode estar induzindo respostas equivocadas do ponto de vista do conhecimento científico.

O que ficou evidente é que à seta do esquema 3 foram atribuídos significados bastante diversos, como também às setas vermelhas e azuis do esquema 1. Entretanto, houve uma diferença significativa em relação à significação das setas nos dois esquemas. Enquanto no primeiro 12 alunos relacionaram o significado das setas à movimento, ordenação ou processo, ou seja, outro significado além daquele relacionado à cor, no esquema 3 apenas 8 alunos o fizeram.

Creditamos essa diferença à experiência concreta dos sujeitos com a ventilação pulmonar e com a entrada e saída de ar, resultante dos movimentos para

inspirar e expirar. No caso do esquema três, trata-se de uma representação abstrata de um processo que, embora ocorra na grande maioria das células vivas, os alunos não têm a consciência física de sua ocorrência.

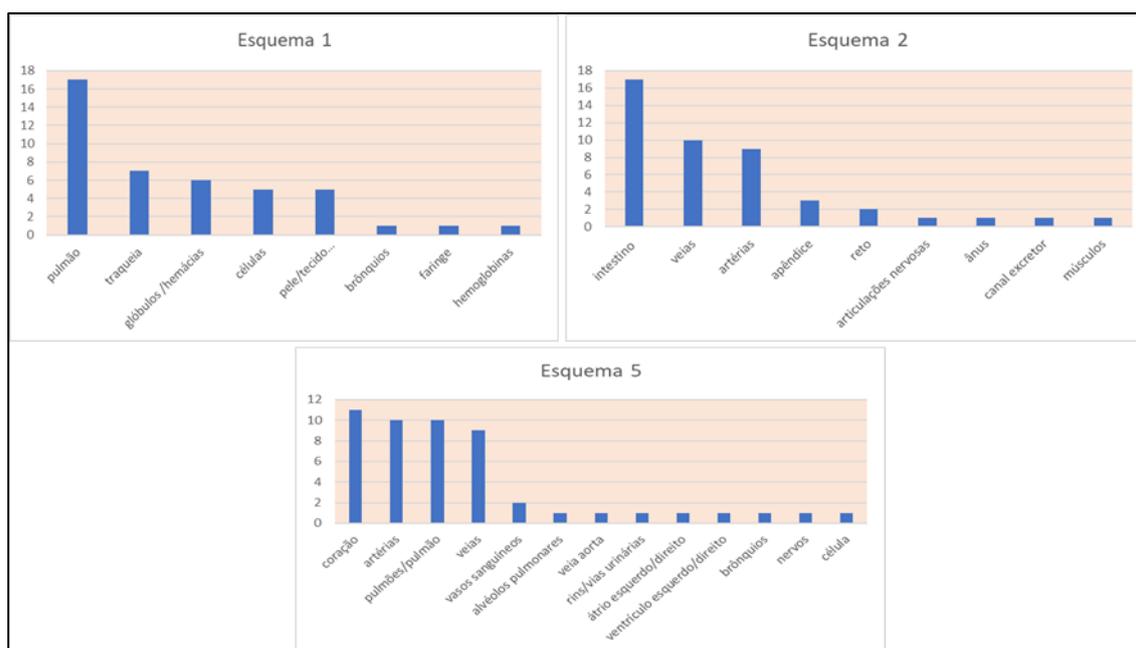
Segundo a TDC (Clark e Paivio, 1991), eventos e objetos não linguísticos são codificados no sistema não verbal na forma de imagens mentais específicas para forma, sons, sensações corporais, etc. No caso dos movimentos respiratórios, formamos imagens mentais relacionadas a ação, à movimento. É possível que a associação seta-pulmão (ocorrência de ambos em um mesmo evento, no caso o esquema) tenha estimulado imagens não verbais também de ação, de movimento. Dessa forma, as conexões referenciais entre os dois sistemas, não verbal e verbal, ativaram no sistema verbal conexões associativas com um conjunto de palavras relacionadas a movimento. Esse mesmo raciocínio, no caso relacionando a reação fisiológica de transpirar à transferência de energia térmica (transpiramos quando sentimos calor) pode ser aplicado na análise da resposta de P10 acerca do significado da seta amarela do esquema 3, referida anteriormente.

A Questão 6 solicitava a identificação das estruturas/órgãos representados nas imagens 1, 2 e 5. Foram geradas três listas de palavras que correspondem às estruturas ou órgãos identificados. A Figura 27 reúne três gráficos gerados a partir das listas de palavras, indicando no eixo vertical o número de vezes em que cada órgão/estrutura foi identificado.

Observamos diferenças na proporção de órgãos/estruturas identificados nos três esquemas. Considerando que foram 17 respondentes, hipoteticamente deveria haver 17 citações para cada órgão/estrutura representado

Todos os 17 alunos identificaram os pulmões no esquema 1; no esquema 5, entretanto, apenas 10 alunos citaram os pulmões, um número significativamente menor.

Figura 27 – Representação gráfica dos órgãos/estruturas identificadas nos esquemas 1,2 e 5.



Fonte: A autora.

Atribuímos essa diferença à familiaridade³⁶ dos alunos com a imagem dos pulmões do esquema 1, uma vez que essa forma de os representar é comum em esquemas estruturais e funcionais nos livros didáticos do EF e do EM. Já a representação do pulmão no esquema 5 não é tão comum e está associada ao conteúdo que trata da circulação pulmonar e sistêmica. Cabe, para ilustrar essa afirmação, transcrever um trecho da fala de P13 sobre o esquema 1, na entrevista (momento 2).

P13: O processo tá de maneira mais geral, né? E esse geralzão assim é muito focado nas escolas. Quando os professores vão apresentar esse processo pra gente, explicar e tal, esse aqui (o aluno refere-se ao esquema 1 – observação nossa) é o ponto de partida. Ele é bem focado, os professores simplificam bastante.

Ainda no esquema 5, seis alunos não identificaram o coração, que está representado em corte, evidenciando, para um olhar bastante treinado (o que não reflete a realidade de todos os leitores), os átrios e os ventrículos. Os pulmões são

³⁶ Consideramos familiaridade, neste trabalho, como a probabilidade de o aluno possuir um conjunto de imagens mentais verbais e não verbais disponíveis para interpretar o esquema.

representados vascularizados e, além disso, existe um emaranhado de capilares venosos e arteriais abaixo do coração, representando todo o organismo.

Examinando esses resultados à luz da TDC (CLARK e PAIVIO, 1991; SADOSKI e PAIVIO, 2004), essas formas de representar pulmões, coração e organismo podem não ter estimulado a formação de associações, nos/entre os, sistemas mentais não verbal e verbal dos alunos. Nessa situação, elementos verbais nomeando os órgãos/estruturas seriam estímulos verbais que desencadeariam respostas verbais e não verbais, possibilitando a identificação e a dupla codificação da informação, nas formas verbal e não verbal, facilitando a recuperação da informação em um próximo evento em que seja necessária.

A estrutura composicional desse esquema, em que não há uma referência para situar os órgãos em relação ao conjunto dos outros órgãos no corpo humano, é também um fator que pode ter dificultado a identificação correta, como no caso do aluno P12 que citou os rins e as vias urinárias como órgãos/estruturas representadas. Ametller e Pintó (2002) e posteriormente Testa, Leccia e Puddu (2014) afirmaram que a estrutura composicional de uma imagem é uma característica importante usada em sua leitura, de maneira que um arranjo inadequado provavelmente levará a uma interpretação equivocada.

Outra possível explicação para que P12 tenha identificado no esquema os rins e as vias urinárias refere-se a semelhanças entre o esquema 5 e outras imagens presentes em alguns LD, como as ilustradas na Figura 28.

O esquema 1 da Figura 28 representa o sistema urinário humano e foi recortado de um esquema no qual ele estava representado em sua localização no interior do corpo; o esquema 2 é o esquema sobre o qual estamos discorrendo (esquema 5 da atividade); e o esquema 3 foi extraído de um esquema estrutural em cascata da estrutura do rim e representa parte da organização de um néfron. Para fins de comparação, foram suprimidas as legendas e as indicações verbais, tal como foi feito com o esquema no centro da figura durante a atividade.

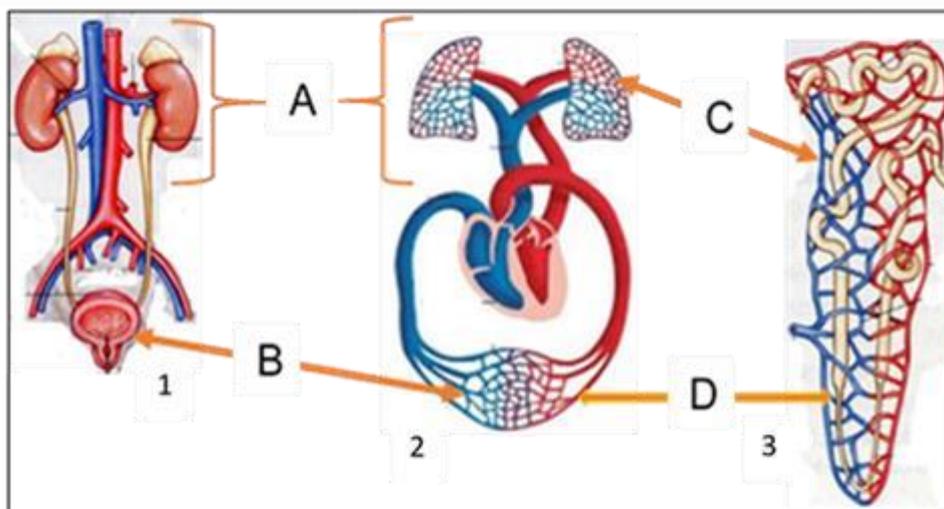
As letras A, B, C e D indicam semelhanças quanto à composição, forma e disposição espacial. Em A, existe semelhança quanto à disposição espacial, quanto à composição e quanto à forma. Especialmente, as duas composições localizam-se na parte superior da imagem. Quanto à forma, tanto os pulmões quanto os rins

são representados como duas estruturas de contorno externo convexo e contorno interno côncavo e de tamanhos semelhantes.

Em relação aos elementos da composição, ambas apresentam dois órgãos dos quais partem vasos de grosso calibre nas cores vermelha e azul. Em B, tem-se uma semelhança quanto à localização. Tanto em C quanto em D a semelhança é quanto à forma; ambas mostram um emaranhado de capilares semelhante a uma tela. Um leitor com conhecimento sobre anatomia do sistema urinário e do sistema cardiovascular talvez não concorde com as associações propostas, uma vez que possui um conjunto de imagens mentais visuais dos dois sistemas, respiratório e circulatório, que não admite tal arranjo de comparações.

Entretanto, para um aluno que desconheça ou tenha pouco conhecimento, as associações são possíveis e podem ser explicadas sob a ótica da TDC. Se o aluno tiver visualizado os esquemas 1 e 3, ou outros com estrutura semelhante, durante o estudo do sistema urinário, possivelmente tenha criado imagens mentais visuais associadas ao esquema, e relacionado a palavras tais como rins, sistema urinário, néfrons e outras, no sistema mental verbal.

Figura 28 Semelhanças gráficas e composicionais entre os esquemas 5 e segmentos de outros dois esquemas.



Fonte: Composição elaborada pela autora, a partir das seguintes referências:

Imagens 1 e 3: AMABIS e MARTHO. Fundamentos da Biologia Moderna. Vol. Único. 4.ed. São Paulo: Moderna, 2006.

Imagem 2: <https://afh.bio.br/sistemas/cardiovascular/3.php>

Ao visualizar o esquema 2, devido às semelhanças apontadas entre ele e os esquemas do sistema urinário, as imagens visuais mentais do sistema urinário, já existentes no sistema não verbal do aluno, são ativadas e referencialmente poderão ativar no sistema verbal as mesmas palavras. Sadoski e Paivio (2004) admitem uma grande força de criatividade no sistema não verbal, dada a organização flexível e associativa de imagens nesse sistema, o que pode ser uma forma de explicar a identificação expressada por P12.

Nesse caso, um título ou legenda contextualizando o esquema ativaria conexões representacionais de forma a possibilitar a formação de imagens mentais relacionadas ao coração, à circulação sistêmica e arterial, e serviria para impor um limite ao conjunto de palavras ativadas no sistema verbal. Recorrendo à iconologia de Panofsky (2001), corresponde a aplicar à leitura que o aluno fez da imagem o que o autor chama de princípios corretivos da interpretação.

Nos outros dois esquemas, houve também identificações equivocadas, tais como faringe no esquema 1 e articulações nervosas e músculos, no esquema 2. Entretanto, não identificamos nos esquemas as causas para esses equívocos, de forma que acreditamos estarem relacionadas ao equipamento interpretativo do leitor, que nesse caso evidencia desconhecimento ou pouco conhecimento acerca dos órgãos/estruturas representados.

Na seção a seguir, apresentamos e analisamos as respostas à questão 1, elaborada em função de identificar se havia algum elemento composicional do esquema que se destacava no momento da leitura.

4.1.2 Elemento composicional de destaque

A questão 1 solicitava que fosse dado um título para cada uma das cinco imagens. Com o suporte teórico da TDC, consideramos que uma resposta verbal expressa por meio de um título é o resultado de uma série de conexões representativas, associativas e referenciais estimuladas por uma imagem externa, que no caso da questão 1 são os esquemas e o diagrama.

Dessa forma, por meio do título buscamos identificar, com base na TDC (Clark e Paivio, 1991), qual característica ou elemento composicional do esquema

estimula a formação de imagens mentais no sistema não verbal que, por sua vez, referencialmente ativam um conjunto de palavras no sistema mental verbal resultando na expressão de um título.

A análise das respostas à questão 1 resultou em três categorias que foram denominadas estrutura, processo e estrutura/processo. A categoria estrutura compreende os títulos que focam nos aspectos estruturais da imagem, citando especificamente um elemento representado (pulmão, intestino ou célula, por exemplo) ou referem-se ao conjunto de elementos representados, por meio do uso de palavras como sistema ou composição.

Na categoria processo, foram incluídos os títulos que se referem à ocorrência de um processo, identificada pela própria palavra processo ou por palavras relacionadas tais como metabolismo, distribuição, absorção, transformação, entre outras. A categoria estrutura/processo reúne os títulos que se referem tanto a estruturas quanto a processo.

As categorias e respectivas ocorrências estão registradas no Quadro 7.

Quadro 7 – Categorias de títulos atribuídos e ocorrências* – imagens 1 a 5.

Categoria	Ocorrências				
	Imagem 1	Imagem 2	Imagem 3	Imagem 4	Imagem 5
Estrutura	7	14	4	2	13
Processo	9	3	13	14	3
Estrutura/Processo	1	--	--	--	1

Fonte: A autora.

- Um participante não intitulou a imagem 4.

Observamos semelhança, quanto ao número de ocorrências nas categorias estrutura e processo, entre as imagens 2 e 5, e entre as imagens 3 e 4. O que há em comum nas imagens 2 e 5, além do predomínio da categoria estrutura é a ausência de setas. Já as imagens 3 e 4 têm em comum o predomínio da categoria processo e a presença de setas.

A partir dessas evidências, inferimos que houve uma tendência dos respondentes no sentido de interpretar os esquemas com setas como representativos de processos e os esquemas sem as setas como representativos

de uma estrutura ou uma organização estrutural. Nesse caso, a seta foi o elemento composicional que se destacou na leitura dos esquemas.

Esses resultados corroboram com o estudo de Heiser e Tversky (2006) acerca da interpretação de esquemas com e sem setas, cujo resultado apontou que esquemas sem setas são interpretados e descritos como representativos de estruturas e esquemas com setas como representativos de processos (funcionais).

Quanto à imagem 1, em que setas são um dos elementos composicionais, a diferença entre as categorias estrutura e processo não foi significativa. Se voltarmos à Figura 28, que apresenta os resultados da identificação de órgãos/estruturas nas imagens 1, 2 e 5, vemos que a imagem 1 foi a que apresentou maior número de órgãos/estruturas identificadas pelos alunos, com apenas uma identificação equivocada. Nesse caso, tanto a seta quanto as representações das outras estruturas se destacaram.

Aprofundando mais a análise em relação à imagem 1, dentre os sete alunos que deram um título categorizado como estrutura, cinco intitularam como sistema respiratório e dois como pulmão/tecido do pulmão. O ponto em comum entre os sete alunos foi o fato de todos terem identificado os pulmões, o que nos leva a inferir que, no esquema 1, os elementos que se destacaram na leitura foram as setas e os pulmões.

Cabe observar que entre os cinco alunos que intitularam o esquema como sistema respiratório, dois identificaram apenas os pulmões e, nesse caso, a imagem mental dos pulmões foi associada no sistema verbal à expressão sistema respiratório, numa espécie de categorização.

4.1.3 Estabelecimento de relações entre diferentes formas de representação

As questões 3 e 4b tinham como objetivo identificar como os alunos estabeleciam relações entre diferentes formas de representar o mesmo fenômeno. A questão 3 solicitava que o aluno indicasse a qual ou a quais das quatro imagens estava associado o esquema 3, representando a respiração celular.

Na questão 4b, o aluno tinha que indicar quais esquemas estavam relacionados a um diagrama representativo das relações entre respiração e fotossíntese, em termos de reagentes e produtos, representados por meio de suas fórmulas O_2 e CO_2 .

O objetivo não era avaliar o conhecimento do aluno acerca do conteúdo ou se a relação estabelecida estava correta do ponto de vista do conhecimento científico vigente, mas buscar conhecer quais as estratégias utilizadas pelos alunos para estabelecer as relações solicitadas.

Estabelecer tais relações demandava, primeiramente, atribuir um sentido para cada imagem, ou seja, realizar a leitura em seus três níveis: superficial, no qual os elementos composicionais são identificados; referencial, no qual são atribuídos os significados convencionais; e inferencial, no qual se busca o conteúdo implícito.

As respostas às questões 3 e 4b, foram bastante diversificadas, de maneira que o número de categorias quase equivaleria ao número de respostas. Possivelmente, se houvesse mais respondentes haveria também a possibilidade de estabelecer padrões de respostas.

Diante do desafio de solucionar o problema que lhes foi proposto, os participantes lançaram mão de diferentes estratégias, mobilizando o repertório de conhecimentos de que dispunham naquele momento.

Muitas das associações mostraram-se coerentes do ponto de vista da justificativa apresentada. Entretanto, as inferências se deram em um nível de generalização, como ilustrado pelas transcrições a seguir referentes às respostas à questão 3.

P1: Associa à imagem 4, pois os alimentos possuem nutrientes que vão para as células a fim de dar energia aos seres. P3: As imagens 1, 4 e 5. Nas imagens há entrada de oxigênio e a liberação de dióxido de carbono.

P11: A imagem 1. Por deduzir que a imagem 1 se refere ao sistema respiratório, relaciono a célula como parte integrante do sistema respiratório.

Nenhuma das respostas cita a respiração celular representada na imagem 3 e inferida na imagem 1. Na resposta de P1, são mobilizados elementos externos às imagens, que integram o repertório de conhecimento do aluno, ou seja, o que

Panofsky (2001) denominou no âmbito da análise de obras artísticas de equipamento para a interpretação, como no trecho “nutrientes que vão para as células a fim de dar energia aos seres”. Já na resposta de P3, inferimos que o aluno identificou os gases oxigênio e carbônico por meio do significado convencional das cores vermelha e azul para representar esses gases. Em relação à questão 4, algumas relações foram estabelecidas com base em identificações de elementos composicionais semelhantes ou equivalentes.

P1: Imagem 3, pois apresentam os mesmos compostos, oxigênio, água e dióxido de carbono.

P2: A imagem 4. O esquema anterior parece se tratar sobre alimento, compostagem e a imagem 4 apresenta algo sobre alimento, suas fases e destino. P11: 4, por a imagem ser parecida.

P4: A imagem 3, pois está demonstrando a entrada do oxigênio e da glicose (que associa-se os compostos orgânicos) e a saída (transformação) em água e dióxido de carbono que consequentemente gera a energia que a célula produz (ATP).

P5: 3. Os compostos são os mesmos citados, lembrando o mesmo processo.

Alertamos que, embora as relações estabelecidas apresentem certa coerência, sob a ótica de cada aluno, elas são bastante frágeis. P1 e P5, por exemplo, relacionam substâncias representadas no diagrama da questão 4 pelas fórmulas à sua denominação verbal, atribuindo-lhes um significado convencional. Já P11 identifica a forma, o que seria um nível de leitura anterior ao nível superficial.

O estudo de Ametller e Pintó (2002), que investigou a leitura de esquemas representando diferentes aspectos relacionados à energia, por estudantes no final do Ensino Médio, encontrou alguns resultados semelhantes. Segundo os pesquisadores, os estudantes escolheram o significado mais adequado a sua explicação geral do assunto e que se relacionava ao contexto de interpretação elegido. A interpretação dada em cada caso dependeu mais do conhecimento do sujeito acerca do conteúdo do que da informação contida no esquema.

Essas observações têm implicações relacionadas à aprendizagem, uma vez que os esquemas foram elaborados com o objetivo específico de veicular uma determinada mensagem. Se é certo que o sentido de um texto é atribuído por um leitor na sua interação com esse texto, e isso também se aplica, como já argumentamos no capítulo 1, ao texto imagético, é também certo que existe um

limite para a interpretação de um texto científico, e esse diz respeito à validade conceitual.

Os dados do momento 2 da coleta, correspondente à entrevista individual, são apresentados e analisados na próxima seção.

4.2 MOMENTO 2 – ENTREVISTA

O segundo momento da coleta de dados consistiu de entrevistas individuais cujos objetivos foram identificar quais as estratégias utilizadas pelos alunos para a leitura de esquemas científicos; que elementos composicionais dos esquemas são selecionados pelos alunos ao realizar a leitura; se há semelhanças ou diferenças no desempenho dos alunos ao ler esquemas e ao elaborar o próprio esquema.

Três atividades foram realizadas durante as entrevistas: elaboração de esquema, leitura de esquema e estabelecimento de relação texto-esquema. Os dados desse segundo momento e respectivas análises são apresentados a seguir.

4.2.1 Elaboração de esquemas

São duas as fontes de dados dessa atividade: os esquemas elaborados pelos alunos (Figuras 29 a 34) e as transcrições das falas durante a elaboração. Os dados foram analisados em duas etapas. Na primeira, colocamos lado a lado os cinco esquemas elaborados pelos participantes, em busca de semelhanças e diferenças entre eles. Após, analisamos cada esquema relacionando com as transcrições da fala do participante que o elaborou.

Embora os alunos pudessem escolher produzir o esquema em uma folha em branco ou nas folhas impressas com os traçados externos do corpo humano, todos optaram pelo uso do traçado. Adicionalmente, P13 utilizou uma folha em branco produzindo, assim, dois esquemas. Dois dos cinco alunos escolheram o traçado externo sem a representação do rosto.

Em quatro dos seis esquemas produzidos, com exceção dos esquemas de P10 e de P7, foram representados os pulmões. Entretanto, apesar de não desenhar os pulmões, P7 fez uma representação dos alvéolos pulmonares e de vasos sanguíneos que partem dos alvéolos e percorrem os membros superiores,

inferiores e o tronco. P10 desenhou apenas três setas, duas azuis do exterior ao interior do corpo e uma seta vermelha saindo do corpo.

À exceção de P8, todos incluíram setas coloridas, a maioria nas cores azul e vermelha, nos esquemas. P7 desenhou também uma seta de cor verde e P10 usou as cores vermelha e lilás. Entretanto, as justificativas para usar as setas e as cores variaram entre os alunos. Os excertos³⁷ das falas dos alunos transcritos a seguir evidenciam o significado atribuído às setas e às cores, quando inquiridos sobre o motivo da escolha das cores para as setas.

P10: Pra ilustrar a respiração. Porque que eu me lembre, essas cores vermelhas, azul³⁸, sempre foram usadas pra ilustrar, e ilustrar é bom no caso. [...] São cores chamativas e acredito que ajuda as crianças [...]

O aluno não evidencia conhecer o significado convencional das cores azul e vermelha para representar os gases oxigênio e carbônico, no contexto de estudo da respiração humana. Entretanto, reconhece que lembra do uso dessas cores, porém para ilustrar. No contexto da fala de P10, ilustrar tem o sentido de chamar atenção. Quando questionado sobre o que significavam as setas no esquema que estava produzindo, P10 explicou que as setas azuis representavam a inspiração e as vermelhas, a expiração, sem citar os gases respiratórios.

De forma semelhante, P13 também atribuiu às setas o significado de inspiração e expiração, porém inverte as cores em relação à resposta de P10, uma vez que representa no esquema a seta vermelha como inspiração e a azul como expiração.

P13: Pra diferenciar mesmo, o processo, que seria o de inspiração e expiração, né... Então, tem um padrão, geralmente tem esse padrão né, de vermelho e azul nas imagens dos livros, então acho que acaba facilitando digamos assim, é... eu vou usar o vermelho então pro pulmão direito... na verdade vale pros dois né, porque o processo é simultâneo, mas aí a setinha pode ficar aqui do lado direito, vamos fazer representando uma pra cima, uma pra baixo. Só pra indicar mesmo pra que direção, digamos assim, o ar tá indo né, hum...

³⁷ Informamos, para evitar repetidas utilizações da expressão *sic*, que todas as transcrições são literais, sem alterações ou correções na forma como foram pronunciadas as palavras. ³⁸ O aluno utiliza um lápis lilás, porém refere-se à cor como azul.

Já P6 associa as setas azuis e vermelhas ao movimento de entrada e saída dos gases carbônico e oxigênio. Entretanto, confunde o significado convencional, como ilustram o esquema elaborado e o trecho a seguir.

P6: É o..... É o oxigênio que já passa pelo corpo e... e... gás carbônico talvez... eu não sei...Não. Gás carbônico não. Tô viajando, não sei. Eu não lembro. Eu lembro que tinha... que era distinção... que era a azulzinha que entrava... Saía vermelhinha. Conforme os livros, né, didáticos. O que me marcava muito, era as setinhas azuis que entravam e a vermelhinha saía, como se a vermelha fosse uma coisa ruim, talvez... Saindo do corpo. Na hora que ocorre a respiração.

É possível que P6 tenha se confundido na descrição dos eventos, uma vez que, na resposta à questão 2 do momento 1 da coleta de dados, P6 responde que “as setas vermelhas representam a entrada de ar, e as azuis as saídas. Elas representam juntas o que ocorre no nosso sistema respiratório”. Em função disso, ao final da entrevista perguntamos se P6 gostaria de modificar alguma coisa no esquema, mas o participante optou por deixar da forma como estava.

P8 foi o único participante a representar o coração. Não utiliza setas, porém faz uso de cores. Os pulmões foram representados na cor azul e o coração nas cores azul e vermelha, como ocorre no uso convencional dessas cores na representação desse órgão nos livros didáticos, quando o propósito é representar a circulação de sangue venoso e arterial. Ressaltamos que o aluno não nomeou esses órgãos no esquema, porém citou seus nomes enquanto desenhava cada um deles. Sobre as cores utilizadas, P8 assim expressa:

P8: Eu vou representar o azul como o ar de respiração, que é rico em oxigênio, né. Que é a inspiração. E o vermelho... a gente vai utilizar o lápis vermelho pra representar então o produto da respiração... Na verdade, na expiração. [...] o vermelho é pra representar a expiração ... é o que vai representar a cor vermelha, que é o sangue venoso.

Observamos que P8 estabeleceu relação entre a respiração e a circulação não apenas por ter representado o coração no esquema elaborado, ou por referir-se à expiração em relação a sangue venoso, mas também em função das respostas a algumas questões do momento 1. Na questão 2, por exemplo, P8 fez referência à circulação ao atribuir às setas azuis o significado de “retorno venoso, sangue com gás carbônico”. A parte I do diagrama da questão 4, que representa a respiração,

P8 identificou como “inspiração (sangue bombeado do pulmão para o coração)” e, à parte II do mesmo diagrama, representando a fotossíntese, P8 referiu-se como “expiração (sangue bombeado do coração para o pulmão). P8 inverte às cores em relação à resposta 2 do momento 1.

Ainda na questão 4 do momento 1, P8 justifica relacionar o diagrama às cinco imagens utilizadas no momento 1 “pois todas se referem ao processo circulatório de trocas gasosas e suas respectivas reações químicas”. Atentamos também para o fato de que P8 foi o único participante que identificou, no esquema 5, a circulação pulmonar e a circulação sistêmica, o que de fato pode ser inferido a partir da leitura do esquema. Inferimos essa identificação de P8 a partir do título que foi atribuído ao esquema: Sistema circulatório – pequena e grande circulação.

Desconsideramos os equívocos nas respostas de P8, do ponto de vista do conhecimento científico vigente, por não ser o foco deste trabalho a avaliação do conhecimento dos participantes. Entretanto, concordamos que realmente é estreita a relação, tanto anatômica quanto fisiológica, entre os sistemas respiratório e circulatório.

Chamou-nos atenção o fato de P8 ter sido o único participante a explicitar essa relação entre respiração e circulação, e de tê-lo feito também na leitura de esquemas, como mostramos na próxima seção com outro excerto da fala. Atribuímos essa diferença em relação aos demais participantes ao repertório de conhecimentos de P8, uma vez que o aluno é graduado em Educação Física, curso no qual é dada bastante ênfase à fisiologia e à anatomia humanas.

Entendemos que esse repertório de conhecimentos de P8 constitui o seu equipamento para a interpretação e diz respeito à familiaridade do leitor com objetos e eventos representados na imagem. A familiaridade de P8 com representações anatômicas e eventos fisiológicos explicaria, neste contexto, a leitura que o aluno fez da imagem 5 (momento 1), identificando-a como a representação da pequena e da grande circulação.

Comentando agora o esquema elaborado por outro participante, P7, as setas são utilizadas para ligar o traço azul ao que ele significa (no caso, oxigênio); o mesmo ocorrendo com o traço verde (gás carbônico). Nesse caso, as setas não

estão indicando um movimento, apenas apontando para um componente do esquema. Quanto às cores utilizadas no esquema, P7 assim explica:

P7: Peguei o lápis azul pra representar o oxigênio, entrando pelo nariz..... e esse oxigênio passa pela ... não lembro se é laringe ou se é traqueia... Não lembro qual dos dois. Mas ele passa por algum canal aqui na garganta e ele é distribuído pros pulmões. E aqui..... Quando ele entra nos pulmões, ele passa pelos alvéolos que é representado por essa cor roxa e depois de passar pelos alvéolos ele vai pra corrente sanguínea, que eu vou representar... hum.... pela cor vermelha. [...] E agora vou usar outra cor para representar o gás carbônico fazer de verde.

Três participantes, P10, P8 e P13 elaboraram esquemas bastante simples, com poucos elementos composicionais, sendo um deles, o de P8, formado por apenas três setas. Três fatores podem ter concorrido para esse resultado, atuando em conjunto ou separadamente: a dificuldade dos alunos em se expressar por meio da linguagem visual; o conhecimento em nível elementar ou com muitos equívocos em relação ao conhecimento científico vigente; e o próprio conteúdo a ser representado.

No que se refere ao conhecimento do conteúdo, as falas dos alunos evidenciaram dúvidas e lacunas. Sobre o conteúdo a ser representado, coincidentemente, os três alunos verbalizaram aspectos funcionais da respiração enquanto elaboravam seus esquemas, conforme ilustram os trechos das falas transcritos a seguir.

P10: Hum... Pra gente respirar, pra gente viver a gente precisa do oxigênio. Hum... E pra gente ter esse oxigênio, a gente precisa passar por processos biológicos. A respiração consiste que você expirar o ar... [...]A gente precisa inspirar o ar, e esse ar, percorre pelos seus órgãos, passa pelo nariz, vai pela traqueia, hum... E depois ele chega no pulmão. O pulmão tem a sua estrutura, tem os brônquios e tem os aure... aurelios, eu acho, que são responsáveis por fazer a troca gasosa no sangue. As hemácias passam por ele e o gás carbônico e o oxigênio são trocados. E.....

P8: [...] Tá esquematizado aqui, na sequência que o ar percorre, né. Através daqui dos órgãos, então na inspiração mais uma vez, pelas narinas. Não está completo porque não estou lembrada do nome de todos que participam, mas entra pelas narinas, passam pela traqueia, nos pulmões até chegar na... na veia pulmonar, que é onde vai fazer

essa troca, a transmissão do sangue que está no pulmão para o coração. E daí, volta o percurso pra o ar ser expelido. Então saindo do coração, indo para artéria pulmonar, então o ar é devolvido para os pulmões. Aí sobe. Percorrendo todo o percurso do sistema novamente... E sai pelas narinas. (pausa longa) Aqui eu posso deixar representado, né. O pulmão esquerdo...

P13: É, pois é, porque esse processo do pulmão inspirar e expirar né, tudo bem pra explicar como é que funciona e “tals”... Só que tem o diafragma também né, nessa atividade, e aí essa parte não sei explicar, como é que o diafragma funciona exatamente. [...] Pra falar a verdade, esse é um negócio que... é um dos processos que eu mais tive dúvida com relação ao funcionamento do corpo humano, sempre foi um negócio que eu tive muitas dúvidas e eu sempre quis entender, e até hoje...

Elaborar um esquema científico consiste na tarefa de solucionar o problema de como representar cada elemento composicional individualmente e como colocá-los espacialmente em relação uns com os outros, de forma que importantes relações científicas sejam representadas corretamente (LOWE, 1987). Adicionamos aos esquemas funcionais a tarefa de solucionar o problema da representação do movimento ou, ainda, de relações causais, entre outras. No caso de P10, P8 e P13, esses imperativos na elaboração de esquemas funcionais possivelmente influenciaram o resultado apresentado nos esquemas produzidos.

Os esquemas elaborados por P6 e P7 contêm mais elementos composicionais. No esquema de P6, foram incluídos elementos verbais. Ambos os participantes também apresentaram algumas lacunas e equívocos do ponto de vista do conhecimento científico, igualmente evidenciadas por meio das verbalizações. P6 simulou a preparação de uma aula enquanto elaborava o esquema.

P6: Primeiro eu vou falar... É... Quais são os órgãos da respiração. Eu iria estudar primeiro, que é pra saber e lembrar. Eu iria listar primeiro o nariz. (pausa). Laringe...Nariz, laringe... Pulmões ... [...]Eu tô pensando... Quais são os órgãos que envolve a respiração humana. Traqueia... Acho que aqui são os alvéolos pulmonares... número cinco. [...] Eu não sei se está certo. Eu estou lembrando, né. Acho que faria isso e... E daria... Primeiro explicaria a função de cada um, como ocorre a respiração [...].E iria enumerar. Faria aqui do lado assim, um... Não, acho que eu não colocaria assim porque eles já iriam saber, né. Colocaria aqui, nariz, tá em qual número? Laringe? É... Traqueia? Pulmões? Alvéolos pulmonares. Ai pediria pra eles colocarem, na figura e enumerar assim, é.. como se não

tivesse aqui, né. Dois é o que? É a traqueia ou é a laringe? Ai eles iriam colocando. Talvez seja mais de avaliação pra eles, não sei... É... Ai explicaria o O2... O2 não... É o oxigênio sai... É... CO2...CO2?! Que vai embora. É não... Entra... Sai...

A transcrição acima evidencia que P6 priorizou aspectos estruturais do sistema respiratório, o mesmo ocorrendo com o esquema elaborado. Já P7 priorizou, em sua fala, aspectos funcionais.

P7: Peguei o lápis azul pra representar o oxigênio, entrando pelo nariz..... e esse oxigênio passa pela.... não lembro se é laringe ou se é traqueia... Não lembro qual dos dois. Mas ele passa por algum canal aqui na garganta e ele é distribuído pros pulmões. E aqui..... Quando ele entra nos pulmões, ele passa pelos alvéolos que é representado por essa cor roxa. ... E depois de passar pelos alvéolos ele vai pra corrente sanguínea, que eu vou representar... hum.... pela cor vermelha. Agora vou utilizar a cor preta. Hum..... ele é distribuído pelo corpo inteiro depois de passar pelo corpo inteiro, eu não sei se ele volta pro pulmão.... eu tô muito enferrujada. Acho que ele volta.

Apesar da verbalização de P7 indicar funcionalidade, classificamos o esquema elaborado pelo aluno, de acordo com nossa tipologia apresentada no Capítulo 1, como esquema estrutural. A inclusão de setas, números ou elementos verbais enriqueceria as possibilidades representacionais do esquema, permitindo veicular a informação de caráter funcional pretendida pelo participante.

Heiser e Tversky (2006) esclarecem que esquemas são ideias para representar organizações estruturais, por meio da representação das relações espaciais entre as estruturas representadas. Um texto bem elaborado pode ser tão eficiente para representar estruturas quanto o são os esquemas. Entretanto, esquemas não representam funcionamento (relações funcionais) da mesma forma com que representam estruturas ou relações estruturais, uma vez que representar o funcionamento envolve representar movimento, mudanças de estado e outros aspectos dinâmicos em um meio estático. Textos, por sua vez, representam funções, porém sem a mesma efetividade de um esquema em representar relações espaciais.

Ressaltamos que nenhum aluno acrescentou título ou legenda ao esquema, o que pode ser um indicativo de que os participantes não são acostumados a fazer uso desse elemento tanto ao elaborar seus esquemas quanto ao ler esquemas ou

outras representações visuais. Uma legenda pode ser um princípio corretivo de interpretação, bem como um elemento que amplie o equipamento para a interpretação do leitor, ambos no sentido expresso por Panofsky (2001).

Cheng e Gilbert (2015) chamam a atenção para a importância da legenda em um esquema, e advertem que uma legenda que apenas descreva o esquema não é suficiente; é preciso que ela descreva explicitamente o que é esperado do leitor ao ler o esquema. A importância da escolha do conteúdo da legenda é ressaltada por Pintó e Ametller (2002) pois, segundo os autores, ele pode modificar a interpretação inicial do aluno ou, em alguns casos, promover uma contradição entre as interpretações feitas com ou sem a presença da legenda.

Esta atividade de elaboração de esquemas nos forneceu, a partir da análise das transcrições das verbalizações dos alunos alguns indicativos que nos possibilitam afirmar que o conhecimento dos alunos acerca da respiração ainda está em um nível bastante superficial, com ênfase nos aspectos anatômicos do sistema respiratório. Em alguns casos, houve uso de uma palavra como sinônimo de outra, como no caso em que foram usadas as palavras inspiração, expiração e respiração com o mesmo significado.

Já expressamos anteriormente que o foco deste trabalho não é avaliar o conhecimento dos alunos que participam da pesquisa, porém essas considerações são necessárias uma vez que o conhecimento que o aluno já possui acerca da respiração é o que chamamos neste trabalho, com base em Panofsky (2001), de equipamento para a interpretação. Esse conhecimento é relevante para a leitura dos esquemas, podendo determinar se o aluno permanece em um nível superficial de leitura ou se avança para os níveis referencial e inferencial.

De maneira geral, os alunos apresentaram dificuldade para realizar essa atividade, corroborando os resultados das investigações de Pena e Quiles (2001) e de Gebre e Polman (2016) acerca da elaboração de esquemas por alunos. Os pesquisadores apontam que os estudantes têm dificuldade de representar informações visualmente, sob a forma de esquemas. Além disso, no estudo conduzido por Pena e Quiles (2001), os pesquisadores ressaltam a ausência de elementos como setas, títulos e legendas nos esquemas elaborados pelos alunos.

Identificamos que apesar de fazerem uso das cores vermelha e azul nos esquemas, nem todos mostraram dominar o seu significado convencional o que já havia sido evidenciado nas respostas dos alunos às questões do momento 1. O domínio das convenções representacionais é necessário para a leitura de esquemas e de outras formas de representação do conhecimento científico. A partir dos resultados de um estudo conduzido com alunos em final do Ensino Médio em uma escola americana, Bergey, Crowley e Newcombe(2015) chamam a atenção para a importância do conhecimento do significado convencional de elementos simbólicos utilizados nos esquemas. Os autores apontam que intervenções didáticas com o objetivo de ensinar os alunos sobre as convenções usadas na elaboração de esquemas em Biologia ampliaram a compreensão de esquemas e de conceitos científicos.

A atividade seguinte foi a de leitura de esquemas, descrita na próxima seção.

4.2.2 Leitura de esquemas

A atividade de leitura dos esquemas da Figura 27 ocorreu assim que cada participante finalizou a atividade de elaboração de esquema. Os esquemas foram entregues aos participantes em tamanho ampliado em relação ao tamanho original, ocupando cada um quase todo o espaço de uma folha de papel A4.

A análise das transcrições da fala dos participantes durante a leitura dos esquemas nos forneceu indicações das estratégias de leitura utilizadas. Observamos uma tendência a realizar leituras narrativas dos esquemas, como se esse veiculasse uma história a ser contada. Alguns alunos atribuíram uma relevância excessiva a elementos composicionais como as setas, por exemplo, mas não realizaram uma leitura além da citação dos elementos composicionais da imagem. Outros alunos acrescentaram informações não representadas, mas que integram seu repertório de conhecimentos acerca da respiração. Esses resultados corroboram com os trabalhos de Pintó e Ametller (2002), que compilaram os resultados de pesquisas realizadas por quatro grupos de pesquisadores na França, Itália, Espanha e Reino Unido. As transcrições a seguir ilustram as afirmações.

P7: Bom... a gente respira, o oxigênio e esse oxigênio passa pela...[...] A gente inspira o oxigênio, ele passa por esse canal aqui, que eu não me lembro o nome (P7 aponta a traqueia, que está identificada pelo nome no esquema, mas o aluno não lê)... não sei se é traqueia ou se é laringe, ou... um dos dois. E ele é distribuído pros pulmões. Dentro dos pulmões ele passa pelos alvéolos aí... [...] Não estou vendo os alvéolos. Mas é como se ele estivesse aqui dentro. (acrescenta informações do seu repertório de conhecimentos). Aí ele é distribuído pela corrente sanguínea através das hemácias. As hemácias transportam esse oxigênio para dentro da célula, para que elas possam fazer a respiração celular (apontando as células do corpo) e obter energia. Daí depois dessa respiração celular, desse processo de obtenção de energia, é o gás carbônico é liberado pela célula, transportado de volta até os pulmões depois de passar lá de novo. Nos alvéolos... eu não sei. Aí entra aqui.... Esse gás carbônico agora, é respirado (grifo nosso) e volta pro ambiente.

Ao ser questionado sobre o porquê de ter lido a respiração celular na parte do esquema que representa células do corpo, P7 respondeu que “é um processo de transformação do oxigênio pro gás carbônico (grifo nosso). Eu acho, não sei... na minha cabeça é bem claro, pra ter essa transformação tem que ter a respiração celular (grifo nosso). Apesar de não ter nada indicando nessas figuras”.

A resposta de P7 indica uma leitura inferencial e, ao mesmo tempo, uma concepção de respiração como transformação de oxigênio em gás carbônico. Ainda, essa concepção pode ser reforçada pela imagem, que representa apenas a entrada de oxigênio e a saída de gás carbônico, das células. Adiantamos que P7, na atividade de relacionar texto e esquema, identificou a estrutura rosada de formato arredondado representada na região central da célula como mitocôndria.

O aluno P6 também realiza uma leitura narrativa do esquema 1.

P6: Ai ... É ... a gente ... expira e inspira o ar oxigênio (grifo nosso). Ele passa pela traqueia e após passar pela traqueia, ele entra nos pulmões. É... em forma de O2 gás ... É ... Oxigênio, passa pelas hemácias e pela... Como é que fala ... O sangue, passa pelo sangue o oxigênio. Oxigênio resto do corpo a células e depois ele volta. Passa pelos pulmões de novo e expira o ar. Sai pela boca, pelo nariz (acréscimo de informações) (inicia nova leitura) Então ele entra, passa pelos pulmões, é filtrado (grifo nosso) pelos alvéolos pulmonares, vai pras hemácias no sangue, passa pelas outras células do corpo e vai pro cérebro (acréscimo de informações) e volta ... E sai como gás carbônico.

P6 acrescenta várias informações durante a leitura, com base no que chamamos de equipamento para a interpretação, no sentido atribuído por Panofsky (2001) a essa expressão. Já na primeira linha, evidenciamos o que pode ser uma concepção de que oxigênio e ar sejam a mesma entidade, ou seja, são sinônimos. P6, na terceira linha, realiza uma identificação literal da representação do oxigênio pela sua fórmula para, em seguida, citar a substância pelo nome, em um segundo nível de leitura.

Quanto ao esquema 2, P6 realiza a seguinte leitura:

P6: É... Eu acho que é o que tinha falado. Ela... Ela.... passa pela laringe, o ar primeiro, né. Aí vem pra traqueia, entra no pulmão... Aí tem os brônquios, é... Alvéolos pulmonares aqui, acho que aqui também.... É... Aqui (aponta os alvéolos na ampliação da parte A do esquema) nas ramificações, né. Vem os alvéolos pulmonares. Ai, aqui tem, acho que é esse negócio de vermelho e do azul (refere-se à cor das setas na parte B do esquema 2). É... Não sei se quer dizer alguma coisa... É a entrada e a saída, né, os alvéolos pra filtrar o ar (grifo nosso).

Novamente, P6 evidencia não conhecer a utilização convencional das cores azul e vermelha em relação aos gases carbônico e oxigênio, como já observamos no primeiro momento da coleta de dados e na atividade de elaboração de esquemas. Outra provável concepção evidenciada na leitura de P6, tanto no esquema 1 quanto no esquema 2 diz respeito à filtragem do ar nos pulmões. É bastante comum os livros didáticos referirem-se ao nariz como um local onde o ar é filtrado e aquecido antes de passar aos pulmões. Dessa forma, P6 pode ter confundido a hematose que ocorre nos alvéolos com um processo de filtragem do ar.

À luz da TDC (Clark e Paivio, 1991; Sadoski e Paivio, 2004) interpretamos que a expressão alvéolos pulmonares, no sistema mental verbal de P6 estabeleceu conexões associativas com a palavra filtrar, em vez de associar à palavra hematose. É possível que P6, ao longo da escolarização, tenha vivenciado mais episódios de associar a palavra filtrar ao estudo da respiração do que a palavra hematose no estudo do mesmo conteúdo.

Um outro tipo de leitura foi realizada por P13 e P10. Os alunos fizeram uma leitura descritiva dos esquemas e evidenciaram, em suas falas, que seus

repertórios de conhecimentos, ou seja, o equipamento para a interpretação dos esquemas, apresentaram muitas lacunas. Ambos expressaram dúvidas durante a leitura dos esquemas. As transcrições a seguir, de P13 e de P10 referem-se, respectivamente, aos esquemas 1 e 2.

P13: É... bom... aqui tem o desenho do pulmão e tem as setinhas que vão te indicar o processo, né? O mesmo processo né, digamos assim, esse é um processo grande né e tem as suas divisões. [...] Essa parte do desenho aqui (aponta as hemácias) eu já fico muito sem entender, e tal, apesar que as hemácias eu sei que tá relacionado ao sangue e tal. É... seriam glóbulos vermelhos. [...] Essas células aqui (células do corpo) eu não sei se ele se refere a qualquer tipo de célula ou algumas células específicas... e... tem o desenho do pulmão, né... de alguma forma eles se relacionam até porque tem as setas né... indicando que tudo isso aqui é um processo né.

P10: Hum... A imagem dois... Alvéolo ... acabei errando o nome (o aluno refere-se ao fato de ter chamado os alvéolos de aurélios durante a elaboração do esquema). Mostra basicamente os órgãos que fazem, que constitui o sistema respiratório a laringe, traqueia, brônquios, e aí mostra a estrutura dos brônquios que tem artérias, veias, alvéolos... Aí mostra, dá o zoom mais ou menos. Mostra as veias, as hemácias...

P10 faz uma leitura referencial da imagem B no esquema 2, quando estimulado. Perguntamos ao aluno o que a imagem “falava” para ele:

P10: Hum... troca gasosa basicamente (leitura referencial). Sangue, hemácia, CO₂, células da parede do alvéolo. O alvéolo é importante. É isso.

Uma leitura que se diferenciou das transcritas anteriormente foi feita pelo participante P8. Nas duas leituras, primeiramente o aluno olha por um tempo o esquema e faz uma síntese. Em seguida, lê a legenda para então realizar uma leitura narrativa. A primeira transcrição abaixo refere-se ao esquema 1, a próxima é um segmento da leitura do esquema 2.

P8: Bom, então pra mim essa imagem ela representa o processo da respiração ocorrendo num corpo como um todo (leitura inferencial), tanto desse momento que ar entra, faz as trocas gasosas e depois sai pela expiração (síntese). Então o que aqui vejo representado, vou vendo aí eu explico, é ... temos aqui então, a representação esquemática dos caminhos dos gases respiratórios, do ar, às células do corpo e vice-versa (leitura da legenda) tem inicialmente o ar que é inspirado sendo rico em gás oxigênio entrando né, passando pela traqueia, até os pulmões e esse ar rico em oxigênio é transportado

pelo sangue, então nas hemácias que são células sanguíneas, elas fazem um processo fisiológico através desse ar nutrir as células, e depois também transformá-lo em gás carbônico (grifo nosso) então pela própria circulação também esse gás é transportado até o coração pra fazer a chamada circulação pequena entre os pulmões e o coração e expelido para os pulmões, então a gente chama de ar respirado, né, que é o gás carbônico. Finalizei.

P8: A figura 2 são na verdade 4 pequenas gravuras (síntese). A letra A que é uma representação esquemática da relação entre as extremidades dos bronquíolos e dos alvéolos pulmonares (leitura da legenda). Aliás, são 3 figuras, acabei de ver (pela legenda), porque uma que considere a quarta na verdade é um detalhamento, né, da primeira. A figura B que é uma representação esquemática da hematose e a C que é a arteriografia do pulmão humano mostrando a intensa ramificação da artéria pulmonar, então em A e B são imagens sem escala. (leitura da legenda)

P8 foi o único participante que leu, espontaneamente, as legendas. Os demais, mesmo estando em dúvida ou não identificando alguma estrutura, somente recorreram à legenda quando estimulados a fazê-lo, corroborando com os resultados da investigação de Ametller e Pintó (2002) sobre quais características da imagem afetavam sua compreensão. No estudo conduzido pelos pesquisadores, estudantes estimulados a ler as legendas mudavam sua interpretação da imagem após a leitura.

A próxima seção apresenta os resultados da última atividade da entrevista.

4.2.3 Relação entre texto e esquemas

Nesta atividade, que foi a última da entrevista individual, os participantes deveriam relacionar os mesmos dois esquemas utilizados na atividade anterior, de leitura, a quatro parágrafos curtos (Quadro 3), todos impressos na mesma folha e versando sobre aspectos da respiração.

Os estudantes utilizaram diferentes estratégias para realizar a atividade, evidenciadas por meio das verbalizações das justificativas, como mostram alguns trechos transcritos a seguir.

Para facilitar a compreensão, inserimos comentários entre parênteses, na cor verde, com base em anotações sobre gestos e outras ações realizadas pelos alunos durante a atividade.

P7: Esse primeiro (parágrafo), eu associaria a essa parte aqui do número (esquema) 1 (o aluno aponta para a estrutura indicada como “células do corpo”). Acho que representa a mitocôndria. Ou a célula mesmo né, e fala da mitocôndria, essa bolinha rosa (aponta a estrutura arredondada representada no centro das células do corpo e ao mesmo tempo aponta a palavra mitocôndria no texto) que talvez seja a mitocôndria, não sei. Agora o segundo parágrafo.... Esse segundo parágrafo (aponta a palavra pulmões no texto) eu associo à imagem aqui dos pulmões (aponta os pulmões)... da imagem um, da folha um. O que eu acho que mostra, na verdade, mostra a figura inteira. Porque mostra que o gás oxigênio está entrando... e que o sangue está sendo abastecido pelo gás oxigênio (aponta as hemácias) e que ao mesmo tempo ele está liberando gás carbônico também. E eu acho que, representa bem a respiração pulmonar. Talvez não tanto... Porque pela sequência de setas, parece que está acontecendo ao mesmo tempo (realiza um movimento circular com o dedo sobre o esquema, acompanhando as setas vermelha e azul e, em seguida, aponta a expressão “ao mesmo tempo” no texto escrito).

A estrutura que P7 identifica, expressando dúvida, como mitocôndria no esquema 1, convencionalmente representa o núcleo da célula. Apesar de identificar a mitocôndria no esquema, P7 não inferiu a ocorrência da respiração celular a partir da representação da entrada e saída de O₂ e CO₂ das células do corpo.

A relação que P7 estabeleceu entre o parágrafo 3 e o esquema 2 foi feita com base na identificação pontual da palavra alvéolo em ambos, texto e esquema.

P7: Ai esse daqui... já venho pra essa, pro terceiro parágrafo. Da figura dois. Porque ele fala dos alvéolos, e acho que é a única dessas imagens mesmo que mostra os alvéolos (aponta a palavra alvéolos) mesmo. Hum...(pausa). Agora eu não sei se ela representa... Eu acho que a única coisa que ela (a imagem) representa aqui no terceiro parágrafo são as estruturas mesmo dos alvéolos. Que vendo a imagem, eu não sinto se tivesse acontecendo o processo respiratório aqui, mas... vou usar, porque está se referindo aos alvéolos.

Embora P7 use a expressão “mostra os alvéolos”, o que o aluno apontou no esquema não foi a imagem dos alvéolos e sim a palavra alvéolos incluída no esquema. Cabe também observar que P7 demonstrou-se inseguro quanto à relação

estabelecida, expressando que “eu não sinto se tivesse acontecendo o processo respiratório aqui, mas... vou usar, porque está se referindo aos alvéolos.”

A expressão “eu não sinto” indica que, possivelmente, P7 tenha feito outra leitura do esquema, ou seja, atribuído outro sentido à mensagem. De fato, o parágrafo 3 não está associado ao esquema 2 no livro didático de onde foi extraído. Faz parte da seção do capítulo sobre a respiração que trata da ventilação pulmonar, e vem acompanhado de um esquema representando os movimentos de inspiração e expiração.

No entanto, a presença da palavra alvéolos foi determinante para que P7 mantivesse a relação entre o esquema e o texto: “vou usar porque está se referindo aos alvéolos”. Evidenciamos na decisão de P7 a predominância do verbal sobre o visual, o que pode estar relacionado à cultura escolar de valorizar a linguagem verbal em detrimento de outras linguagens.

As relações entre texto e imagem feitas por P6, também pontuais, buscaram outros elementos composicionais, no caso as setas, como base. A transcrição a seguir refere-se à associação que P6 fez entre o esquema 1 e o parágrafo 2.

P6: É porque ele fala ao mesmo tempo que o gás oxigênio dos pulmões é... ao mesmo tempo que o sangue é abastecido de gás oxigênio, aqui (aponta a seta vermelha) pra mim ele é sendo abastecido, na imagem um com as setas vermelhas, que está indicando o O₂ (aponta) é abastecido e o gás carbônico é eliminado. Ai... Acho que as indicações das setas sendo eliminado (acompanha com o dedo o traçado da seta azul que sai da traqueia), talvez. Então ao mesmo tempo, que ele é abastecido de O₂ ele elimina CO₂. O conjunto de processos entre trocas gasosas (P7 está lendo o texto) Aí aqui tá falando que, constitui a respiração celular. E eu acho que indica a respiração celular.

Assim como P7, P6 relacionou o parágrafo 3 ao esquema 2 com base na presença da palavra alvéolo.

P6: Eu acho que o parágrafo 3 se associaria à imagem 2. Porque na imagem 1, não tem nada falando sobre os alvéolos pulmonares. Então acho que não teria como ligar a isso. Que na imagem 2 já tem falando sobre os alvéolos pulmonares.

P13 também estabeleceu essa relação, entre o esquema 2 e o parágrafo 3, porém a associação não se deu por meio da palavra alvéolo, mas em função das setas.

P13: O 3 eu diria que é referente a letra B. [...] É, ele fala do processo de renovação aqui. [...] É..... então, ele fala da renovação de ar.. hum... apesar que depois que olhei esse 4 aqui (*parágrafo 4*), eu fiquei hum... Mas o entendimento que eu tive, né, foi que se referia à letra B e que traz as setinhas aqui, e que dá uma ideia de há um processo aqui né(grifo nosso) [...] Como por exemplo na letra A que não há setas assim indicando alguma coisa.[...] Então, Assim como o esquema 1 por exemplo, que ele traz duas setas, é... dois tipos de setas na verdade, vermelha e azul, e elas tão em caminhos opostos, apesar que nessa aqui é uma continuação, a diferença é que aqui o vermelho vai tá representando o caminho do gás oxigênio...

Ainda em relação a P13, o aluno associa os parágrafos 1 e 2 ao esquema 1, com a seguinte justificativa:

P13: Esse aqui (*referindo-se ao parágrafo 1*) taria falando dessa imagem (*esquema 1*)...[...] é.. ao primeiro esquema, né. Que tá falando dessa partezinha aqui do desenho (*refere-se às células do corpo*). Nesse processo que ocorre no interior das mitocôndrias, as substâncias orgânicas reagem com gás oxigênio liberando energia para os processos vitais (*P13 estava lendo o texto*) É..... (*reinicia a leitura*) os produtos da respiração celular são água e gás carbônico. (*suspende a leitura*). Aí aqui ele (*esquema*) não falou da água mas ele (*esquema*) representou gás carbônico. É.... (*reinicia a leitura*) A água é reutilizada pelas células mas o gás carbônico não tem utilidade pro organismo é eliminado do sangue (*suspende a leitura*). Tá, então aí já tem uma explicação e dá pra entender mais ou menos, porque antes eu não sabia. (*reinicia a leitura*) Ao mesmo tempo que o sangue é abastecido de gás oxigênio nos pulmões, o gás carbônico é eliminado do corpo no ar expirado. (*suspende a leitura*) É... (*reinicia a leitura*) O conjunto de processos de trocas gasosas entre o ar atmosférico e o sangue que corre nos pulmões, constitui a respiração pulmonar (*suspende a leitura*). Então, é..... tá falando desse processo aqui também, então o primeiro e o segundo parágrafo se referem à imagem 1.

A longa transcrição foi necessária para evidenciar uma diferença na forma de leitura de P13 em relação aos demais participantes. O aluno lê pequenos trechos do texto e faz pausas. Levanta a cabeça e parece estar formando imagens mentais do que lê.

O participante P13 foi o que mais se deteve na leitura dos esquemas, tendo sido, inclusive, a entrevista mais longa. Uma observação relevante em relação a P13 diz respeito ao fato de que as setas parecem ter sido o elemento composicional selecionado na leitura dos esquemas, isso tanto nas atividades da entrevista como nas questões do momento 1. Todas as respostas de P13 às questões do momento 1 que envolviam esquemas com setas, continham a palavra processo, como mostramos a seguir.

Questão 1: Processo respiratório humano/mapa processual referente à fotossíntese.

Questão 2: O processo de trocas gasosas ocorrente na respiração.

Questão 3: Sem certeza, me remetem ao mesmo processo da respiração. Também me lembra o processo de fotossíntese.

Questão 4a: Não sei descrever tal processo/Não sei descrever tal processo.

Questão 4b: Está sendo representado o mesmo processo [...].

Questão 5: Imagino que seja algum tipo de substância que esteja sendo liberada porém não conseguiria identificá-la. Talvez resultado do processo.

Questão 6: ‘Participantes’ do processo descrito: pulmões, células [...].

Em um dado momento, ao buscar o esquema que se relacionava ao parágrafo 4, P13 comenta, em relação à parte A do esquema 2: “Mas.... essa imagem A não me parece tá falando sobre algum processo”. De fato, a parte A do esquema 2 não representa um processo, e sim refere-se a uma organização estrutural. Não há setas no esquema indicando a representação de um processo.

A análise das transcrições evidenciou que as relações estabelecidas ocorreram pontualmente. Cada aluno elegeu um elemento ou grupo de elementos dos esquemas e dos textos para estabelecer as relações. Observamos que os alunos não buscaram referência nas legendas, à exemplo do que já havíamos comentado na atividade de leitura de esquemas.

Não houve uma leitura dos esquemas atribuindo um sentido ao texto imagético em sua totalidade, mas foram identificadas partes do esquema para as quais cada leitor conseguiu atribuir um sentido, ainda que apenas no nível de leitura superficial, como ilustraram os excertos transcritos.

Para realizar esse tipo de leitura, foi necessário que os alunos passassem frequentemente do texto ao esquema e vice versa, numa atividade de coordenar

dois tipos de representação para o mesmo conteúdo. Bergey, Cromley e Newcombe (2015) apontam que informar os alunos sobre o momento de passar do texto ao esquema amplia a compreensão dos esquemas.

4.2.4 Algumas observações

Todas as atividades realizadas nos dois momentos da coleta envolveram a leitura de esquemas. Além disso, os participantes também produziram esquemas e pequenos textos verbais escritos nas justificativas das questões do momento 1 e textos verbais orais nas atividades do momento 2.

A análise desses textos evidenciou as dificuldades dos alunos para se expressarem verbalmente, tanto na forma escrita quanto oral. Creditamos essa dificuldade ao conhecimento dos alunos sobre a respiração, pulmonar e celular, que nos pareceu ainda com muitas lacunas a serem preenchidas, dadas as dúvidas apresentadas e as hesitações nas falas.

Evidenciamos, também, a falta de domínio do vocabulário científico, pelo uso indiscriminado, como sinônimos, de palavras foneticamente semelhantes como inspirar, respirar e expirar e o uso frequente de diminutivos.

Encontramos algumas semelhanças entre os resultados do estudo principal e do estudo piloto, quanto à dificuldade de expressão oral e às concepções sobre o fenômeno respiratório, que no caso deste trabalho foram comentadas no decorrer da apresentação e análise dos dados, à medida em que emergiam. Chamou-nos atenção esse fato, considerando que o estudo piloto foi realizado com alunas em final de um curso de formação de professores, nesse caso Licenciatura em Biologia, o que evidencia o caráter persistente das concepções.

As participantes do estudo piloto, no entanto, apresentaram esquemas um pouco mais elaborados, fazendo uso de outros elementos composicionais. Atribuímos essa diferença à maior experiência dessas alunas com representações esquemáticas durante a graduação, uma vez que são formas de apresentação do conhecimento bastante utilizadas nas diferentes disciplinas do curso. Assim, é possível que elas tenham no sistema mental não verbal um maior repertório de estruturas básicas e de imagens mentais visuais associadas à respiração. Também

nas verbalizações, as participantes apresentaram um conjunto maior de expressões associadas à respiração, como variação das concentrações, caixa torácica, pressão atmosférica.

Em relação ao significado convencional das cores azul e vermelha na representação dos gases respiratórios, as participantes do estudo piloto não se equivocaram em sua utilização. Entretanto, afirmaram não saber o porquê da convenção. Segundo elas, é a forma como sempre veem nos livros didáticos. Contrariamente, os participantes do estudo principal apresentaram dificuldade com o significado convencional das cores azul e vermelha.

Figura 29-Esquema elaborado por P7

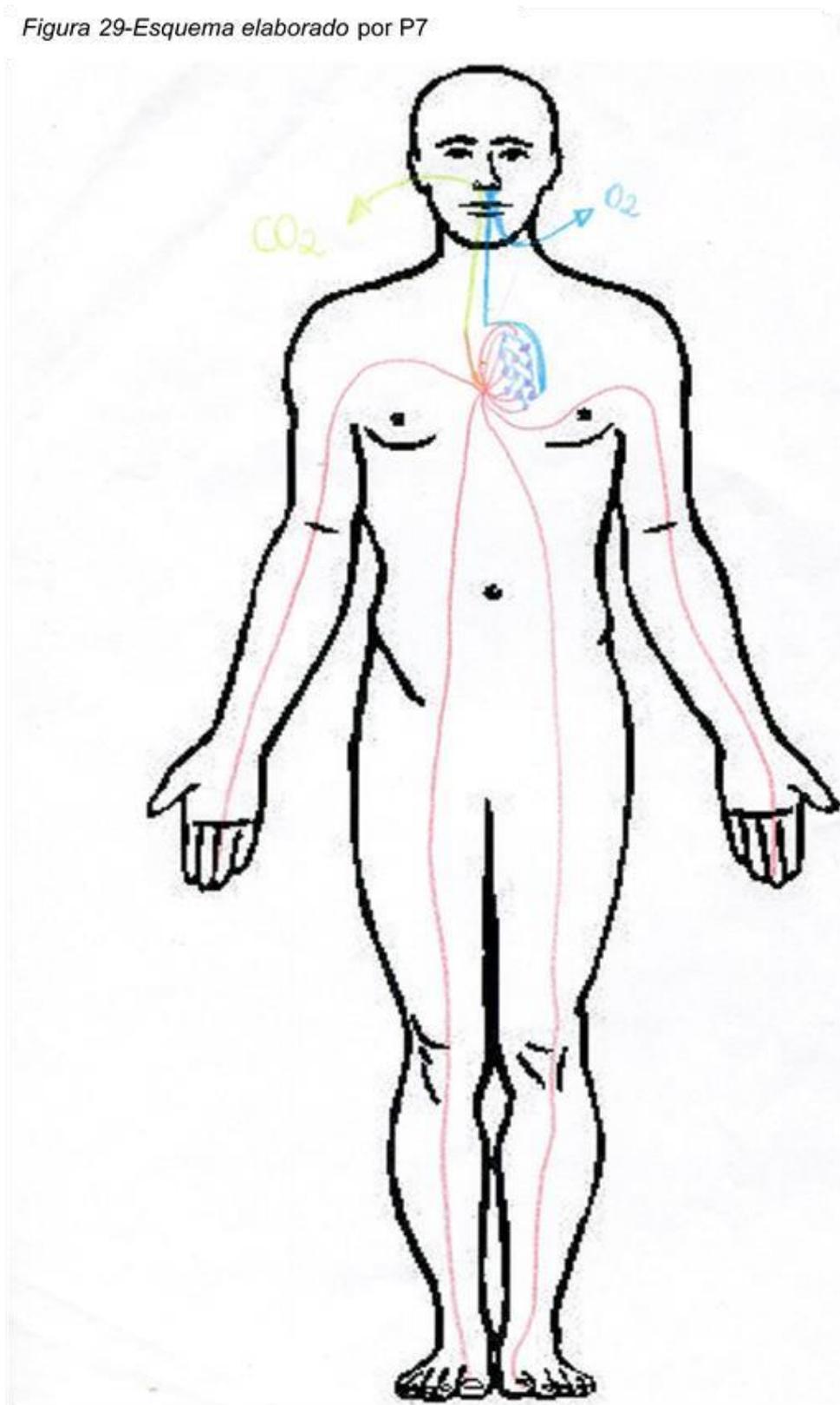


Figura 30 Esquema elaborado por P8

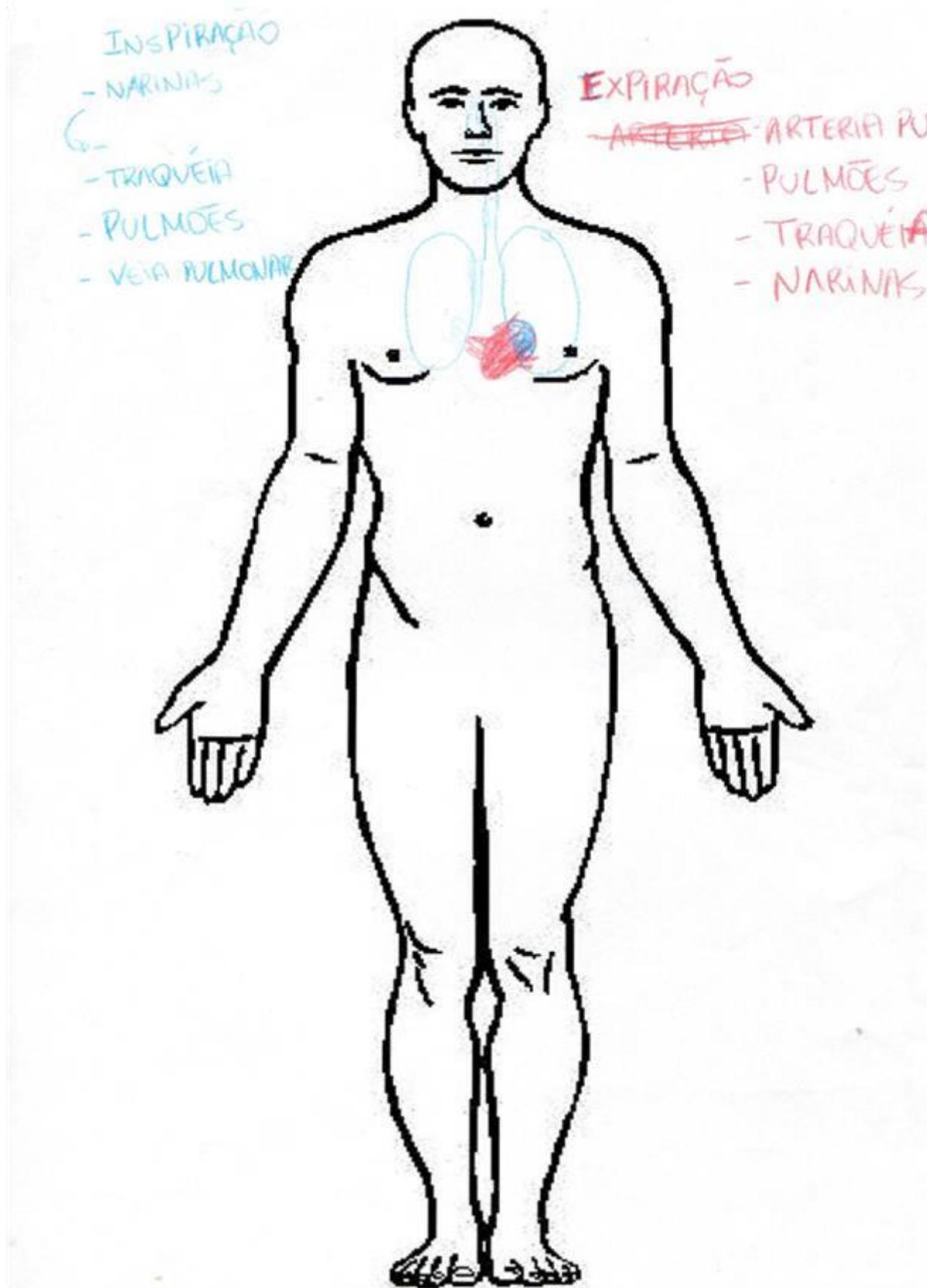


Figura 31 Esquema elaborado por P6

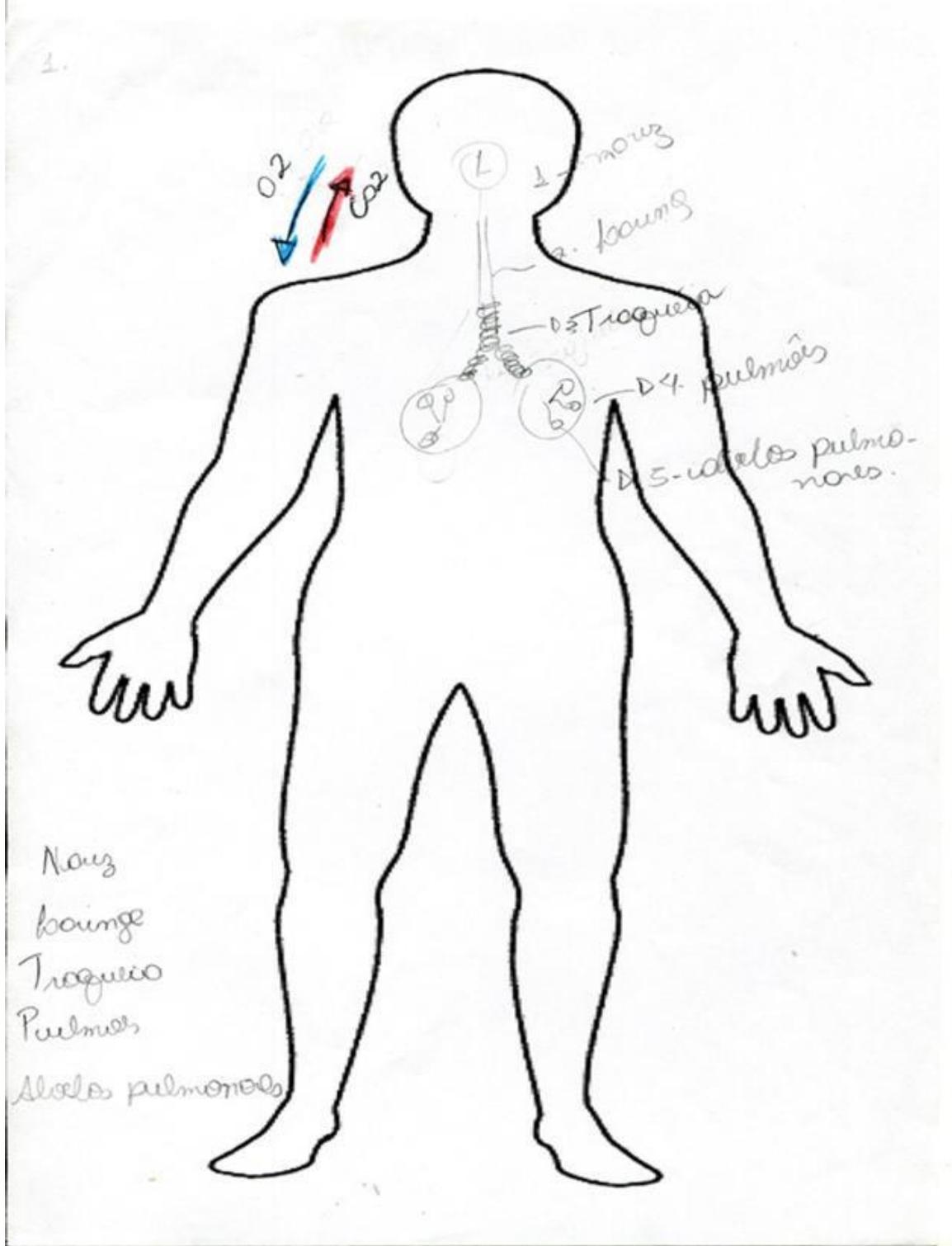


Figura 32– Esquema elaborado por P10

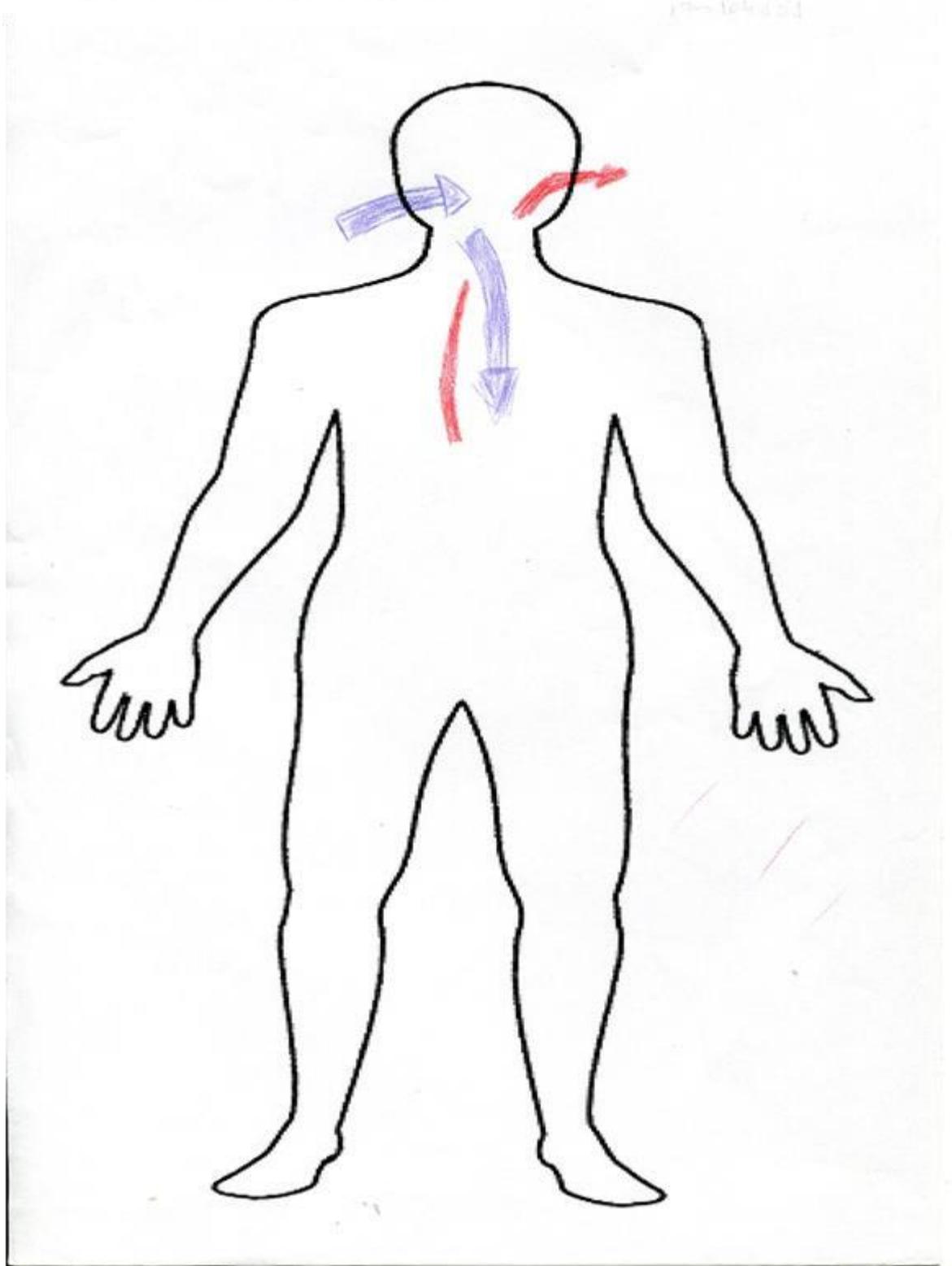


Figura 33- Esquema 1 elaborado por P13

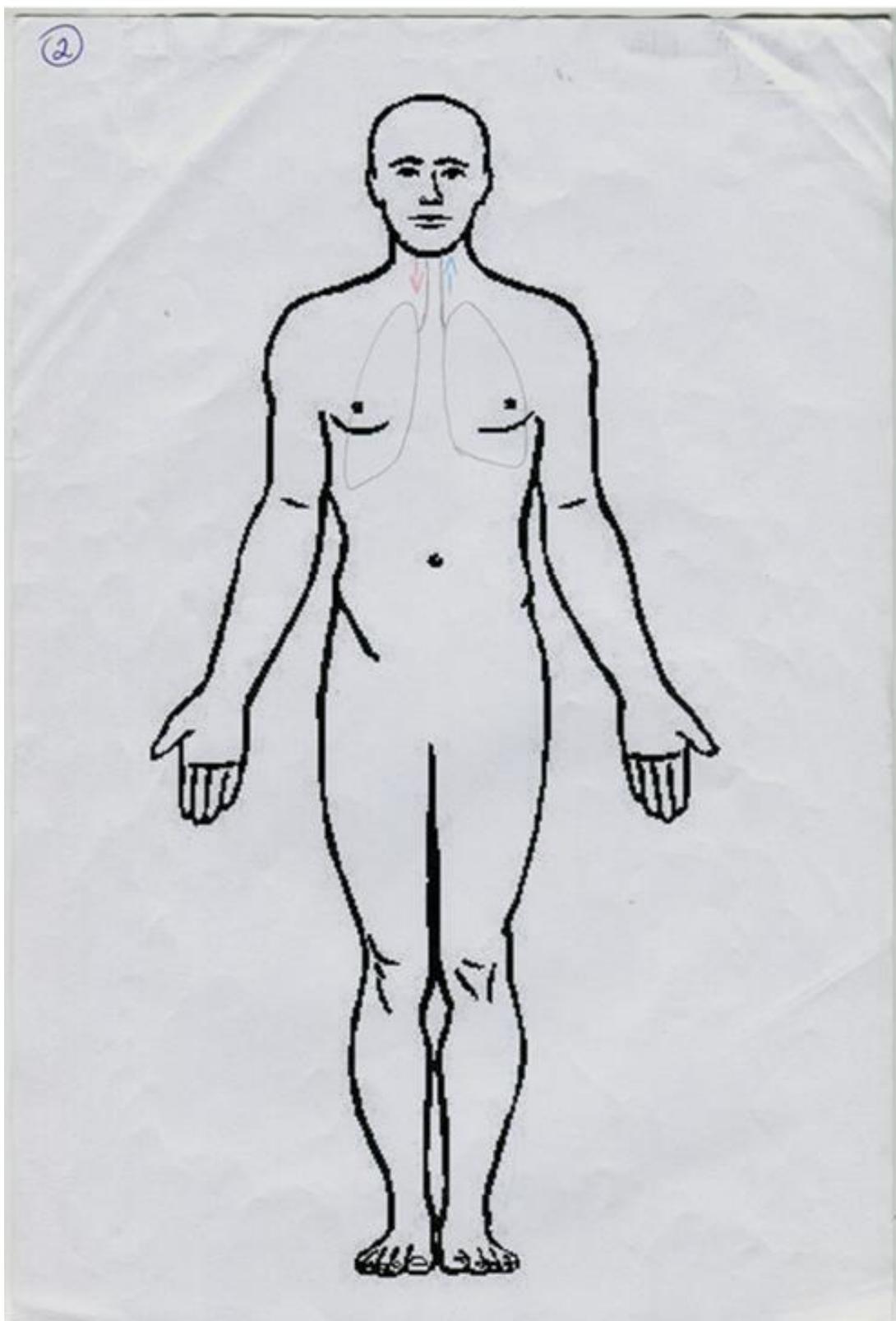
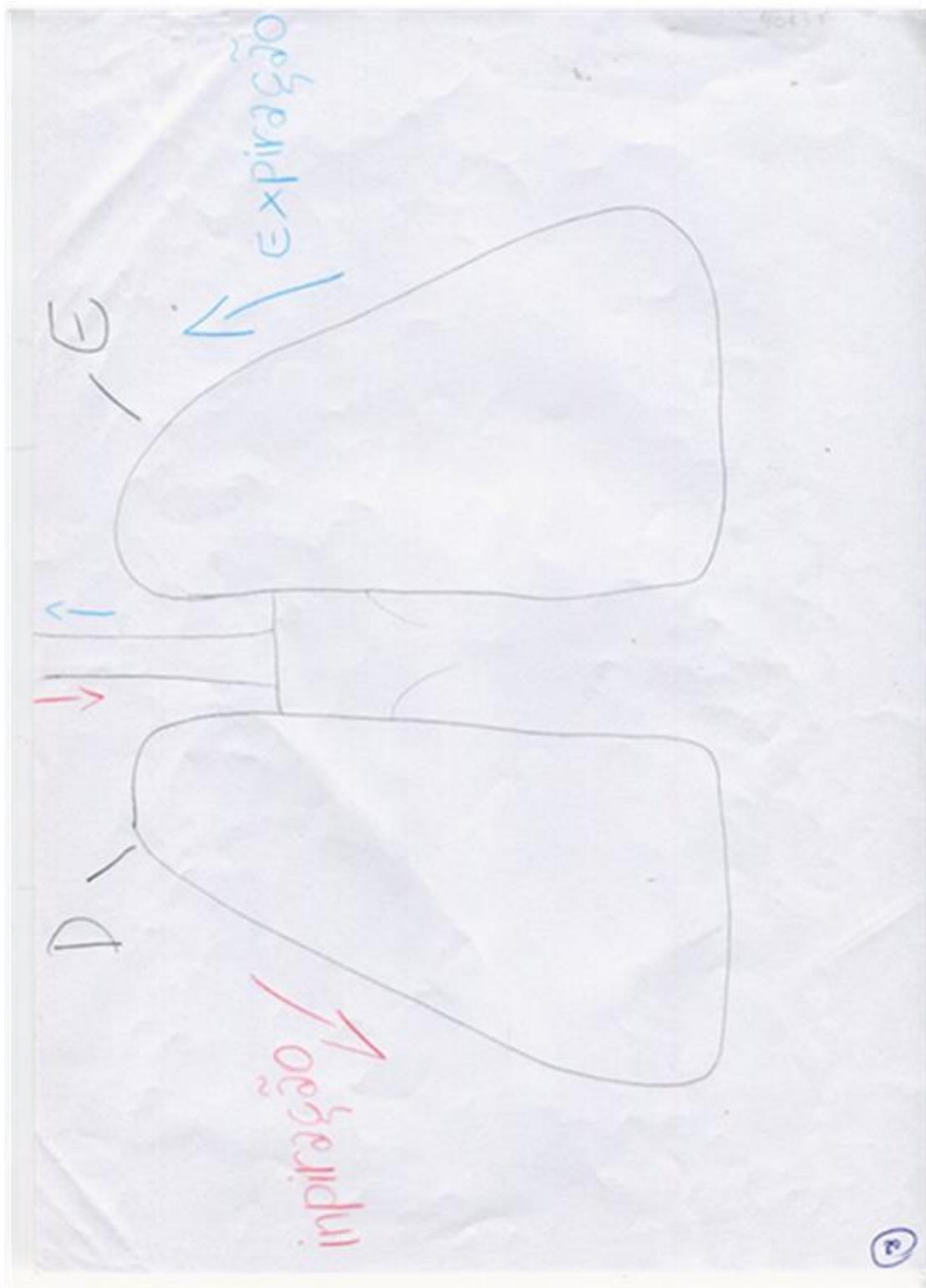


Figura 34- Esquema 2 elaborado por P13



REFERÊNCIAS

- AMETLLER, J.; PINTÓ, R. Students' reading of innovative images of energy at secondary school level. **International Journal of Science Education**, v.24, n.3, pp. 285-312, 2002.
- BERGEY, B.W.; CROMLEY, J. G.; NEWCOMBE, N. S. Teaching high school biology students to coordinate text and diagrams: relations with transfer, effort, and spatial skill. **International Journal of Science Education**, v.37, n. 15, p. 2476-2502, 2015.
- CHENG, M. M. W., GILBERT, J. K. Students' visualization of diagrams representing the human circulatory system: The use of spatial isomorphism and representational conventions. **International Journal of Science Education**, v. 37, p.136-161, 2015.
- CLARK, J.M.; PAIVIO, A. Dual coding theory and Education. **Educational Psychology Review**, v.3. n.3, 1991.
- GEBRE, E. H.; POLMAN, J. L. Developing young adults' representational competence through infographic-based science news reporting. **International Journal of Science Education**, v. 38, n. 18, p. 2667–2687, 2016.
- HEISER, J.; TVERSKY, B. Arrows in comprehending and producing mechanical diagrams. **Cognitive Science**, v. 30 pp. 581–592, 2006.
- LOWE, R. Drawing out ideas: a neglected role for scientific diagrams. **Research in Science Education**, v. 17, p.56-66, 1987.
- PANOFISKY, E. Significado nas Artes Visuais. São Paulo: Perspectiva, 2001.
- PENA, B. M.; QUILES, M. J. G. The importance of images in astronomy education. **International Journal of Science Education**, v. 23, n. 11, p. 1125-1135, 2001.
- PINTÓ, R.; AMETLLER, J. Students' difficulties in reading images. Comparing results from four national research groups. **International Journal of Science Education**, v. 24, n.3, pp. 333-341, 2002.
- SADOSKI, M.; PAIVIO, A. A dual coding theoretical model of reading. In: RUDEL, R.B.; UNRAU, N.J. (Eds.) **Theoretical models and processes of reading**. 5 ed. pp. 1329-1362. Newark,DE: **International Reading Association**, 2004.
- TESTA, I.; LECCIA, S.; PUDDU, E. Astronomy textbook images: do they really help students? **Physics Education**, vol 49, n.3, 2014.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

O objetivo deste trabalho foi responder a questão: De que forma os alunos constroem sentidos a partir da leitura de esquemas que representam o fenômeno da respiração humana?

Um esquema, neste trabalho, foi definido como uma representação visual plana, composta por uma associação de imagens fixas e símbolos, elaborada com o objetivo didático de representar sinteticamente estruturas e/ou relações entre estruturas, funções e processos que integram os fenômenos, objetos de estudo das Ciências Naturais.

Na condição de representação visual, um esquema veicula uma mensagem por meio de um texto imagético. Uma característica do texto imagético de um esquema que o diferencia do texto verbal, seja esse na forma oral ou escrita, é “dar-se a ver” em uma visada. Equivoca-se, no entanto, quem credita a essa generosidade do texto imagético o atributo da simplicidade. Sua leitura pressupõe a tarefa de identificar seus elementos composicionais, atribuir-lhes os significados convencionais, e estabelecer as relações entre eles, pretendidas pelo autor do esquema, a partir da identificação dos diferentes arranjos espaciais utilizados em sua composição e respectivos significados. É uma tarefa complexa de busca do “dito pelo não dito”.

Considerando essas particularidades do texto veiculado por um esquema, buscamos identificar as estratégias utilizadas pelos alunos para a leitura de esquemas científicos que representam fenômenos e processos relacionados à respiração humana; quais elementos composicionais dos esquemas são selecionados pelos alunos ao realizar a leitura e a existência de semelhanças ou diferenças no desempenho dos alunos ao ler esquemas e ao elaborar o próprio esquema.

Para atingir esses objetivos, realizamos um estudo empírico delineado a partir de um estudo piloto realizado com alunos da mesma instituição, cursando licenciatura em Ciências Biológicas. O estudo principal foi realizado em dois momentos, inicialmente com 17 alunos. No segundo momento, contou com a participação de cinco alunos. Dado que a participação era voluntária, não foi

possível manter o número de alunos nos dois momentos, uma vez que nem todos demonstraram interesse em continuar na pesquisa. De toda sorte, consideramos em nossa análise os dados coletados com todos os participantes no primeiro momento, o que nos forneceu base para responder em parte a questão central desta pesquisa.

Utilizamos como suporte teórico a iconologia de Erwin Panofsky, a partir da qual estabelecemos três níveis de sentido e de leitura para os esquemas: os níveis de leitura superficial, referencial e inferencial. Utilizamos também, como base para a análise, elementos da Teoria da Dupla Codificação de Alan Paivio, segundo a qual o processamento da informação ocorre em dois sistemas mentais independentes porém interconectados, o verbal e o não verbal, que possibilitam ao indivíduo emitir respostas verbais e não verbais a partir de estímulos externos e internos também verbais e não verbais. Os esquemas objeto deste trabalho constituem estímulos externos para os sistemas verbal e não verbal de processamento da informação.

Identificamos diferentes estratégias de leitura das quais os alunos lançam mão frente à tarefa de ler um esquema. Realizam leituras narrativas e, para tanto, algumas vezes acrescentam elementos do seu repertório de conhecimentos sobre o assunto, mas que não estão representados no esquema. Isso lhes possibilita estabelecer uma ligação entre os elementos representados e imprimir uma sequência narrativa à leitura. Entretanto, nem sempre buscam revelar o conteúdo implícito da mensagem do texto imagético do esquema e, dessa forma, não realizam as inferências possíveis.

A atribuição de sentido por meio de generalização, partindo da identificação e significação pontual de elementos composicionais dos esquemas, os quais lhes são familiares, foi também uma estratégia de leitura adotada pelos alunos. Identificar atributos qualitativos semelhantes entre elementos composicionais dos esquemas, a fim de produzir sentido a partir de uma cadeia de relações estabelecida entre o sentido conhecido e o que se quer conhecer integrou também o conjunto de estratégias.

Os elementos composicionais dos esquemas selecionados para a leitura variaram de acordo com a familiaridade de cada aluno com as formas de

representação de órgãos, estruturas e elementos simbólicos. Dito de outra forma, elementos verbais e não verbais dos esquemas que possivelmente já estejam representados nos sistemas mentais verbal e não verbal dos alunos, foram selecionados como referência para a leitura. Nesse grupo, incluem-se imagens que são comuns em livros didáticos, como a representação externa do conjunto traqueia/brônquios/pulmão; palavras; fórmulas químicas de substâncias conhecidas, setas, cores e palavras nominando estruturas ou processos incluídas nos esquemas, estas últimas predominando em relação às demais.

Cabe destacar, entretanto, que o significado convencional de alguns elementos não é partilhado por todos os alunos, o que refletiu na produção de sentido a partir da leitura do texto imagético do esquema, como é o caso das cores azul e vermelha utilizada para representar a concentração dos gases carbônico e oxigênio no estudo da respiração

Quanto a semelhanças ou diferenças entre ler esquemas e elaborar o próprio esquema, os resultados variaram em função do conteúdo elegido por cada aluno para representar no esquema. Alunos que verbalizaram aspectos funcionais da respiração apresentaram mais dificuldade na elaboração de esquemas, embora nem todos tenham apresentado dificuldade na leitura de esquemas. Entretanto, cabe ressaltar que as leituras foram em nível superficial, tendo avançado pontualmente para os níveis de leitura referencial e inferencial.

Consideramos, a partir do exposto, que os alunos constroem sentidos a partir da leitura de esquemas que representam a respiração mobilizando seus conhecimentos acerca do conteúdo e estabelecendo relações entre esses e os elementos composicionais do esquema significados durante a leitura.

Partimos do pressuposto, no início deste trabalho, que a leitura de um esquema ocorre em três níveis. Inicialmente, em um nível superficial com a identificação dos elementos componentes e seu arranjo espacial. Posterior a essa leitura de superfície, o aluno realiza a leitura em segundo nível, na qual mobiliza conhecimentos sobre o conteúdo ao qual o esquema se refere, atribuindo significados aos elementos identificados para, posteriormente, realizar as inferências possíveis.

A análise dos dados apontou diferenças nos níveis de leitura realizada por cada participante e que são relacionadas ao equipamento para a interpretação de cada um, ou seja, seu conhecimento do conteúdo. Entretanto, considerando que houve alunos que evidenciaram a leitura nos níveis superficial, referencial e inferencial, assumimos que, no contexto deste trabalho, é válida a tese de que a produção de sentidos a partir da leitura de um esquema ocorra nos três níveis distintos de significação já citados.

Ressaltamos que o número reduzido de participantes; o fato de termos trabalhado com poucos esquemas e a impossibilidade de um novo encontro com os participantes para validar algumas respostas (o que consideramos como fragilidades deste trabalho) não nos permite ampliar os resultados fora do contexto desta investigação.

Os resultados deste trabalho têm implicações pedagógicas, para a formação de professores, para autores e para editores de livros didáticos.

Em relação às implicações pedagógicas, conhecer como os alunos leem esquemas e quais as dificuldades apresentadas nessa tarefa possibilita planejar atividades que contribuam para a melhor utilização dos esquemas como recursos pedagógicos.

A proposição de atividades em que os alunos interajam com os esquemas e ativamente busquem sentidos além do explícito, ou seja, realizem inferências, pode contribuir para a aprendizagem dos conteúdos. Atividades que envolvam o estabelecimento de relações entre textos verbais, entre eles as legendas, e esquemas, promove a ativação dos dois sistemas mentais, verbal e não verbal. Dessa forma a informação duplamente codificada facilita o seu processamento e manipulação em situações em que ela seja requerida.

As habilidades representacionais dos alunos também devem ser desenvolvidas por meio de atividades que requeiram a elaboração de esquemas e oportunizem aos alunos expressarem-se por meio de outras linguagens, considerando a multimodalidade do discurso científico. É necessário, ainda, trabalhar a leitura dos esquemas a partir de atividades que promovam a compreensão do significado convencional de elementos composicionais dos esquemas.

No que se refere a editores de livros didáticos, este trabalho apresenta algumas observações que podem servir de base para a elaboração de esquemas, tais como considerar a inclusão de elementos verbais que guiem a interpretação, como legendas mais completas; indicadores textuais que relacionem as passagens do texto às partes do esquema a que se refere; definir um leiaute da página que coloque em relação de contiguidade texto e esquema; explicitar as convenções utilizadas.

Para ensinar a ler esquemas é preciso saber lê-los. Para tanto, consideramos relevante incluir nos cursos de formação de professores, Licenciaturas em Física, Química, Biologia e Pedagogia, atividades que promovam o aprendizado da leitura e produção de esquemas. Tendo em conta, ainda, a velocidade com que novas tecnologias de criação de imagens vão-se incorporando no dia a dia, é de suma importância considerar também a recorrência das discussões acerca do uso de imagens em cursos de formação continuada de docentes.

Há muito que ser desvendado ainda acerca da utilização de esquemas em situações de ensino e aprendizagem, de tal forma que consideramos necessário apontar algumas lacunas investigativas que ainda podem ser preenchidas, tais como: quais os critérios empregados pelos professores para a seleção dos esquemas utilizados em aulas das disciplinas de Ciências da Natureza; quais os efeitos, na aprendizagem de conceitos científicos, da prática de elaboração de esquemas pelos alunos para representar conteúdos veiculados em textos científicos; quais os efeitos, na aprendizagem de conceitos científicos, de atividades de correção e reelaboração de esquemas a partir da leitura crítica dessas representações visuais.

Por fim, esperamos que este trabalho contribua para uma utilização mais efetiva dos esquemas em situações de ensino e aprendizagem, a partir da compreensão de como ocorre a produção de sentidos a partir de sua leitura. Esperamos também que as atividades propostas e as conversas informais tenham suscitado reflexões nos cinco participantes da entrevista, futuros colegas professores, e neles também despertado o interesse por pesquisas no ensino de ciências.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Resultados do Estudo Piloto

Os resultados deste Estudo Piloto corroboram estudos que apontam a dificuldade dos alunos em se expressar por meio de esquemas e em interpretar esquemas, devido ao fato de não possuírem uma ideia clara dos fenômenos (PENA e QUILES, 2001; GEBRE e POLMAN, 2016).

O domínio do vocabulário científico é outro fator que interfere na interpretação de esquemas científicos, pois pudemos observar na verbalização das alunas que hesitavam nas respostas, usando palavras semelhantes foneticamente, como inspirar, expirar e respirar, indistintamente. De fato, como reportaram Viennot e Kaminski (2006), às vezes é difícil determinar se o aluno compreendeu um fenômeno, ou em nosso caso se fez a leitura correta do esquema, considerando que a resposta verbal imprecisa pode não corresponder à real compreensão.

Em relação às concepções, embora tenhamos realizado o estudo com alunas já no final da graduação, identificamos concepções que se alinham àquelas apresentadas por estudantes da educação básica, o que reforça o seu caráter persistente. Ainda em relação às representações, observamos que alguns esquemas podem representar estruturas ou processos de forma equivocada ou incompleta, do ponto de vista do conhecimento científico, o que pode originar concepções ou reforçar as já existentes.

Ficou claro para nós, a partir dos resultados, que as alunas desconhecem a origem do gás carbônico expirado, e também nenhum esquema representou ou mesmo mencionou a respiração celular. Acreditamos que o fato de os conteúdos serem trabalhados sem nenhuma conexão aparente durante a educação básica pode ser uma das causas dessa dificuldade. De qualquer forma, esse resultado nos surpreendeu dado o fato de termos trabalhado com alunas em final de um curso de Licenciatura em Ciências Biológicas.

Os resultados evidenciaram que as alunas, na maior parte das atividades de leitura de esquemas, tiveram dificuldade em avançar além de um nível de reconhecimento, no que chamamos de leitura superficial ou de identificação. A falta

de conhecimentos prévios acerca do conteúdo, bem como o reduzido ou inexistente domínio de conteúdos de outras áreas como a Química, por exemplo, dificultaram a produção de sentidos a partir de uma leitura interpretativa dos esquemas.

Finalizando, é importante considerar que nem todos os alunos fazem a leitura do mesmo esquema igualmente e, dessa forma, os benefícios dessas imagens nos processos de aprendizagem precisam ser cuidadosamente avaliados e individualizados.

Compreendemos que se trata de um procedimento metodológico complexo, que envolve um contato mais prolongado com os participantes. Entretanto, as duas primeiras atividades podem ser realizadas em ambiente de sala de aula, com todos os participantes juntos. A última atividade, por envolver verbalização, deve ser realizada individualmente.

CONCLUSÕES PRELIMINARES

Ainda que um dos objetivos do ensino de Ciências e Biologia, expresso em documentos oficiais, seja o desenvolvimento da competência para o uso de imagens, práticas docentes concretas e sistematizadas que apontem para a consecução desse objetivo ainda são pontuais. Além disso, apesar das pesquisas sobre o uso de imagens no ensino de ciências terem ganhado corpo na última década, poucos estudos têm como foco um tipo particular de imagem: o esquema.

Do ponto de vista estrutural, esquemas são representações visuais complexas, elaboradas a partir da combinação de elementos que representam seu referente por analogia, por convenção ou por ambos, cujo arranjo espacial pode interferir na representação de uma estrutura, de uma relação ou de um processo. Por conta dessas peculiaridades, produzir sentido a partir da leitura de esquemas requer do leitor não apenas a identificação desses elementos, como também o estabelecimento das relações entre eles.

Ocorre que para a identificação e o correto estabelecimento das relações evidenciadas no esquema, o aluno precisa dominar os códigos de representação usados em sua elaboração, o que já lhe possibilita uma leitura de superfície, e

mobilizar conhecimentos prévios para atribuir significados aos componentes identificados, realizando assim uma leitura interpretativa.

Considerando que nem todos os alunos tem familiaridade com os componentes representados, e ainda que os conhecimentos prévios variam de indivíduo para indivíduo, é de se esperar que nem todos leiam os esquemas da mesma forma, e diferentes níveis de interpretação podem surgir.

Assim como a leitura de um texto escrito, a leitura de um texto imagético também deve ser ensinada e aprendida. Ressaltamos que o aprendizado da leitura das representações visuais na forma de imagens não se limita apenas ao aluno da educação básica, devendo contemplar também o aluno da educação superior, em especial nos cursos de formação de professores. Afinal, o professor precisa saber usar imagens para ensinar seu aluno a fazer uso desse recurso, particularmente as imagens do tipo esquema.

APÊNDICE B

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezada aluna/Prezado aluno,

A devolução deste termo de consentimento preenchido e assinado implica sua aceitação voluntária como participante da pesquisa de doutorado em Educação em Ciências conduzida por Jacqueline Ribeiro de Souza Mendes, sob a supervisão da Profa Dra Maria Helena da Silva Carneiro. A pesquisa tem por objetivo investigar o processo de leitura de esquemas representativos de estruturas e processos, comumente utilizados em aulas de Ciências e Biologia. Solicito que preencha os campos a seguir com os seus dados, que não serão divulgados para terceiros, de forma a identificá-la/o individualmente como participante desta pesquisa.

Você poderá, a qualquer momento e sem nenhuma implicação em sua vida acadêmica, desistir de sua participação.

Identificação

Nome: _____

Matrícula

Curso: _____ Semestre: _____

Dados de contato

Email/Telefone:

Conclusão da Educação Básica

Ano: _____ () Ensino Regular () Educação de Jovens e Adultos
() Encceja

() outros: _____

Atividade docente/estágio em docência (descrever)

Autorizo a Profa Jacqueline Mendes a entrar em contato comigo por meio do email e do telefone por mim indicados neste termo de consentimento, com a finalidade de agendamento de outros momentos de participação na pesquisa referenciada acima.

Brasília, _____ de outubro de 2018.

APÊNDICE C

Exercício individual – Momento 1

Matrícula: _____

1. Dê um nome ou título para cada uma das cinco imagens.

1. _____

2. _____

3. _____

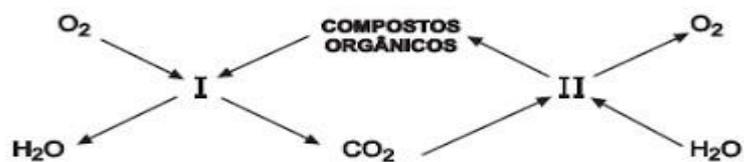
4. _____

5. _____

2. O que representam as setas azuis e vermelhas na imagem 1?

3. A qual ou a quais das outras 4 imagens você associa a imagem 3? Justifique sua resposta.

4. Leia atentamente a representação esquemática a seguir:



a) Quais os processos indicados pelos algarismos romanos I e II?

I: _____

II: _____

b) Qual (is) das cinco imagens está diretamente relacionada ao esquema acima?

Justifique.

5. O que representa a seta amarela na imagem 3?

6. Identifique as estruturas/órgãos representados nas imagens 1, 2 e 5.

1.

2.

5.

APÊNDICE D

Dados compilados – Momento1 do estudo principal

As transcrições são literais, sem correções ou alterações.

Questão 1 - Dê um nome ou título para cada uma das cinco imagens					
P	Imagem 1	Imagem 2	Imagem 3	Imagem 4	Imagem 5
1	Tecido do pulmão	Intestino grosso	Alimentação celular	Nutrição através da alimentação	Circulação
2	Respiração das células	Sistema endócrino	Composição da célula	Fases do alimento	Sistema respiratório
3		Sistema digestório	Respiração celular		Circulação sanguínea
4	Circulação do sangue no organismo	intestino grosso	Processo de alimentação da célula	transformação/ processo químico do alimento em excreção	Sistema circulatório
5	Absorção de O ₂ pelas células/tecidos	Distribuição de O ₂ e sais minerais para o intestino	metabolismo energético	Ciclo de Krebs	Sistema respiratório
6	Sistema respiratório	Sistema digestivo	Respiração celular	processo para captura de nutrientes	Sistema circulatório
7	Transporte de oxigênio/sistema respiratório	Sistema digestivo	Composição da célula	Respiração celular/processo de obtenção da energia	Sistema circulatório
8	Trocas gasosas celulares	Sistema circulatório e sistema excretor	Transformação celular do oxigênio em dióxido de carbono	Ciclo de Krebs	Sistema circulatório - pequena e grande circulação
9	Sistema respiratório	Sistema digestório	Processo metabólico	Obtenção de energia	Sistema vascular

Questão 1 - Dê um nome ou título para cada uma das cinco imagens					
10	Troca gasosa	Intestino grosso	transpiração	metabolização dos alimentos	veias e artérias
11	Sistema respiratório	Sistema digestivo	célula	Esquema digestivo	Sistema nervoso
12	Sistema respiratório	Sistema digestivo	divisão celular	processo de metabolismo	Sistema renal
13	processo respiratório humano	Intestino grosso	respiração ou fotossíntese?	mapa processual referente a fotossíntese	Sistema sanguíneo
14	pulmão	digestão	processo celular	processo químico	glóbulos
15	oxigenação dos tecidos	intestino	Respiração celular	fotossíntese	Sistema circulatório
16	demonstração do processo respiratório	absorção do intestino grosso	composição celular		Circulação sanguínea
17	Sistema respiratório	Sistema digestivo	respiração celular das plantas	Ciclo de alguma coisa	Sistema cardiovascular

P	Questão 2 - O que representam as setas azuis e vermelhas na imagem 1?
1	As setas vermelhas representam a entrada do oxigênio e as setas azuis, a saída do gás carbônico.
2	Inspiração e respiração do ar.
3	A entrada de oxigênio e a saída de gás carbônico, o processo de respiração.
4	Setas azuis o <u>sangue</u> rico em CO ₂ e as setas vermelhas o <u>sangue</u> rico em oxigênio.
5	Setas azuis- O ₂ filtrado, Setas vermelhas - O ₂ absorvido
6	As setas vermelhas representam a entrada de ar, e as azuis as saídas. Elas representam juntas o que ocorre no nosso sistema respiratório.
7	A seta vermelha representa o gás oxigênio, e a seta azul, o gás carbônico.
8	Setas azuis: retorno venoso, <u>sangue</u> com gás carbônico. Setas vermelhas: transporte de oxigênio para as células.
9	Azul: entrada de ar, vermelha: saída de ar

P	Questão 2 - O que representam as setas azuis e vermelhas na imagem 1?
10	Troca gasosa
11	Ciclo de respiração
12	Entrada e saída de oxigênio
13	O processo de trocas gasosas ocorrente na respiração.
14	Representa o ar saindo e entrando, o processo respiratório.
15	As azuis, o <u>sangue</u> rico em oxigênio e as vermelhas o <u>sangue</u> rico em gás carbônico.
16	Vermelho, <u>sangue</u> rico em oxigênio, azul, <u>sangue</u> rico em gás carbônico.
17	As setas indicam a ordem que ocorre no ciclo.

P	Questão 3 - A qual ou a quais das 4 imagens você associa a imagem 3? Justifique sua resposta.
1	Associo à imagem 4, pois os alimentos possuem nutrientes que vão para as células a fim de dar energia aos seres.
2	As imagens 1 e 5. Ambas parecem tratar de assuntos parecidos que envolvem a célula e ao sistema respiratório.
3	As imagens 1,4 e 5. Nas imagens há entrada de oxigênio e a liberação de dióxido de carbono.
4	Associo à imagem 1 pois no três mostra o que aconteceu com a célula em particular, e no 1 o que aconteceu com as células no geral (todas juntas). A 5 também demonstra o mesmo processo da figura 1, a circulação do sangue rico em oxigênio que se transformou em rico em CO ₂ depois de passar pelo corpo e oxigená-lo.
5	A imagem 4, só que a imagem 3 me parece ser parte do metabolismo energético, do qual o ciclo de Krebs faz parte.
6	Associo com a imagem 1, porque o sistema respiratório envolve a respiração celular
7	Associo às imagens 1 e 4. A imagem 1 porque a estrutura amarela (da qual eu não sei o nome) se parece com ela, e a imagem 4 porque acredito que a estrutura celular da imagem 3 realiza a respiração celular contida na imagem 4.
8	
9	Imagem 4, pois representam processos metabólicos com obtenção de energia.
10	1 e 5, pois parece ser o processo de trocas gasosas da hemácia e a 5 porque mostra um percurso percorrido pela célula.

P	Questão 3 - A qual ou a quais das 4 imagens você associa a imagem 3? Justifique sua resposta.
11	A imagem 1. Por deduzir que a imagem 1 se refere ao sistema respiratório, relaciono a célula como parte integrante do sistema respiratório
12	A imagem 4, porque dentro do processo metabólico há tanto o oxigênio e o dióxido de carbono, como componentes fundamentais para o ciclo de Krebs.
13	Primeira imagem. Sem certeza, me remetem ao mesmo processo de respiração. Também me lembra o processo de fotossíntese, me fazendo associar também a imagem 4, de qualquer, de maneira insegura, baseado num "achismo".
14	A imagem 1. Porque representa o movimento representado na imagem 3.
15	Com a 4, porque ela também traz informações sobre plantas.
16	Todas as imagens, pois todas elas são compostas de células.
17	A imagem número quatro, pois ambas se referem a respiração das plantas.

Questão 4 - Leia atentamente a representação a seguir.		
a) Quais os processos indicados pelos algarismos romanos I e II		
P	I	II
1	Sem resposta	Sem resposta
2	Sem resposta	Sem resposta
3	Respiração	fotossíntese
4	Respiração (?), inspiração	Excreção (?), expiração
5	Respiração	fotossíntese
6	Quebra de proteínas	Leva para o corpo
7	Obtenção de energia	decomposição (?)
8	Inspiração (sangue bombeado do pulmão para o coração)	expiração (sangue bombeado do coração para o pulmão)
9	Respiração	fotossíntese
10	Respiração	fotossíntese
11	Inspiração e expiração	Expiração e inspiração

Questão 4 - Leia atentamente a representação a seguir.		
12	Respiração	Expiração
13	Não sei descrever tal processo	Não sei descrever tal processo
14	Processo digestivo	Processo respiratório
15	Plantas: fotossíntese	Animais: respiração
16	Sangue em artérias: presença de O ₂	Sangue em veias: presença de CO ₂
17	respiração celular das plantas	respiração dos bichos
P	b) Qual (is) das cinco imagens está diretamente relacionada à representação acima? Justifique.	
1	Imagem 3, pois apresentam os mesmos compostos, oxigênio, água e dióxido de carbono.	
2	A imagem 4. O esquema anterior parece se tratar sobre alimento, compostagem e a imagem 4 apresenta algo sobre alimento, suas fases e destino.	
3	1,3 e 5. As imagens estão diretamente relacionadas, pois demonstram o funcionamento desse esquema.	
4	A 3. A imagem 3 pois está demonstrando a entrada do oxigênio e da glicose (que associa-se os compostos orgânicos) e a saída (transformação) em água e dióxido de carbono que conseqüentemente gera a energia que a célula produz (ATP).	
5	3. Os compostos são os mesmos citados lembrando o mesmo processo.	
6	Imagem 4, porque mostra todo o processo que ocorre dentro do nosso corpo.	
7	O esquema está relacionado às imagens 3 e 4. Relacionado à imagem 3 pois é um processo em que há entrada de oxigênio e glicose, e saída de água e CO ₂ , como mostrado no algarismo I e à imagem 4, pois mostra o processo químico que acredito que acontece no esquema.	
8	As 5 imagens, pois todos se referem ao processo circulatório de trocas gasosas e suas respectivas reações químicas.	
9	1, pois apresenta o ciclo respiratório.	

Questão 4 - Leia atentamente a representação a seguir.	
10	3, pois mostra o processo de respiração na célula, 1 pois é a respiração.
11	4, por a representação ser parecida.
12	Imagem1, porque claramente é demonstrada pelo sistema respiratório.
13	A imagem 3. Está sendo representado o mesmo processo, porém, na imagem as denominações não se dão por meio da fórmula.
14	Representa a imagem3, porque representa cada parte da figura da imagem 3.
15	4, porque esquematiza o processo ou respiração e de alimentação das plantas.
16	1 e 5 pois demonstram o processo sanguíneo, e da respiração evidenciando a circulação de gás oxigênio e gás carbônico. 3 - o sangue é composto por células, 2- processo de irrigação e absorção no processo sanguíneo.
17	A imagem 3 é a representação do esquema.

P	Questão 5 - O que representa a seta amarela na imagem 3? Justifique.
1	Não faço a menor ideia.
2	Não sei ao certo.
3	Sem resposta.
4	Energia, ATP.
5	Energia, porque é produto de muitas reações metabólicas entre oxigênio e glicose. Além disso, a cor amarela é muito utilizada para representar luz, no caso, energia.
6	A leva de respiração para o resto do corpo.
7	Sinceramente, não sei.
8	Compostos orgânicos.
9	Saída de energia, por dedução.
10	Liberação de calor.
11	Algum corpo ou composto se expelindo.

P	Questão 5 - O que representa a seta amarela na imagem 3? Justifique.
12	Saída de oxigênio.
13	Imagino que seja algum tipo de substância que esteja sendo liberada, porém, não conseguiria identificá-la. Talvez resultado do processo.
14	Representa a identificação celular.
15	Liberação energética, porque a seta é amarela e é cheia de curvas, remete a calor, e calor me lembra energia.
16	Movimentação celular.
17	Não sei.

Questão 6 - Identifique as estruturas/órgãos representados nas imagens 1,2 e 5.			
P	1	2	5
1	Pulmões, traqueia	Intestino grosso	Pulmões, coração
2	Pulmão, células, glóbulos vermelhos	Intestino grosso, artérias, veias (?), apêndice	traqueia
3	Pulmão, tecido pulmonar, hemoglobina,	veias e artérias, intestino grosso	pulmões, artérias, veias e coração
4	Pulmão direito e esquerdo, bronquios, células (hemácias?), traqueias	intestino grosso, veias, artérias, canal excretor	Coração, ventrículo direito e esquerdo, átrio direito e esquerdo artérias, veias, pulmões direito e esquerdo, alveólos pulmonares
5	pulmões, células e tecido.	intestino e veias	pulmão/bronquios, coração, artérias e veias
6	traqueia, pulmões, células, hemoglobinas, intestino	Intestino grosso, intestino delgado, ânus, veias, artérias	Coração, veias, artérias, veia aorta, pulmões
7	faringe, pulmões, hemácias.	Intestino grosso, aorta, veias e artérias.	pulmões, coração, artérias
8	traqueia e pulmões	artérias, veias e intestino	pulmões, veias, artérias e coração
9	pulmão	intestino	pulmão

Questão 6 - Identifique as estruturas/órgãos representados nas imagens 1,2 e 5.			
10	pele, hemácias, pulmão e traqueia	veias, artérias, intestino grosso, reto e apêndice	veias, artérias e coração
11	pulmões, traqueia, hemácias	intestino, músculos, vasos sanguíneos e articulações nervosas	vasos sanguíneos, nervos
12	traqueia/pulmão	intestino	rins /vias urinárias
13	"Participantes" do processo descrito. Pulmões, células e o que me parece ser uma representação da pele humana, chutaria epiderme como denominação desta.	Imagino que seja a representação do intestino grosso e parte do sistema sanguíneo ligado a ele.	A estrutura cardiovascular: coração, artérias, vasos sanguíneos, etc
14	pulmão: representa o sistema respiratório	intestino: representa o sistema digestivo	célula: representa o sistema celular
15	pulmão, sangue, tecido	veias e artérias, intestino grosso	pulmões, veias e artérias, coração
16	traqueia, pulmão direito e esquerdo, glóbulos vermelhos, tecido adiposo	intestino grosso, reto, apêndice, veias e artérias	pulmões, veias e artérias
17	pulmões	intestino	coração

ANEXOS

ANEXO A

TABELA DE ICONICIDADE DE MOLES			
Classe	Definição	Critério	Exemplos
12	O próprio objeto	Eventual parêntese no sentido de Husserl.	A vitrine de uma loja. Uma exposição.
11	Modelo bi ou tridimensional (a partir de uma escala).	Cores e materiais arbitrários.	Exibições factícias.
10	Esquema bi ou tridimensional reduzido ou aumentado. Representação modificada (mudança de escala).	Cores ou materiais escolhidos segundo critérios lógicos.	Mapas em três dimensões: globo terrestre, mapa geológico.
9	A fotografia ou projeção realista sobre um plano.	Projeção perspectiva rigorosa, semitons e sombras.	Catálogos ilustrados e pôsteres.
8	Desenho ou fotografia ditos "sem contornos" (projeção visual do universal aristotélico). Perfis em desenho.	Critérios de continuidade e de fechamento de forma.	Afiches, catálogos, prospectos e fotografias técnicas.
7	Esquemas anatômicos ou de construção.	Abertura da Carter ou de envelope. respeito à topografia. Arbitrário de valores. Quantificação de elementos ou simplificação.	Corte anatômico, corte de um motor a explosão. Planejamento de cabos para um receptor de rádio. Carta geográfica.
6	Vista "estourada" (éclaté).	Disposição perspectiva das peças conforme suas relações de vizinhança topológica.	Objetos técnicos de manuais de instrução.
5	Esquema de princípio: eletricidade e eletrônica.	Substituição dos elementos por símbolos normalizados. Passagem da topografia à topologia. "Geometrização".	Plano esquematizado do metrô. Plano dos cabos de um receptor de TV ou uma parte do radar.
4	Organograma ou Block esquema.	Os elementos são caixas pretas funcionais ligadas por conexões lógicas: análise das funções lógicas	Organograma de um empreendimento. "Flow chart" de um programa de computador. Série de operações químicas.
3	Esquema de formulação.	Relação lógica e não topológica num espaço não geométrico entre elementos abstratos. As ligações são simbólicas, todos os elementos são visíveis.	Fórmulas químicas desenvolvidas. Sociograma.
2	Esquema em espaços complexos.	Combinação num mesmo espaço de representação de elementos esquemáticos (flechas, plano, objeto) pertencendo a sistemas diferentes.	Forças e posições geométricas sobre uma estrutura metálica: esquemas de estática gráfica, polígono de Crêmona, representações sonográficas.
1	Esquema de vetores em espaços puramente abstratos.	Representação gráfica num espaço métrico abstrato, de relações entre grandezas vetoriais.	Gráfico vetorial eletrotécnico. Triângulo de Kapp. Polígono de Blondel para um motor de Maxweel. Triângulo de vogais.
0	Descrição em palavras normalizadas ou fórmulas algébricas.	Signos puramente abstratos sem relação imaginável com o significante.	Equações e fórmulas. Textos.
<i>Tradução de Maria Helena da Silva Carneiro</i>			

ANEXO B

Páginas completas dos livros didáticos com esquemas e texto

Seção 18.1

Objetivos

► Conhecer os componentes básicos do sistema respiratório humano e compreender o papel dos músculos do tórax e do diafragma na ventilação pulmonar (inspiração e expiração).

► Conhecer e compreender o papel da hemoglobina no processo de hematose.

► Estar informado sobre os principais cuidados com o sistema respiratório, de modo a manter o bom funcionamento desse sistema corporal e da saúde.

Termos e conceitos

- **respiração pulmonar**
- **vias respiratórias**
 - laringe
 - glote
 - epiglote
 - traqueia
 - brônquio
- **alvéolo pulmonar**
 - diafragma
 - hematose
 - oxiemoglobina
 - carboemoglobina

Sistema respiratório humano

Todas as células do corpo humano executam a **respiração celular**. Nesse processo, que ocorre no interior das mitocôndrias, as substâncias orgânicas reagem com gás oxigênio, liberando energia para os processos vitais. Os produtos da respiração celular são água e gás carbônico; a água é reutilizada pela célula, mas o gás carbônico não tem utilidade para o organismo e é eliminado no sangue.

Ao mesmo tempo que o sangue é abastecido de gás oxigênio nos pulmões, o gás carbônico é eliminado do corpo no ar expirado. O conjunto de processos de trocas gasosas entre o ar atmosférico e o sangue que ocorre nos pulmões constitui a **respiração pulmonar**, que estudaremos na primeira parte deste capítulo. (Fig. 18.1)

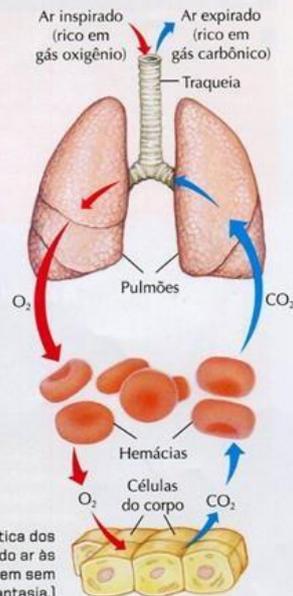


Figura 18.1 Representação esquemática dos caminhos dos gases respiratórios do ar às células do corpo e vice-versa. [Imagem sem escala, cores-fantasia.]

1 Componentes do sistema respiratório

O **sistema respiratório** humano compõe-se de um par de pulmões e de uma série de condutos por onde o ar circula. Esses condutos, genericamente denominados **vias respiratórias**, são: as cavidades nasais, a boca, a faringe, a laringe, a traqueia, os brônquios e os bronquíolos. (Fig. 18.2)

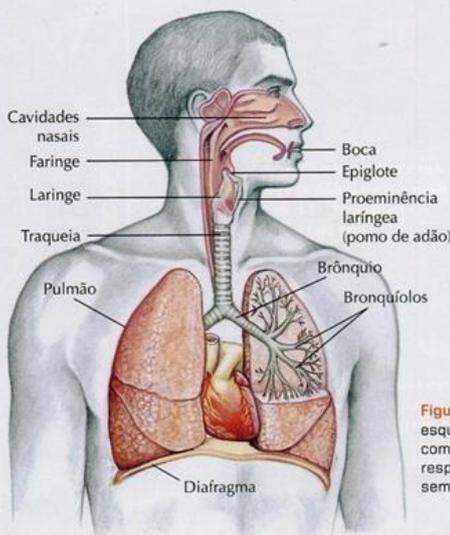


Figura 18.2 Representação esquemática dos principais componentes do sistema respiratório humano. [Imagem sem escala, cores-fantasia.]

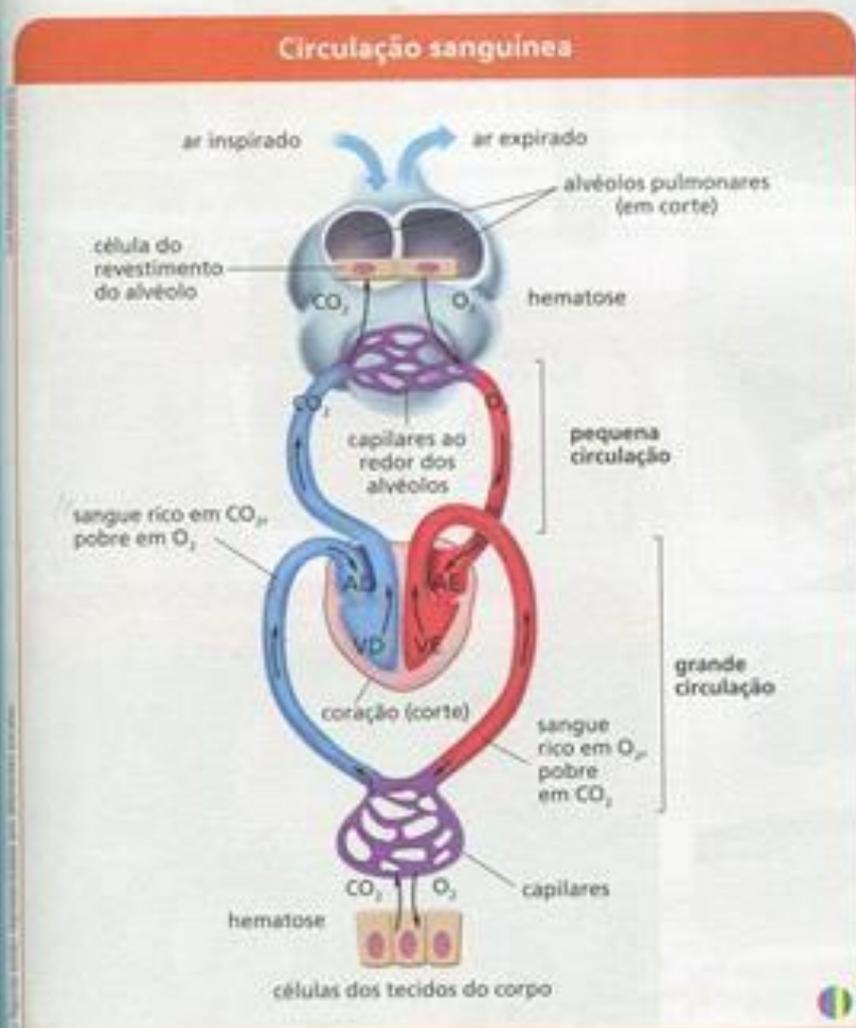
3.3 Circulação sanguínea

Observe no desenho esquemático abaixo a representação do sistema cardiovascular humano com a indicação do trajeto do sangue entre os tecidos do corpo e os pulmões. A cor azul está sendo utilizada para representar o sangue pobre em gás oxigênio e a cor vermelha representa o sangue rico em gás oxigênio.

Repare que o sangue pobre em O_2 passa pelas cavidades do lado direito do coração, enquanto o sangue rico em O_2 passa pelo átrio e ventrículo esquerdos.

O sangue chega ao átrio direito pelas veias cava superior e inferior. A artéria pulmonar leva o sangue do ventrículo direito aos pulmões. O sangue se torna rico em O_2 e é transportado novamente para o coração pelas veias pulmonares, que desembocam no átrio esquerdo, de onde passa para o ventrículo esquerdo. O ventrículo esquerdo bombeia o sangue para a artéria aorta, que se ramifica em artérias menores que atingem todas as regiões do corpo, levando gás oxigênio.

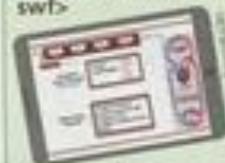
Assim, podemos distinguir dois circuitos: a **circulação pulmonar** (pequena circulação) e a **circulação sistêmica** (grande circulação).



MULTIMÍDIA

Fisiologia – Sistema cardiovascular

< http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/objetos_de_aprendizagem/CIENCIAS/sistcardiov.swf >



Neste site da Secretaria Estadual da Educação do Paraná, há animações mostrando o funcionamento do coração, as diferenças entre os vasos sanguíneos e a comparação entre o sistema cardiovascular humano e o de outros animais. Acesso em: 27 fev. 2016.

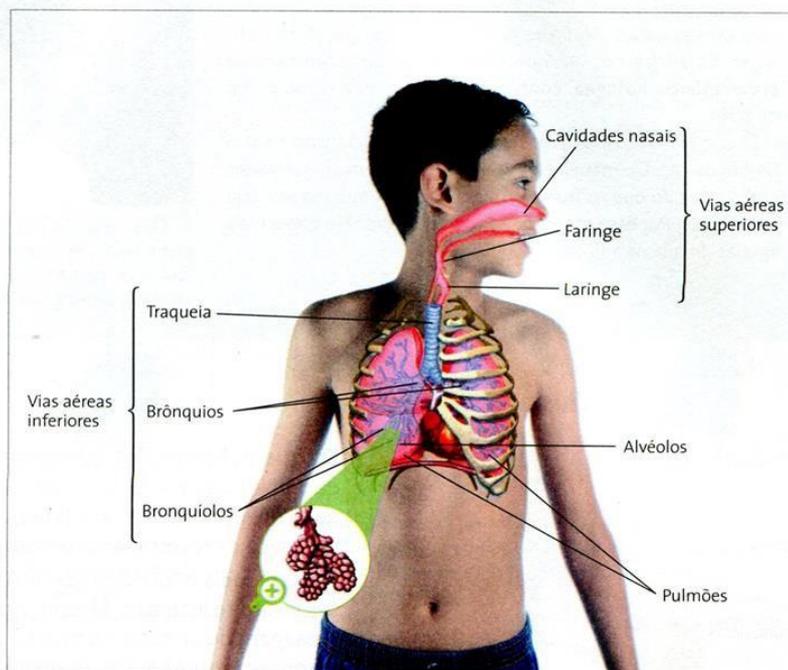
< Esquema simplificado mostrando o **sistema cardiovascular** e sua relação com a **hematose**, que ocorre nos pulmões e nos tecidos do corpo. AD = átrio direito; AE = átrio esquerdo; VD = ventrículo direito; VE = ventrículo esquerdo.

Os órgãos do sistema respiratório

O sistema respiratório é responsável por disponibilizar o gás oxigênio do ar atmosférico para o sangue e eliminar o gás carbônico produzido na respiração celular para o ambiente. Esse processo recebe o nome de **respiração pulmonar** ou ventilação pulmonar. O processo acontece por meio de dois movimentos: a **inspiração** e a **expiração**.

Quando inspiramos, o ar atmosférico entra pelas cavidades nasais e passa pela faringe, laringe e traqueia, chegando aos pulmões. O ar segue então pelos brônquios, bronquíolos e alvéolos pulmonares, onde o gás oxigênio passa para o sangue. A corrente sanguínea transporta também o gás carbônico resultante da respiração celular, até os alvéolos pulmonares. Quando expiramos, esse gás carbônico é eliminado para a atmosfera, percorrendo o caminho inverso ao da inspiração, ou seja, dos alvéolos pulmonares até o nariz.

A estrutura básica do sistema respiratório é mostrada na ilustração ao lado.



▲ Ilustração esquemática dos órgãos que compõem o sistema respiratório. (Representação em cores-fantasia.)

Vias aéreas superiores

Nariz Você geralmente respira pelo nariz ou pela boca? Isso faz alguma diferença? Você já viu alguém dormindo com a boca aberta? Esse hábito é prejudicial à saúde?

Quando inspiramos pelo nariz, o ar entra em nosso corpo pelas narinas, que são as duas aberturas do nariz, e passa para as cavidades nasais. Elas têm um tecido de revestimento chamado mucosa nasal, que produz muco e tem estruturas muito finas, parecidas com pelos, chamadas cílios. O muco e os cílios funcionam como um filtro, retendo partículas e microrganismos presentes no ar. Dessa forma, o ar chega mais limpo aos pulmões. Devemos evitar a inspiração pela boca; entretanto, algumas alterações na anatomia interna do nariz e determinadas infecções podem provocar obstrução parcial ou total das cavidades nasais, forçando a respiração pela boca.

Faringe e laringe A faringe é um órgão comum aos sistemas digestório e respiratório. Por ela passam o alimento que engolimos e o ar que respiramos. É por esse motivo que é possível respirar pela boca: o ar inspirado pelas narinas ou pela boca passa obrigatoriamente pela faringe antes de chegar à laringe.

A laringe é um órgão tubular formado por várias peças de tecido cartilaginoso. Na parte superior desse órgão existe um orifício, chamado glote, que tem sua abertura e fechamento controlados pela epiglote.

Fase aeróbia da respiração celular

Essa fase da respiração acontece apenas na presença do gás oxigênio, por isso ela é dita aeróbia. Em animais, plantas, fungos e demais seres eucarióticos, ela ocorre no interior das mitocôndrias. Nesse local, forma-se a maioria das moléculas de ATP, indispensáveis no metabolismo celular.

Como visto no capítulo 6, as mitocôndrias (imagem ao lado) são formadas por uma dupla membrana: a externa, que é lisa, e a interna, que apresenta uma série de dobras ou cristas mitocondriais. Essas duas membranas delimitam um espaço – o espaço intermembrana. O espaço interno da organela é preenchido por um líquido, a matriz mitocondrial.

A fase aeróbia é dividida em duas sequências de reações: **ciclo de Krebs**, que ocorre na matriz mitocondrial, e **cadeia respiratória**, que ocorre nas cristas mitocondriais. Ao longo dessa fase, o piruvato é completamente degradado. Os átomos de carbono da molécula são eliminados como dióxido de carbono (CO_2), e os íons de hidrogênio são carregados pelo transportador NAD^+ e por outro tipo de molécula transportadora, o **FAD (flavina-adenina-dinucleotídeo)**, formando-se, respectivamente, $\text{NADH} + \text{H}^+$ e FADH_2 . Finalmente, os íons de hidrogênio dessas moléculas são transferidos para o gás oxigênio, que chega às células por difusão a partir do meio extracelular. As moléculas transportadoras voltam, então, à forma inicial (NAD^+ e FAD) e os íons de hidrogênio se ligam ao oxigênio, formando moléculas de água.

Apesar de o gás oxigênio participar apenas da última etapa da cadeia respiratória, como receptor final dos íons de hidrogênio, na ausência desse gás, as demais reações dessa fase não ocorrem.

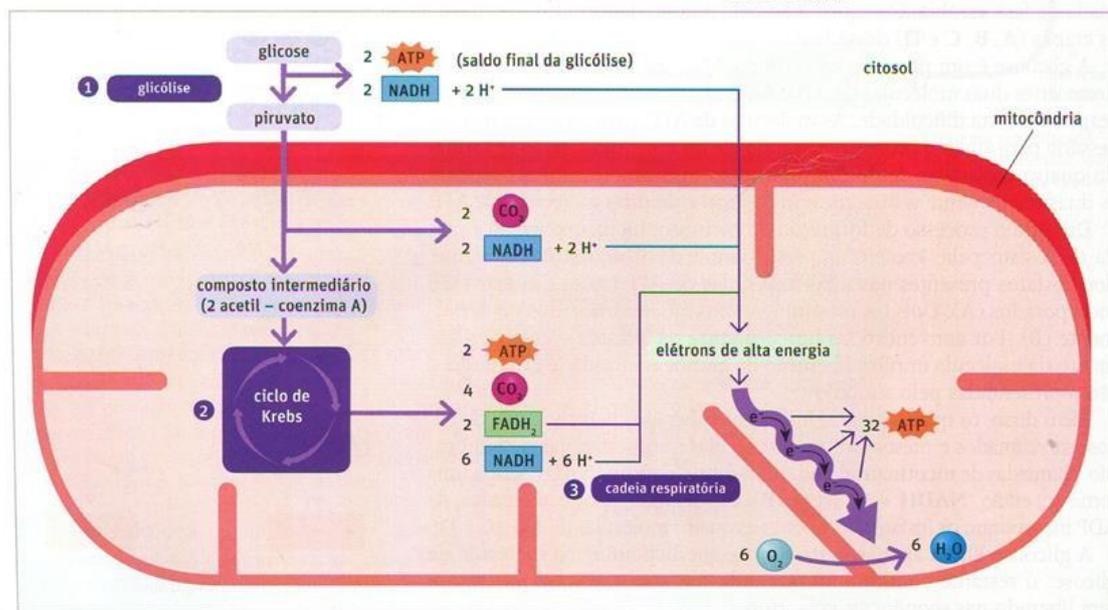
Durante a fase aeróbia, uma grande quantidade de energia fica armazenada nas moléculas de ATP e pode ser utilizada posteriormente pela célula. Isso acontece porque elétrons passam sucessivamente por uma série de moléculas transportadoras (cadeia respiratória) e ao longo dessas etapas liberam energia gradualmente mediante as reações de oxirredução (veja adiante, na página 136).

O esquema abaixo resume o que ocorre nas células durante a respiração celular.



Mitocôndria em corte longitudinal (no sentido do maior comprimento), mostrando as cristas mitocondriais. Microscópio eletrônico de transmissão, aumento: cerca de 24 mil vezes.

Esquema geral da respiração aeróbia. As duas moléculas de piruvato, produto final da glicólise, são degradadas ao longo da fase aeróbia. Cores-fantasia.



Esse termo, entretanto, também pode ser empregado para as trocas gasosas com o meio externo através de superfícies respiratórias. Será nesse sentido que o usaremos no presente capítulo.

Os gases importantes para a respiração são o gás carbônico (CO_2) e o oxigênio (O_2) (gases respiratórios).

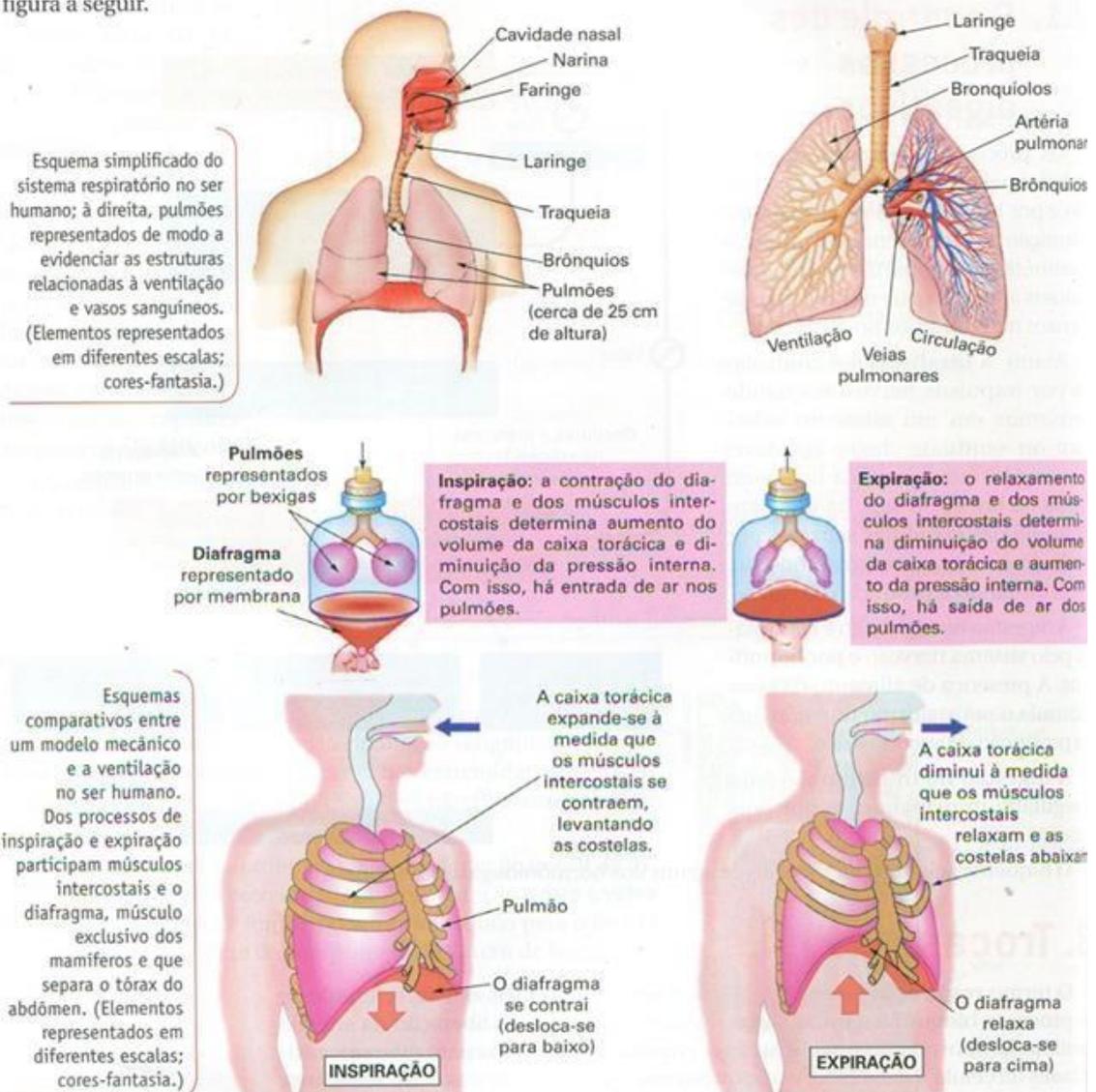
As trocas gasosas são realizadas por difusão: movimento passivo de moléculas da região onde estão

mais concentradas para a região onde estão menos concentradas.

Em todos os animais, incluindo os terrestres, há necessidade de um meio aquoso para que a difusão de gases ocorra: nos animais aquáticos, a superfície respiratória está em contato com a água; nos terrestres, ela é mantida úmida pelo próprio corpo do animal. Estando totalmente seca, uma superfície não exerce função de trocas gasosas.

4. Sistema respiratório

O sistema respiratório humano, bem como a explicação de como ocorre a entrada e a saída de ar dos pulmões, estão representados de forma esquemática na figura a seguir.



A utilização da fermentação pela espécie humana

A **fermentação alcoólica** é um método de obtenção de energia usualmente empregado por muitos fungos. A espécie *Saccharomyces cerevisiae*, por exemplo, também conhecida como **lêvedo**, levedura de cerveja ou fermento biológico, é um fungo microscópico, unicelular, que tem sido muito importante à humanidade. Conhecida desde a Antiguidade, essa espécie é empregada na produção de pães (o gás carbônico produzido pela fermentação realizada pelo fungo faz a massa “crescer”), de bebidas alcoólicas (como o vinho e a cerveja) e, em tempos modernos, também de combustível para máquinas e automóveis (o etanol obtido pela fermentação dos açúcares da cana é um bom exemplo). Além das leveduras, algumas bactérias e células vegetais são capazes de realizar a fermentação alcoólica.

A **fermentação láctica** é realizada por muitas espécies de bactérias, como os lactobacilos, por exemplo; esse processo também é interessante para a espécie humana, por ser utilizado na produção de coalhadas, iogurtes, certos queijos e conservas do tipo picles e chucrute (repolho azedo).



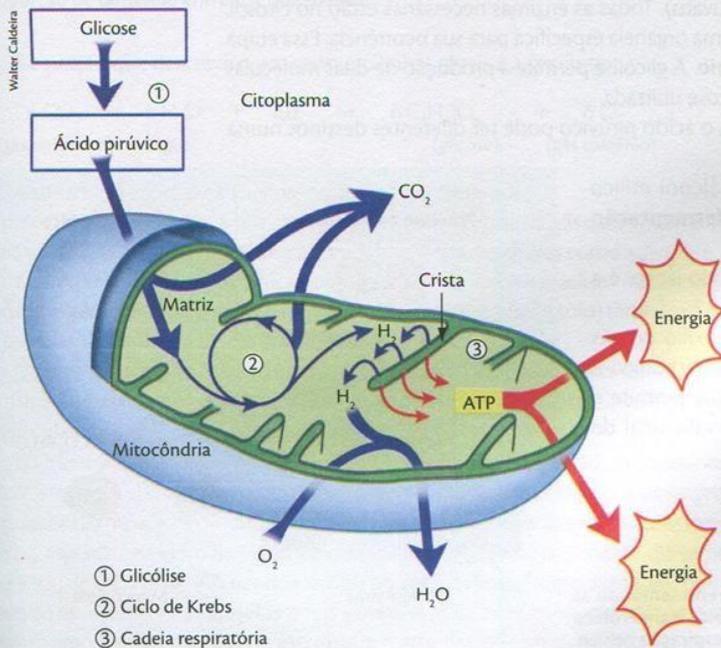
Jupiter Unlimited/Other Images

Pães e queijos: alimentos produzidos com auxílio da fermentação alcoólica e da fermentação láctica.

As mitocôndrias e a respiração celular

Nas células eucarióticas atuais, as mitocôndrias funcionam como verdadeiras “usinas de força”, pois é no seu interior que acontece a maior parte do processo da respiração celular. As reações iniciais de degradação da glicose (chamadas em conjunto de **glicólise**) ocorrem no citosol, e são idênticas às etapas iniciais de uma fermentação. Em seguida, o produto resultante (ácido pirúvico) da glicólise entra na mitocôndria e passa por uma série de reações que caracterizam o chamado **ciclo de Krebs** (na matriz mitocondrial). Finalmente, nas cristas mitocondriais ocorre, com a participação do gás oxigênio, a chamada **cadeia respiratória**, a etapa final da respiração celular. Dessas reações em cadeia resulta energia armazenada no ATP, que poderá ser usada pela célula.

Embora uma discussão mais detalhada do processo de respiração vá ser dada somente no terceiro volume desta obra, aqui apresentamos uma ideia geral do processo.



Esquema representando a localização das etapas da respiração celular nas mitocôndrias. (Cores-fantasia.)