



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE MORFOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MORFOFUNCIONAIS

ESEQUIAS RODRIGUES DA SILVA

**METAMODELAGEM NO ENSINO DE CITOLOGIA: CRIAÇÃO E VALIDAÇÃO
DE UMA MATRIZ DE REFERÊNCIA**

FORTALEZA

2024

ESEQUIAS RODRIGUES DA SILVA

**METAMODELAGEM NO ENSINO DE CITOLOGIA: CRIAÇÃO E VALIDAÇÃO
DE UMA MATRIZ DE REFERÊNCIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais, da Faculdade de Medicina, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Morfofuncionais. Área de Concentração: Ensino e divulgação das Ciências Morfológicas.

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Renata de Sousa Alves

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S579m Silva, Esequias Rodrigues da.
Metamodelagem no ensino de citologia : criação e validação de uma matriz de referência / Esequias Rodrigues da Silva. – 2025.
161 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Medicina, Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais, Fortaleza, 2025.
Orientação: Profa. Dra. Renata de Sousa Alves.

1. Educação. 2. Biologia. 3. Ensino de citologia. 4. Metamodelagem. 5. Matriz de referência. I. Título.
CDD 611

ESEQUIAS RODRIGUES DA SILVA

**METAMODELAGEM NO ENSINO DE CITOLOGIA: CRIAÇÃO E VALIDAÇÃO
DE UMA MATRIZ DE REFERÊNCIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais, da Faculdade de Medicina, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Morfofuncionais. Área de Concentração: Ensino e divulgação das Ciências Morfológicas.

Aprovado em 10/12/ 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Renata de Sousa Alves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jones Baroni Ferreira de Menezes
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Prof. Dra. Joanez Aparecida Aires
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Prof. Dra. Ana Paula de Medeiros Ribeiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Maria de Fátima Antero Sousa Machado
Universidade Regional do Cariri (URCA)

AGRADECIMENTOS

A minha lista de agradecimentos talvez ultrapasse em 1000 os 500 pretendidos por Guy R. Lefrançois em seu livro. Isso porque não acolhe apenas pessoas. Incluí outros seres: plantas, insetos... Incluí coisas tangíveis: chuva, lua, água, lúpulo, malte, trigo, processadores de dados... sociedades científicas... Coisas intangíveis: melodias, cheiros, paciência, convivência, apoio, amizade, resignação, compaixão, empatia, advertência... afeição... Ah..

Não bastasse isso, impõe-nos, o ato de agradecer, revelar o motivo pelo qual somos gratos. Infelizmente, a retórica concedida a esse momento não me permite ir adiante com o desejo indelével de agradecer a todos por tudo. Terei que me conter! Desse modo, eu vos digo... Não vou agradecer nem a minha mãe nem a meu pai. Não vou agradecer aos meus irmãos, à minha esposa, aos meus amigos. Muito menos, vou agradecer à orientadora, ao coorientador, à banca e aos professores dos diversos programas onde cursei disciplinas. Não vou agradecer os autores que embasaram minha referencialização. Não vou agradecer aos juízes que validaram nossa matriz. Tampouco vou agradecer à UFPI e ao *Campus Amílcar Ferreira Sobral*. Ah, não vou mesmo agradecer aos técnicos educacionais. Não vou agradecer o farfalhar das folhas... Não vou agradecer à indumentária mimética das iguanas. Não vou agradecer à ciranda das abelhas... É temerário circunscrevê-los e contemplá-los em uma ou duas palavras: ainda que eu tivesse a eloquência de um escritor, a criatividade de um publicitário ou o rebuscamento de um parecerista científico. Então, minha forma de agradecer-los só poderia ser feita pela arte que é, por sua ontologia, incontornável. Parafraseando o poeta, eu expressarei:

“eu gosto tanto de vocês

(Mãe, Pai, Isaias, Gé, Josa, Júnior, Vanda, Maria Carvalho, José L., Rita R., PJ, Alex R.,

Régis,

Carlos B., Adriano e Carlos, JP, Denis (RU), Laisa (PCMF), Marlylton, Paulo Jr,

Maranhão, Ednilo, Noca, D. Conceição, D. Maria, Elisa Alves, Alyson A., Fábio

Bastos, Custódio Almeida,

Renata de Sousa Alves, Roberta Jeane, Renata Leitão, Joanez Aires, Ana Paula, Fátima

Antero, José Airton...)

que até preferio esconder...

deixo assim ficar subentendido...”¹

¹ Paráfrase da música *apenas mais uma de amor*, Lulu Santos.

Quando você visitou pela última vez uma galeria de arte o que mais impressionou: **as fotos e o realismo literal das esculturas ou como você as interpretou?** (Harrison; Treagust, 2000, p. 1011, grifo nosso)

RESUMO

A definição de conteúdo curricular é um tema recorrente da pesquisa em didática das ciências. Trabalhos que acomodam essa discussão, geralmente, subsomem a tese de que a educação científica não deve ficar restrita aos produtos da ciência. Isto é, o interesse pela natureza do conhecimento construído consubstancia-se em um encaminhamento precípua da renovação do ensino. A literatura reconhece o papel dos modelos em satisfazer parte dessa meta, mas a falta de guias mais específicos pode comprometer seu potencial educativo. O objetivo deste trabalho consiste em propor e validar uma matriz de referência de metamodelagem, mirando modelos consensuais imagéticos em citologia. Adotamos uma abordagem mista, do tipo sequencial exploratória, com delineamento metodológico interventivo por meio de pesquisa de desenvolvimento. Os dados qualitativos foram levantados por revisão bibliográfica e questionário misto. Estes foram analisados pela análise tipológica e interpretativa. Os dados quantitativos foram levantados por questionário misto e analisados por meio do índice de validade de conteúdo (IVC), com amostra totalizando 10 juízes. Os resultados foram resumidos em dois blocos. O primeiro consubstanciou-se na matriz construída, composta por três ciclos de modelagem e 30 indicadores de ensino. O segundo consubstanciou-se no processo de validação. A matriz foi validada por atingir um S-IVC de 0,97 cujo ponto de corte na literatura consultada é 0,8.

Palavras-chave: educação; biologia; ensino de citologia; metamodelagem; matriz de referência.

ABSTRACT

The definition of curricular content is a recurring theme in research on science didactics. Works that accommodate this discussion generally include the thesis that science education should not be limited to the products of science. In other words, the interest in the nature of constructed knowledge is embodied in a primary approach for the renewal of teaching. Academic papers recognize the central role of models in fulfilling part of this goal, but the lack of more specific guidelines may compromise their educational potential. The objective of this study is to propose and validate a metamodeling reference matrix aimed at consensual imaging models in cytology. We adopted a mixed approach, of the exploratory sequential type, with an interventional methodological design through development research. Qualitative data were collected through bibliographic review and mixed questionnaire. These were analyzed through typological and interpretative analysis. Quantitative data were collected using a mixed questionnaire and analyzed using the content validity index (CVI), with a sample of ten judges. The results were summarized in two blocks. The first was embodied in the constructed matrix, composed of three modeling cycles and 30 teaching indicators. The second consisted of the validation process. The matrix was validated by reaching an S-CVI of 0.97, with a cutoff point of 0.8 according to the consulted literature.

Keywords: education; biology; cytology teaching; metamodeling; reference matrix.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A morfologia como eixo dos conteúdos da disciplina escolar biologia.....	14
Figura 2 – Sistema conceitual interdisciplinar.....	32
Figura 3 – Esquema quadridimensional de Halloun (2006)	43
Figura 4 – Ciclo de Modelagem.....	58
Figura 5 – Diagrama da Teoria da Modelagem.....	60
Figura 6 – Levantamento e análise de dados: uma síntese.....	108

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	S-IVC por ciclo e do instrumento.....	88
Gráfico 2 –	S-IVC por guia de apoio e habilidades.....	90
Gráfico 3 –	I-IVC dos indicadores do ciclo 1.....	91
Gráfico 4 –	I-IVC dos indicadores do ciclo 2.....	95
Gráfico 5 –	I-IVC dos indicadores do ciclo 3.....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Matriz de referência: metamodelagem sobre o realismo de modelos imagéticos em citologia.....	61
Quadro 2 –	Versão final da Matriz de referência pré-validação.....	73
Quadro 3 –	Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 1.....	91
Quadro 4 –	Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 2.....	96
Quadro 5 –	Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 3.....	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC –	Base Nacional Comum Curricular
CEP –	Comitê de ética em Pesquisa com Seres Humanos
ERIC –	Education Resources Information Center
FAMED –	Faculdade de Medicina.
FAR –	Foco, Ação e Reflexão
I-IVC –	Índice de validade de conteúdo do item.
MBT –	Ensino Baseado em modelagem.
METT –	Model-Enhanced Thinkertools
MMD –	Modelo de Diagrama de Modelagem
MOD –	Modelos
MOG –	Modelagem
PBL –	Aprendizagem Baseada em Problemas.
PCMF –	Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais
PCN –	Parâmetros Curriculares Nacionais
PNI –	Pesquisa de Natureza Interventiva
POP –	Procedimento Operacional Padrão
SciELO –	Scientific Electronic Library Online
S-IVC –	Índice de validade de conteúdo da escala.
TBL –	Aprendizagem Baseada em Equipe.
TCLE –	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFC –	Universidade Federal do Ceará.
UFMG –	Universidade Federal de Minas Gerais.
UNESCO –	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	CONTEÚDOS DE ENSINO E FORMAÇÃO DOCENTE: PROBLEMATIZANDO ALGUNS TEMAS.....	20
2.1	Formação docente e o ensino de conteúdos sobre ciência: um repensar no contexto da pandemia de covid-19.....	20
2.2	Conteúdos morfológicos no ensino de ciências e biologia: dos fatos às habilidades epistêmicas.....	24
2.3	Modelos como lastro para abordar habilidades epistêmicas.....	28
3	TEORIA DA MODELAGEM EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E OUTRAS IDEIAS TEÓRICAS.....	36
3.1	A natureza do conhecimento científico.....	38
3.2	O esquema de modelagem.....	42
3.3	O programa de modelagem.....	50
3.4	Os ciclos de modelagem.....	56
4	DA TEORIA À CONFIGURAÇÃO DO PROBLEMA: UMA MATRIZ DE METAMODELAGEM SOBRE MODELOS IMAGÉTICOS EM CITOLOGIA.....	61
5	MÉTODO DE PESQUISA: ABORDAGEM, TIPO DE ESTUDO, TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.....	64
5.1	Abordagem e tipo de estudo.....	64
5.2	Levantamento de dados qualitativos.....	66
5.2.1	Análise qualitativa dos dados: a tipologia e suas marcas.....	68
5.3	Levantamento de dados quantitativos – primeira etapa da validação da matriz.....	81
5.4	Análise quantitativa dos dados: segunda etapa da validação da matriz.....	86
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	109
6.1	Sobre o polo epistemológico – modelos imagéticos em citologia e o ensino sobre ciência: a busca do saber fazer.....	109
6.2	Sobre o polo teórico – a teoria da modelagem em educação científica: a necessária triangulação de referenciais teóricos.....	111

6.3	Sobre o polo morfológico – uma matriz como guia de ensino.....	112
6.4	Sobre o polo técnico – entre resultados, implicações, limitações e continuidade.....	113
6.4.1	Sobre os resultados.....	114
6.4.2	Implicações do estudo.....	116
6.4.3	Limitações e continuidade de estudo.....	117
	REFERÊNCIAS.....	118
	APÊNDICE A – CARTA CONVITE.....	132
	APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) – JUÍZES.....	134
	APÊNDICE C – ESTRUTURA DA MATRIZ DE REFERÊNCIA PRÉ - VALIDAÇÃO.....	136
	APÊNDICE D – ESTRUTURA DA MATRIZ DE REFERÊNCIA PÓS-VALIDAÇÃO.....	143
	APÊNDICE E – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA MATRIZ DE ENSINO PELOS JUÍZES (AS).....	148
	APÊNDICE F – PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP-1) PARA LEVANTAMENTO DE DADOS EMPÍRICOS JUNTO AOS (ÀS) JUÍZES (AS).....	156
	APÊNDICE G – PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP-2) PARA ADEQUAÇÃO DA MATRIZ DE REFERÊNCIA APÓS AVALIAÇÃO DOS (AS) JUÍZES (AS).....	157
	APÊNDICE H – INSTRUMENTO DE SELEÇÃO DOS (AS) JUÍZES (AS).....	158

1 INTRODUÇÃO

Estudos, como os realizados por Matthews (1995; 2018) e Galili (2018), reconhecem que a formação científica em geral, e particularmente a docente, é frágil quanto à abordagem de aspectos que circunscrevem o âmbito epistemológico. Compreendemos, assim, tratar-se de um eixo analítico com tendência a ser ampliado nos programas de formação inicial e continuada de professores, bem como em diversos mediadores curriculares, um dos meios pelo qual se dá o segundo tipo de formação. Atualmente, não se coloca mais em dúvida que, sob a tutela desse tipo de conteúdo, uma percepção menos ingênua sobre a natureza da ciência, seus produtos e processos é viabilizada, como indicam Valls (1996), Cachapuz (1999), Praia, Cachapuz e Gil-Pérez (2005), Beltran e Saito (2011). Todavia, a exemplo dos diferentes temas abordados pela própria didática das ciências, comentados por Cachapuz, Praia e Gil-Pérez (2005), ainda não se organizou, em torno daquele, um sistema conceitual capaz de guiar a prática do ensino de modo instrumental, embora esforços teóricos venham sendo feitos.

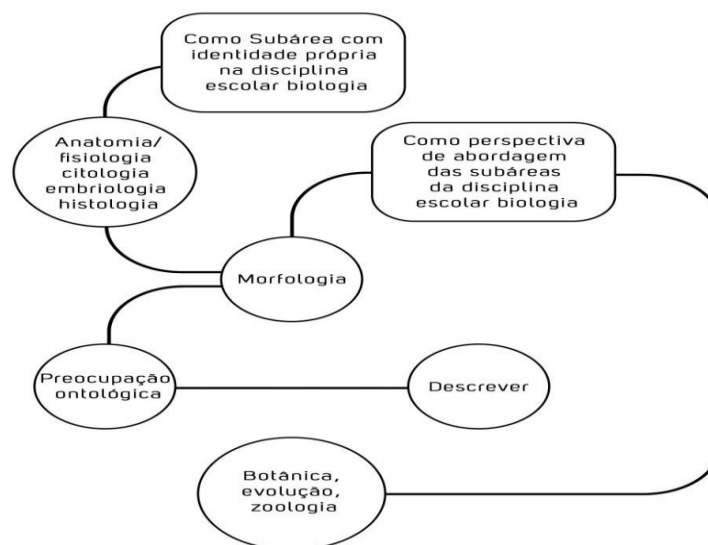
Em virtude da influência da temática epistemológica na didática das ciências e na formação de professores, dispomo-nos a aceitar a chamada supracitada para continuar a fluência dessa linha de pesquisa, seguramente ainda de natureza exploratória, principalmente em culturas disciplinares em via de desenvolvimento teórico com essa temática, como a circunscrita pela biologia. Essa disciplina integra a área de conhecimento Ciências da Natureza no contexto da organização curricular da educação básica brasileira, juntamente à física e à química (Brasil, 2012; 2018). Especificamente, acolhemos a subárea da citologia, mirando modelos imagéticos para abordar habilidades epistêmicas de uma perspectiva de modelagem. Fica subentendido, dessa delimitação, o público-alvo do nosso trabalho: professores do ensino médio que lidam rotineiramente com os conteúdos dessa disciplina.

Ao atentarmos para a subárea da citologia, advertimos que nos desvinculamos da clássica tradição dos livros didáticos de apresentá-la como animal e vegetal. Até mesmo porque assumir os modelos como eixo estruturante de uma dada proposta de ensino pressupõe ir além com um princípio fundamental que sustenta a organização desses materiais: compilar o produto de uma dada cultura científica. Assim, em um mesmo capítulo ou em capítulos diferentes, advertiu-nos Halloun (2006), modelos são apresentados sem sinalização de objetivo epistêmico e escopo empírico. A perspectiva de continuidade dos modelos, no ensino baseado em modelagem (MBT) por nós endossado, implica uma organização de conteúdo menos ortodoxa. Isto é, o escopo dos modelos deve ser abordado explicitamente bem como seus objetivos

epistêmicos, o que significa considerarmos não apenas um determinado tipo isolado de representação circunscrita ao âmbito dessas fronteiras disciplinares tradicionais.

A citologia está inserida dentro das discussões do tema estruturador *identidade dos seres vivos*, segundo a proposição dos PCN+ (Brasil, 2002). De forma explícita ou implícita, o documento da BNCC (Brasil, 2018) indica alguns conteúdos conceituais integrantes da citologia nos três blocos de competências específicas. Por exemplo, Bloco 1 – mutação; bloco 2 – herança genética, biomoléculas, organização celular; bloco 3 – aplicação do conhecimento sobre DNA e célula. O fato é que a identidade dos seres vivos e sua própria diversidade é perpassada por aspectos morfofuncionais² das células individualmente ou em seu contexto social. A figura 1 nos dá uma noção qualitativa da presença da abordagem morfológica nos diferentes conteúdos da disciplina escolar biologia, bem como sinaliza sua preocupação ontológica principal: a descrição de estruturas e a busca da relação causal dessas com os fenômenos biológicos. No entanto, essa última nem sempre é objeto do ensino, tornando a memorização de estruturas ou processos um objetivo em si mesmo.

Figura 1 – A morfologia como eixo dos conteúdos da disciplina escolar biologia



Fonte: Elaborada pelo autor.

² De acordo com informações do site do Museu de Ciências Morfológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, o termo ciências morfológicas define um conjunto de áreas do conhecimento com objetivo de estudar a estrutura e o funcionamento dos organismos. Desse modo, abrange estudos de diferentes culturas e disciplinas, a destacar: citologia, histologia, embriologia e anatomia. Ao longo deste texto, usamos o termo morfologia, consagrado pelo uso dos profissionais dessa área, como sinônimo de ciências morfológicas. (Museu de Ciências Morfológicas da UFMG, s. d.).

Portanto, os aspectos morfológicos aparecem numa primeira análise de forma explícita e independente nos livros didáticos de biologia, representada pelo estudo da citologia, histologia, embriologia e anatomia, isto é, anunciadas como áreas isoladas. Além da anatomia humana, nesses mediadores curriculares, também se encontra, às vezes, discussões sobre anatomia comparada entre grupos de seres vivos. Os aspectos estruturais dos seres vivos também aparecem de forma implícita e ligada à própria compreensão de outras disciplinas como a zoologia, a botânica e a sistemática. Este fato – aparição explícita ou implícita de características estruturais – torna a morfologia uma ciência de presença massiva no curricular escolar da educação básica. Retomemos a discussão sobre pesquisa e materiais didáticos.

Somos cientes de que os conhecimentos produzidos pela pesquisa didática não garantem, por si mesmos, a apropriação e o uso simultâneos desses pelas escolas e seus professores, como comentaram Soares (2001), Castro (2006) e Carvalho (2006). Contudo, esses tipos de conhecimentos são condições imprescindíveis para a renovação do ensino. Mais ainda, consoante Sacristán (2011), a inovação do ensino perpassa, sobretudo, a adaptação de exemplos mais palpáveis em vez de sua assimilação direta por meio de discussões teóricas gerais, de cunho analítico. Nesse sentido, não podemos deixar de reconhecer que muitos materiais produzidos por esse tipo de pesquisa apoiam os professores na apropriação de conhecimentos de forma mais seletiva. Tal como Bastos e Nardi (2008), acreditamos que os professores não permanecem totalmente estagnados frente à demanda natural de mudanças da prática educativa e, certamente, consomem muito desses produtos das mais diversas formas, palestras, grupo de estudo e, inclusive, por meio da utilização de materiais didáticos.

Conforme argumenta Perrenoud (2000), nenhuma formação docente inicial é estanque, uma vez que os diferentes elementos estruturantes desse processo, atores, contextos, programas etc., estão sempre em evolução. Exemplifica esse cenário a ênfase em: processos avaliativos referente a critérios, objetivos taxonômicos mais complexos, como as habilidades de comunicar e conjecturar, a concessão a tarefas menos diretivas capazes de produzir maior interação e protagonismo entre os estudantes. Logo, meios de formação continuada são imprescindíveis para acompanhar tais mudanças, principalmente, concordando mais uma vez com Bastos e Nardi (2008), ao considerarmos que os contextos dominados por processos de formação contínua não constituem a regra.

Mediadores curriculares, como afirmamos, constituem alguns desses meios de formação. Todavia, por seus gêneros servirem a objetivos diferentes, acabam proporcionando alcance de apoio ao docente também diferente ou limitado. Quando muito, alguns apenas apresentam temas emergentes e conclamam ao debate, como parâmetros e diretrizes

curriculares, sem indicar ferramentas conceituais mais estruturadas ou pelo menos apresentar constructos de forma mais desenvolvida. Assim, quase sempre, parecem não ultrapassar o limiar da compreensão dos programadores curriculares, advertiam Coll *et al.* (2000).

Em virtudes desses argumentos, assumimos, em relação à abordagem de conteúdos epistêmicos, uma postura ideológica similar a de Forquin (1992): a despeito de toda coerência investida nas análises pedagógicas, filosóficas e sociológicas mais gerais em torno da seleção de conteúdos de ensino, essas não prescindem da responsabilidade de serem realizadas ações didáticas mais diretivas, como aquelas inseridas em livros, textos, cartilhas, matriz de ensino, de tal modo que os constructos possam ser apresentados sem comprometimento funcional didático.

Essas ações, sem dúvida, necessitam de investimentos analíticos menos genéricos ou parcimoniosos, como geralmente encontramos em muitos materiais normativos. Assim, Svoboda e Passmore (2011), ao problematizarem o uso do constructo modelo em biologia, por exemplo, destacaram a necessidade de considerar a cultura epistêmica das diferentes subáreas dessa disciplina. Por sua vez, o sentido de investigação científica foi objeto da análise destacada por Strieder e Watanabe (2018). Para essas autoras, o risco de chamadas muito genéricas sobre esses constructos está em perder sua utilidade para o ensino e a aprendizagem.

Paradoxalmente, além do risco de chamadas genéricas, como indicamos acima, noções equivocadas sobre ciência e seus procedimentos são também encontradas em muitos materiais didáticos mais diretivos cujo objetivo precípuo era justamente impregná-los com algum aspecto da natureza da ciência. Aspectos do tipo que reforçam ideias que caracterizam a ciência como uma atividade individualista, atórica, elitista, indutivista, entre outras (Gil-Pérez *et al.*, 2005; Briccia, 2017; Barbosa; Aires, 2018). Do mesmo modo, estudos sobre a abordagem didática da história da ciência notificam que as apresentações anedótica, cronológica ou nominal dos cientistas, por exemplo, podem mesmo levar a uma duvidosa aprendizagem sobre essa meta da educação científica (Martins, 2006; Moura; Guerra, 2016). Além disso, para honrar objetivos de meta-aprendizagem científica, é importante não os restringir à dimensão procedimental ou histórica, sendo necessário explorar o significado epistêmico Galili (2018).

É claro que tais propostas de inovação, embora limitadas, são um alento em um cenário ainda dominado pelo ensino de conceitos, como reconhecem muitos autores: Fumagalli (1998), Cachapuz, Praia e Gil-Pérez (2005), Carvalho (2006), Pozo e Crespo (2009). Para esses, o ensino escolar ainda dedica atenção hipertrofiada aos conteúdos conceituais, nas diversas áreas do conhecimento, quando comparado ao tratamento dispensado aos conteúdos sobre ciência. Atribui-se em parte essa deficiência na inovação do ensino não à recusa em si pelos

professores, mas à falta de materiais didáticos mais seletivos (Martín, 1996). Por outro lado, a fragilidade de experiências didáticas ou materiais validados empiricamente também atuam retraindo essas mudanças onerosas à aprendizagem científica (Zabala, 1998).

Todavia, é imprescindível atentar que, embora a reflexão intraepistemológica, própria de cada cultura disciplinar, propicie uma análise mais crítica dos constructos científicos, ela não deve pôr de lado os objetivos de uma educação científica para a cidadania, portanto, não encerrada em si mesma. Os imperativos didáticos devem sempre lastrear tal meta na proposição de uma ciência dita escolar, a qual acolhe a ideia de alfabetização científica para todos os indivíduos sem, no entanto, assumi-la como óbvia ou prescindível de esforços para alcançá-la (Forquin, 1992; Cachapuz, 1999; Fourez, 2003; Gil-Pérez; Vilches, 2005b).

Em síntese, nossa análise até aqui expôs dois problemas principais que tangenciam a definição de modalidade de conteúdo curricular epistêmico. O conteúdo pode estar certo, mas permanecer genérico demais para levar a cabo mudanças na prática do ensino do professor com resultados positivos sobre a aprendizagem desses temas para os estudantes. Por sua vez, materiais mais diretivos, como nos referimos, ainda podem manifestar representações equivocadas sobre a natureza da ciência. O primeiro, entendemos que é uma característica típica do gênero do material curricular: como alguns documentos normativos. Embora esses também possam apresentar erros ou simplificações já anunciadas. O segundo, creditamos a uma apropriação frágil desse tema de forma a assegurar a proposição correta dos construtos que circunscreve ou ainda pelo fato dessas propostas descuidarem de algum processo de validação.

Portanto, a seleção, a organização e a avaliação desse tipo de conteúdo colocam-se não como uma questão apenas de escolha para os professores no contexto atual, mas como um estágio de desenvolvimento dominado ainda por processos analíticos dos seus pressupostos mais diversos: pedagógico e normativo. Referências empíricas capazes de gerar ensaios de práticas do ensino mais eficientes e instrumentalizados nessa área, como sugeriram Candau (1996) e Zabala (1998), são ainda escassas, mas não inexistentes. Por isso, deixar-se enlevar pela crítica vulgar que condena a tradição ou orientação em si de uma certa abordagem de modalidade de conteúdo, como a conceitual, não é o que estamos propondo discutir. Até mesmo porque, como vemos neste estudo, essas fronteiras em torno dos conteúdos de ensino são, muitas vezes, de ordem essencialmente pedagógica e não da sua natureza propriamente.

Diante do exposto, levantamos a seguinte questão de pesquisa para anunciar nosso problema: a construção de uma matriz de referência para apoiar, de forma mais seletiva, o ensino, a aprendizagem e a avaliação de conteúdo procedimental e epistêmico, com lastro nos modelos imagéticos e na modelagem, seria viável no contexto da disciplina de biologia, subárea

citologia? Defendemos a tese de que uma matriz de referência de conteúdos procedimental e epistêmico, mirando características dos modelos e da modelagem científica arrolados pela literatura, pode sim apoiar a prática de aula dos professores sobre esses temas de forma mais específica do que outros materiais curriculares, como pareceres, diretrizes ou livro didático.

Sensíveis a esse problema concernente à proposição de conteúdo curricular epistêmico e procedimental no ensino, definimos como objetivo geral deste trabalho desenvolver e validar uma matriz de referência mirando a modelagem científica no âmbito da biologia. Diante desse fato, circunscrevemos os seguintes objetivos específicos: 1) rastrear os constructos modelo e modelagem na educação em ciência, mirando habilidades epistêmicas próximas da cultura disciplinar da biologia; 2) elaborar uma matriz de referência no âmbito de um conjunto de ciclos de modelagem para subsídio de ensino, aprendizagem e avaliação de conteúdo procedimental e epistêmico para subárea de citologia; 3) validar a matriz produzida junto a juízes.

A pesquisa foi executada de acordo com a Resolução n.º 466/2012, do Conselho Nacional de Saúde, a qual normatiza a pesquisa com seres humanos no Brasil. Esta pesquisa foi, precisamente, encaminhada ao Comitê de Ética da Faculdade de Medicina da UFC para apreciação. Seus aspectos metodológicos foram aprovados por esse Comitê e registrados sob os números: CAAE: 71653223.9.0000.5054. Número do Parecer: 6.322.174. Para viabilizar os objetivos supraindicados recorreremos à dinâmica da pesquisa em ciências sociais de Bruyne, Herman e Schoutheete (1977).

O delineamento de uma pesquisa social deve explicitar alguns passos essenciais, a destacar: formulação e delimitação do objeto e do problema, construção do modelo de análise, campo de observação do fenômeno e abrangência da fundamentação teórica. Portanto, não se reduz às técnicas de levantamento de dados empíricos, mas sim é constituído de um percurso sistêmico entre esses (Quivy; Campenhoudt, 2008; Gil, 2017). Nesses termos, Deslauriers e Kérisit (2012) resumem: delinear ultrapassa o aspecto técnico, pois implica considerar dimensões de cunho epistemológico, metodológico e teórico.

Esboçando esses dois últimos – pois consideramos já ter indicado, nesta introdução, o esboço do primeiro, a saber, o epistemológico –, inserimos esta investigação no contexto de uma pesquisa de método misto, do tipo sequencial exploratório, de natureza interventiva, do tipo pesquisa de desenvolvimento, cuja orientação teórica principal é a Teoria da Modelagem em Educação Científica de Halloun (2006). De uma perspectiva técnica, utilizamos para levantamento e análise de dados diversos meios, a saber: pesquisa bibliográfica, escala Likert, análise tipológica e interpretativa, bem como o Índice de Validade de Conteúdo (IVC).

Por fim, semelhante compreensão nos é dada por Bruyne, Herman e Schoutheete (1977), ao defenderem que a investigação em ciências sociais pressupõe um processo multipolar em torno de quatro polos: epistemológico, teórico, morfológico e técnico. Todavia, adverte tratar-se de uma demarcação topológica em que cada polo exerce sobre o objeto científico perseguido um certo limite de objetivação, com características ou níveis de transformação racional ou empírica peculiares. Ao considerarmos a configuração topológica, devemos estar cientes de que ela não isola esses elementos entre si. Pelo contrário, estão intrinsecamente relacionados, comportam-se apenas como um recurso didático.

Neste contexto, as seções da tese circunscrevem esses polos da seguinte maneira. À introdução dedicamos parte da reflexão meta epistemológica e intra epistemológica do ensino sobre ciências. Ao capítulo 2, conteúdos de ensino e formação docente – problematizando alguns temas, dedicamos o aprofundamento da dimensão epistemológica relacionando-a com a formação docente, o ensino de aspectos morfológicos e à modelagem e aos modelos como lastro para abordagem de habilidades epistêmicas. Priorizamos no capítulo 3, teoria da modelagem em educação científica e outras ideias teóricas, o detalhamento da Teoria da Modelagem em Educação Científica de Halloun (2006), bem como a triangulação com outros teóricos cujo trabalho enfatiza a modelagem educacional. O capítulo 4, da teoria à configuração do problema – uma matriz de metamodelagem sobre modelos imagéticos em citologia, representa a culminância da delimitação dos aspectos epistemológicos e teóricos da pesquisa: o polo morfológico propriamente. O capítulo 5, metodologia de pesquisa – abordagem, método, técnicas, levantamento e análise de dados, subsume o polo técnico da pesquisa. Por fim, a seção 6, considerações finais, retoma o problema de pesquisa, os objetivos e indica limitações, implicações e sugestões de continuidade do estudo.

2 CONTEÚDOS DE ENSINO E FORMAÇÃO DOCENTE: PROBLEMATIZANDO ALGUNS TEMAS

Explicitamente ou de maneira tácita, um trabalho de pesquisa deve envolver uma vigília constante sobre o objeto do conhecimento que estamos procurando compreender. Bruyne, Herman e Schoutheete (1977) circunscrevem-na ao domínio do polo epistemológico. Por ser constante, presume-se que deva acompanhar a investigação do início ao fim. Isto é, da introdução às considerações finais estamos sempre utilizando algum tipo de recurso discursivo epistemológico, dialético, hipotético-dedutivo ou quantitativo, para explicar como apreendemos nossos objetos científicos e as dificuldades de apreendê-los.

A delimitação da problemática desenvolvida neste tópico atenta para os seguintes eixos de discussão epistemológica: a) formação continuada de professores e seleção de conteúdos no contexto do ensino sobre ciências; b) abordagem de aspectos morfológicos no ensino de ciências; e c) o ensino fundamentado em modelos e modelagem como lastro para abordar habilidades epistêmicas, como categoriais centrais ou primárias.

2.1 Formação docente e o ensino de conteúdos sobre ciência: um repensar no contexto da pandemia de covid-19

Continuam atuais as discussões empreendidas por diversos autores sobre a natureza dos conteúdos de ensino (Coll *et. al.*, 2000; Sacristán *et al.*, 2011) e as dificuldades de selecioná-los (Forquin, 1992) no contexto da cultura educacional escolar e universitária. Essas discussões, apropriadas e atualizadas pelo contexto do ensino de ciências, também não são recentes, como já notificado por Carvalho (2006), Santos (2007), Sasseron e Carvalho (2008; 2011). Geralmente, elas acompanham o delineamento de propostas curriculares fundamentadas na concepção de alfabetização científica e norteadas pela diversidade de conteúdo para além da agregação de termos e conceitos.

Tratam-se de discussões críticas sobre os conteúdos, tal qual a empreitada por Gómez (2011), Santomé (2011), Rasco (2011), a despeito do conceito de competência, por aludirem, no debate curricular, uma perspectiva muito além da enciclopédica ao defenderem que a educação escolar deve atender às chamadas para enriquecer seu contexto de diferentes tipos de aprendizagem, dos quais objetivos ligados à meta-aprendizagem e à aprendizagem epistêmica são bons exemplos.

Tais objetivos exigem investir nos conteúdos de uma perspectiva que também os mova sobre aspectos de hábitos culturais científicos, de uma aculturação (Carvalho, 2006), e de outras competências racionais capazes de guiar os indivíduos autonomamente em cenários de conhecimentos cada vez mais complexos e cujas aprendizagens mais rotineiras podem mostrar-se incapazes de apropriação, como assumem nossos supracitados autores. Muitos desses termos acabam mesmo desfigurados sob a perspectiva analítica de alguns gêneros textuais, como os documentos oficiais, não servindo mais os simples slogans (Santomé, 2011; Contreras, 2012).

Sem receio de contextualizar nossos argumentos em um discurso muito datado, assumimos que a definição de modalidades de conteúdo curricular, uma preocupação didática recorrente, certamente foi impactada no contexto da covid-19. Ademais, sob aquelas circunstâncias, foram impostas, aos sistemas educativos, demandas tecnológicas mais imediatas, ligadas ao acesso aos conteúdos, bem como foram apresentadas preocupações pedagógicas outrora consolidadas, a exemplo daquelas relacionadas às condições da escola democrática³. Não ignoramos que, muito antes daquele episódio, a primeira dimensão anunciada neste parágrafo já empoderava discussões sobre a inovação do ensino de ciências.

O trabalho virtual síncrono, por exemplo, se mostrou uma alternativa para amenizar condições inerentes à presencialidade, a destacar: o diálogo, o convívio entre pares, a troca de afetividade. Todavia, o ensino e a aprendizagem como um processo social foram, por esse meio, retomados, embora sendo de reconhecida limitação. Sem se deter sob quais condições e em qual proporção as experiências da prática escolar nessa modalidade aconteceram, podemos adjetivá-las como vertiginosas. Elas poderiam servir de lastro empírico para o argumento de Perrenoud (2000) sobre a transformação que as tecnologias podem efetuar no modo de comunicar. Decerto, as demandas tecnológicas impactaram não só no modo de comunicar. Expuseram necessidades de formação, investimentos e reflexão pedagógica sobre as práticas escolares em uma sociedade ainda avassalada por desigualdades educacionais.

Assim, igualmente, vimos a recuperação e a equidade da aprendizagem serem notificadas por organizações internacionais, como a UNESCO/Brasil (2020). Para nós, essas questões macro mais evidentes diluíram um pouco o foco sobre questões de formação docente e materiais instrucionais. Embora estes tópicos – demanda tecnológica, pedagógica e didática – tenham eclodido na mesma esteira, disputando espaço nos currículos, como reconhecemos neste estudo, a questão didática a despeito da seleção de conteúdos escolares permaneceu como pano de fundo, ou seja, menos expressiva. Sustentamos esse argumento fundamentados no

³ Consoante Luckesi (2003): acesso, permanência e qualidade.

destaque que o tema vem assumindo consoante a renovação do ensino de ciências. No entanto, não negamos seu reconhecimento em chamadas mais gerais de organizações e sociedades científicas⁴.

Desse modo, ainda segundo a UNESCO, o papel estratégico do conhecimento científico no século XXI foi mencionado para servir não apenas ao conhecimento construído, sob a forma de produtos ou da estrutura conceitual científica, mas também a uma apropriação do modo de conceber desse empreendimento (Cachapuz, 2022). Não imaginamos como uma meta dessa magnitude possa ser atingida sem considerar o papel que a formação dos professores exerce sobre as práticas institucionalizadas, bem como sem o apoio promovido por diversos mediadores curriculares, entre os quais aqueles cujos objetivos estão mais próximos do contexto escolar. Estes temas – formação, atuação docente e mediadores curriculares – entrelaçam-se na discussão a seguir, embora nosso objeto científico circunscreva e detalhe este último.

A tese de Perrenoud (2002), sobre a impossibilidade de pensar a formação de professores desvinculando-a da necessidade de eles terem de realizar escolhas ideológicas mais próximas ou mais distantes dos princípios de uma educação científica hodierna e democrática, marcou-nos pela seguinte questão: como pensar na atuação de professores de ciências diante de um contexto formativo distanciado de discussões sobre termos ligados à natureza da ciência como cientificismo e relativismo epistemológico? É reconhecido que concepções ingênuas ou deturpadas sobre ciência e tecnologia estejam presentes em representações docentes, muitas vezes tácitas, sob influência do argumento de autoridade que o cientificismo engendra (Martins, 2006; Augusto; Basilio, 2018).

Não menos temerário é forçar que o alcance proximal das explicações científicas, próprias do seu caráter histórico e considerando uma perspectiva não positivista da ciência, nos habilita a avaliá-las como crenças científicas. Admitindo-as nesses termos, pensamos estar sustentando um relativismo epistemológico contraprodutivo, pois perverte o esforço da ciência em conhecer a realidade, embora ciente de seu caráter parcial (Pietrocola, 1999; Chassot, 2003; Matthews, 2018). Esses extremos demarcados pelo cientificismo e relativismo mostram como a omissão ideológica envolta do domínio formativo docente pode comprometer, no final, a própria aprendizagem dos estudantes em um cenário ligado à educação escolar formal ou mesmo à divulgação científica em torno da aprendizagem sobre ciência, imputando, sem dúvida, no que Castro (2006) chamou de fazer justiça à aprendizagem dos estudantes.

⁴ Como as promovidas pela Academia Brasileira de Ciências (ABC) sobre a desinformação científica.

Embora este não seja, propriamente, um trabalho sobre formação, assumimos seu vínculo com esse tema. Primeiro pela possibilidade anteriormente comentada sobre materiais curriculares servirem à formação continuada. Segundo pelo tipo de investigação a qual nos filiamos: pesquisa de natureza interventiva (PNI), do tipo pesquisa de desenvolvimento. Terceiro, e sobretudo, por envolver os professores de forma mais participativa ou direta, ao abordar o que Cachapuz (1999; 2022) denominou de pesquisa com professores.

Não esqueçamos que, sob aquelas circunstâncias, foram propalados diversos temas epistemológicos de forma explícita ou tácita. Assim, permearam, no debate cotidiano e de entidades científicas, assuntos sobre: consenso de comunidade, rigor metodológico, modelos científicos, suscetibilidade à dúvida, resolução de problemas baseados em conhecimentos construídos historicamente, entre tantos outros na esteira das discussões sobre uma vacina para o vírus. A manifestação atônita em volta deles, por muitas vezes, comprovou que temas confinados pela natureza da ciência ou apenas sobre processos científicos estão longe de ser um ponto pacificado na educação científica, comprovando a assertiva de Hofer (2015) sobre a dificuldade dos indivíduos em avaliar conteúdos que circunscrevem essa dimensão.

Ainda mais preocupante foi constataremos que o obscurantismo ou negacionismo⁵ dos produtos ou processos científicos não era tão incomum como talvez pensássemos. Difícil esquecer que tais comportamentos não foram exclusividade dos menos escolarizados, como poderíamos ser levados a crer, corroborando a assertiva de que a alfabetização científica é uma meta a ser trabalhada ao longo da escolaridade, como apontaram autores como Lorenzetti e Delizoicov (2001) e Chassot (2003). Com efeito um processo permeado não só pela continuidade, pelos espaços de formação, mas, sobretudo, pelos conteúdos abordados. Porém, um programa de alfabetização, ao enfatizar a compreensão sobre ciência, jamais descuida do sistema conceitual inerente a essa atividade (Carvalho; Sasseron, 2011).

O contexto da pandemia constituiu um momento oportuno para mais uma vez reafirmar as limitações de um programa educacional que ignora objetivos sobre ciência, como os estudos da didática das ciências há mais de três décadas assinalam, atualizando a assertiva de Cachpuz (1999) para os dias atuais. Pelas palavras de Bizzo (2009, p. 17), “não se admite mais que o ensino de ciências deva limitar-se a transmitir aos alunos notícias sobre os produtos da ciência”. Seria indefensável tornar aquele momento vacilante quanto à necessária abordagem da natureza da ciência no currículo real dos professores, ainda que não ignoremos sua indicação

⁵ Ver mais em Duarte (2018): currículo em tempos de obscurantismo beligerante.

nos currículos oficiais⁶, a exemplos de gêneros como parâmetros e diretrizes curriculares nacionais. O autor não está sozinho ao manifestar preocupação com o ensino de ciências que apenas notifica os produtos científicos. Aprofundemos e delimitemos esse problema envolvendo a definição de tipos de conteúdo de ensino perscrutando aqueles no âmbito da morfologia, reconhecidamente aprisionados à abordagem cognitiva fatual ou conceitual.

2.2 Conteúdos morfológicos no ensino de ciências e biologia: dos fatos às habilidades epistêmicas

Com efeito, o ensino de morfologia tradicionalmente desenvolveu-se centrado em objetivos de aprendizagem com ênfase em habilidades, como identificar, descrever, nomear, dissecar organismos, a exemplo da anatomia, tendo como uma das suas consequências a aprendizagem essencialmente memorística. Esses objetivos parecem resultar do estatuto epistemológico inicial da anatomia como ciência essencialmente descritiva (Kickhöfel, 2003; Talamoni; Filho, 2014). A exclusiva memorização de termos descritos e nomeados, em qualquer ciência, isola-os da necessária explicitação que esses podem funcionar como código de compactação do conhecimento segundo Bizzo (2009). A nômima morfológica, entendemos, poderia beneficiar-se desse requisito. Esse argumento nos mostra como o distanciamento de um termo do seu contexto epistêmico – o porquê de nomearmos – é limitante de experiência didática mais significativa.

É notório que metodologias ativas atualmente (Farias *et al.*, 2015; Roman *et al.*, 2017; Schneiders, 2018; Marques *et al.*, 2021) são sensíveis à preocupação didática do aprisionamento do conteúdo, de qualquer disciplina, à dimensão cognitiva centrada na memória. Essas buscam imprimir à aprendizagem meramente factual mais proximidade com a aprendizagem conceitual e atitudinal. O ensino de morfologia vem utilizando-se dessas estratégias principalmente no ensino superior da educação em saúde. No entanto, sua inserção na educação básica não é um desgarre dessas modalidades didáticas: PBL (aprendizagem baseada em problema, TBL (aprendizagem em equipe), sala de aula invertida entre outras.

No entanto, uma abertura mais contundente a respeito da aprendizagem no âmbito da morfologia, entendemos, foi justamente aquela promovida pela incorporação de objetivos sensíveis a uma preocupação epistemológica mais recente desse campo, como destacado por Coleman (1977) e retomado por Talamoni e Filho (2014) no contexto da anatomia: a busca por

⁶ Sobre estes dois termos, currículo real e currículo oficial, consultar Sacristán (2000) e Pacheco (2005).

relação estrutura/função. Todavia, reconhecer a problemática do ensino de morfologia para além de sua nômima, do seu eixo factual e conceitual, ao considerar questões do próprio empreendimento científico ou da natureza da ciência, tornou-se um desafio epistemológico mais recente e difícil por tensionar expectativas diferentes entre níveis educacionais mais próximos ou mais distantes das ciências de referência⁷.

Em outras palavras, não duvidamos que a dimensão conceitual apazigua os sujeitos que se apropriam da área de maneira mais utilitária ou profissional, própria da ciência de referência, e, para os quais, possivelmente, outra abordagem, menos assentada na retórica descritiva e relacional, constituísse até mesmo uma digressão à questão ontológica e epistemológica típica da morfologia: aprendizagem de fatos e conceitos. Sustentam o argumento anterior, estudos como o de Rezende *et al.* (2019), que, ao comparar uma metodologia ativa (TBL), no contexto do conteúdo de neuroanatomia, com uma abordagem tradicional, demonstrou eficácia de aprendizagem em ambos na esfera cognitiva, embora o ganho de uma perspectiva afetiva e motivacional também tenha sido citado como qualidades nesse tipo de aprendizagem mais ativa.

Por outro lado, diversos estudos (Delizoicov; Carneiro; Delizoicov, 2004; Baptista *et al.*, 2015; Ribeiro; Silva, 2019) têm mostrado que a incorporação de processos de produção do conhecimento científico, ou mesmo apenas seu caráter utilitário, aumentam experiências de aprendizagem do repertório conceitual nessa área, comprovando o que muitos autores, a exemplo de Coll *et al.* (2000), Svoboda e Passmore (2011), já haviam explicado sobre a imbricação entre as dimensões cognitiva, metacognitiva e epistêmica da aprendizagem. O avanço do entendimento dessas dimensões nos foi apresentado por Hofer (2015) ao comentar sobre a definição do constructo cognição epistêmica. Enquanto a perspectiva exclusivamente cognitiva – a cognição básica – restringe-se às habilidades próprias desse processo, como ler, memorizar, compreender, analisar etc. A dimensão metacognitiva surge como aquela que monitora a adequação dos processos subjacentes ao primeiro. Por fim, a cognição epistêmica encerra um processo que se denomina de ordem superior por subsumir tanto os dois processos anteriores e ainda assumir os limites e os critérios relacionados à capacidade de conhecer.

Não estamos propondo ruídos onde não existem, mas insistindo, como Fumagalli (1998), Marandino, Selles e Ferreira (2009), na necessidade de distinguir entre objetivos de formação dirigida à atuação profissional estrita, os quais são muito próximos da ciência de

⁷ Consideramos aqui a assertiva de alguns autores em relação à dicotomia entre ciência escolar e ciência de referência, como Forquin (1992), Fumagalli (1998), Marandino, Selles e Ferreira (2009).

referência, e objetivos educativos endereçados à escolarização básica, logicamente próximos da ciência escolar. A aprendizagem conceitual da morfologia, encerrada na sua terminologia técnica, é exigência clara em diversos domínios de atividade laboral e também no campo educativo, como já nos referimos neste estudo. Perscrutar outros objetivos educativos no âmbito da morfologia é uma tarefa ainda eminentemente exploratória, mas constitui interessante campo de estudo, principalmente com a fase da pesquisa da cognição epistêmica abarcada pelo tema da compreensão pública da ciência, como sinalizou Hofer (2015).

Estamos cientes de que as ciências morfológicas não pairam isoladas de encaminhamentos de ensino para melhoria do que é estritamente conceitual, como aqueles que se fundamentam no uso da história e da filosofia da ciência, por exemplo, porém ainda ressoa muita perplexidade na fala de professores dispostos a escutá-los e debatê-los principalmente sobre a necessidade de materiais didáticos (Martins, 2006). Por outro lado, ao reconhecermos o método observacional-descritivo como típico da biologia e, por extensão, de algumas das suas subáreas, como a anatomia, não estamos admitindo que isso deva constituir em si um empecilho para abordagens didáticas de cunho investigativo que exponha a natureza da ciência. E ainda mais, embora alguns ramos da morfologia possuam características de estudo fundamentadas na experimentação, como a própria citologia, os imperativos práticos para levá-los à sala de aula acabam mesmo por promover um ensino essencialmente descritivo.

Levantamos essa questão em virtude do método experimental ter sido mais conveniente a propostas de ensino investigativo no âmbito da física e da química. Em relação aos conteúdos da biologia, por razões éticas, estruturais, temporais, próprias dessa cultura disciplinar, outras abordagens estão em aberto, instigando-nos a investigar a diversidade metodológica nas ciências para além daquela circunscrita pela experimentação clássica de laboratório, como sugeriram Trivelato e Tonidandel (2015), bem como Scarpa e Silva (2017). A exemplo de Sarmiento (2016), cujo trabalho buscou desenvolver uma abordagem do ensino de citologia baseada na história e filosofia da ciência, mostrando que as restrições anteriores listadas podem, sim, ser superadas ao considerarmos diferentes possibilidades metodológicas na biologia.

A problemática apresentada até aqui, delimitada pelo conceito de conteúdo de ensino, agora exhibe o esforço de aprofundar essa discussão, isto é, de ser mais específica. Desse modo, registramos que um tensionamento sobre os conteúdos de ensino da morfologia é reconhecidamente mais delicado principalmente nos programas da educação básica, no contexto dos programas de ciência e biologia, em que esta não assume o mesmo caráter utilitário do ensino superior ou outras áreas técnicas como discutido nesta pesquisa. No âmbito dos

objetivos educacionais dessas disciplinas escolares, é consenso que os aspectos morfofuncionais são estruturados, muitas vezes, ainda aprisionados ao âmbito essencialmente da aprendizagem de fatos. Os exemplos dessa tensão afloram tanto no debate didático como em diretrizes oficiais curriculares.

Trivelato e Silva (2011), ao discutirem o ensino da biodiversidade, reconhecem a relevância do enfoque morfológico, mas advertem sobre aprisionar-se a este. Santos (2006) se reporta ao ensino de botânica como consubstanciado na evocação de termos técnicos. Esses estudos demonstram o interesse das subáreas da biologia em problematizar aspectos morfológicos no currículo escolar. Observemos não se tratar de discussões que negam o valor educacional da morfologia em si mesma, mas tentam justificá-la com interface da aprendizagem não apenas factual, como a ecológica, adaptativa e histórica, por exemplo.

Os PCN de ciências naturais do ensino fundamental classificam como desastrosa a abordagem unicamente morfológica da biodiversidade (Brasil, 1998; 2002). Os PCN+ de ciências da natureza e matemática, embora não critiquem explicitamente a abordagem morfológica da biodiversidade, sugerem que esta seja relacionada com outros aspectos, como os ambientais. Estamos aptos a afirmar agora que o tensionamento em torno da abordagem morfológica no ensino de biologia e ciências tem muito a ver com a abordagem apenas da natureza factual do seu conteúdo, a qual é propícia ao tratamento memorístico de sua terminologia no ensino e consequente na representação pelos alunos de que aprender ciências se resume a isso, como analisaram Bizzo (2009) e Krasilchik (2011).

Apesar do predomínio natural da abordagem de fatos no ensino de morfologia, experiências, com abordagem metodológicas mais ativas ou mesmo investigativa, encontram eco, como mostramos com o exemplo da anatomia humana e citologia. Contudo, nossos exemplos constituíram senão uma ínfima parte onde ecoam esses temas. A maioria dos conteúdos da biologia, como aqueles que envolvem a célula, ainda se mantêm distantes de um tratamento didático envolvendo algum aspecto do empreendimento científico (Azevedo; Scarpa, 2017). Sob o rótulo de natureza da ciência, avolumam-se aspectos identificados⁸, os quais são propensos a oferecer um ensino com uma visão menos ingênua da ciência.

⁸ Azevedo e Scarpa (2018) listam: 1. a criatividade e a imaginação envolvidas na produção do conhecimento científico; 2. o conhecimento científico como algo temporário; 3. a incapacidade da ciência de responder a todas as perguntas; 4. a dependência do conhecimento científico do contexto histórico, político, social, cultural; 5. o papel da observação, das hipóteses e das teorias na produção científica; 6. o conhecimento científico usa múltiplos métodos; 7. a ciência busca replicar e validar dados; 8. a ciência sistematiza conhecimentos; 9. a atividade científica exige cooperação; 10. a ciência busca sínteses e análises, entre outras.

2.3 Modelos como lastro para abordar habilidades epistêmicas

Os modelos e a modelagem científica constituem certamente um desses aspectos cujo valor gostaríamos de explorar no ensino de morfologia, mais especificamente no âmbito da citologia, mirando a estrutura da membrana e o DNA como conteúdo conceitual. Numa justificativa geral, poderíamos dizer que os modelos e a modelagem nos permitem explorar habilidades epistêmicas, como as descritas por Kelly e Licona (2018), relacionadas com: a) produção do conhecimento; b) a comunicação dos resultados e processos; c) a avaliação dos resultados e processos; e d) a legitimação entre comunidades científicas. Como propuseram Harrison e Treagust (2000), os modelos e a modelagem como prática científica nos permitem, ao mesmo tempo, apreciar os produtos e os processos científicos. Isso é, circunscrevem um caráter duplo que atende às metas atuais do ensino de ciências e sobre ciências.

Nessa mesma linha de raciocínio, Scarpa e Silva (2017), ao considerarem a alfabetização científica como objetivo do ensino de ciências, argumentam ser necessário introduzir no ensino como os modelos científicos são construídos na tentativa de representar fenômenos ou a realidade. Portanto, reconhecem também que não basta apresentar a representação desses na forma dos mais diferentes produtos científicos na sua versão conceitual. Em outros termos, a natureza da ciência, como a investigação, não pode ser prescindida. E os modelos, como vemos neste estudo, são estratégias essenciais com que os cientistas elaboram suas investigações.

A aprendizagem cognitiva e epistêmica de aspectos morfofuncionais celulares certamente é facilitada pelo uso de imagens durante o ensino. Nesse ponto, assumimos o termo imagem como sinônimo de modelo imagético ou pictórico. Em duas ou três dimensões, fixas ou em movimento, como indicado por Oliveira e Gouvêa (2014), elas propiciam o entendimento abstrato de muitos conceitos descritos textualmente. Seja de natureza estrutural (membrana, citoesqueleto, parede celular, organelas) ou processual (metabolismo, transporte, comunicação, reprodução), o uso de imagens para compreender célula, isolada ou em seu contexto social, é imprescindível. Mais ainda para compreendê-las como representações simbólicas e abstratas.

Todavia, a relação entre imagem e texto pode alcançar sofisticação diferente a depender do ensino proposto. Nos livros didáticos, a abundância de recurso imagético demonstra como as explicações textuais dos conteúdos de citologia são amparadas por tal recurso heurístico. Por outro lado, interpretá-las simbolicamente, como modelos, parece ainda não disponível à compreensão dos estudantes. A utilização de imagens como recurso didático

para ampliação de objetivos educacionais, como aqueles relacionados à natureza da ciência, não entrega, por si mesma, como se poderia ser levado a pensar, todos os recursos simbólicos necessários à interpretação dos alunos (Calegario *et al.*, 2017).

Rossi (2011, p. 9-10) comenta a necessidade de a cultura escolar promover a “compreensão da gramática visual de qualquer imagem, artística ou não”. Sua preocupação faz sentido perante o questionamento de Parsons (2011): pode-se presumir que os estudantes entendem o que veem numa dada imagem? Assumindo as imagens como modelos pictóricos, poderíamos colocar essa questão ao modo de Harrison e Treagust (2000): como os estudantes veem uma imagem celular? Como cópias do mundo real ou como modelos? Em síntese, esses diferentes autores sustentam que as habilidades de decodificação e interpretação de imagens são necessárias para ampliar a percepção dos estudantes sobre as representações imagéticas. Em nosso trabalho, as imagens são assumidas como modelos pictóricos ou imagéticos.

Nesse mesmo sentido, os modelos consensuais pictóricos, como definido por Gilbert e Boulter (1998), estariam a serviço de uma perspectiva de ensino na qual a imagem pudesse ser explorada como um recurso do pensamento simbólico, ao ultrapassar a sedutora evidência da representação em si, para constituir-se como uma forma de registro de um imaginário social específico, a exemplo do que ocorria com a anatomia e a botânica (Oliveira; Gouveia, 2014). Isso é algo ainda distante da maioria das nossas escolas, em que os modelos são quase sempre entendidos como cópias do mundo real, ou compilação de produtos acabados, com estrita função de comunicar, e não como ferramenta de investigação e explicação científica, empobrecendo muitas das indicações teóricas da modelagem em educação científica (Harrison; Treagust, 2000; Halloun, 2006; Svoboda; Passmore, 2011).

Testemunhamos, em nossa vivência como professores de ciências e biologia, que os laboratórios dessa área geralmente apresentam em seu inventário: modelos em duas ou três dimensões do corpo humano, de células, de fases do desenvolvimento embrionário, entre outros, porém ainda em sua dimensão de modelo único (Duso *et al.*, 2013). Assim, não são passíveis de pôr em causa o pensamento simbólico materializado no caráter arbitrário dos modelos, no pensamento científico divergente, servindo mais, como dito, a uma representação de realidade decalcada, como apregoava a doutrina empirista mais tradicional (Oliva, 1990; Gil-Pérez *et al.*, 2005; Astolfi; Develey, 2006), por exemplo, a nosso ver, apoiados em Harrison e Treagust (2000), o problema não está no realismo em si que esse tipo de modelo exhibe, mas sim na forma como o interpretamos.

Nas ciências da natureza, modelos e modelagem são utilizados pelos diversos campos disciplinares: biologia (Bruno; Carolei, 2018; Duso *et al.*, 2013; Ferreira; Alencão;

Vasconcelos, 2015), física (Pietrocola, 1999; Gurgel; Pietrocola, 2005; Silva, 2005; Machado; Cruz, 2011) e química (Justi; Mendonça, 2005; Souza; Justi, 2010). Trabalhos cujo valor contundente está na utilização dos modelos e da modelagem principalmente como estratégia didática para aprendizagem de conceitos. É oportuno destacarmos, como Duso *et al.*, (2013) fizeram, que o espaço dedicado a esse tema na biologia não encontra igual status de tratamento didático quando comparado a outras disciplinas da área das ciências da natureza.

Sem entrar no mérito do tipo de conteúdo conceitual abordado pela modelagem como estratégia didática, não podemos ignorar o fato de ela ser avaliada como uma autêntica atividade investigativa, cujos pressupostos metodológicos são necessários de incluir na formação de professores. Portanto, a modelagem como um aspecto da natureza da ciência pode constituir uma modalidade didática ativa, ao colocar em curso ações típicas de investigação, o que é oposto do ensino diretivo que domina a maioria das aulas de ciências. Contudo, não se pode negligenciar a organização de material didático endereçada a esse tipo de ensino (Munford; Castro; Lima, 2007; Carvalho, 2017). No contexto normativo brasileiro, vejamos como o tema modelagem é apresentado.

Ao analisar o tratamento dispensado ao tema da modelagem no documento curricular PCN+, na área de ciências da natureza e matemática/biologia, compreendemos ainda mais a assertiva de alguns autores (Martín, 1996; Pino; Ostermann; Moreira, 2005) sobre a necessidade de opiniões mais seletivas e comprometidas para orientar o leitor interessado em diversificar modalidades de conteúdo. No bloco de competências gerais desse documento relacionado à investigação e compreensão, encontramos um subtópico intitulado: modelos explicativos e representativos. O detalhamento das competências desse subtópico descreve: “interpretar e utilizar modelos para explicar determinados processos biológicos; desenvolver modelos explicativos sobre o funcionamento dos sistemas vivos [...]” (Brasil, 2006, p. 39).

Considerando-o como um documento do desenvolvimento curricular em que os professores buscam referência normativa, mas sobretudo teórica, sua capacidade de orientação seletiva sobre a modelagem na educação científica nos parece um tanto tímida, sem incorporação de aportes conceituais mais explicativos sobre ambos os termos: modelos e modelagem. A própria referência à modelagem é vaga ao orientar sobre a necessidade de desenvolver modelos.

Os exemplos anteriores tentaram conduzir a problematização a partir de uma análise de cunho indutivo, empírico: do particular para o geral. Partimos agora para uma inflexão analítica. Isto é, vamos analisá-la dedutivamente, do geral para o particular. Aqui, tentamos mostrar como o discurso didático anterior é construído ao passar por diversas apropriações

teóricas: das metaciências ao ensino propriamente. A culminância dessa inflexão, para nós, será abordada no polo teórico seguinte, no qual assumimos em primeiro plano uma teoria específica sobre a modelagem. Assim, mantemos a ligação entre essas duas dimensões analíticas que abordam o objeto de forma macro.

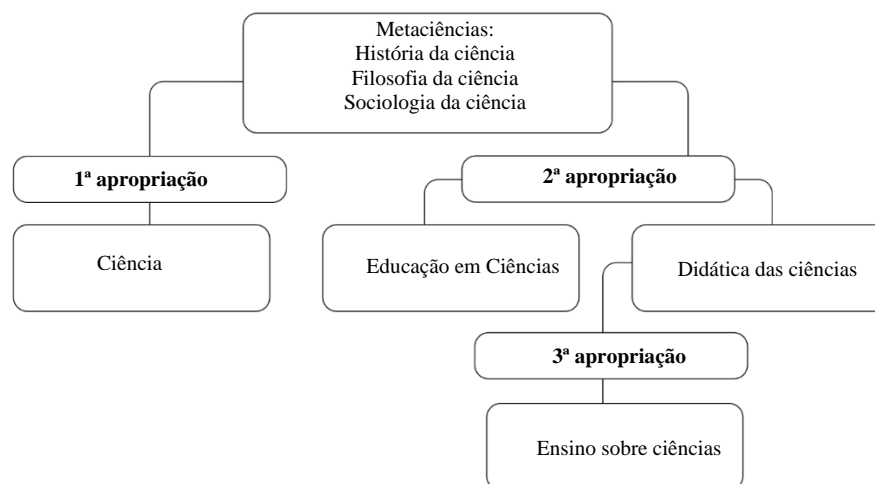
Advertiram-nos, Gilbert e Boulter (1998), que não se evita o ecletismo teórico e a necessidade de clarificar significados ao priorizar um dado conteúdo circunscrevendo-o à metamodelagem em educação científica. Isso pelo fato dos modelos carregarem um conceito polissêmico⁹. Ademais o próprio caráter interdisciplinar que a abordagem epistemológica geralmente se fundamenta também o exige. Como vemos em Svoboda e Passmore (2011), a cultura epistêmica disciplinar da modelagem rompe mesmo com a divisão tradicional das disciplinas científicas. A modelagem como uma prática científica também não desautoriza o tratamento didático reclamado pelo ambiente escolar como listou Halloun (2006).

Cachapuz, Praia e Jorge (2004) consideram que a perspectiva interdisciplinar da educação em ciência resulta da ausência de uma teoria geral para o ensino, impondo a apropriação de conhecimentos de diversas disciplinas sem restringir-se a espelhá-las, isto é, encerra um processo de elaboração cultural próprio da ciência escolar embora se fundamente nessas disciplinas de referência ou de partida. Para esses, a clarificação de um paradigma epistemológico da educação em ciência impõe coerência e unidade entre os conceitos disciplinares de tal forma que possam constituir um referencial teórico para a práxis escolar.

Propuseram um esquema para mostrar a articulação entre ciência de referência, algumas metaciências, educação em ciência, ciências da educação, ética e psicologia na qual o ensino científico atualmente muito se fundamenta. Nós o adaptamos para acomodar a explicação do nosso objeto, enfatizando parte deste. A figura 2, a seguir, resume nossa interpretação sobre a natureza interdisciplinar que o tratamento com temas sobre ciência exige retomar. A ciência de referência sobre a qual se debruça nosso trabalho, como indicado diversas vezes, é a biologia, subárea citologia. Nossa discussão metacientífica, por sua vez, é fundamentada pela filosofia da ciência. Nosso eixo da didática das ciências elege os modelos científicos como construções simbólicas, mais especificamente os modelos imagéticos da educação em ciências como vem sendo propostos por diversos autores: Rego (2014), Souza (2014) e tantos outros também aqui indicados. Por fim, nossa forma pragmática de contemplar o ensino baseado em modelagem acatou a ideia de ciclos contínuos de aprendizagem.

⁹ Segundo esses autores é importante destacar: modelo mental, modelo expresso, modelo consensual e modelo pedagógico.

Figura 2 – Sistema conceitual interdisciplinar



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em resumo, nosso trabalho fundamenta-se em problemas epistemológicos oriundos desses quatro campos: ciência morfológica, metaciências, educação em ciências e didática das ciências. Apesar de possuírem o conteúdo de ciência em comum, ciência de referência e ciência escolar, seus discursos se aproximam da sala de aula em níveis de explicitação diversos, acarretando dificuldades de entendimento conceitual e, conseqüentemente, ação didática. Portanto, ao considerá-los em conjunto na prática escolar da sala de aula, um desafio se impõe aos professores ou àqueles que elegem o ensino como objeto: reintegrar singularidades produzidas por diferentes áreas de pesquisa (Soares, 2001).

Três categorias, habilidade epistêmica, modelo e modelagem, são preponderantes sobre nosso objeto de estudo, sendo assim articuladas: habilidades epistêmicas que possam ser desenvolvidas em torno dos modelos, enquanto produto científico; e da modelagem científica, enquanto procedimento ou prática. Propô-las só ou articuladas com um dado conteúdo disciplinar constitui um desafio atual do ensino de ciências, como mostram diversos estudos: Silva, (2009), Hofer (2015), Sasseron e Duschl (2016), Ferraz e Sasseron (2017a; 2017b), Kelly e Licona (2018). Inicialmente, é preciso considerar o risco provocado pela aproximação que elas mantêm com as habilidades procedimentais, levando à necessidade de esclarecimentos, pois, nem sempre constituem uma habilidade epistêmica propriamente dita (Sasseron, 2018).

Habilidades epistêmicas estão no cerne de toda atividade científica. Declaradas ou não, segundo Bruyne, Herman e Schoutheete (1977), funcionam como uma ação vigilante sobre

a capacidade de conhecer. Dito de outra forma, a vigília epistemológica empenha-se sobre as formas, as dificuldades, os contextos e o porquê de conhecer, não sendo também uma forma única e isolada de reflexão, pois sofre influência da reflexão metateórica de diversas áreas, como história, sociologia e filosofia, assim, a exploração de seus aspectos no ensino constitui um desafio particular da pesquisa em educação científica (Cachapuz *et al.*, 2005).

Sasseron (2018) considera importante distinguir prática epistêmica de prática científica, uma vez que essas podem surgir simultaneamente em sala de aula e guardarem peculiaridades que as distinguem. Reporta-se, então, ao trabalho de Jiménez-Aleixandre e Crujeiras (2017) em sua análise e conclui que a primeira não pode ser reduzida a procedimentos mais rotineiros como focalizar uma imagem ao microscópio, medir e pesar. Apresenta, por fim, prática científica como uma prática epistêmica circunscrita ao campo investigativo de uma dada área, para assim distingui-la da definição *lato* de epistemologia enquanto atividade de avaliação do pensamento que busca conhecer os fenômenos.

Uma caracterização específica para expressá-las no âmbito educacional tem sido utilizada por diversos autores, como: Silva (2009), Sasseron e Duschl (2016), Ferraz e Sasseron (2017a, 2017b). Ela resume como prática epistêmica atividades que envolvam: 1) proposição de modos de investigação científica; 2) comunicação dos achados que explicam os fenômenos por meio do raciocínio científico; 3) avaliação dos achados e suas explicações; e 4) legitimação dos achados por meio do consenso de comunidade científica. Essas características foram propostas originalmente por Kelly e Duschl (2002), Kelly e Licona (2018) e são referências comumente utilizadas no contexto da educação e do ensino científico.

A insistência em depurar essas definições assume relevância principalmente em fases exploratórias de pesquisa, na qual acreditamos estar a pesquisa sobre modalidade de conteúdo, cujo risco de generalizações indevidas pode levar a erros de omissões, de simplificação ou de banalização. Por exemplo, o ensino de procedimentos esteve ligado a apoiar a compreensão do domínio conceitual, não sendo, portanto, um fim em si mesmo. Por sua vez, o ensino de habilidades epistêmicas acentuava precipuamente o aprender sobre ciência, não obstante comprometesse o aprendizado de conceitos (Sasseron, 2018). Assim, distanciamos-nos de assumir que qualquer procedimento científico cria condições iguais para observar o modo de fazer ciência.

Trata-se de uma questão delicada, mas necessária, estabelecer esses limites em torno dos conteúdos. Contudo, como explicaram Coll *et al.* (2000), a diferença entre as modalidades de conteúdos não é tanto de ordem ontológica, mas sobretudo de ordem pedagógica e didática. Desse modo, imputar um limite austero a essas habilidades é equivocado,

ainda que as distinguir, pelos motivos apresentados, seja imprescindível. Assim, a certeza de transitividade entre essas modalidades não é argumento para atitudes refratárias em relação aos esforços de clarificação efetuados em diferentes níveis analíticos. São esses que nos permitem dar respostas práticas às demandas formativas das escolas.

A reflexão metacientífica da epistemologia opera num nível dessa clarificação. Oliva (1990) classifica o produto de tal empreendimento filosófico como de segunda ordem, ao julgar que alguma limitação se impõe nessa descrição quando comparada ao discurso científico construído no seio de uma dada área ou ciência – intracientífico. Porém, sua importância analítica não deve ser desprezada, pois, assim, audiências mais universais, ou coletivo de pensamento exotérico, segundo definição de Fleck (2010), podem vir a conhecer sobre a natureza da ciência de forma mais parcimoniosa, mas necessária enquanto bem público, conforme esclareceram Schäfer e Schnelle (2010). Não se pode inferir, dessa generalidade, uma inapropriação. Por outro lado, advertem Bruyne, Herman e Schoutheete (1977), o caráter intracientífico da reflexão epistemológica é indispensável para evitar o risco de dogmatismo externo e simplificado sobre a produção do conhecimento de um campo especializado. Ou, referindo-se novamente à denominação de Fleck (2010), embora o coletivo de pensamento esotérico do especialista nos apresente uma versão da ciência menos popular, ou de primeira ordem, segundo a lógica de Oliva (1990), ela assume relevância incontestável quando se almejam proposições curriculares mais seletivas. Conclui-se, assim, que as duas formas de reflexão epistemológicas são fonte de referência para o trabalho que desenvolvemos.

Em virtude dos argumentos mencionados, fica a atenção a ser mantida quando da apropriação de ambos os discursos: metacientífico ou intracientífico. Por exemplo, a reflexão metacientífica parece ter produzido sobre o ensino, muitas vezes, frustração. Seja pela postura reticente que os professores desenvolvem frente à exaustão de características da natureza da ciência na forma de listas ou aspetos consensuados (Moura, 2014; Azevedo; Scarpa, 2017), ou pelo inclinar-se às simplificações mais estereotipadas de uma única perspectiva sobre o modo de fazer ciência, alheia às discussões da moderna ou nova filosofia da ciência, como aquelas anunciadas por Praia, Cachapuz e Gil-Pérez (2005), Halloun (2006), Feyerabend (2011).

No âmbito da reflexão intradisciplinar, não menos grave seria a proposição de práticas epistêmicas que não são as mais corriqueiras de uma dada área ou subárea científica, como alertaram Svoboda e Passmore (2011) a despeito dos objetivos epistêmicos dos modelos e da modelagem na biologia. Recorrer a uma prática científica, ainda que reconhecidamente importante para ciência de referência, mas distante de imperativos que possam se prestar ao contexto escolar, pode não ser a escolha mais adequada. Assim, para atender aos objetivos de

uma educação científica para cidadania, é preciso atentar para converter a ciência escolar em ciência de referência.

Atentos a tais recomendações, parece-nos ainda oportuno, para circunscrever essa problemática, aproveitar a reflexão sobre o trabalho de Schwarz e White (2005), com ênfase na metamodelagem. Isto é, pensar sobre os modelos e a modelagem de forma declarada, explícita. A reflexão das autoras apresenta um refinamento conceitual à altura de orientar diferentes trabalhos cujo foco esteja na natureza dos modelos e processo de modelagem. Ainda que seja um trabalho originalmente proposto para abordagem de conteúdos da disciplina escolar física, sua pesquisa bibliográfica conseguiu reunir aspectos da metamodelagem capazes de inspirar propostas didáticas no âmbito de outras disciplinas da área de ciências naturais, como a biologia, por exemplo.

Tivemos por intenção problematizar o ensino de morfologia, de uma perspectiva genérica relacionada à natureza factual desse campo, direcionando-a, por fim, ao contexto da educação básica. Prosseguimos problematizando os modelos e a modelagem na educação científica. Inevitavelmente, abordar esses temas implicou alguma problematização da própria formação docente. Ilustramos com o ensino de botânica e da biodiversidade diversas críticas quando estes se fecham apenas nos aspectos morfológicos.

Destacamos, exemplificando com a anatomia humana, que metodologias ativas têm sido uma alternativa para melhorar o ensino de conceitos dessa grande área. Todavia, sustentamos que o ponto de inflexão mais substancial na abordagem didática de tais conteúdos foi aquele introduzido na esteira das discussões epistemológicas do conteúdo conceitual como o fizeram Baptista *et al.*, (2015), Sarmiento (2016), Ribeiro e Silva (2019).

Por outro lado, os modelos e a modelagem vêm sendo explorados como modalidade didática para o ensino conceitual em diversas áreas, como mostrado. Nossa problemática circunscreveu esses temas, porém ambicionando outra dimensão do conteúdo: as habilidades epistêmicas. Vimos que é importante diferenciar tais habilidades daquelas que encerram apenas procedimentos rotineiros. A pouca tradição em defini-las está longe de ser apenas uma questão de escolha dos professores.

Ainda faltam muitos trabalhos de formação inicial e tipos de materiais didáticos. Ambos não podem ser conduzidos sem um sistema teórico conceitual consistente. A ausência de uma teoria geral do ensino de ciências foi apontada para gerir ambos os processos de forma a satisfazer as diversas ponderações apontadas pela pesquisa em didática das ciências. Assim, mirando os modelos e a modelagem, a Teoria da Modelagem em Educação Científica de Halloun (2006) certamente preenche parte dessa necessidade conceitual organizada.

3 TEORIA DA MODELAGEM EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E OUTRAS IDEIAS TEÓRICAS

Para Bruyne, Herman e Schoutheete (1977), o polo teórico como integrante do processo metodológico quadripolar da pesquisa efetua sobre o objeto científico sua maior ruptura epistemológica de objetivação. Logo, como um conjunto de conceitos relacionados ao processo de formulação e explicitação dos objetos científicos, é natural sua presença nos demais polos da pesquisa: epistemológico, morfológico e técnico. Portanto, o que vamos descrever aqui como polo teórico é parte desse sistema conceitual que percorre todo trabalho científico. Dito de outra forma, a teoria é capaz de preencher os requisitos de pertinência epistemológica, coerência morfológica e testabilidade técnica que a prática científica exige.

A Teoria da Modelagem em Educação Científica, de Halloun (2006), sustenta a fundamentação teórica central neste trabalho. Justificamos a inclinação por essa proposta inicialmente baseados na orientação explícita que realiza a favor dos conteúdos escolares sob as dimensões da natureza do conhecimento e da investigação científica por meio da modelagem. Trata-se de temas comumente citados na renovação do ensino de ciências, como analisamos antes no polo epistemológico, por influência da pesquisa didática em suas abordagens sobre as funções meta e intracientífica. Porém, a orientação pragmática dessas pesquisas, em contexto educacional, nem sempre está disponível como referência única, abrangente e estruturada para servir ao ensino escolar.

O trabalho supracitado ameniza esses pontos em profundidade e extensão. Defendemos que essa teoria subsume muitos dos aspectos apontados por outros autores, assumidos aqui como integrantes do referencial teórico ao longo deste trabalho sobre a natureza dos modelos e o processo de modelagem. Por assumirmos a liderança dessa teoria neste tópico, é certo que haverá tantas citações quantas forem necessárias sobre a autoria do seu proponente. Assim concordamos com Rodrigues quando afirma (2007, p. 66): “Quem apresenta muitas ideias [...], muitos termos técnicos especificamente ligados a um autor ou teoria, pode e deve apresentar muitas citações em seu texto”. Entendemos ser esse nosso caso. Não é para menos, pois os grandes eixos dessa obra e seus inúmeros conceitos foram objeto desse referencial teórico, a saber: natureza do conhecimento, esquema de modelagem, programa de modelagem e ciclos de modelagem. Se entregar a um processo de referencialização dessa magnitude inevitavelmente nos obriga a reconhecer, de forma inalienável, sua autoria seminal.

Todavia, a triangulação com outros autores, principalmente, Schwarz e White (2005), quanto à noção de metamodelagem; Svoboda e Passmore (2011), quanto à categoria

cultura epistêmica da modelagem na biologia; Gilbert e Boulter (1998), Harrisson e Treagust (2000), sobre múltiplos modelos, foi inevitável, mas aparece aqui de forma secundária. Isto é, o objetivo aqui é descrever a teoria de Halloun (2006) em primeiro lugar. A articulação desse autor com os demais nesse processo de triangulação do quadro teórico aparece de forma mais renitente nas seções dos polos morfológico e técnico. A partir de agora, sempre que mencionarmos os termos “o autor” ou “a teoria”, estamos nos referindo a Halloun (2006) e à Teoria da Modelagem em Educação Científica, respectivamente. Todavia, quando estritamente necessário, tornamos explícitas outras autorias ou concepções teóricas. Esclarecida essa questão, questionamos: o que torna a teoria do nosso autor principal uma estrutura coerente para abordagem da modelagem? Muitas respostas foram dadas a essa pergunta.

Ao reconhecer a especificidade metodológica inerente às diferentes áreas e subáreas de investigação, endossa a modelagem inicialmente por considerá-la uma prática compartilhada amplamente pelos cientistas das mais diferentes áreas. Para nós, essa característica é conveniente em termos de ensino escolar, objeto deste trabalho. Isso porque certamente pode reduzir o risco do acolhimento de uma abordagem de conteúdos nessas dimensões por demais específica para servir a função pedagógica no tocante à promoção de um letramento científico alinhado a uma formação geral para cidadania, uma meta saliente nas discussões sobre os objetivos da educação científica.

Por sua vez, assumindo a modelagem como uma prática também específica, Svoboda e Passmore (2011) nos alertam sobre a necessidade de sondar o contexto epistêmico das áreas científicas para um melhor aproveitamento dos modelos e da modelagem. O trabalho das autoras nos permitiu acolher a Teoria da Modelagem atenta à cultura epistêmica disciplinar da biologia, uma vez que o foco daquela se dirige ao ensino de física. Em resumo: a generalidade destacada pelo autor, por um lado, e a especificidade observada pelas autoras pelo outro, são aspectos que justificam a modelagem enquanto um meio didático. Cumpre destacar que é reconhecido que a diversidade de modelos e suas funções epistemológicas implicam algum risco na sua utilização.

Feita essa ressalva sobre generalidade e especificidade da prática da modelagem, não hesitamos em aceitá-la como uma prática científica particularmente oportuna para o tratamento didático por outras razões. Por exemplo, há várias questões atualmente incluídas como pertencentes à natureza do conhecimento científico e indicadas como metas educacionais do ensino científico, a destacar: parcialidade e provisoriedade das explicações, criatividade, diretriz metodológica e interdisciplinaridade são propícias de abordagem pela modelagem. Em especial, destaca o autor, a organização dos paradigmas científicos como um atributo

diferenciador em relação ao senso comum tem na modelagem sua principal estratégia. Ademais, a modelagem exige maior participação ativa e coletiva dos estudantes, seja propriamente construindo modelos ou apenas apreciando sua estrutura simbólica.

Acolhemos quatro dos temas estruturantes da Teoria da Modelagem em Educação Científica para apresentar a seguir: a natureza do conhecimento científico, o esquema de modelagem, o programa de modelagem e os ciclos de aprendizagem de modelagem. Entendemos que esses são imprescindíveis para responder a problemas circunscritos por nosso objeto de pesquisa: a proposição de uma matriz de referência para trabalhar habilidades epistêmicas lastreadas pelos modelos e a modelagem. Reconhecemos anteriormente que muitas das discussões empreitadas pelo autor absorvem ou compartilham semelhanças com a de outros autores abordados em nosso processo de referencialização. Esse fato poderia tornar redundante a apresentação de alguns dos conteúdos da sua teoria.

3.1 A natureza do conhecimento científico

Embora construída originalmente para o ensino de física, como dissemos, a Teoria da Modelagem em Educação alcançou consistência conceitual analítica apta a outros campos disciplinares, como registrou e convidou com ênfase seu proponente. Decidimos por explorá-la no âmbito da biologia, subárea citologia, atentos à análise de Svoboda e Passmore (2011) sobre a especificidade epistemológica da modelagem no contexto desse campo disciplinar, como também já nos reportamos. Avancemos na apresentação dos temas demarcados anteriormente e sustentados aqui como arcabouço teórico premente em virtude dos elementos conceituais que nos possibilitaram estruturar a matriz de referência, objeto de nossa pesquisa.

A filosofia é assumida explicitamente como campo de referência para a teoria. Desse modo, são desenvolvidas algumas questões ontológicas e epistemológicas com o objetivo de discutir a natureza das realidades físicas e como conhecemos o real, dentro do limite de interesse da Teoria da Modelagem. Isto é, sem divagar-se em apresentação histórica dessas categorias filosóficas. Inicialmente, o autor distingue a natureza das realidades físicas das entidades e fenômenos. Ambas susceptíveis de revelação pelo conhecimento experiencial, pelo conhecimento negociado ou pelo conhecimento inferido a partir dos dois primeiros.

Sem negar a importância do conhecimento negociado – aquele manifesto no acúmulo escrito de uma dada cultura científica –, coloca-se a favor de uma maior presença da forma experiencial no ensino, ou seja, aquele obtido diretamente das realidades físicas por meio da experiência empírica dos sujeitos ou mesmo apenas mental, como defenderam Blanco-

Anaya, Justi e Bustamante (2017) para o ensino da baseada em modelagem. Essa é uma postura compatível com a tese de que o ensino científico, muitas vezes, assume caráter essencialmente livresco. Porém, adverte nosso autor sobre a perspectiva positivista que imprime ao conhecimento experiencial um realismo ingênuo, como observa Bunge (2017); ou uma gênese ateorica, alheia ao caráter humano e social inerente à ciência, por vezes displicentes em reconhecer a parcialidade das explicações.

Coteja, assim, a representação do real, ou da realidade física, biológica, química, social, pelo conhecimento em um espectro fundamentado em três posicionamentos filosóficos. O dos positivistas, para os quais, o conhecimento sobre a realidade é um atributo da percepção científica. Isto é, não concebe realidade fora do que é percebido cientificamente. O dos nominalistas, para os quais o conhecimento não acessa a realidade em si, pois esta existe independente daquela, sem imputar correspondência entre conhecimento e realidade. Por fim, para os realistas, o conhecimento é um empreendimento com lastro no real, mas não como um decalque, suposição positivista, nem tampouco uma convenção, como defendiam os nominalistas.

Depois de conduzir tal exposição, explica que a posição dos realistas ou mesmo do não realismo constitui a orientação filosófica com a qual a Teoria da Modelagem se identifica e, por isso, a assume explicitamente. É claro que não em uma perspectiva de realismo ingênuo. Trata-se de uma advertência essencial para entender os posicionamentos científicos e didáticos sustentados, a exemplo de apresentar a ciência como atividade humana de acesso parcial ou relativo às realidades físicas. Afirmamos, neste estudo, que a análise empreitada não se configura aos moldes de uma abordagem histórica desses temas, mas apenas como recurso para justificar a perspectiva dos modelos na teoria: representações no espectro do realismo científico ou mesmo do não realismo como se refere.

Por persistirem entre os indivíduos representações simplificadas ou mesmo equivocadas, principalmente aquelas relacionadas ao realismo ingênuo engendrado pelo positivismo, torna-se necessário distingui-las a fim de esclarecer a base filosófica sobre a qual o conhecimento científico será encarado, para assim poder-se indicar objetivos de ensino mais claros para fins de discussão epistemológica. Disso, resulta a advertência sobre um trabalho de formação ainda em andamento a envolver cientistas, educadores e professores a despeito de uma reorientação epistemológica, como também circunscreveram Cachapuz *et al.* (2005). A fluência de pesquisas educacionais sobre esse tema, como indicadas na introdução e no polo epistemológico deste trabalho, assegura que a Teoria da Modelagem percorre um caminho consensuado. Portanto, não está isolada na defesa desse ponto.

A intenção de corresponder conhecimento e realidade física, objeto desse conhecimento, sob uma perspectiva ontológica, colocaria duas situações distintas para os modelos, segundo a teoria. A primeira seria a de uma representação analógica, caracterizada pela correspondência de forma entre realidade e conhecimento. A segunda, representação analítica, cuja correspondência não constitui uma condição necessária para legitimidade da representação. Na morfologia, em particular, a correspondência analógica promovida por modelos pictóricos assume importância aferrada. Todavia, a falta de códigos de interpretação mais sofisticados para os interpretarmos constitui uma limitação didática no uso de tais recursos. Avancemos mais um ponto que o autor destaca sobre conhecimento e realidade.

Conhecer o real traz implícita a própria ideia de conhecimento científico. Isto é, apreendê-lo significa produzir conhecimento sobre alguma realidade. Assim, enfatiza o conceito de conhecimento aproximando-o da noção de paradigma, ao modo kuhniano. Logo, o define como um sistema conceitual que atua na regência da atividade reflexiva consciente, por meio de diretrizes e princípios de diversas ordens: 1) ontológica; 2) epistemológica; 3) teórica; 4) metodológica; e 5) axiológica. Portanto, a noção de sistema conceitual é abrangente por não restringir os conceitos teóricos a uma apreciação isolada. Assim, o conhecimento deveria ser abordado como um sistema articulado com vista a produzir entendimento racional sobre entes, coisas, ou fenômenos, processos.

Trata-se de um conceito, o de paradigma, central na Teoria da Modelagem, uma vez que esta propõe desenvolver uma *evolução paradigmática* em estudantes a partir dos modelos como ferramentas epistemológica e cognitiva. Isto é, como ferramenta para apreender a realidade e como ferramenta de aprendizagem, respectivamente. Quando enaltece a centralidade dos modelos nesses processos, justifica-a afirmando que, na hierarquia conceitual entre teoria, modelos e conceitos, são esses elementos teóricos intermediários que servem melhor à compreensão das realidades físicas, e não aqueles representados pelos dois extremos. No entanto, utilizar modelos sem religá-los a uma estrutura geral que lhe dê coerência e mostre sua utilidade analítica parece improdutivo nas duas situações supracitadas: epistêmica e cognitiva.

Nesse contexto, a Teoria da Modelagem adverte que geralmente os livros didáticos os apresentam sem advertência de características primárias essenciais de sua estrutura, podendo, assim, levar ao entendimento empobrecido destes ou mesmo seu enviesamento conceitual, a destacar: a) conceber um dado modelo como único, ignorando o escopo para o qual foi idealizado; b) manifestar dificuldade quando apresentado a outros modelos do mesmo objeto/ente com escopo diferente; c) comprometer o uso dos modelos como recurso

mnemônico, pois não os distingue em relação ao padrão que foram mapeados, com tendência a conceber uma diversidade de modelos como homônimos; d) reforçar a representação da realidade ontológica como decalque por meio da ideia de modelo único. Duas definições tornam-se necessárias, embora não suficientes, para pôr em jogo outra forma de ação: modelo e modelagem.

O termo modelo, na Teoria da Modelagem, é definido como uma representação que pode ser pictórica, verbal, simbólica ou matemática de uma realidade física – coisa ou evento – mapeada a fim de satisfazer determinado objetivo epistemológico. Não só os modelos, mas a própria modelagem é definida como um constructo complexo, cuja dificuldade não deve ser ignorada ao considerarmos os níveis educacionais. Esta é definida como uma atividade ligada principalmente à construção e à implantação de modelos.

Em nossa tentativa de ampliar o uso dessa teoria, consideramos apropriado utilizar, na definição de modelagem, também autores como Schwarz e White (2005), Blanco-Anaya, Justi e Bustamante (2017), para os quais ela também pode envolver, além da construção e implantação, ações relacionadas à revisão, à avaliação ou simplesmente à utilização e interpretação de modelos. Uma definição mais precisa para o processo de modelagem nos é dada pelas duas primeiras autoras, para quais, esse processo implica: incorporar algum aspecto da teoria ou dado empírico a um modelo, avaliar a consistência dessa incorporação e, por fim, revisar esse modelo quando da necessidade de acomodar nova reflexão teórica ou dado da empiria.

Esses dois últimos objetivos da modelagem, a nosso ver, não deveriam ser subestimados quando comparados à construção em si de modelos. São igualmente complexos de estruturar principalmente quando subscrevem a dimensão ontológica e epistemológica das representações. A manipulação e/ou a interpretação de modelos consensuais analógicos e pictóricos, por exemplo, requerem igualmente ferramentas pedagógicas para acessá-las como ferramentas cognitivas e epistêmicas, como vemos nesta pesquisa. Ainda que esse tipo de modelo, como sabemos, tenha em si o atrativo visual que sem dúvida alguma é gerador de motivação perante os estudantes quando expostos apenas a linguagem verbal.

Portanto, ao hipertrofiar o valor do apelo sensorial que algumas representações imagéticas encerram em si, podemos nos dessensibilizar para tal necessidade. Desenvolver aprendizagem sobre imagens, como defendeu Rossi (2011), exige dispor de alguma ferramenta de codificação. O conjunto de diretrizes, do esquema de modelagem, da Teoria da Modelagem em Educação, assume esse caráter codificado. Como vemos neste estudo, suas quatro dimensões destacam o que está por trás de uma representação de um modelo.

Como antecipamos nesta pesquisa, as definições de modelo e modelagem em si não dispõem a seus usuários de nenhum plano de ação. A aposta de Halloun (2006) para contornar essa questão, tendo em vista o objetivo principal de sua teoria de servir a propósitos de ensino, está na estruturação de uma ferramenta conceitual propositora de diretrizes para modelagem, uma ferramenta capaz de sinalizar os atributos primários de qualquer modelo.

3.2 O esquema de modelagem

Assim, a exemplos de outros autores interessados em desenvolver, no contexto educacional, a modelagem científica de forma mais estruturada, temos o guia FAR (Foco, Ação e Reflexão) de Harrison e Treagust (2000), o currículo METT (Model-Enhanced Thinkertools) de Schwarz e White (2005), o Modelo de Diagrama de Modelagem (MMD) de Justi e Gilbert (2002), o Modelo de Diagrama de Modelagem (MMD) de Blanco-Anaya, Justi e Bustamante (2017), este propõe o esquema de modelagem com o mesmo fim.

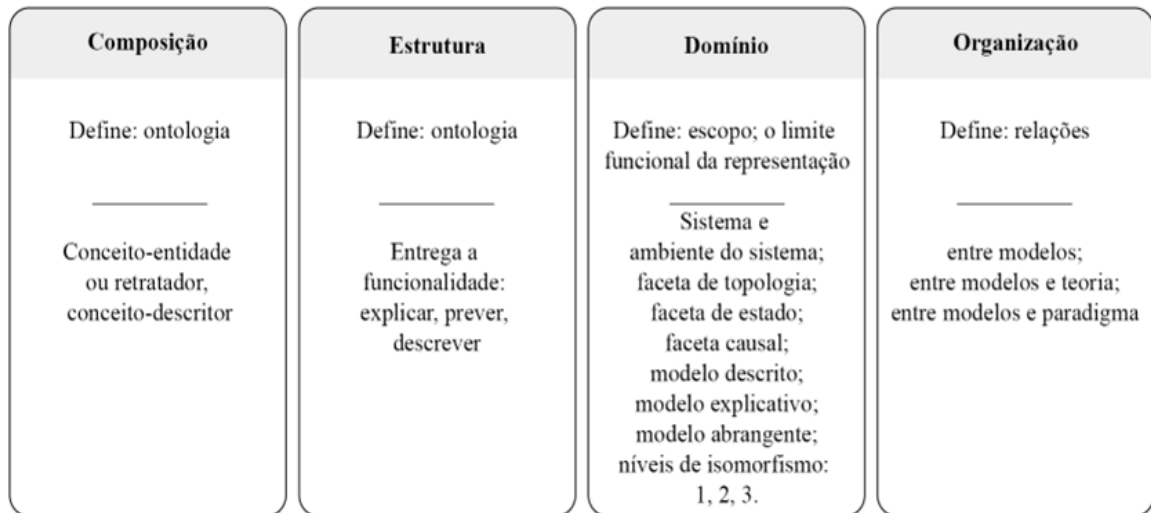
Justifica-o inicialmente comentando que, embora nos utilizemos de alguma forma inconsciente ou espontânea de estratégias epistemológicas para apreender o real, a busca de regras ou ferramentas explícitas é fundamental para melhorar seu aproveitamento no ensino. Corroboram esse argumento Schwarz e White (2005), as quais identificaram que, mesmo engajando estudantes em atividades de criação de modelos, por exemplo, não puderam assegurar que estas apreendiam com segurança etapas singulares desse processo. Assim, adiantamos como primeira avaliação positiva do esquema de modelagem sua preocupação em explicitar marcas essenciais dos modelos. Passemos, agora, a analisá-la com mais afinco.

As diferentes ferramentas possuem em comum o objetivo de tornar explícita as expectativas de aprendizagem de modelagem científica. Como assumiram Blanco-Anaya, Justi e Bustamante (2017), são vantajosas por destacarem elementos essenciais da modelagem ou dos modelos. Isso porque os modelos e a modelagem, como temos observado, se prestam a distintos papéis, principalmente quando consideramos o âmbito intracientífico da reflexão epistemológica. Cumpre destacar que o esquema de modelagem compreende uma ferramenta com quatro dimensões a considerar na arquitetura do modelo: composição, estrutura, domínio e organização.

Ao propô-la sob a condição de ser genérica, o autor indica o tom pragmático do instrumento, ou, se preferir Bazerman (2015), o tom retórico, para enquadrá-la como ferramenta estratégica, atenta às necessidades dos usuários situados na ponta do processo educacional, diferente de análises teóricas gerais, não comprometidas com a especificidade de um dado

contexto real, como o escolar. O esquema de modelagem deixa claro esse objetivo ao abordar sua utilidade, tanto para professores quanto para alunos, ao circunscrevê-la como útil ao planejamento de ensino, ao ensinar e à avaliação da aprendizagem. Resumimos, na figura 3, a seguir, suas características gerais.

Figura 3 – Esquema quadridimensional de Halloun (2006)



Fonte: O autor, baseado em Halloun (2006).

Ainda segundo Bazerman (2015), a função de um discurso dito retórico é servir à ação. O esquema supraindicado busca essa característica. As dimensões sinalizam um plano estratégico para modelos e para a modelagem atento a questões de ordem: ontológica (natureza da representação), escopo empírico (limite da representação) e relações entre os modelos (relações conceituais). Logo, constitui-se, indubitavelmente, de caráter mais diretivo quando comparado a outros mediadores curriculares, como diretrizes e o próprio livro didático para tratamento da modelagem científica no ensino médio e universitário. Isso porque entrega mais que uma simples definição de modelo e de modelagem.

No entanto, por ser genérica, esclarece o autor, configura-se como uma espécie de *template*, não indicando, em si, o conteúdo conceitual objeto do tratamento pela modelagem em tais dimensões. O limite da ação diretiva que oferece está circunscrito à categoria modelo, sem referência ao conteúdo disciplinar propriamente nem tampouco à especificidade no âmbito de qualquer uma daquelas dimensões. Esses deverão ser objeto de um segundo nível de delimitação para satisfazer a demanda real do contexto do conteúdo de ensino perseguido. Por exemplo, considerando a pesquisa exploratória, devemos definir se a função do modelo

implicará explorar sistemas complexos, descrever, explicar ou prever. Do mesmo modo, o escopo empírico ou domínio deve ser definido para um dado modelo objeto de mapeamento.

Logo, esse esquema encerra uma característica fundamental no apoio que presta ao ensino baseado em modelagem: ser flexível no âmbito indicado pelas dimensões da ferramenta. Por outro lado, para entregar ao ensino condições mais específicas de planejamento, ação e avaliação, o autor sugere investir na construção de uma taxonomia baseada naquelas dimensões. Em nosso trabalho, propomo-nos construí-la e avaliá-la por meio de uma matriz. Isto é, a construção de outro tipo de ferramenta com poder de servir de guia ao ensino de maneira mais pragmática. Todavia, propositores de tais ferramentas genéricas alertam estarem cientes da modelagem como atividade complexa, e, portanto, tentativas de definir etapas e características dessa prática científica configuram-se como uma alternativa para reduzir limitações no âmbito das representações dos utilizadores desse constructo (Blanco-Anaya; Justi; Bustamante, 2017).

Esclarecidas essas questões gerais sobre o esquema de modelagem, sentimo-nos confortáveis em retornar à descrição detalhada das quatro dimensões assumidas e indicadas na ferramenta. Vamos apresentá-las linearmente nessa ordem: composição, estrutura, domínio e organização. No entanto, como nos adverte o autor, essa linearidade não é um objetivo demandado para os alunos em si. Na verdade, é mais uma demanda da instrução para preservar aquelas características primárias estruturantes da modelagem. Todavia, não se opõe a professores estimularem alunos a construir para si algum esquema de verificação nesse sentido, principalmente após envolvimento contínuo em atividades de construção ou avaliação de modelos, circunstância em que já não são mais iniciantes na prática da modelagem.

Ao explicar que um conceito precede ontologicamente as realidades físicas representadas ou reificadas pelos modelos, conclui que a composição encerra um conjunto de conceitos que definem tais realidades. A composição, em síntese, é uma característica com foco na ordem ontológica de realidades físicas. Isto é, indica a natureza da representação: um ente, uma coisa, um fenômeno ou processo. Assim, discrimina tanto características morfológicas, conceito-entidade ou retratador, como comportamentais/fenomênicas, conceito de propriedade ou descritor. As ciências morfológicas possuem interesse em ambas, como vemos nas representações de estruturas e processos celulares, por exemplo.

Uma questão fundamental colocada pela reflexão epistemológica está em compreender como a ciência acessa essas realidades físicas. Há consenso que é de forma parcial e gradativa. Com efeito, a composição do modelo nos intima a refletir sobre essa característica da atividade científica, tão onerosa à aprendizagem em termos de compreensão da natureza da ciência, principalmente no tocante à habilidade de discernir padrões primários dos modelos,

pois, o modelador, como explicamos, age sempre seletivamente. A explicação sobre o isomorfismo entre o referente do modelo e o modelo na Teoria da Modelagem clarifica esse debate ontológico necessário para promover, na educação científica, discussões sobre o modo de fazer ciência. Explicamos, a seguir, esse ponto.

A inexistência de um referente ideal, simplificado, para uma dada realidade de modelo implica alguma limitação quando do mapeamento deste. Logo, a semelhança entre o modelo e o referente, isomorfismo do tipo um a um, como também se referiram Harrison e Treagust (2000), ou entre o análogo e a realidade, caracteriza-se difícil em uma perspectiva ontológica. Isto é, um isomorfismo abrangente entre a representação e o ente ou fenômeno real a ser representado só caberia se este último exibisse condições limitadas ou ideais. Assim, a composição do modelo explicita a natureza parcial da representação. Dito de outra forma, sinaliza o foco do mapeamento, geralmente circunscrito às características mais comuns, primárias da classe de referência, ficando subentendida a natureza complexa e diversa do aspecto ontológico do referente.

Composição e estrutura são duas dimensões intimamente relacionadas ao aspecto ontológico das realidades físicas no contexto do esquema de modelagem. Enquanto a primeira mira identificá-lo de forma ampla, apenas ressaltando tratar-se de uma representação de uma propriedade ou de uma coisa, a segunda busca mais do que isso. Preocupa-se com a organização daqueles aspectos para responder às expectativas da ciência em oferecer respostas descritivas, explicativas ou preditivas sobre realidades físicas. Isto é, a estrutura do modelo deve estar comprometida com funções fundamentais da ciência: descrever, explicar, prever, modificar ou criar realidades.

Esclarece o autor da Teoria da Modelagem que é a estrutura a dimensão responsável por organizar o sistema conceitual de um determinado campo de modo a dar respostas funcionais em torno dos modelos e, citando Johnson-Laird (1983, p. 403), destaca: “a característica essencial de um modelo é seu papel funcional”. A estrutura compromete-se com isso ao organizar os conceitos de entidade e de propriedades em quatro facetas¹⁰: topologia, estado, interação, causal. Também as relaciona – as facetas – com diversas categorias teóricas, como paradigmas, leis, definições, para explicitar sobre quais condições a funcionalidade do modelo deve ser apreciada. Portanto, a questão pragmática dos modelos não se encerra ao indicar a natureza da representação, como a composição o faz.

¹⁰ Exemplificações detalhadas dessas facetas no âmbito da disciplina de física podem ser encontradas em Halloun (2006): *Modeling Theory in Science Education*, Chapter 2: Modeling Schemata.

Sinteticamente, cada uma dessas é apresentada a seguir. A faceta de topologia define o limite entre o que é objeto e o que é agente de um dado sistema mapeado, entregando uma configuração espacial ou limítrofe ao modelo. A faceta de estado é aquela intencionada com a descrição do padrão modelado. Por sua vez, a faceta de interação, como o próprio nome sugere, reúne descritores que interagem funcionalmente. Por fim, a faceta causal é explicativa de um padrão modelado. Tanto a descrição como a explicação podem mirar a representação de um comportamento ou a estrutura de um dado sistema-alvo.

O autor conclui sobre a presença dessas facetas enfatizando que não necessariamente devam vir reunidas de uma só vez em um dado modelo, até mesmo, como sabemos, os modelos são criados para servir funções diversas. Para o autor, a faceta de estado, implicada na descrição, e a faceta causal, implicada na explicação, são as duas principais características de um modelo. Considerando-as, designa por modelo descritivo aquele que subscreve apenas a descrição e por modelo explicativo quando subscreve a explicação. Caso integre essas duas funções, o modelo assume a condição de abrangente. Antes de finalizarmos a apresentação dessa parte do esquema de modelagem, circunscrita à estrutura, convém-nos retomar o destaque que se dá sobre o isomorfismo ontológico envolvendo o modelo ou o análogo e o referente, o alvo ou sistema-alvo como denominam Gilbert e Boulter (1998).

Consideramos esse destaque conveniente por duas razões. A primeira para esclarecermos um ponto anunciado anteriormente ao atentarmos que composição e estrutura miram a ontologia do modelo sem diluírem-se. A segunda pelo impacto no tratamento didático que decidimos dar à escolha do conteúdo disciplinar objeto deste trabalho: a morfologia celular em sua dimensão epistêmica. Ao considerarmos o programa e os ciclos de modelagem da Teoria da Modelagem, posteriormente, vemos como essas dimensões ecoam no nosso trabalho. Dito isso, prossigamos com o esclarecimento prometido anteriormente.

Um argumento central da Teoria da Modelagem é aquele que concebe a representação analógica dos modelos, em relação a seus referentes, sempre um caráter parcial. Logo, o isomorfismo entre o modelo e o referente nunca é absoluto. Apresentado de outra forma, sua abrangência é limitada. É sempre seletiva e resguarda a peculiaridade de responder à funcionalidade que o modelo almeja. Assim, esclarece que o isomorfismo de que trata a teoria é do tipo nômico, portanto, da ordem da linguagem ou do que é circunscrito pelo fenômeno, sem, no entanto, negar o lastro empírico deste. O exemplo do mapa geográfico apresentado é categórico para explicar esse entrosamento entre dimensões distintas envolvidas no ato de conhecer. Embora saibamos que o mapa não representa a realidade física como cópia fiel de

todos seus detalhes ontológicos, não podemos negar-lhe sua funcionalidade e lastro ou referência empírica revelados.

A Teoria da Modelagem não deixa hesitante, como já havíamos notificado antes, ao discutirmos as diferentes formas de acesso ao conhecimento, seu posicionamento filosófico sobre as representações encerradas pelos modelos não é o do positivismo. Desse modo, defende-as não como cópias ou reflexos fiéis da realidade, embora empenhe-se para atingi-la objetivamente. Assim é categórica sobre a dificuldade ou mesmo impossibilidade do mapeamento do tipo um a um entre o modelo e o referente. Outra coisa a se destacar sobre o isomorfismo, para além do limite ou seletividade ontológica que encerra, está na complexidade do que circunscreve o mapeamento: aspectos estruturais, funcionais ou os dois. Baseado nesses dois aspectos, três níveis de isomorfismo são propostos.

O nível 1 é o mais elementar, justamente por circunscrever apenas o caráter morfológico, a forma, das realidades físicas. Coloca nesse nível modelos didáticos de estruturas moleculares, do corpo humano. O nível 2 é o intermediário e circunscreve, por sua vez, apenas o caráter funcional de uma dada realidade física. Esse nível é exemplificado com modelos de transmissão sináptica entre células do sistema nervoso. O nível 3 encerra o mais complexo por reunir modelos comprometidos tanto com características morfológicas como funcionais. Trata-se do nível ocupado pela descrição anatômica-funcional do sistema nervoso. Embora circunscreva essas duas dimensões nesse nível de mapeamento, adverte, mais uma vez, que nunca isso se dá de forma abrangente, pois, como temos observado, a parcialidade e seletividade é característica essencial da modelagem para responder à orientação funcional do modelo.

Esclarecido o entrosamento ontológico entre modelo e referente, ou modelo e sistema-alvo, modelo e realidade-alvo ou simplesmente modelo e alvo, na perspectiva das duas dimensões do esquema de modelagem, composição e estrutura, parece-nos agora acertado detalhar porque mesmo as duas, mirando a ontologia, não se diluem ou se confundem. Em uma explicação sintética, o autor esclarece que, enquanto a composição mira apenas a identificação de traços morfológicos ou funcionais das realidades físicas, a estrutura entrega mais sobre a funcionalidade dos modelos, pois deixa explícito sobre quais condições o mapeamento responde a esse objetivo de ser funcional. Além disso, a estrutura é também a dimensão responsável por relacionar o modelo a outras categorias teóricas ou ao lastro empírico, pois, como nos esclareceram Gilbert e Boulter (1998), a teoria geral, muitas vezes, é de difícil acesso cognitivo em nível educacional escolar. Daí os modelos serem considerados mais úteis uma vez que parecem externar mais significado para os estudantes.

Compreender a estrutura do modelo é vital perante a necessidade de testá-lo funcionalmente. Uma vez que os estudantes não consigam identificá-la como fator determinante de sua funcionalidade, é provável comprometer sua habilidade na resolução de problemas em diferentes contextos das culturas disciplinares. Portanto, querer forçar ou ignorar sua utilidade, em relação ao alcance epistemologicamente determinado, é uma atitude que mostra a falta de habilidade com esse aspecto, daí a importância de considerá-la no esquema de modelagem. Desse modo, fica claro que os modelos possuem um limite de alcance sobre o alvo: o lastro no mundo real que Halloun (2006) denomina de domínio. Uma dimensão que ecoa as duas anteriores, como percebemos no desenvolvimento a seguir.

O domínio como limite espacial ou nômico da estrutura ou do comportamento que foi mapeado geralmente baseia-se em um referente genérico, cujas características são ideais para servir aos objetivos científicos. Adverte, assim, que nenhum modelo circunscreve o referente em todos os seus aspectos; buscam-se aqueles mais salientes. Por outro lado, um mesmo sistema físico pode ser o referente de vários modelos com seus respectivos padrões escolhidos para o mapeamento. Isso esclarece a parcialidade contida nas representações nas duas situações: no processo convergente de busca pelo referente ideal, genérico e no processo divergente representado pelo foco do padrão mapeado para diferentes situações.

No segundo caso, embora o mesmo padrão possa ser representado por diferentes modelos, esses jamais podem comportar-se de maneira exatamente igual, pois necessitam resguardar-se de alguma originalidade, caso contrário, estaríamos diante apenas de repetições que não circunscreveriam em si um novo mapeamento. Isto é, o processo da modelagem seria pervertido por não acrescentar dado novo ao modelo. Por isso, o autor destaca que o domínio de um modelo manifesta a característica de exclusividade e universalidade. A exceção de não tributar falta de originalidade, ou exclusividade, no caso de um modelo perseguir o mesmo padrão de um mapeamento já concebido, seria quando este avançar na explicação, na precisão.

Esta dimensão da ferramenta, o domínio, assume significância educativa ao se considerar que o ensino de ciências tradicional não a discute explicitamente, como está amplamente indicado na Teoria da Modelagem. Desse modo, as explicações científicas sobre o real ficam comprometidas por uma apreciação ingênua, limitada ou mesmo distorcida, uma vez que são apresentadas desconexas do contexto teórico e prático para os quais foram originalmente concebidas. Em síntese, compartilhamos a convicção do autor que a composição, a estrutura e o domínio da ferramenta, ao discutirem a ontológica dos modelos, zelam por apresentar uma perspectiva inclinada para o realismo científico. Finalizamos essa apresentação do esquema de modelagem com a dimensão encerrada pela organização.

Para nós, uma explicação parcimoniosa sobre a organização do modelo é aquela que a descreve como o processo responsável por indicar o status do modelo na teoria científica, bem como as relações mantidas entre um contínuo ou um conjunto de modelos. Lembremos que a Teoria da Modelagem sustenta que os modelos assumem uma categoria teórica intermediária em relação à teoria científica, o topo; e os conceitos, o elementar. Parece-nos importante destacar, em relação a esse ponto, que alguma adaptação deva ser feita para acomodar a organização do conhecimento em relação a outros campos disciplinares, pois sabemos que cada ciência se organiza em estrutura hierárquica própria, e os exemplos da Teoria da Modelagem levam em conta a cultura disciplinar da física.

A discussão sobre a estrutura do conhecimento proposta por Kneller (1980) nos ajuda nesse processo de adaptação da Teoria da Modelagem. Assim, a biologia, como cultura disciplinar objeto de nossa análise, diferentemente da física, circunscreve fenômenos com maior variação ontológica, fortemente influenciada pelo processo de reprodução sexuada gerador de muita diversidade e complexidade biológica. Portanto, são menos previsíveis seus fenômenos embora sejam mais ricos em descrição. Essa característica torna a biologia uma ciência menos apropriada para organizar seu conhecimento em torno de leis e teorias matemáticas, embora o conteúdo empírico da teoria e os modelos sejam amplamente usados.

Como a organização do conhecimento em física circunscreve uma gama mais limitada de fenômenos em seu espectro ontológico, uma família de modelos básicos é passível de identificação em cada teoria científica para ser utilizada no contexto didático. Para nós, mais uma vez, implica considerar alguma adaptação no âmbito da Teoria da Modelagem para acomodar objetos de pesquisa distintos. Assim, a identificação da família de modelos básicos na biologia, por exemplo, por não comportar um *corpus* teórico estruturado, como na física, organiza seu conhecimento sobre modelos de forma diferente.

A convicção da Teoria da Modelagem sobre a garantia de melhorar o perfil paradigmático dos estudantes está fundamentada não em uma única ferramenta, como a apresentada anteriormente, mas em um conjunto de ferramentas, sobretudo, conceituais, explica o autor. O esquema de modelagem destaca características acentuadas dos modelos sem indicar o conteúdo disciplinar conceitual específico propriamente. O lastro conceitual em que se desenvolve o ensino baseado em modelagem também é objeto de análise na Teoria da Modelagem sob o título de programa de modelagem. Esse tema é apresentado a seguir.

3.3 O programa de modelagem

Cumpra-se destacar que o programa de modelagem encerra um conjunto de questões curriculares a serem consideradas na perspectiva de organização do ensino, a destacar: transposição didática, conteúdo baseado em modelos, atividades de implementação, ferramentas ou meios e avaliação da aprendizagem. Embora a contextualização desses eixos tenha por referência a disciplina de física, sua estrutura é suficientemente genérica e dotada de plasticidade para comportar o denominador comum da Teoria da Modelagem: a organização dos conteúdos científicos em torno dos modelos. Tais pontos são aprofundados a seguir. Mais ainda, é preciso justificar que, ao propor tal encaminhamento, não podemos exigir dos estudantes sofisticadas discussões epistemológicas, como colocaram Azevedo e Scarpa (2017).

É consenso que a ciência escolar deva refletir a ciência de referência em seus diversos aspectos: conceituais, metodológicos, epistêmicos, éticos (Fumagalli, 1998; Marandino; Selles; Ferreira, 2009). Todavia, como sabemos, diversas exigências ou condições dos contextos escolares imputam sempre uma semelhança aproximada entre ambas. A Teoria da Modelagem não as ignora. Assim, ela deixa explícito, ao defender a evolução paradigmática do perfil cognitivo dos estudantes, tratar-se de uma expectativa que repousa sobre o conceito de transposição didática. Com isso, não só se adverte sobre os limites dessa evolução, como justificam alguns dos seus determinantes por meio de cinco pontos.

Primeiro, cientistas e estudantes apoiam-se em pontos de ancoragem de aprendizagem inicial diferentes. Enquanto os primeiros partem já de alguma imersão numa cultura científica, mesmo considerando um processo de alfabetização científica ao longo da vida, o realismo ingênuo dos últimos certamente é mais acentuado. Segundo, e não menos importante, são as interações sociais de aprendizagens. Nesse ponto, a diferença está na oportunidade de os primeiros terem a chance de trocas mútuas e simultâneas no âmbito de experiência culturais científicas mais estruturadas, coisa que falta aos alunos, mesmo considerando alguns de perfis mais avançados dentro de uma mesma etapa de ensino.

O terceiro é de cunho estrutural. A desigualdade de acesso a equipamentos próprios para o trabalho com o conhecimento experiencial transforma muitas atividades de aprendizagem escolar restrita ao conhecimento negociado livresco. O quarto ponto que coloca a ciência escolar em desvantagem em relação à ciência de referência dos cientistas não é tanto a falta de equipamentos materiais, mas a própria organização curricular que, muitas vezes, não é maleável com exigências de algumas propostas de ensino que destoam do tempo e espaço regular de aula – como a investigação, a modelagem científica. Por fim, um ponto delicado

relativo à formação e atuação docente: muitos professores não são, em sentido estrito, cientistas, embora possam apresentar conhecimentos sobre habilidades científicas.

Certamente, isso reduz sua experiência prática na proposição de atividades orientadas para vivência da natureza da ciência. Em síntese, percebemos, da apresentação anterior, que as restrições à ciência escolar fundamentadas no processo de transposição didática dizem respeito principalmente: ao perfil paradigmático de entrada entre cientistas profissionais e estudantes, à aprendizagem social mais rica em relação ao primeiro grupo, à organização e estrutura de ensino mais rígida no segundo grupo, e, por fim, à atuação profissional docente. Prossigamos com o segundo tópico do programa: conteúdo baseado em modelos.

No âmbito da Teoria da Modelagem, a seleção dos conteúdos de ensino não segue a retórica comumente praticada neste processo: espelhá-los tal qual encontram-se nos livros didáticos. Isso se dá até mesmo porque a compilação da cultura científica nesses mediadores curriculares ainda não acomoda a exigência de apresentá-los em torno dos modelos, como preconiza a teoria e é explicado pelo esquema de modelagem anteriormente: composição, estrutura, domínio e organização. Talvez, acreditamos, a coerência pedagógica de compilar a cultura conceitual dos diferentes campos científicos sob a forma dos produtos da ciência pague o ônus de não cobrir essas demandas mais insurgentes, como são as abordagens de ensino investigativo e dos próprios modelos e da modelagem, por exemplo.

Desse modo, a proposição de algo mais estruturado e diretivo, para garantir a meta da Teoria da Modelagem de organizar o conteúdo científico em torno de modelos e da modelagem científica, deve ser considerada por aqueles mais próximos do currículo real escolar, uma vez que materiais comercializados não os oferecem na profundidade necessária para agirmos em termos de evolução paradigmática dos estudantes. Halloun (2006) é taxativo em indicar que a criação de um curso modular por parte dos professores tem sido uma opção para apoiar tal objetivo educacional. Em termos de retórica de ação propriamente, isso implica circunscrever o conteúdo do curso em torno de um conjunto de modelos no alcance de uma dada teoria. A teoria celular e os modelos imagéticos são objeto dessa circunscrição.

A abordagem progressiva é outra característica a ser preservada pela sequência do conteúdo. Portanto, os modelos devem ser organizados em unidades de ensino respeitando a complexidade fixada pelo escopo, seja no âmbito da classe de referência ou da função. Em síntese, a abordagem progressiva deve propor aos estudantes contínuos modelos que aumentam de complexidade de forma gradual. Entendemos que essa gradualidade não só é útil para facilitar a cognição dos estudantes, como também para demonstrar o caráter parcial das representações da realidade.

A construção e a implantação de modelos são duas ações da prática da modelagem que a Teoria da Modelagem em Educação Científica também endossa. Embora nosso trabalho não proponha levar os alunos a criarem propriamente modelos, as atividades de implementação indicadas no programa de modelagem são pertinentes de serem apresentadas, pois se comportam também como uma espécie de ferramenta conceitual que ecoa sobre qualquer ação de modelagem e não só aquela restrita à criação. Quatro tipos são indicados: aplicação, analogia, reificação e extrapolação, as quais demarcam também níveis de complexidade crescente, sendo os extremos mais simples e mais complexo, no caso, respectivamente, a aplicação e a extrapolação. Começamos pelo nível mais elementar.

Inicialmente, esses tipos nos alertam que implantar modelos não se restringe a sua aplicação em contexto estritamente empírico, como vemos neste estudo. Em segundo lugar, importa saber que também não se restringe à realização de experimentos clássicos de laboratório. Circunscreve, outrossim, experimentos mentais e até estudo de caso. Isto é, atividades de implantação buscam, em qualquer circunstância, racional ou empírica, verificar a coerência entre o referente e o modelo proposto. Desse modo, servem como exercício que exalta a delimitação encerrada pelo escopo do modelo. Avancemos sobre a sua apresentação.

Atividades de aplicação miram ações típicas da pesquisa exploratória: descrever, explicar, prever. Seu objetivo é confrontar o modelo com uma situação real, simulada em software, ou mesmo do tipo papel e lápis. Com isso, oportuniza, ao processo de aprendizagem com modelos, avaliar a coerência do escopo, como dito antes. É importante, neste ponto, não esquecermos da assertiva que o autor realiza sobre a escolha do modelo se antecipar a resposta de qualquer problema científico colocado. Com efeito, essa não é a rota comumente seguida por realistas ingênuos. Pelo contrário, eles buscam sempre o apoio em respostas mecânicas, do tipo tentativa e erro, sem atentar para o que a estrutura do modelo pode oferecer em termos de explicação.

Enquanto atividades de aplicação miram uma realidade empírica específica, atividades de analogia comparam duas ou mais realidades empíricas que exibem um dado padrão modelado, mas de uma perspectiva dialética, isto é, encerrada numa complexidade muitas vezes contraditória. Portanto, fala-se de uma comparação que ressoa tanto o semelhante como o diferente aos objetos ou fenômenos comparados. Todavia, isso não implica uma incoerência em relação ao contexto sempre situado do modelo, pois o objeto de comparação volta-se para aquelas características identificadas como primárias dos modelos. Assim, a utilização de analogias impõe critérios confiáveis de comparação. Caso contrário, estamos condenados a revertê-la como recurso de ensino confiável, coerente, explica.

As duas primeiras atividades de implantação dos modelos comentadas anteriormente atentam principalmente para traços da pesquisa exploratória implicadas na descrição ou explicação de entes e fenômenos. Dito como Svoboda e Passmore (2011), contemplam objetivos epistêmicos dos modelos com foco na realidade ontológica em si mesmos. Por outro lado, as atividades de reificação e extrapolação são típicas da pesquisa inventiva, igualmente definidas pelas autoras supracitadas, como inclinadas para a realidade conjecturada, forjadas, assim, pelo raciocínio abduativo. Logo, são inventivas em dois sentidos principais: modificam realidades físicas a fim de observar mudanças em algum aspecto específico de um dado modelo – atividade de reificação; preveem alterações ou o surgimento de novas realidades físicas a partir da estrutura do modelo – atividade de extrapolação.

Importa não esquecer que ambas são apoiadas por meio do raciocínio dedutivo, também sendo a extrapolação independente de lastro empírico-indutivo em um primeiro momento, pois a ciência, como sabemos, não abandona suas assertivas ao mundo inteiramente racional. Para encerrar essa apresentação sobre as atividades de implantação de modelos, destaquemos duas questões em razão de termos mencionado anteriormente diferentes formas de raciocínio: dedutiva, indutiva e abduativa (Halloun, 2006).

Primeiro, embora as atividades de aplicação assumam como ponto de partida a indução, como vimos, essas formas atuam concomitantemente, como é visto novamente na discussão sobre os ciclos de aprendizagem. A Abordagem indutiva parte, inicialmente, da análise do contexto empírico para depois escolher, no espectro da teoria, o melhor modelo teórico que responda aos problemas aventados. Portanto, não se exclui a dedução. Para o autor, é justamente nesse ponto que as atividades de aplicação corriqueiras de ensino erram, pois reforçam a busca por um modelo estereotipado, via dedução, o qual funcionaria como uma fórmula aplicável a toda circunstância, sendo negligenciada a análise contextual do problema.

Segundo, permitem usufruirmos de uma visão espectral dos modelos no lugar da limitação dos modelos únicos. Para além do movimento dialético em torno dos raciocínios indutivo e dedutivo inerentes às atividades de implantação, a percepção dos modelos em um espectro de facetas também é sentida. O autor sintetiza a importância didática das atividades de implantação dos modelos, ressaltando que elas evitam a internalização de modelos, fundamentada na noção de modelo único, pois o que temos no geral é um conjunto de modelos servindo às explicações científicas. Desse modo, a noção de realismo representada pelos modelos assume caráter mais científico e menos ingênuo. Nessa esteira, podemos admitir que os principais meios com os quais as atividades de implantação são concretizadas na Teoria da Modelagem não são, como poderíamos ser levados a pensar, os de cunho material.

Pelo menos no contexto da Teoria da Modelagem, na verdade, as principais ferramentas de ensino são, segundo seu proponente, principalmente recursos de natureza conceitual. Porém, recursos de outras naturezas podem juntar-se aos primeiros, a destacar: recursos imagéticos, pictóricos em duas ou três dimensões, recursos tecnológicos mais sofisticados como softwares, laboratórios. Para o autor, as ferramentas conceituais, como o esquema de modelagem, são mais indispensáveis do que aquelas outras, principalmente quando se tem em mente a profundidade da abordagem. Elas atingem esse objetivo por sinalizarem as regras de correspondência entre o referente e os modelos como temos visto.

Por fim, o programa de modelagem apresenta especial atenção ao tema da avaliação da aprendizagem. Considerando a perspectiva de classificar a avaliação da aprendizagem em heteroavaliação, coavaliação e autoavaliação, como apresentado por Barlow (2006), a partir da interação entre atividade avaliada e os sujeitos desse processo, ele propõe a centralidade da autoavaliação em relação à heteroavaliação. Sem negar a exigência real dos processos mais formais em sala de aula, circunscritos à heteroavaliação de resultados, reconhece uma questão delicada do tema quando aprisiona-se apenas à classificação dos estudantes.

A inclinação pela vontade de articular as práticas de hetero e autoavaliação demonstra que o autor não é simplesmente sensível à posição nevrálgica ocupada pela avaliação no ensino escolar, como reconheceram Carvalho e Gil-Pérez (2011), mas sim incisivo o suficiente para admitir que esta última deve ser o ponto de convergência, tanto da hetero quanto da coavaliação no contexto da sua teoria. Temos visto que muitas propostas de renovação do ensino de ciências surpreendem ao proporem conteúdos, meios e estratégias de ensino. No entanto, os processos avaliativos desviados da lógica classificatória e almejantes da cultura formativa são desafios de muitas dessas inovações, como sinalizou Carvalho (2017) ao se reportar ao ensino investigativo.

A sustentação da premissa de que, na Teoria da Modelagem, a função da prática avaliativa não pode ser a mesma que embasa essa prática no ensino convencional está fundamentada em quatro pontos principais: 1) construção de uma taxonomia; 2) meios de avaliação; 3) interpretação dos resultados; e 4) feedback. Para nós, não é de todo adequado afirmar que, no ensino tradicional, a prática avaliativa sirva apenas à função classificatória. Em maior ou menor escala, é razoável admitir que alguma intenção formativa seja desenvolvida pelos professores, como a devolutiva de correção de algum teste, por exemplo, ou de outras maneiras menos formais.

No entanto, entendemos a preocupação do autor em apontar o caráter classificatório da avaliação. Sem demarcar formalmente essa prática por meio de uma taxonomia, por

exemplo, as características do ensino baseado em modelagem – como as expostas pelo esquema de modelagem – ficariam ainda mais difíceis de serem perseguidas. Dos quatro pontos demarcados anteriormente, a atenção dispensada ao primeiro nos parece primordial, pois os demais, entendemos, dependem diretamente daquele.

A avaliação, na Teoria da Modelagem, forja-se então por meio de uma orientação criteriosa, na medida que estabelece um conjunto de diretrizes para estruturar o conteúdo conceitual de ensino, e das práticas epistêmicas, como aquelas organizadas sob a perspectiva do esquema de modelagem. Especificamente sugere a criação de uma taxonomia que atente para as dimensões do esquema, as quais estão diretamente implicadas no desenvolvimento do perfil paradigmático dos estudantes. A taxonomia, então, comporta-se como meio de apresentar indicadores confiáveis sobre as metas de aprendizagem baseada em modelagem científica.

Segundo o autor, o desdobramento do esquema de modelagem em uma taxonomia acolhe, ainda, a utilidade de servir como ferramenta para avaliar o próprio ensino pelo professor. Trata-se de uma questão central levantada por perspectivas de avaliação formativa: a referência subscrita para ensino deve ser a mesma a observar-se na aprendizagem como já se referiram Bloom, Hastings e Madaus (1983). É imprescindível não esquecer que o conjunto de indicadores de uma taxonomia, em contexto de ensino escolar, não é criado para ser seguido à risca, mas sobretudo para não se deixar de fora aspectos estruturantes de seu conteúdo, seja conceitual ou epistêmico.

A construção desta ferramenta, uma taxonomia, é vital para a qualidade dos próprios instrumentos ou meios de avaliação formais. A teoria não abomina o uso de nenhum tipo ou instrumento avaliativo em si, mas, como já comentamos nesta pesquisa, qualquer um deles, seja um teste de papel e lápis ou um relatório, deve amparar o processo formativo consubstanciado na autoavaliação. Como sabemos, esses instrumentos formais são indispensáveis por recolher dados de desempenho dos estudantes. A Teoria da Modelagem é crítica a despeito da interpretação dos resultados desses testes e acolhe outra discussão da Teoria da Avaliação Educacional que reconhece a dificuldade de correspondência entre desempenho e aprendizagem, como McDonald (2003) se empenhou em distinguir. Esse ônus da avaliação infelizmente ainda não foi superado.

Qualquer um interessado em mitigá-lo deve saber que parte disso implica devolver ao estudante algum produto mais detalhado do seu processo de aprendizagem. Mais do que aquele permitido pela parcimoniosa comunicação encerrada pelas notas de qualquer instrumento de avaliação concebido isoladamente. A partir de uma perspectiva dialética entre as formas de heteroavaliação, coavaliação e autoavaliação, Barlow (2006) sinaliza que isso

implica levar a cabo uma espécie de acompanhamento mais sistematizado, por meio de devolutivas, feedbacks, muitas vezes de caráter informal, como dissemos. Fernandes (2009) também apontou as mais diferentes formas de feedback como essenciais em um processo de avaliação formativa.

A configuração do programa de modelagem, como descrito aqui pelas categorias transposição didática, conteúdo baseado em modelos, atividades de implementação, meios de ensino e avaliação da aprendizagem, externaliza a Teoria da Modelagem para a prática do ensino do professor, como vimos, mais do que o que é conseguido pelo esquema genérico de modelagem. Todavia, é na apresentação dos ciclos de aprendizagem, também denominados de ciclo de modelagem ou ciclos de aprendizagem de modelagem, que a aproximação da Teoria do processo de ensino-aprendizagem assume padrão mais estruturado para responder a necessidades de cunho mais pragmático do ensino.

3.4 Os ciclos de modelagem

A Teoria da Modelagem, como vimos, demarca renitentemente duas ações para a modelagem educacional: criação e implantação de modelos. Essas metas são difíceis de serem alcançadas apenas pela mediação dos livros didáticos, que, no geral, apenas apresentam os modelos em sua forma final e descontinuada quanto ao espaço para os quais foram criados. Menos ainda são os créditos para o processo da modelagem em si. No entanto, entendemos que, ao se reportar à ação de criar, especificamente, o autor esteja imerso no contexto do construtivismo educacional e em sua influência sobre o papel que o estudante deve desempenhar no processo de aprendizagem em sua forma ativa.

Assim, parece-nos subentendido que a referência a essa primeira ação efetivamente dirija-se à ideia de uma apropriação ativa do conteúdo de aprendizagem ou àquela que o recheia de significados e não a uma produção de conhecimento autêntica, estrita, como o faz a pesquisa propriamente. Uma apropriação oposta à aprendizagem do tipo mecânica ou memorística apenas. A primeira, seguramente um processo demarcado por mais envolvimento afetivo dos estudantes dos produtos e processos científicos (Coll *et al.*, 2000). Uma posição que acata a aprendizagem da ciência para além da apropriação conceitual e que conclama, por isso mesmo, maior participação em torno de habilidades epistêmicas, a fim de (re) construir conhecimentos científicos como analisaram Gil-Pérez *et al.* (2005).

Com efeito, a discussão sobre o sentido de construir conhecimento no contexto de aprendizagem já fora clarificada pelos engajados na defesa do construtivismo como suporte

teórico dos processos de ensino e aprendizagem, a exemplo de Cachapuz *et al.* (2005) e do próprio autor da teoria aqui analisada ao assumir o conceito de transposição didática. Portanto, não vamos retomá-la amiúde, embora a distinção mereça destaque por ainda persistir na representação de alguns. Isso se dará porque estamos convencidos de que, no final, o processo de criar abordado pela teoria implica mesmo em identificar e selecionar modelos consensuados dentro de um determinado campo científico. Tanto é assim que a inclinação por essas duas atividades, criação e implantação, está ligada à defesa veemente por um ensino menos livresco e mais experiencial.

Os ciclos de aprendizagem de modelagem de que trata este tópico sintetizam como o autor pretende atingir esses objetivos. Assumindo a modelagem como a prática científica ligada à criação e à implantação de modelos, exalta-as como estratégias de ensino menos diretivas. Suas estruturas subsomem ou refletem o que apresentamos até aqui, estando indicadas no arcabouço da teoria: natureza do conhecimento, transposição didática, esquema de modelagem, programa de modelagem. A estrutura dos ciclos de aprendizagem, ao modo das sequências de ensino investigativo, comentado por Carvalho (2017), deve ainda acomodar metodologias de ensino mais centrados nos estudantes.

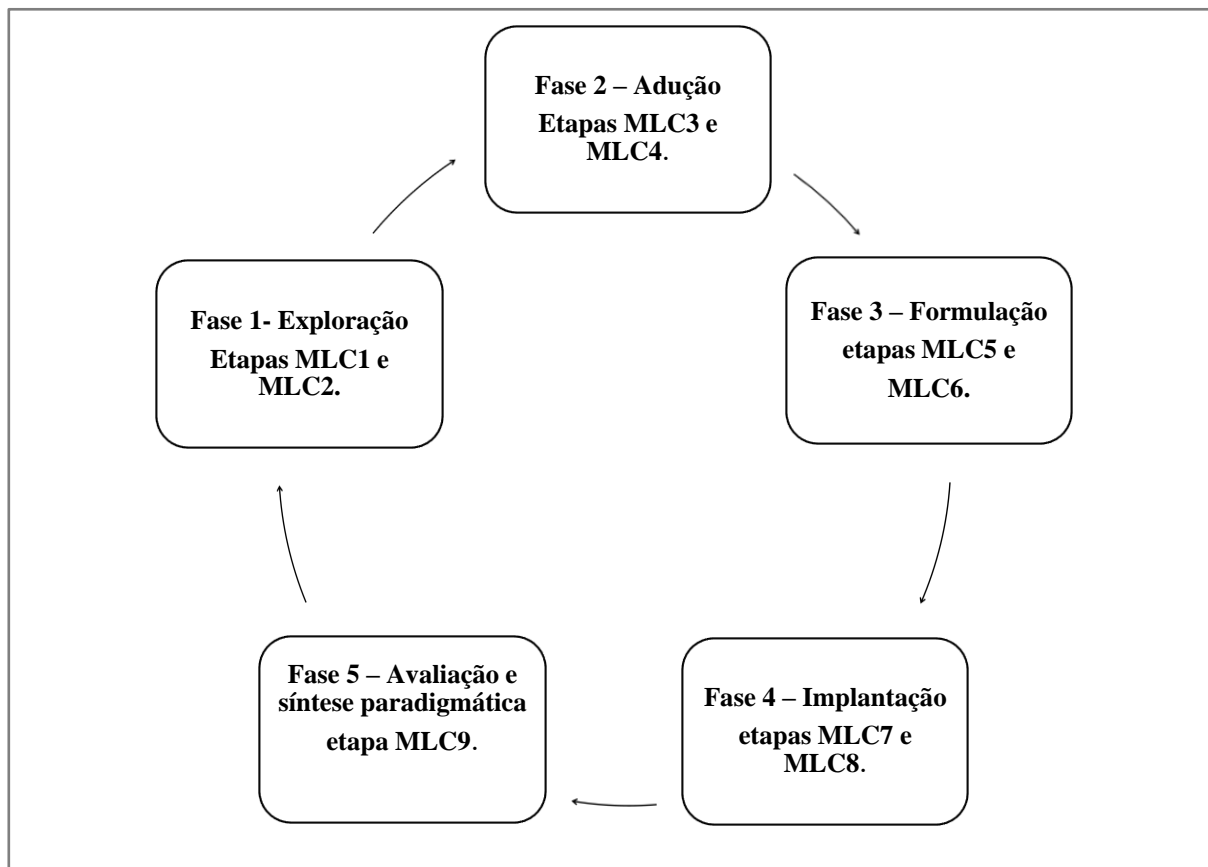
Vamos nos dedicar a apresentá-los espreitando sempre o desafio da adaptação daquelas variantes suscetíveis ao contexto das ciências morfológicas como cultura epistêmica particular, mirando outras ações, mais especificamente aquelas relacionadas à interpretação de modelos consensuais pictóricos ou imagéticos, demarcada por objetivos epistêmicos, como explorar sistemas complexos e projetar investigação de caráter exploratório como sugerido por Svoboda e Passmore (2011) no âmbito da biologia.

Embora as restrições à tarefa de adaptar sejam inerentes a essa ação, não tememos esse desafio desde que nos mantenhamos fiéis às ferramentas que a teoria engendrou a fim de salientar elementos essenciais dessa prática científica, pois, como temos apresentado, a exemplo de Krapas *et al.* (1998), Harrison e Treagust (2000), as fragilidades de propostas de ensino inclinadas com tal abordagem não residem tanto na diversidade conceitual do que sejam modelos e modelagem na educação científica, mas sim na falta de sinalizar características emblemáticas de uma ou outra na hora do planejamento de ensino MLC¹¹.

Os ciclos de aprendizagem de modelagem são concebidos como um plano de curso mais diretivo. Encerram um processo dividido em cinco fases, subdivididas, na maior parte, em duas etapas cada uma, conforme apresentado a seguir:

¹¹ MLC: do inglês – Modeling Learning Cycle.

Figura 4 – Ciclo de Modelagem



Fonte: Elaborada pelo autor, baseado em Halloun (2006).

Pelas condições impostas pelo programa de modelagem, a destacar a transposição didática, geralmente a quantidade de ciclos não se avoluma, pois tende a centrar-se em uma seleção que ressalta um conjunto de modelos básicos de determinada teoria ou campo científico, como temos defendido como condição para adaptar a teoria a outros campos disciplinares. No entanto, eles não podem deixar de demarcar a progressão entre o contínuo de modelos, ressaltando mudança de escopo, função, entre outras características que tornam a apreciação dos modelos um processo sofisticado para além de sua abrangência como um produto científico, mas, sobretudo, como um processo, como um método de acessar as realidades físicas, como se referiram Harrison e Treagust (2000).

Concordamos com o autor que a primeira e a segunda fases do ciclo são essenciais para compreensão do processo de modelagem. A primeira por levar os estudantes a explorar, de forma metacientífica, o sentido dos modelos e da modelagem ao analisarem modelos básicos sobre processos ou entes. A segunda por explorar o raciocínio mais criativo da ciência: o abdução. As fases seguintes, de formulação e implementação, avaliação e síntese paradigmática, na verdade, apenas se estendem no objetivo de refinar o uso dos modelos em

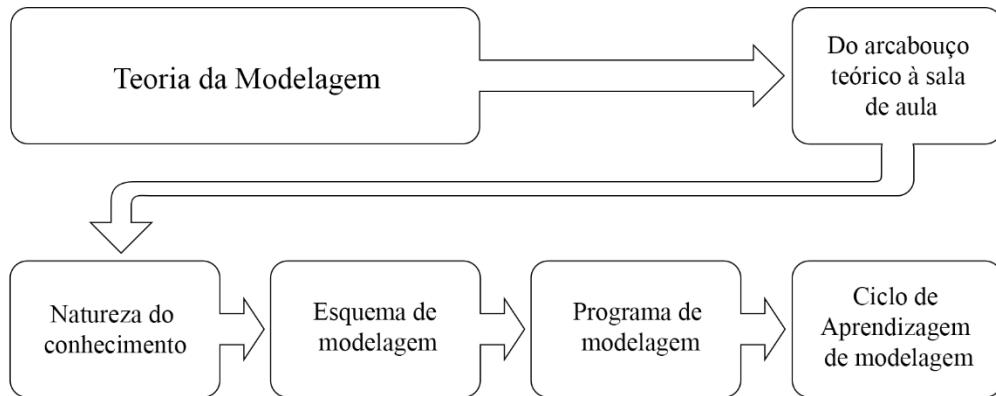
torno do escopo definido pelo ciclo. Trata-se de processo que envolve essencialmente o planejamento e a execução de alguma atividade de experimentação, seja empírica, observacional ou racional.

Integram características dos ciclos: a) não se prossegue para a fase seguinte sem passar pela anterior; b) retornar a qualquer fase é admitido; c) o tempo das fases é relativo; d) os ciclos são as unidades didáticas resguardadas de complexidade cognitiva progressiva; e) cada ciclo circunscreve um único modelo-alvo; f) o número de modelos de um curso não precisa se avolumar; g) estima-se entre 5 e 10 aulas para um ciclo; h) os ciclos implicam refinar modelos subsidiários até o modelo-alvo; e i) o término de um ciclo deve ser sinalizado. A abordagem progressiva dos modelos ao longo dos ciclos consiste no refinar modelos subsidiários, menos complexos, até o modelo-alvo básico, mais complexo (Halloun, 2006).

Nossa adaptação dos ciclos de modelagem para o campo das ciências morfológicas segue a lógica apresentada anteriormente ao discutirmos os modelos como categoria teórica intermediária básica fundamental para compreensão de uma teoria, além disso, acrescentamos o campo teórico, para acomodar aquelas situações de inexistência mais estruturada de algumas categorias, como ainda se percebe em muitos campos do conhecimento, conforme argumentou Kneller (1980). Assim, não vemos como aplicar os mesmos princípios que se mostraram coerentes no âmbito da disciplina científica de física: paradigmas, modelos e leis. Baseados nos objetivos epistêmicos principais da morfologia, convencemo-nos de serem mais adaptáveis às categorias teóricas relacionadas aos conceitos e modelos.

Em síntese, os ciclos de aprendizagem de modelagem ecoam e sintetizam a trama conceitual em seus diversos aspectos defendidos pela Teoria da Modelagem Científica em Educação e que foi objeto dessa análise para fundamentação teórica deste trabalho. Esses elementos estão resumidos no diagrama a seguir. Esse subsume os elementos da teoria abordados ao longo deste tópico, a saber: a natureza do conhecimento, a natureza dos modelos e os imperativos didáticos, como anunciado neste estudo, os quais são contemplados e diluem-se pelos ciclos.

Figura 5 – Diagrama da Teoria da Modelagem



Fonte: Elaborada pelo autor, baseado em Halloun (2006).

Semelhante a outros autores aqui apresentados (Harrison; Treagust, 2000; Schwarz; White 2005; Justi; Gilbert 2002; Blanco-Anaya; Justi; Bustamante 2017), os quais propuseram ferramentas genéricas sobre os modelos e a modelagem, os ciclos de Halloun (2006) acomodam uma ferramenta conceitual definidora do ensino baseado em modelagem em seu sentido amplo, embora exponha exemplos do conteúdo conceitual da física, relacionado aos processos de criar e implantar modelos no contexto do desenvolvimento curricular.

4 DA TEORIA À CONFIGURAÇÃO DO PROBLEMA: UMA MATRIZ DE METAMODELAGEM SOBRE MODELOS IMAGÉTICOS EM CITOLOGIA

Do conjunto de argumentos que temos construído a despeito da importância de definir conteúdos de ensino sobre ciência no âmbito da morfologia, como subárea da biologia que agrega diversas disciplinas, chega agora um momento crucial desse processo: apresentar nosso problema de forma mais estruturada. Ou se preferir, mostrar a estrutura do nosso problema.

O polo morfológico como espaço configurativo, estrutural ou arquitetônico dos objetos científicos, é um nível de objetivação da atividade de pesquisa conforme já anunciamos e cujo intuito é entregar o objeto científico em uma versão mais estruturada ou delineada. Deve-se imprimir três marcas ou características ao analisá-lo: **exposição** como atividade de explorar o sentido dos conceitos no espectro do objeto; **causação** como tentativa de hierarquizá-los e articulá-los; **objetivação** como plano, configuração ou quadro operatório da problemática e explicitação do problema. Em síntese, o polo morfológico configura e entrega o problema numa dada forma ou morfologia (Bruyne; Herman; Schoutheete, 1977).

Assim, a título de esboçar, pois sua análise integral será no polo técnico, essas três características do polo morfológico a despeito do nosso objeto de estudo, delimitamos: 1) a exposição circunscrevendo os conceitos de matriz de referência, habilidades epistêmicas, modelos imagéticos e modelagem científica em educação, calcados na cultura epistêmica disciplinar da biologia, subárea citologia; 2) a causação circunscrevendo estes no contexto da proposição hierárquica dos ciclos componentes da matriz; e, por fim, 3) a objetivação como um produto didático na forma de uma matriz de ensino. Esta última em sua versão preliminar ou de projeto está representada a seguir

Quadro 1 – Matriz de referência: metamodelagem sobre o realismo de modelos imagéticos em citologia

MATRIZ DE REFERÊNCIA: METAMODELAGEM SOBRE O REALISMO DE MODELOS IMAGÉTICOS EM CITOLOGIA		
Conteúdo conceitual: definir		
Conteúdo ontológico: definir		
Conteúdo procedimental: definir		
Conteúdo epistêmico da cultura disciplinar da biologia: definir		
C1	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo	Definir.

Continua.

Quadro 1 – Matriz de ensino (*Conclusão*)

C1	2. Conteúdo conceitual objeto do ciclo	Definir.
	3. Objetivo geral	Definir.
	4. Guia de apoio à condução do ensino	3.1 Introduzir o foco do ciclo com questões-problema sobre o tema modelos e modelagem. Definir. 3.2 Finalizar o ciclo indicando o limite do escopo dos modelos ou do ciclo. Definir.
	5. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	C1MOD01 – Definir.
		C1MOG02 – Definir.
C2	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo	Definir.
	2. Objetivo geral	Definir.
	3. Guia de apoio à condução do ensino	3.1 Introduzir o foco do ciclo com questões-problema sobre o contínuo de modelos. Definir 3.2 Sinalizar o limite do escopo do modelo/modelagem ao término do ciclo. Definir
	4. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	C2MOD03 – Definir.
		C2MOG04 – Definir.
C3	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo	Definir
	2. Objetivo geral	Definir
	3. Guia de apoio à condução do ensino	3.1 Introduzir o foco do ciclo com questão-problema sobre o contínuo de modelos. Definir. 3.2 Sinalizar o limite do escopo do modelo/modelagem ao término do ciclo. Definir.
	4. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	C3MOD05 – Definir.
		C3MOG06 – Definir.
Observação: código alfanumérico dos indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação. A primeira letra e o primeiro número indicam o ciclo e número do ciclo ao qual a habilidade pertence (C1, C2 ou C3). As três letras seguintes especificam a inclinação da habilidade para os modelos em si (MOD) ou para a modelagem (MOG). Por fim, os dois últimos números indicam a posição topológica do indicador de ensino e aprendizagem na matriz.		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os componentes desse layout, título, conteúdo conceitual, conteúdo ontológico, conteúdo procedimental, conteúdo epistêmico da cultura da biologia, conteúdo conceitual objeto do ciclo, objetivo geral, guia de apoio à condução do ensino e indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação, são analisados e discutidos no polo técnico a seguir, advertimos. Isso se dá pois, como esclarecem Bruyne, Herman e Schoutheete (1977), a competência única do

polo morfológico é fornecer uma configuração para problemática. Como recurso analítico¹², de uma perspectiva qualitativa, adiantamos que assumimos a tipologia triangulada com a análise interpretativa. Por sua vez, de uma perspectiva quantitativa, usamos o IVC: índice de validade de conteúdo.

¹² Sobre outras formas de análise do polo morfológico, consultar Bruyne, Herman e Schoutheete (1977): tipos ideais, sistemas e modelos.

5 MÉTODO DE PESQUISA: ABORDAGEM, TIPO DE ESTUDO, TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

O processo de objetivação que temos desenvolvido em torno do nosso objeto de pesquisa, a metamodelagem sobre o realismo dos modelos imagéticos em biologia/citologia, e nosso problema, a definição de conteúdo curricular de ensino mirando esses constructos, após percorrer os polos epistemológico, teórico e morfológico, chega agora ao polo técnico. Sinteticamente, Bruyne, Herman e Schoutheete (1977) o definem como o polo que controla o levantamento e a análise de dados. Desse modo, é o espaço da pesquisa que melhor especifica ou caracteriza como ocorreram esses dois processos em torno da configuração do problema. Por sua vez, também não restringe o primeiro processo a um tipo de levantamento que tende a ser acentuado nos manuais de metodologia clássicos: os dados empíricos.

Uma definição que ressalta, no contexto da metodologia quadripolar, o caráter dialético desse polo em relação aos outros polos da pesquisa é o de Triviños (1987), autor por nós também assumido neste referencial, o qual concebe e acentua ao termo “dado”: toda informação levantada e reunida para analisar o problema. Portanto, nossos autores assumem, a respeito desse conceito, uma perspectiva para além da noção mais comum. Enfim, aludimos que este capítulo foi dividido em duas partes. A primeira descreve a abordagem e o tipo de estudo; a segunda, os instrumentos de levantamento e de análise de dados.

5.1 Abordagem e tipo de estudo

Este trabalho integra abordagens de pesquisa quantitativa e qualitativa, ou segundo denominação de Gil (2017), pesquisa de método misto. Para Oliveira (2008), essa pode proporcionar maior credibilidade aos resultados, uma vez que sua validade resulta da associação de técnicas diferentes, capazes, assim, de explorar o objeto de forma mais ampla. Reforçam esse argumento Nascimento *et al.* (2019), para os quais ações enfáticas de análises mistas podem amenizar a dominância do modelo ingênuo positivista nas abordagens quantitativas das pesquisas em educação científica.

Todavia, a título de dissipar que não estamos divagando sobre o mérito entre abordagens, vale a pena resgatarmos uma advertência dada por Strauss e Corbin (2008): a questão não é de primazia de uma abordagem sobre a outra, mas de saber quando cada uma será útil para explicação das nossas questões de pesquisa. Até mesmo porque criticamos, como Silva

(1998), diferenças radicais entre abordagens qualitativas e quantitativas ao ponto de sustentar a existência de dicotomia entre ambas.

Assim, segundo alguns autores (Greca, 2002; Strauss; Corbin, 2008), não se trata dos métodos quantitativos, qualitativos ou mistos empossarem os resultados de pesquisa de maior validade aprioristicamente, pois a delimitação entre essas abordagens pode resultar, muitas vezes, de um simples artifício metodológico relacionado ao interesse ou habilidade particular do pesquisador e não propriamente sobre a natureza da pesquisa. Essa blindagem ideológica, como se referem Strauss e Corbin (2008), pode ignorar a possibilidade ou a necessidade de diversas combinações entre procedimentos qualitativos e quantitativos. Santos e Greca (2013) apostam, nesse último argumento do contexto da pesquisa, em ensino de ciências.

Apresentando essas advertências, assumimos ainda duas razões descritas por Gil (2017) para a escolha de uma abordagem mista: a) quando detalhar aspectos teóricos for necessário; b) quando um dado objetivo da pesquisa for melhor explicado, considerando múltiplas etapas do processo. O primeiro ponto se alinha com explicações anteriores sobre a necessidade do recorte teórico em análises tipológicas e ao fato de termos assumido a Teoria da Modelagem, de Halloun (2006), como fundamentação teórica central deste trabalho, principalmente nos aspectos relativos ao esquema de modelagem e os ciclos de aprendizagem. O segundo, poderíamos até citar novamente os argumentos de Santos e Greca (2013), contudo nos reportamos ao fato que tanto trabalhos qualitativos, como o de Cardoso e Scarpa (2018), como quantitativos, por exemplo, os de Lima *et al.* (2017; 2020), foram igualmente efetivos em suas abordagens em trabalhos de validação de materiais didáticos.

Entendemos ser a parte qualitativa primária neste trabalho; enquanto a parte quantitativa configura-se suplementar. Consoante a assertiva de Vianna (1989), trabalhos sobre a validade de constructo, ou conteúdo, na área educacional implicam uma definição lógica por meio de um sistema conceitual, e não apenas um índice estatístico. A descrição e a análise do constructo, nesses termos, simplesmente não poderiam ser substituídas, pois necessitamos explicar as relações entre os termos descritivamente. Nos alinhamos a essa assertiva ao propormos uma análise tipológica. Corrobora com a ideia do autor supraindicado Triviños (1987, p.118) ao afirmar que “muitas pesquisas de natureza qualitativa não precisam apoiar-se na informação estatística”. Nesse caso, entende que a objetividade científica é alcançada pela validade do sistema conceitual aludido.

Por fim, convém uma explicitação sobre o tipo de delineamento misto adotado nesta pesquisa. Referimo-nos àquele proposto por Gil (2017), como Delineamento Sequencial

Exploratório, cujas características gerais implicam: primeiro levantar e analisar dados qualitativos, depois levantar e analisar dados quantitativos. O autor reconhece a importância desse tipo de abordagem quando se pretende, por exemplo: explorar um fenômeno em profundidade, testar um aspecto de uma teoria, desenvolver um instrumento. Entendemos que esses três elementos se adequam ao nosso objeto e problema de pesquisa. Esclarecida nossa abordagem, explicitemos nosso tipo de estudo.

Dentro da tipologia de Pesquisa de Natureza Interventiva (PNI) proposta por Teixeira e Neto (2017), escolhemos como tipo de estudo a Pesquisa de Desenvolvimento, cujo foco está na descrição e na análise do produto e do processo desenvolvidos, os quais podem ser dos mais diversos: manuais, cartilhas, textos, materiais didáticos, entre outros. Todavia, não devemos confundir seu caráter aplicado com reducionismo de um trabalho técnico, pois esse tipo pressupõe explicitar a filiação teórica (pedagógica e filosófica) e descrever as etapas metodológicas. Essas condições foram indicadas e explicadas anteriormente.

Explicitados a abordagem e o tipo de estudo, a seguir, apresentamos as técnicas de levantamento e análise de dados qualitativos e quantitativos. Pela ordem preconizada para o Delineamento Sequencial Exploratório, anunciada no início deste capítulo, os dados qualitativos são trabalhados primeiro e em seguida os dados quantitativos (Gil, 2017).

5.2 Levantamento de dados qualitativos

A pesquisa bibliográfica neste trabalho constituiu o principal procedimento de levantamento de dados qualitativos. Ele foi conduzido de modo tradicional em diversas fontes bibliográficas, a destacar: teses, dissertações, livros e artigos científicos, localizadas em base de dados reconhecidas nacional ou internacional, como Scielo, ERIC. Além desses, servimo-nos de documentos normativos oficiais como diretrizes e parâmetros curriculares. Inicialmente, miramos estudos metacientíficos e trabalhos em didática das ciências que tratassem do que comumente tem sido denominado de natureza da ciência. Posteriormente, delineamos nossa busca por descritores mais específicos circunscrevendo os temas: ensino em ciências morfofuncionais, modelos na educação científica e habilidades epistêmicas.

Trata-se de um procedimento fundamental em trabalhos que objetivam construir ferramentas ou referenciais mais seletivos em relação a um dado constructo. A pesquisa bibliográfica constitui procedimento único de identificação, de estruturação e de delimitação dos domínios do constructo. Como referiram Alexandre e Coluci (2011), essas ações tornam possível a construção e adaptação dos itens ou elementos estruturantes de uma dada ferramenta,

principalmente quando colocamos em questão sua validade de conteúdo. Todavia, o risco de o pesquisador avaliar acriticamente suas fontes e ainda definir de forma confusa suas questões tem levado autores a defender revisões sistemáticas, a exemplo de Sousa e Ribeiro (2009).

Cientes disso, justificamos a escolha do primeiro tipo para resguardarmos o processo flexível e iterativo comum em abordagem qualitativa, da concepção à finalização. Entendemos que a clara delimitação do objeto e a busca em fontes reconhecidas não são exclusivas de revisões bibliográficas mais estruturadas. Podemos alcançá-las em um percurso tradicional e, assim, amenizar os vieses supracitados, observou Gil (2017), embora o desenho metodológico mais estruturado e replicável das revisões sistemáticas seja reconhecido como importante, já comentado antes, para determinados objetivos de pesquisa. É claro que esse tipo de levantamento também possui limitações, como aquele próprio à delimitação das perguntas norteadoras (Azevedo; Scarpa, 2017).

O segundo procedimento de levantamento de dados qualitativos consistiu de um questionário do tipo misto, com estrutura apta a levantar dados qualitativos e quantitativos (Rodrigues, 2007; Gil, 2017). Em nosso estudo, esse instrumento assumiu a forma do instrumento de avaliação da matriz. A abordagem qualitativa comumente agrega valorização dos atores sociais como parte do objeto de estudo, pois deve ser sensível a críticas e possibilidade de adequação dos métodos, dos objetivos, ou dos referenciais teóricos da pesquisa. Aqui, esses atores foram os (as) juízes (as) convidados (as) a avaliar a matriz. Contudo, a implicação desses na fidedignidade da pesquisa exige detalhar seu processo seletivo (Strauss; Corbin, 2008; Oliveira, 2008). Isso foi feito por meio da criação de um instrumento próprio (apêndice G) para os objetivos deste trabalho e descrito adiante no levantamento dos dados quantitativos, assim, não tornamos tal descrição redundante.

Por fim, os dados brutos da revisão bibliográfica, configurados no produto deste trabalho, a matriz de referência, foram analisados qualitativamente por meio da tipologia, como apresentada por Bruyne, Herman e Schoutheete (1977), em suas três marcas: exposição, causação e objetivação. Trata-se de um processo analítico ao modo de um ordenamento conceitual, como definem Strauss e Corbin (2008). Enquanto isso, os dados das falas dos juízes, na forma de sugestões de melhoria do material produzido e levantados também no instrumento de avaliação da matriz, como unidade de análise, foram codificados em três categorias: a) relevância; b) clareza; e c) adequação (Grant; Davis 1997 *apud* Cardoso; Scarpa, 2018; Oliveira, 2008). Sua análise deu-se por meio interpretativo.

5.2.1 Análise qualitativa dos dados: a tipologia e suas marcas

A análise que se segue, como apresentado neste estudo, consiste em discorrer sobre as três marcas da tipologia como processo analítico do polo morfológico: exposição, causação e configuração. Logo, miramos a configuração morfológica do nosso objeto: uma matriz de referência para conteúdo curricular no contexto da cultura epistêmica da biologia, subárea citologia, sobre o realismo dos modelos e da modelagem científica em educação. Essa análise resulta de um amplo percurso de objetivação, abrangendo reflexão epistemológica e teórica.

Registremos, outrossim, que o objeto por nós configurado acata a necessidade de delimitação para determinabilidade de relação causal, ainda que dentro de uma perspectiva exploratória. Assim, somos cientes de que o processo de construir um objeto científico implica sempre o risco de fechamento desse sobre si mesmo. Isso está explícito na metodologia quadripolar ao esclarecer: a causação deve se reportar ao objeto, pois foi deslocada para esse, e não para a realidade que lhe serviu de lastro empírico em sua totalidade.

a) Matriz de referência: a exposição

Para Bruyne, Herman e Schoutheete (1977), exposição, causação e configuração são três ações que se completam, e, por isso, são indissociáveis durante o processo de objetivação delineado pelo polo morfológico. Essas estão em todos os tipos analíticos circunscritos a esse polo.

Matriz de referência, taxonomia e tipologia são termos interligados, embora abordá-los sem tal conexão explícita seja possível. Por exemplo, o primeiro ganhou forte evidência técnica no contexto de expansão das avaliações em larga escala ocorridas no Brasil na década de 1990. Por outro lado, passou a influenciar a prática do ensino dos professores ao servir de referência para o currículo real (Franco; Bonamino, 2001). Por certo, é impróprio forçar a exclusividade de instrumentos que se prestam à avaliação, a exemplo de uma matriz, negando-lhes o auxílio também à aprendizagem (Hadji, 1994). Todavia, também é impróprio concluir que esse seja um encaminhamento fácil. A leitura correta desses documentos nem sempre está acessível à familiaridade de determinadas audiências. Lapidá-la, para assim o ser, está na nossa mira.

No âmbito da chamada pedagogia por objetivos, embora com outras denominações¹³, o termo matriz de referência esteve relacionada de forma explícita com a proposição de objetivos educacionais com intercedência em diferentes elementos do currículo

¹³ Por exemplo, Bloom, Hastings e Madaus (1983) usam o termo *tabela de especificações*.

escolar. Concebida como um referente, conforme Hadji (1994), para servir ao ensino, à aprendizagem e à avaliação, representava parte da mudança paradigmática da avaliação como controle para avaliação como regulação, interpretação dos produtos e processos educativos. Sem dúvida, o formalismo estrutural e a dimensão técnica das matrizes se sobressaíram naquele momento expansionista das avaliações externas em relação à proposta pedagógica acima apresentada.

Este trabalho se fundamenta numa perspectiva integrada desses termos e endossada por diversos autores, como Bruyne, Herman e Schoutheete (1977), Tyler (1977), Bloom, Hastings e Madaus (1983) e Hadji (1994). Trata-se de uma perspectiva integrada em dois sentidos: 1) pela tentativa de religar ensino, aprendizagem e avaliação a um mesmo referente; 2) pela análise tipológica que ressalta o tipo, a taxonomia e a matriz como um sistema.

Assim, pretendemos nos desvencilhar de uma associação isolada consagrada ao termo matriz de referência naquelas ações relativas às avaliações sistêmicas. Com efeito, seu espelhamento na racionalidade pedagógica das escolas e na representação didática dos docentes pareceu abafar algumas das relações curriculares anunciadas anteriormente e fundamentais para estrutura da proposta de matriz neste trabalho.

Inclinar-se a ressaltar o valor desse instrumento nessa perspectiva torna necessário enquadrá-lo didaticamente. Isto é, não ficar acuado à deriva técnica que ressalta tenazmente o valor de religar a avaliação à matriz sem apontar outras questões didáticas, mas também enquadrá-lo metodologicamente. Para isso, devemos acolher uma abordagem analítica não restrita à acomodação morfológica que o termo matriz eminentemente sugere. Enfim, elevar esse instrumento a outro patamar propositivo de formalização de conteúdos de ensino impõe revisá-lo em sua estrutura, conteúdo e sentidos ideológicos. Assim, retomemos a primeira frase desta seção a fim de desenvolvê-la em torno daqueles três termos.

A definição de tipos leva à ordenação, ao agrupamento em classes, a uma taxonomia configurável numa matriz. Como um produto a ser objeto de uma abordagem analítica, esta é construída tendo em vista expressar uma tipologia cujo objetivo é especificar características de um conceito ou fenômeno de sentido ainda dúbio para algumas audiências. Com essa intenção, um dado tipo ou constructo não pode ser apresentado parcimoniosamente. Por outro lado, não deve esgarçar-se enquanto processo cumulativo de traços singulares da unidade e das subunidades do conceito de referência. Logo, a interrogação teórica do recorte do objeto imprime às tipologias a essência de sua validade; não dispensável mesmo quando se põe em curso algum artifício quantitativo (Bruyne; Herman; Schoutheete, 1977).

Para Tyler (1977), a importância primária de uma matriz estava na apresentação clara e concisa de objetivos educacionais, propiciada pela delimitação das dimensões comportamental (cognitiva) e conceitual do conteúdo disciplinar. Objetivos assim definidos assumiam significado mais concreto para ação educativa, uma vez que, ao domínio conceitual, era sobreposta uma indicação da margem cognitiva de observação. Ainda mais, uma vez em curso, tal estrutura poderia comportar-se como instrumento de autoavaliação ao qual seus propositores ou utilizadores poderiam retornar e avaliar os traços dos constructos propostos. Isto é, a matriz acomodava um instrumento de avaliação do próprio ensino.

Como instrumento didático, sabemos que uma estrutura matricial entrega outras vantagens, a considerar: 1) indicadores do traço do constructo; 2) orientação do planejamento e diretividade do ensino; 3) sinalização da escolha de modalidade didática adequada aos objetivos propostos; 4) esclarecimento aos estudantes sobre as expectativas de aprendizagem do programa; 5) auxílio ao processo de meta-aprendizagem; 6) construção de instrumentos de avaliação mais válidos; 7) concretização de intenções de avaliação formativa e somativa; 8) referente para autoavaliação (Bloom; Hastings; Madaus, 1983; Hadji, 1994; 2001).

Todas essas funções, segundo Hadji (1994), colocam a construção de um referente como indispensável à apreciação de objetos tão complexos e movediços, como o ensino, a aprendizagem e a avaliação. Contudo, não se pode apresentá-lo como imune a controvérsias. Assim, explica-nos que a existência de repulsa à utilidade de tal dispositivo deveu-se não ao referente em si, mas à necessidade de condições que o tornasse operatório e útil. Por outro lado, a crítica a uma deriva tecnicista sempre o espreita principalmente no campo da sua apropriação quando se tenta impor um padrão monolítico e desarticulado a um instrumento que, em essência, é provisório e situado. É uma referência que, a depender do contexto de uso, pode assumir um caráter mais ou menos austero ou rígido.

No entanto, não é apenas a inércia de um referente que o torna precário como instrumento didático. Hadji (1994) colocou outros ao crivo de uma análise mais crítica que o condiciona articular ensino, aprendizagem e avaliação. Para o autor, há risco de comprometê-lo quando: a) assume-se como configuração estereotipada que não põe em causa a adequação às expectativas de aprendizagem do aluno; b) esquiva-se de construí-lo ou apreciá-lo de forma dinâmica; c) negligencia-se a explicação de sua estrutura junto aos estudantes; d) por fim, não se discutem os resultados de avaliação passíveis de regulação da aprendizagem por comparação entre referido e referente.

Ainda que tenhamos apresentado a perenidade do referente como um perigo que ronda a apropriação desse tipo de dispositivo, sua transitoriedade é evidente ao sondarmos

alguns trabalhos, a saber: Tyler (1977), Bloom, Hastings e Madaus (1983), Anderson (2014). Nesses exemplos, o referente se moveu principalmente por influência do campo da psicologia. No contexto do ensino de ciências, o quadro de referência tem sido influenciado pela nova epistemologia ou epistemologia contemporânea (Cachapuz *et al.*, 2005). Na sua esteira, novos objetivos de educação científica são propostos com o intento de acomodar habilidades para além do domínio cognitivo. Esse ponto é destacado por Coll e Martín (2004) ao analisarem o valor das taxonomias. Para os autores, não é o aspecto formal que agrega melhor valor pedagógico às taxonomias, mas, sobretudo, seu poder de indicar as habilidades e suas subcategorias.

Trata-se de uma demanda sensível ao problema de fazer justiça à aprendizagem científica dos alunos quando restrita aos produtos científicos sob a forma retórica de conclusões (Cachapuz; Praia; Jorge, 2004; Castro, 2006). Essa retórica, muitas vezes, é incapaz de transferir sentido aos próprios produtos, igualando-os à produção de qualquer artefato sem arcabouço teórico. A assertiva de Cachapuz *et al.* (2005, p. 32) é enfática nesse sentido: “a compreensão significativa dos conceitos exige superar o reducionismo conceptual [...]”. Essa superação tem, na epistemologia, um dos seus principais pilares. Entretanto, as habilidades epistêmicas a que nos referimos não se sustentam por si mesmas, pelo contrário, só fazem sentido dentro do sistema conceitual disciplinar. Isso dirimiu o suposto dilema que envolveria a escolha de modalidades de conteúdos de ensino (Martín, 1996).

Ao concordar com as diversas justificativas sobre a necessidade de inclusão de temas sobre ciência no âmbito das próprias disciplinas científicas, não podemos propagá-las como uma ação fácil no tocante à definição desses conteúdos (Cachapuz, 1999). A tangibilidade do domínio conceitual não encontra equivalência operatória quando se trata de definir conteúdo procedimental, atitudinal ou epistêmico, sempre exigente de tratamento teórico interdisciplinar e planejamento metodológico. Neste trabalho, miramos o domínio epistêmico, contudo, atentos às aproximações inevitáveis entre outros domínios do conteúdo.

b) Matriz de referência: a causação

Seguindo diretrizes metodológicas propostas por Bruyne, Herman e Schoutheete (1977) para orientar trabalhos de especificação de termos ou criação de tipologias, fica evidente esse não se constituir um protocolo meramente burocrático de identificação e redação do tipo e suas subcategorias. Resumidamente, recomendam: a) identificar o conceito que defina o objeto da tipologia; b) determinar relações de ordem entre o tipo e os subtipos, isto é, imprimir o

caráter taxonômico da tipologia; c) explicar, por meio de proposições teóricas, características dessas relações.

Neste trabalho, perscrutamos a cultura epistêmica dos modelos em citologia, âmbito do conteúdo conceitual, saturada nos livros didáticos em sua perspectiva apenas icônica e indicada de forma genérica demais nos parâmetros curriculares da área de ciências da natureza, na disciplina de biologia. Portanto, uma vez apresentado o domínio do conceito definidor da tipologia aqui proposta, das habilidades epistêmicas no âmbito da modelagem científica em biologia, estamos aptos a apresentar o desenho da matriz que pretendemos construir neste estudo.

Em síntese, sua construção, segundo encaminhamento proposto por Bloom, Hastings e Madaus (1983), envolve três passos gerais: 1) definição de objetivos epistêmicos; 2) descrição desses objetivos junto ao conteúdo conceitual; 3) proposição de um esboço ou layout para acomodá-los em sua estrutura hierárquica. De posse do levantamento bibliográfico realizado até o momento e da fundamentação teórica recortada para esse objeto de estudo, a estrutura da matriz que propomos, inicialmente, apresenta o layout geral apresentado no Apêndice C e apresentado no tópico a seguir.

c) Matriz de referência: a configuração

Após apresentarmos a exposição e a causação no processo de análise pela tipologia sobre nosso objeto científico, chegamos, enfim, a sua configuração morfológica encerrada no layout final da matriz pré-validação e apresentada no Quadro 2, a qual circunscreve cinco elementos principais: 1) o número de ciclos de modelagem; 2) o conteúdo conceitual de referência; 3) os objetivos epistêmicos para cada ciclo: explorar sistemas complexos com foco na realidade em si mesmo, explorar sistemas complexos com foco na realidade conjecturada; 4) as trinta habilidades ou indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação (conteúdo conceitual e epistêmico); 5) guia de atividades, indicando dois aspectos para orientação dos professores: questões-problema para cada ciclo e finalização do ciclo. Além desses, alguns elementos pré-textuais foram incluídos, os quais podem ser assim resumidos: 1) o título da matriz; 2) a especificação dos tipos de conteúdo – conceitual, ontológico, procedimental e epistêmico.

Quadro 2 – Versão final da Matriz de referência pré-validação

MATRIZ DE REFERÊNCIA: METAMODELAGEM SOBRE O REALISMO DE MODELOS IMAGÉTICOS EM CITOLOGIA		
Conteúdo conceitual: membrana, DNA e metamodelagem		
Conteúdo ontológico: retratadores de entes e descritores de processos		
Conteúdo procedimental: modelagem científica em educação		
Conteúdo epistêmico da cultura disciplinar da biologia: modelos para explorar sistema complexos e modelos para explorar possibilidades desconhecidas		
C1	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo	Modelos e o processo de modelagem científica: metamodelagem no contexto da cultura disciplinar da biologia e da citologia
	2. Objetivo geral	Discutir a natureza dos modelos e o processo de modelagem científica para fundamentar interpretações epistemológicas sobre modelos consensuais imagéticos em biologia e citologia.
	3. Guia de apoio à condução do ensino	<p>3.1 Introduzir o foco do ciclo com questões-problema sobre o tema modelos e modelagem. Exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ O que significa afirmar que um modelo científico é uma representação da realidade? O que um modelo científico pode representar? Existe um modelo completo? Um mesmo conceito, ente ou processo pode ser representado por mais de um modelo? ▪ O que o caráter aproximativo da representação do real pelos modelos nos diz sobre a própria natureza da ciência? ▪ Qual a utilidade de um modelo na ciência (comunicar, investigar ou compreender (explicar, descrever, prever)? ▪ Um cientista pode escolher entre propor um modelo mais preditivo, explicativo e realista? Nesse contexto, um seria melhor do que o outro? ▪ O que implica a criação e avaliação de um modelo? ▪ Um modelo construído, avaliado e aceito pelos cientistas (modelo consensual) pode ser revisado, questionado? Acaso possa, sob qual circunstância isso ocorre? <p>3.2 Finalizar o ciclo indicando o limite do escopo dos modelos ou do ciclo. Exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A cultura epistêmica da biologia tem interesse em objetivos diversos em relação aos modelos, a destacar: explicar, prever, desenvolver conceitos, explorar sistema complexo e explorar possibilidades, mas as diferentes subáreas dessa ciência possuem interesses epistêmicos particulares. ▪ Como a citologia, especificamente, utiliza-se dos objetivos para explorar sistemas complexos e explorar possibilidades?

Continua.

Quadro 2 – Versão final da Matriz de referência pré-validação (*Continuação*)

C1	4. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	C1MOD01 Envolver os estudantes em discussões sobre a natureza dos modelos, circunscrevendo-a como uma representação parcial e intencional de um conceito ou ideia, de uma estrutura, ente ou coisa, de um processo ou uma propriedade, sejam eles biológicos, físicos, químicos ou sociais.
		C1MOD02 Discutir sobre a característica dos modelos segundo a qual nenhum deles é certo ou completo, embora possa haver diferença na complexidade epistemológica (descrever é mais simples que explicar) e ontológica (abordar apenas a descrição de um ente é mais simples do que explicar processos) de uns sobre outros.
		C1MOD03 Apresentar diferentes objetivos dos modelos científicos na biologia, como descrever, explicar, prever, guiar experimentos e observações, explorar sistemas complexos e explorar possibilidades desconhecidas, sinalizando que será enfatizado no ciclo C2 o objetivo “explorar sistema complexo”; e no ciclo C3 “explorar possibilidades desconhecidas no contexto da citologia”.
		C1MOD04 Explicar que a parcialidade representacional dos modelos culmina com o uso de múltiplos modelos para representar um dado conceito ou ideia, uma estrutura, um ente ou coisa, um processo ou uma propriedade.
		C1MOG05 Discutir a modelagem como um processo que envolve principalmente a criação e avaliação de modelos, e, alternativamente, também podendo ser estendida apenas ao uso e à revisão de modelos.
		C1MOG06 Discutir aspectos da modelagem relativa à etapa de criação de modelo, caracterizada principalmente pela proposição de inserir a um modelo um dado empírico ou teórico.
		C1MOG07 Discutir aspectos metodológicos específicos da etapa de avaliação de modelos, a saber: realização de experimentos empíricos, realização de experimentos de pensamento e observações.
		C1MOG08 Discutir sob quais condições a etapa de revisão de modelos é necessária, a destacar: quando o processo natural de avanço na compreensão de uma dada realidade exige a proposição de alterações em um dado modelo aceito consensualmente para acomodar novo aspecto teórico ou empírico.
		C1MOG09 Discutir aspectos da modelagem na perspectiva apenas de uso dos modelos, isto é, usá-los para explicar, comunicar ou representar um dado conceito mais elaborado.
		C1MOG10 Discutir aspectos da modelagem na perspectiva apenas de uso dos modelos para guiar experimentos ou observação nas atividades de investigação científica.

Continua.

Quadro 2 – Versão final da Matriz de referência pré-validação (*Continuação*)

C2	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo	Contínuo de modelos imagéticos sobre DNA e membrana, bem como a modelagem subjacente a estes.
	2. Objetivo geral	Interpretar ¹⁴ modelos imagéticos mirando o DNA e a membrana. Isto é, captar seus significados a partir do objetivo para os quais foram criados ou modelados. Neste ciclo, destacar o objetivo epistêmico de explorar sistemas complexos com foco na realidade observada em si mesma, isto é, naquilo que o modelo pretende captar por meio da observação, da descrição ou da dedução teórica direta.
	3. Guia de apoio à condução do ensino	<p>3.1 Introduzir o foco do ciclo com questões-problema sobre o contínuo de modelos. Exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ O que nossos modelos imagéticos sobre o DNA estão representando (processo, estrutura)? ▪ O que nossos modelos sobre a membrana estão representando (processo, estrutura)? ▪ O que ficou de fora da representação em cada um dos modelos imagéticos apresentados? ▪ O que o contínuo de modelos nos permite inferir sobre a atividade científica de uma perspectiva de subjetividade do modelador e da cultura epistêmica dos cientistas que estudam a célula? ▪ O que o contínuo de modelos nos permite inferir sobre o grau de complexidade epistemológica? ▪ Por que modelos simplificados são úteis no estudo de fenômenos complexos? ▪ Qual a importância do realismo para os modelos da citologia? Que outras subáreas da biologia vocês entendem fazer uso de modelos realistas? E quais fazem uso de modelos menos realistas? ▪ A proposição ou a criação dos modelos apresentados, como a dupla hélice do DNA ou o mosaico fluido da membrana, se basearam em quais dados teóricos, observacionais, descritivos? ▪ O que foi adicionado ao modelo da dupla hélice do DNA e do mosaico fluido da membrana? ▪ O que tornou os modelos da dupla hélice do DNA e o do mosaico fluido aceitos pela comunidade científica? ▪ O uso de modelos implica, de alguma forma, renunciar parte do seu realismo ontológico. Essa limitação também implica uma avaliação negativa sobre o uso dos modelos? ▪ É concebível aos cientistas sugerirem uma nova representação sobre um dado modelo? Acaso sim, justifiquemos.

Continua.

¹⁴ Utilizamos o termo interpretar no sentido defendido por Anderson (2014).

Quadro 2 – Versão final da Matriz de referência pré-validação (*Continuação*)

C2		<p>3.2 Sinalizar o limite do escopo do modelo/modelagem ao término do ciclo</p> <ul style="list-style-type: none"> Nossos modelos tinham por objetivo representar a realidade em si mesma, sendo inclinados para o realismo dos modelos imagéticos em citologia. Com isso, buscamos interpretar nossos modelos ou a prática da modelagem de uma perspectiva principalmente dos dados empíricos (observação ou experimentação) ou teóricos que sustentaram sua proposição. No entanto, é certo que os modeladores estiveram inicialmente envolvidos com raciocínios que constituíam apenas hipóteses sobre a realidade que buscavam explicar. Vamos agora tentar refazer esse percurso sobre a versão conjecturada do nosso contínuo de modelos.
4. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação		<p>C2MOD11</p> <p>Envolver os estudantes na identificação de aspectos morfofuncionais dos modelos, mirando o foco da representação, isto é, sua intencionalidade ontológica, ao longo de um contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA: retratador de estrutura e descritor de processo. Para isso, deve-se sempre encorajá-los ou desafiá-los, solicitando-lhes um novo modelo sobre um mesmo processo.</p>
		<p>C2MOD12</p> <p>Envolver os estudantes na identificação de aspectos morfofuncionais dos modelos, mirando o foco da representação, isto é, sua intencionalidade ontológica, ao longo de um contínuo de modelos imagéticos sobre a membrana: retratador de estrutura e descritor de processo. Para isso, sempre os encorajar ou os desafiar, solicitando-lhes um novo modelo sobre um mesmo processo.</p>
		<p>C2MOD13</p> <p>Esclarecer que a abordagem dos problemas científicos por meio de modelos simples reflete uma condição metodológica inerente à prática científica: acrescentar muito detalhe a um modelo pode comprometer sua capacidade de identificar relação causa-efeito no contexto de um dado estudo, principalmente quando se está no início deste.</p>
		<p>C2MOD14</p> <p>Envolver os estudantes na identificação de detalhes de modelos imagéticos em citologia que, mesmo sem representar a realidade em riqueza de detalhes, permite aos cientistas compreenderem melhor o conhecimento naquela área.</p>
		<p>C2MOD15</p> <p>Envolver os estudantes na interpretação de modelos imagéticos sobre a membrana e o DNA, a partir do objetivo epistêmico de explorar sistemas complexos para destacar a ciência enquanto atividade humana, portanto, influenciada pela seletividade e subjetividade dos cientistas. Com isso reforçar que para cada modelo o modelador elege, subjetivamente, uma certa quantidade de realidade a incluir na representação.</p>

Continua.

Quadro 2 – Versão final da Matriz de referência pré-validação (*Continuação*)

		<p>C2MOD16 Envolver os estudantes na interpretação de modelos imagéticos sobre o DNA e a membrana a partir do objetivo sistêmico de explorar sistemas complexos para destacar o aspecto social da ciência externalizado pelos problemas próprios de uma cultura epistêmica particular, como a citologia e a biologia molecular interessadas por modelos realistas, mecanicistas.</p> <p>C2MOG17 Interpretar modelos sobre o DNA de uma perspectiva da prática da modelagem em si, isto é, da inferência empírica e/ou dedutiva que permitiram a validação do modelo. Em outros termos, refletir sobre os dados empíricos ou teóricos que permitiram aos cientistas fundamentarem a validação desses modelos.</p> <p>C2MOG18 Interpretar modelos sobre a membrana de uma perspectiva da prática da modelagem em si, isto é, da inferência empírica ou dedutiva que permitiram a validação do modelo. Em outros termos, refletir sobre os dados empíricos ou teóricos que permitiram aos cientistas fundamentarem a validação desses modelos.</p> <p>C2MOG19 Envolver os estudantes na discussão sobre o processo de revisão do modelo. Por exemplo, indagando se o modelo da dupla hélice do DNA continua aceito, se algum dado novo, empírico ou teórico, lhe foi acrescentado posteriormente.</p> <p>C2MOG20 Envolver os estudantes na discussão sobre o processo de revisão do modelo. Por exemplo, rever modelos sobre a membrana e refletir sobre o que eles nos revelam do ponto de vista da natureza das explicações científicas.</p>
C3	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo	Contínuo de modelos imagéticos sobre DNA e membrana, bem como a modelagem subjacente a estes: foco na realidade em si mesma
	2. Objetivo geral	Interpretar o contínuo de modelos imagéticos mirando o DNA e a membrana. Isto é, captar seus significados a partir do objetivo para os quais foram criados ou modelados. Neste ciclo, é importante destacar o objetivo epistêmico e explorar possibilidades desconhecidas de sistemas complexos. Em outras palavras, explorar ou acessar a realidade de forma apenas conjecturada.
	3. Guia de apoio à condução do ensino	<p>3.1 Introduzir o foco do ciclo com questão-problema sobre o contínuo de modelos. Exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Projetei um modelo. E agora, o que pensar sobre ele? Ao propor um modelo, o modelador geralmente pode combinar três tipos de raciocínio para realizar inferência (supor que algo existe a partir de outro existente): dedução, indução e abdução sobre o conhecimento. Por meio da dedução, ele se orienta pelo conhecimento teórico construído, pela indução se orienta pelo conhecimento descritivo, observacional ou experimental de forma direta. Esses foram foco do nosso ciclo anterior.

Continua.

Quadro 2 – Versão final da Matriz de referência pré-validação (*Continuação*)

		<p>No entanto, após decidir sobre o que acrescentar ao modelo (criar ou revisar um modelo), o modelador conjectura muitas coisas sobre esse que ainda não observou, experimentou ou descreveu ainda. Desse modo... tentemos refazer possíveis conjecturas que nossos modeladores talvez tenham feito sobre nosso contínuo de modelos sobre o DNA e a membrana;</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Imaginemos ou pesquisemos possíveis questões levantadas por James Watson e Francis Crick sobre o modelo da dupla hélice do DNA; ▪ Imaginemos ou pesquisemos possíveis questões levantadas por Singer e Nicholson sobre o modelo do mosaico fluido da estrutura da membrana. <p>3.2 Sinalizar o limite do escopo do modelo/modelagem ao término do ciclo</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quais atributos dos nossos modelos sobre o DNA e a membrana foram baseados em inferências experimentais? Quais atributos dos nossos modelos continuam ainda apenas baseados em inferências abduativas ou hipotéticas?
	4. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	<p>C3MOD21 Envolver os estudantes na interpretação de modelos imagéticos sobre o DNA e, a partir do objetivo epistêmico, explorar possibilidades desconhecidas, destacando que este ressalta outra característica da natureza da ciência: a criatividade ancorada no raciocínio hipotético ou abduativo. Com isso, reforçar que a criação de modelos imagéticos envolve, anterior à descrição, à observação ou à experimentação da realidade em si mesma, típico do raciocínio indutivo, o levantamento de hipóteses sobre a organização, composição da realidade que se pretende representar.</p> <p>C3MOD22 Envolver os estudantes na interpretação de modelos imagéticos sobre a membrana e, a partir do objetivo epistêmico, explorar possibilidades desconhecidas, destacando que este ressalta outra característica da natureza da ciência: a criatividade ancorada no raciocínio hipotético ou abduativo. Com isso, reforçar que a criação de modelos imagéticos envolve anterior à descrição, à observação ou à experimentação da realidade em si mesma, típico do raciocínio indutivo, o levantamento de hipóteses sobre a realidade que pretende representar.</p> <p>C3MOD23 Destacar que muitos modelos apresentados nos livros didáticos retratam a condição de um modelo já explicativo, embora possa ser uma explicação parcial, que por isso modelos são denominados esses consensuais. Portanto, não refletem mais as características dos modelos como discutidos neste ciclo C3 principalmente, onde eles ainda refletem o estágio inicial de pesquisa, em que muitos ainda funcionam como guia de pesquisa.</p> <p>C3MOG24 Envolver os estudantes na interpretação sobre o processo de criação do modelo da estrutura de DNA, como o embasamento em experimentos de pensamento, solicitando-lhes a levantar ou buscar por informação sobre algumas hipóteses que, possivelmente, os modeladores construíram e tentaram provar posteriormente.</p>

Continua.

Quadro 2 – Versão final da Matriz de referência pré-validação (*Conclusão*)

		<p>C3MOG25 Envolver os estudantes na interpretação sobre o processo de criação do modelo de membrana, como o embasamento em experimentos de pensamento, solicitando-lhes a levantar ou buscar por informação sobre hipóteses que, possivelmente, os modeladores construíram e tentaram provar posteriormente.</p>
		<p>C3MOG26 Envolver os estudantes em discussões sobre os processos de dedução, indução e abdução, ajudando-os a compreender que estes fazem parte da mesma estrutura triádica de raciocínio com que os cientistas buscam explicações para as realidades, embora as diferentes culturas disciplinares recorram a estes de forma a acentuar um ou outro.</p>
		<p>C3MOG27 Destacar que a inferência científica por meio da indução e dedução (inferência empírica e teórica) é um traço mais evidente do que a abdução (inferência abdutiva) quando nos referimos à natureza do conhecimento científico e seus processos. Este último quase sempre fica subentendido, embora seja o tipo de raciocínio mais revelador da ciência como atividade criadora.</p>
		<p>C3MOG28 Explicar que embora a abdução por si não tenha natureza empírica ou teórica, é hipotética, imaginativa, possui ou pretende lastro nesses em sua pretensão de alcançar o conhecimento real.</p>
		<p>C3MOG29 Envolver os estudantes na discussão introdutória sobre o processo da modelagem com foco nos objetivos explicativos dos modelos, destacando que estes, na verdade, refletem um estágio avançado que a representação alcançada depois de um certo tempo de pesquisa. Isto é, a modelagem é uma prática influenciada não só por objetivos epistêmicos.</p>
		<p>C3MOG30 Envolver os estudantes na discussão introdutória sobre o processo da modelagem com foco nos modelos preditivos, destacando que estes refletem representações mais abstratas, diferente dos modelos imagéticos, mecanicistas e realistas típicos da citologia. Sendo os primeiros típicos dos modelos matemáticos utilizados na ecologia, evolução e genética de população, por exemplo.</p>
<p>Observação: código alfanumérico dos indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação. A primeira letra e o primeiro número indicam o ciclo e número do ciclo ao qual a habilidade pertence (C1, C2 ou C3). As três letras seguintes especificam a inclinação da habilidade para os modelos em si (MOD) ou para a modelagem (MOG). O último par numérico indica a posição topológica do indicador de ensino, aprendizagem e avaliação na matriz.</p>		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Acolhemos para essa configuração muitas das ideias de Schwarz e White (2005), Svoboda e Passmore (2011) e as adaptamos ao propósito deste trabalho. Essas nos pareceram conveniente uma vez que a intenção original das autoras também indicava orientar o planejamento curricular de um trabalho fundamentado nos temas metamodelagem e cultura

epistêmica disciplinar da biologia. Por outro lado, o conceito de ciclo de aprendizagem, determinante para expressar o caráter parcial dos modelos científicos, bem como o processo de aprendizagem progressiva, foi referenciado principalmente a partir de Halloun (2006).

As habilidades, como termo que resume duas dimensões do conteúdo, conceitual e epistêmico, assumirão a forma de indicadores de ensino, de aprendizagem e de avaliação. Tyler (1977) adverte que é preciso ter cuidado em não se estender com o número de habilidades a serem propostas. Segundo o autor, a generalidade pode levar à descrição de termos sem aptidão concreta para indicar aprendizagens e orientar o ensino. Como o que está em causa na proposição de referente desse tipo tem a ver com a capacidade de os ciclos sinalizarem uma dada evolução paradigmática em torno dos modelos, não será a quantidade de habilidades em si que definirá a qualidade da matriz, mas o poder descrito delas.

Concordamos com o autor quando afirma ser a parte não conceitual, da definição de habilidades, o ponto nevrálgico da criação de uma matriz de referência. Porém, entendemos que, mesmo supondo que tal descrição tipológica tenha sido conduzida com sucesso, seria útil, do ponto de vista didático, acrescentar-lhe um suporte àquelas. Uma espécie de guia para as atividades de ensino dos professores ao estilo proposto por Coll e Martín, (2004), Schwarz e White (2005), Svoboda e Passmore (2011). Sob a forma de questões-problema, sua função é nortear o foco das habilidades propostas em cada ciclo de modelagem.

Temos observado ser esse um aspecto importante a se incluir no plano de trabalho com foco em modelagem. Por exemplo, Schwarz e White (2005) mapearam da revisão de literatura questões como: O que é um modelo? O que os modelos representam? Pode haver modelos diferentes para o mesmo objeto ou fenômeno? Os modelos representam a realidade absoluta? Para que servem os modelos? Windschitl *et al.* (2008a) *apud* Svoboda e Passmore (2011) destacam: O que estamos deixando de fora do nosso modelo? Por que? Esperamos que nosso modelo produza previsões precisas? O que significa se nosso modelo não puder produzir previsões?

Essas perguntas, como percebemos, giram em torno da natureza dos modelos ou do processo de modelagem. Associadas às habilidades propostas, aos ciclos de modelagem, pensamos culminar em um material didático com maior poder de uso e adaptação pelos professores. Apenas sob a forma de listas de habilidades as matrizes não alcançarão seu objetivo principal de propor uma ação educativa mais concreta, como havia apontado Tyler (1977), ou de servir como referente múltiplo do ensino, da avaliação e da aprendizagem, como analisaram Bloom, Hastings e Madaus (1983), Hadji (1994), Perrenoud (1999), ao imputarem a exigência de um referente explícito como condição essencial do ensino assistido por avaliação formativa.

5.3 Levantamento de dados quantitativos – primeira etapa da validação da matriz

Os dados quantitativos foram levantados junto aos (às) juízes (as) por meio do instrumento de avaliação da matriz de ensino apresentado no **apêndice D**. Trata-se de um instrumento criado para os objetivos deste estudo e cujos itens espelham o conteúdo da matriz em cada um dos seus eixos estruturantes, domínios ou elementos, a destacar: a) conteúdo conceitual objeto do ciclo; b) objetivo geral do ciclo; c), guia de apoio à condução do ensino; e d) indicadores de ensino, de aprendizagem e avaliação.

Alguns elementos, mesmo compondo o layout final da matriz na sua versão pré-validação, a exemplo da indicação dos tipos de conteúdo, não foram incluídos como indicadores porque entendemos terem sido contemplados pelos selecionados. O instrumento, por espelhar a matriz, nosso objeto de avaliação, foi dividido em três ciclos. Construímos 43 indicadores, sendo 15 para o primeiro ciclo, 14 para o segundo e 14 para o terceiro. Às habilidades de ensino, aprendizagem e avaliação, dedicamos 30 indicadores; e ao guia de apoio ao ensino, 13.

O instrumento sinalizava algumas orientações gerais, a saber: a) de identificação: nome do (a) Juiz (a); b) de esclarecimento sobre as respostas: estimados (as) juízes (as): marcar no instrumento de avaliação da matriz a seguir apenas uma das opções: ☐ 1 para discordo totalmente; ☐ 2 para concordo parcialmente; ☐ 3 para concordo; e ☐ 4 para concordo totalmente. No caso de opções marcadas com 1 ou 2, por gentileza, sugerir alterações de quaisquer tipos: exclusão, inclusão, revisão; c) de explicação do código alfanumérico das 30 habilidades: a primeira letra e o primeiro número indicam número do ciclo ao qual a habilidade pertence (C1, C2 ou C3). As três letras seguintes especificam a inclinação da habilidade para os modelos em si (MOD) ou para a modelagem (MOG). O último par numérico indica a posição topológica da habilidade na matriz.

Foram contatados (as) juízes (as), por meio de carta convite (Apêndice A), que atingiram pontuação igual ou superior ao ponto de corte, indicado no instrumento de seleção dos (as) juízes (as) (Apêndice G). Mais detalhes do estudo disponibilizamos por meio dos instrumentos: 1) termo de consentimento livre e esclarecido – TCLE (Apêndice-B); 2) procedimento operacional padrão 1 – POP-1 (Apêndice E); 3) procedimento operacional padrão 2 – POP-2 (Apêndice-F); e 4) matriz de referência (Apêndice C). Esses procedimentos também foram utilizados por outros autores, Lima (2017; 2020) e Moura *et al.* (2017), em trabalhos que objetivam a validação de conteúdo de tecnologias educativas. Todos os documentos explicativos do delineamento da pesquisa e do levantamento de dados foram enviados via e-mail.

A amostra foi do tipo não probabilística, pertinente quando o objetivo do estudo não é a generalização da população (Oliveira, 2008). Apesar de ser não probabilística, com sugestão de tamanho divergente entre os autores, a escolha por um número ímpar evita o viés do empate de opiniões, como concluiu Lima (2017) ao comentar Lynn (1986) e Vianna (1982). Essa é uma exigência importante principalmente quando se avalia apenas qualitativamente um dado instrumento por meio de um processo iterativo e discursivo, como o fizeram Cardoso e Scarpa (2018), ao validarem uma ferramenta de análise de propostas de ensino investigativas.

Neste estudo, adotamos uma amostra com 10 juízes (as). O número máximo da prescrição proposta por Lynn (1986), assim detalhada: mínimo de 5 e máximo de 10 para esse tipo de trabalho. Essa amostra nos resguardou ainda em relação à exigência para termos como ponto de corte para o I-IVC de cada item o valor mínimo 0,78, consoante Alexandre e Coluci (2011). Lima (2017; 2020) utilizou 9 juízes em dois estudos de validação de cartilha educacional, justificando o caráter ímpar em caso de empate de opiniões entre os juízes. Como não propusemos discussões interativas e iterativas entre os juízes no processo de validação da matriz construída, ao modo de Cardoso e Scarpa (2018), acatamos o número máximo indicado acima.

A fundamentação teórica para validação de conteúdo a qual nos filiamos para este estudo, mais do que exigir uma amostra para significância da avaliação, exige selecionar qualitativamente os juízes. Assim, a expertise do participante em relação à temática do estudo é uma exigência. Isso torna necessário definir um instrumento com critérios capazes de identificar os conhecimentos requisitados para julgar os constructos, de maneira a garantir mais fidedignidade no procedimento de avaliação. Segundo Melo *et al.* (2011), os critérios de Fehring (1994), originalmente propostos para escolha de especialistas em diagnóstico de enfermagem, têm sido utilizados em outros contextos com adaptações. No entanto, advertem sobre alguns cuidados: 1) descaracterização do instrumento adaptado; 2) ausência de definição e justificativa de critérios no âmbito de um objeto próprio.

Considerando essas advertências, nos sentimos confortáveis em assumir nosso instrumento, apêndice G, de seleção de juízes apenas como fundamentado em Fehring (1994). Fundamentado ou baseado porque mantivemos algumas das ideias originais do autor, a saber: conhecimento teórico e experiência profissional como eixos estruturantes do instrumento, ponto de corte em 5 e pontuação máxima em 15 pontos. Para satisfazer esta última, assumimos que a maior pontuação prevaleceria sobre a menor em cada um dos cinco critérios do instrumento. Portanto, não haveria acumulação desses. Porém, nossos critérios envolveram os aspectos: 1.1 graduação em biologia; 1.2 graduação em outra área/disciplina; 2.1 especialização em ensino

ou educação; 2.2 especialização em ciências morfofuncionais; 2.3 mestrado em ensino ou educação; 2.4 mestrado em ciências morfofuncionais; 2.5 doutorado em ensino ou educação; 2.6 doutorado em ciências morfofuncionais; 3.1 participação em grupo de estudo em educação ou ensino; 3.2 participação em grupo de estudo em ciências morfofuncionais; 4.1 publicação no âmbito da educação ou ensino; 4.2 publicação no âmbito das ciências morfofuncionais; 4.3 publicação sobre modelo/modelagem em educação ou ensino; 4.4 publicação sobre modelo/modelagem em ciências morfofuncionais; 5.1 experiência laboral com o ensino de citologia na educação superior ou ensino de biologia na educação básica; 5.2 experiência laboral com o ensino de ciências morfofuncionais em outros campos disciplinares, como anatomia, embriologia, histologia na educação superior.

A originalidade no direcionamento dos critérios aos objetivos do trabalho, como, por exemplo, a experiência teórica e prática com a temática modelo e modelagem na educação científica foi registrada. Também definimos em 3 os critérios a serem contemplados na pontuação do ponto de corte. Como aumentamos os eixos estruturantes do instrumento, consideramos importante torná-los mais representados no ponto de corte. A pontuação dos juízes está sintetizada na tabela abaixo. Esta foi consultada na plataforma lattes. O título de cada um dos critérios pode ser consultado no parágrafo acima ou no apêndice G.

Tabela 1 – Escores para caracterização dos juízes (as)

Juiz (a)	Cr. 1.1	Cr. 1.2	Cr. 2.1	Cr. 2.2	Cr. 2.3	Cr. 2.4	Cr. 2.5	Cr. 2.6	Cr. 3.1	Cr. 3.2	Cr. 4.1	Cr. 4.2	Cr. 4.3	Cr. 4.4	Cr. 5.1	Cr. 5.2	Pontuação
Dio	2	0	0	0	0	1	0	1,5	1	0	2	0	2	0	2	0	11,5
Ane	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0,5	2	0	0	0	2	0	08,5
Tina	2	0	0	0	2	0	0	0	1	0	2	0	0	0	2	0	09,0
Nina	2	0	0	0	0	1	0	1,5	0	0,5	0	1	0	1	2	0	09,0
Ozy	2	0	0	0,5	0	1	0	1,5	1	0	2	0	2	0	2	0	11,0
Cind	2	0	1	0	2	0	3	0	1	0	2	0	2	0	2	0	15,0
Brian	2	0	1	0	2	0	3	0	1	0,5	2	0	0	0	2	0	13,5
Fred	2	0	1	0	2	0	0	0	1	0	2	0	0	0	2	0	10,0
Dilan	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	06,0
Gal	2	0	0	0	0	0	0	1,5	1	0	2	0	2	0	2	0	10,5

Fonte: Elaborada pelo autor.

Observamos que 90% dos juízes pontuaram bem acima do ponto de corte sugerido pelo instrumento de seleção, 05 pontos, a exceção foi Dilan, com apenas 6 pontos, ficando próximo desse ponto. A expertise da graduação em biologia, critério 1.1. também foi atingida por 90% dos juízes. Outro dado significativo foi em relação à experiência laboral dos juízes

com o ensino de biologia na educação básica ou ensino de citologia no ensino superior, critério 5.1, com 90% dos juízes pontuando nesse critério. No entanto, a expertise mais sofisticada em torno da temática modelo e modelagem científica é observada apenas em 40% da amostra. Isso pode ter refletido na menor participação dos juízes no apontamento de sugestões de melhoria do instrumento. As respostas levantadas entre os dez juízes inicialmente foram sistematizadas em uma tabela e posteriormente analisadas com os recursos estatísticos pertinentes. Essa sistematização, na íntegra, encontra-se no apêndice H. A tabela a seguir ilustra esse processo no âmbito do primeiro ciclo até o indicador I.6. Os nomes originais dos juízes (as) foram substituídos por pseudônimos, pois tínhamos de manter seus anonimatos em virtude da análise qualitativa das falas no espaço de sugestão de melhoria do instrumento.

Tabela 2 – Síntese dos escores da avaliação da matriz pelos juízes (as)

VALORAÇÃO DOS ÍTENS: 1 – 2 – 3 – 4	ESCORES OBTIDOS
I.1 O conteúdo conceitual objeto do ciclo 1 é relevante, adequado e claro para apoiar o ensino baseado em modelagem.	Juiz: Dio 4
	Juíza: Ane 4
	Juíza: Tina 4
	Juíza: Nina 4
	Juiz: Ozy 4
	Juíza: Cind 4
	Juiz: Brian 3
	Juiz: Fred 4
	Juiz: Dilan 4
	Juíza: Gal 4
	Juiz: Dio 4
	Juíza: Ane 4
	Juíza: Tina 4
	Juíza: Nina 4
	Juiz: Ozy 4
	Juíza: Cind 4
I. 2 O conteúdo conceitual objeto do ciclo 1 é relevante, adequado e claro para apoiar os ciclos 2 e 3 do ensino baseado em modelagem, mirando a citologia.	Juiz: Brian 3
	Juiz: Fred 4
	Juiz: Dilan 4
	Juíza: Gal 4
	Juiz: Dio 3
	Juíza: Ane 4
I.3 O objetivo geral do ciclo 1, discutir a natureza dos modelos e o processo de modelagem para fundamentar interpretações sobre modelos consensuais imagéticos, é relevante, adequado e claro para discutir o respectivo conteúdo conceitual objeto do ciclo.	Juíza: Tina 3
	Juíza: Nina 4
	Juiz: Ozy 4
	Juíza: Cind 4
	Juiz: Brian 3
	Juiz: Fred 4
	Juiz: Dilan 4
	Juíza: Gal 4
	Juíza: Gal 4

Continua.

Tabela 2 – Síntese dos escores da avaliação da matriz pelos juízes (as) (*Conclusão*)

VALORAÇÃO DOS ÍTENS: 1 – 2 – 3 – 4	ESCORES OBTIDOS	
I. 4 As questões-problema são relevantes, adequadas e claras em relação ao foco do ciclo de modelagem.	Juiz: Dio	4
	Juíza: Ane	4
	Juíza: Tina	4
	Juíza: Nina	4
	Juiz: Ozy	4
	Juíza: Cind	4
	Juiz: Brian	3
	Juiz: Fred	4
	Juiz: Dilan	4
	Juíza: Gal	4
I. 5 A sinalização do limite ou escopo dos modelo e da modelagem no ciclo foi indicada claramente.	Juiz: Dio	3
	Juíza: Ane	4
	Juíza: Tina	3
	Juíza: Nina	4
	Juiz: Ozy	4
	Juíza: Cind	4
	Juiz: Brian	3
	Juiz: Fred	4
	Juiz: Dylan	4
	Juíza: Gal	3
VALORAÇÃO DOS ÍTENS: 1 – 2 – 3 – 4	ESCORES OBTIDOS	
I.6 C1MOD01 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	Juiz: Dio	4
	Juíza: Ane	4
	Juíza: Tina	4
	Juíza: Nina	4
	Juiz: Ozy	4
	Juíza: Cind	4
	Juiz: Brian	3
	Juiz: Fred	4
	Juiz: Dylan	4
	Juíza: Gal	4

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por fim, a criação do instrumento de avaliação da matriz propriamente envolveu, entre outras ações, a articulação dos critérios de Grant e Davis (1997 *apud* Cardoso; Scarpa, 2018), para validade de conteúdo, com aspectos da modelagem em educação científica como identificados por Schwarz e White (2005), Svoboda e Passmore (2011) e Halloun (2006), entre outros autores. Apoiados por esse quadro de referência estruturamos os domínios da matriz, bem como os seus constructos principais: modelos e modelagem científica no contexto da cultura disciplinar da cultura epistêmica da biologia/citologia.

5.4 Análise quantitativa dos dados¹⁵: segunda etapa da validação da matriz

Inicialmente, recordemos alguns princípios sobre o conceito de validade de conteúdo¹⁶. Segundo Bloom, Hastings e Madaus (1983), ela se refere à correspondência dos itens do instrumento de avaliação com o programa de referência ou seu conteúdo. Isto é, um instrumento de avaliação tem validade de conteúdo quando espelha uma amostra significativa da unidade de aprendizagem. Do mesmo modo a entendemos ao defendê-la como a correspondência dos itens da matriz, um instrumento autorizado a servir ao ensino, à aprendizagem e à avaliação, com os constructos¹⁷ analisados neste trabalho: habilidade epistêmica sobre modelos e modelagem científica no contexto da cultura disciplinar da biologia.

Os autores supraindicados enfatizam que o uso de juízes especialistas em um dado conteúdo fornece à técnica apropriada para verificar essa correspondência, uma vez que supõem-se possuírem aptidão para reconhecer os traços mais significados de um dado constructo. Definem 75% de concordância como ponto de corte. Menos de 50% tornaria a revisão do item necessária. Existem diversas técnicas para validação de conteúdo de um instrumento e ainda com possibilidade de combinação entre essas. O IVC é um procedimento estruturado e comum em estudos de produção e validação de materiais didáticos em abordagem de tecnologia educacional, seja do tipo impressa, como o fizeram Lima *et al.* (2017; 2020), ou digital, a exemplo de Silva *et al.* (2023).

Para Alexandre e Coluci (2011), trabalhos de validade de conteúdo de instrumentos de avaliação assumem caráter incondicional quando existe o objetivo de criação ou adaptação de dispositivos capazes de garantir o levantamento de indicadores confiáveis. Apresentam o IVC como um desses métodos. Geralmente, envolvem duas etapas gerais: construção ou adaptação do instrumento propriamente e posterior validação por especialistas e público de interesse. Nosso trabalho debruçou-se sobre um instrumento próprio conforme já apresentado ao longo deste texto. A primeira etapa envolveu impreterivelmente o estudo teórico dos constructos e posterior estruturação do polo morfológico na forma de uma matriz.

¹⁵ Todas as análises estatísticas foram realizadas usando a linguagem de programação R (R, versão 4.3.1, Team 2013). Trata-se de uma linguagem de programação multiparadigma voltada à manipulação, análise e visualização de dados (Ihaka; Gentleman, 1996).

¹⁶ Sobre outros tipos de validade, consultar: Bloom, Hastings e Madaus (1983); Vianna, 1989; Souza, Alexandre e Guirardello (2017).

¹⁷ Assumimos, neste trabalho, a definição de constructo posta por Vianna (1989, p. 195) como sendo “traços, aptidões ou características abstraídos de uma variedade de comportamentos que tenham significado educacional (ou psicológico)”.

Da perspectiva da etapa de validação, conseguimos reunir características dos dois sujeitos sociais na amostra dos juízes. Isso porque nosso público-alvo mirou professores da disciplina escolar biologia, sendo que 90% dos nossos juízes tinham, no mínimo, graduação, indicador de alguma expertise, não eram leigos no assunto, alguns com experiência docente na educação básica na supraindicada disciplina. Por sua vez, sugerem, ainda, Alexandre e Coluci (2011), que procedimentos quantitativos e qualitativos possam ser utilizados nesse processo. Explicamos, anteriormente, o levantamento e a análise desses últimos. Concentramo-nos agora nos dados oriundos do IVC, embora aqui também não se exclua a análise qualitativa.

Esse procedimento estatístico é um método parcimonioso que utiliza dados brutos de escala do tipo Likert. Possui a vantagem de ser usado tanto para avaliar os itens individuais, seus domínios ou o instrumento como um todo. Nossos indicadores foram valorados em uma escala graduada de 1 a 4, indicada por tipo de estudo consoante Damásio (2021), do tipo Likert, com o seguinte código de valoração: **1** para discordo totalmente; **2** para concordo parcialmente; **3** para concordo; e **4** para concordo totalmente, como já havíamos apresentado. Esse padrão foi utilizado em outros estudos dessa natureza, como em Lima *et al.* (2017) e Lima *et al.* (2020). Outros autores utilizaram uma escala graduada em 5 pontos, como nos estudos de Silva *et al.* (2023) e Tamada e Cunha (2023).

A opção dos autores pelos comandos “concordo” e “discordo”, e suas variantes, nos pareceu sugestivo, uma vez que o IVC faz alusão ao termo “concordância”. Isto é, o IVC se refere à percentagem de concordância entre os juízes sobre um dado item do instrumento (I-IVC) ou ao instrumento como um todo (S-IVC), segundo Damásio (2021). Ao responder a determinado indicador, os juízes deveriam atentar, ainda, conforme sugerido pelo comando dos itens, se esse era representativo do ensino baseado em modelagem – a relevância. Se estava claro sobre o aspecto dos modelos ou da modelagem que pretendia expressar – clareza. Por fim, se mantinham coerência interna com o tema principal ou domínio da matriz – adequação (Grant; Davis, 1997 *apud* Cardoso; Scarpa, 2018).

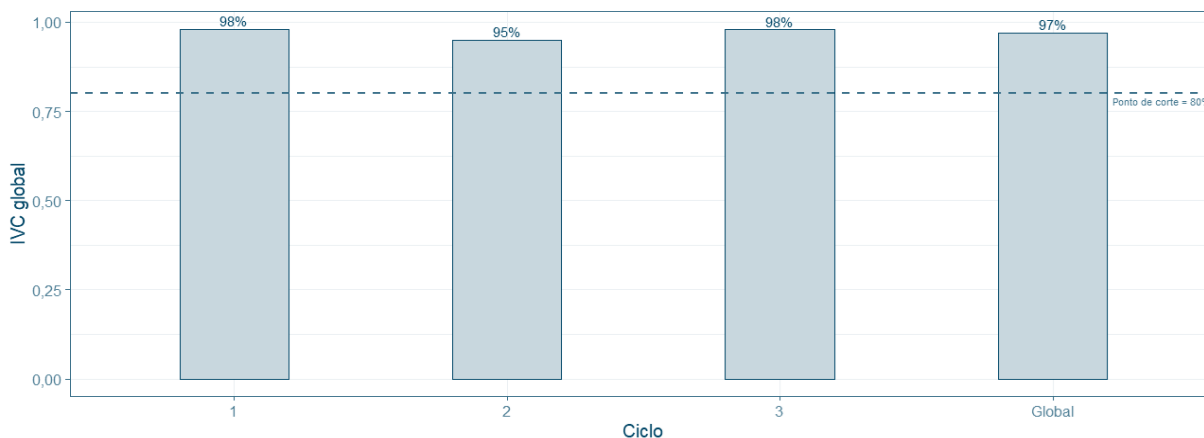
O escore de cada item foi obtido pela soma das respostas pontuadas em “3” ou “4” seguida pela divisão do número total de juízes, no caso 10. A rigor, itens valorados com “1” ou “2” devem ser excluídos ou revisados a fim de adequá-los ao padrão mais coerente com o constructo. Considerando o número de juízes definidos neste estudo, a literatura recomenda, como ponto de corte para validação de itens individualmente (I-IVC), o valor de 0,78. Isso se dá para serem estatisticamente representativos. Especificamente, até cinco juízes, recomenda-se concordância de 100% e para amostra igual ou superior a seis, 0,78 ou 78%. Para validação do instrumento como um todo (S-IVC), decidimos acolher a versão que sugere dividir a soma

dos IVC individuais pelo número de itens do instrumento, acatando como ponto de corte o valor 0,8 ou 80% (Alexandre; Coluci, 2011; Silva *et al.* 2023). Em síntese, o S-IVC pode ser definido simplesmente a partir da média dos IVC individuais, como expressam Silva *et al.* (2023).

Esclareçamos que decidimos por considerar um dado domínio do instrumento como uma subcategoria do S-IVC. Isso porque entendemos que, embora um domínio particular não constitua o instrumento como um todo, este agrupa um conjunto de indicadores reunidos em torno de um eixo do instrumento com uma identidade própria. Assim, cada um dos três ciclos tinha um objetivo geral circunscrevendo-o. Do mesmo modo, a estrutura de cada ciclo circunscrevia dois aspectos: guia de apoio ao ensino e habilidades. Logo, calculamos cada um dos três ciclos da matriz, domínios, e seus respectivos guias de apoio e habilidades como subdomínios do S-IVC, assumindo como ponto de corte 0,8: o mesmo do instrumento como um todo. Isso nos permitiu explorar diversas nuances do nosso instrumento, como IVC por ciclo, IVC por habilidade e guia de estudo.

Feito esse esclarecimento, partimos para a análise por meio do S-IVC dos domínios do instrumento, primeiro em relação aos ciclos, depois em relação ao instrumento como um todo: a matriz. Em seguida, analisamos o S-IVC dos subdomínios guia de estudo e habilidades. E, por fim, o I-IVC para identificarmos e interpretarmos os itens menos expressivos ou que ficaram abaixo ou próximo do ponto de corte. Como parte dessa ação e tal qual em outros estudos dessa natureza, (Tamada; Cunha, 2023), resolvemos considerar no processo de melhoria da matriz não apenas pontuações 1 ou 2. Isto é, mesmo alguns juízes pontuando 3 ou 4, porém, ainda sugerindo melhorias, sempre que as julgarmos oportunas, nos sensibilizamos e empreendemos modificações em algumas. Começamos pelos dados do Gráfico 1, no qual constam os S-IVC dos ciclos e do instrumento como um todo.

Gráfico 1 – S-IVC por ciclo e do instrumento



Fonte: Elaborado pelo autor.

O S-IVC para cada um dos ciclos mostrou-se satisfatório do ponto de vista da exigência mínima, acima dos 0,8 ou 80%, recomendado pelo ponto de corte, como também do preferencialmente superior a 0,9. Entretanto, o ciclo 2 apresentou menor índice de concordância em comparação aos ciclos 1 e 3, como vemos: 0,95. Ainda conforme os resultados apresentados na figura 1, observamos, em relação ao instrumento como um todo, a matriz, um valor alto e superando igualmente as duas indicações anteriores, ponto de corte e preferencialmente superior, pois foi alcançado exatamente 0,97.

Fundamentado nos valores supraindicados, a matriz foi validada quantitativamente. A Tabela 3, a seguir, mostra esses mesmos dados, porém, discrimina os temas abordados em cada ciclo. Observemos que o ciclo 1, modelos e o processo de modelagem científica – metamodelagem no contexto da cultura disciplinar da biologia e citologia, obteve um S-IVC estatisticamente significativo. Esse comportamento acima do ponto de corte, para esse ciclo em especial, era esperado hipoteticamente. Um resultado que espelha, entendemos, a importância do conteúdo ali abordado como o introdutor do processo de ensino baseado em modelagem. Uma necessidade anunciada explicitamente na Teoria da Modelagem em educação de Halloun (2006) pela fase 1 dos ciclos caracterizada pela exploração dos modelos, algo que Schwarz e White (2005) descrevem como conhecimento de metamodelagem.

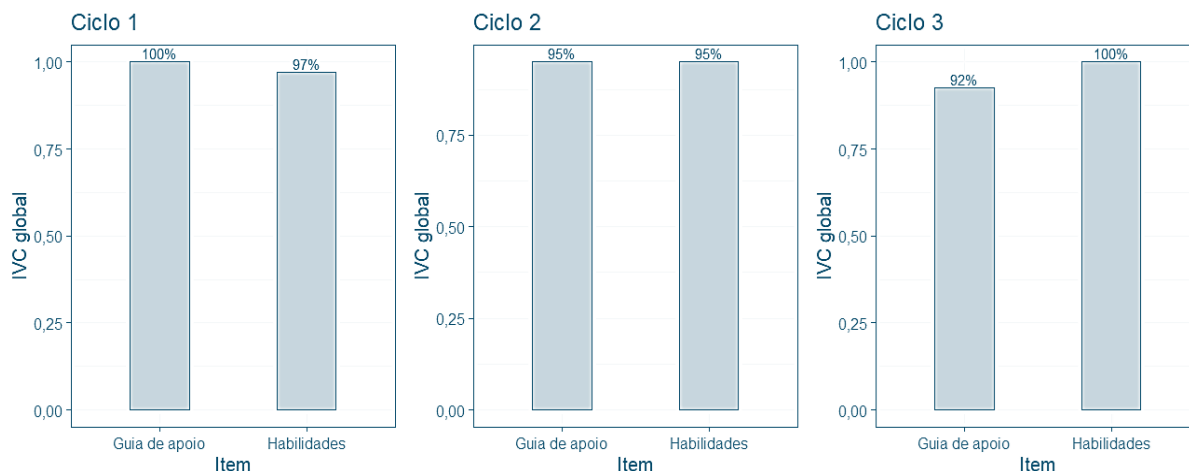
Tabela 3 – S-IVC

Ciclo	Tema	S-IVC
1	Modelos e o processo de modelagem científica – metamodelagem no contexto da cultura disciplinar da biologia e citologia	0,980
2	Contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA e a membrana, bem como a modelagem subjacente a estes – foco na realidade em si mesma	0,950
3	Contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA e a membrana bem como a modelagem subjacente a estes – foco na realidade conjecturada	0,979
Matriz	-	0,970

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por outro lado, corrobora ainda nossa hipótese sobre a importância desse ciclo específico, ciclo 1, ou pelo menos a deixa mais clara, quando analisamos cada ciclo em seus subdomínios: guia de apoio e habilidades, como vemos no Gráfico 2 a seguir.

Gráfico 2 – S-IVC por guia de apoio e habilidades

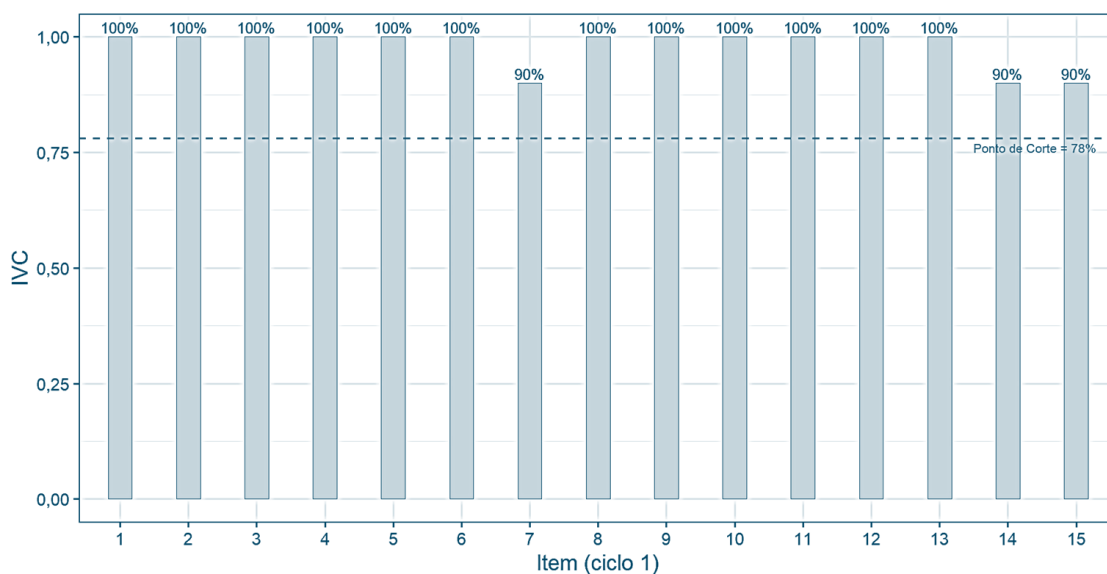


Fonte: Elaborado pelo autor.

É claro que esses índices se manteriam altos aqui também, pois partilharam a mesma forma de cálculo a partir dos I-IVC. Logo, não é essa redundância que nos interessa. No entanto, esse nível de análise nos permite observar as nuances do conteúdo da matriz que um ciclo na íntegra não possibilita. Assim, por exemplo, o guia de apoio do ciclo 1 obteve 100% de concordância, enquanto as habilidades apresentaram menor valor, no caso, 97%. No ciclo 2, tanto o guia de apoio como as habilidades alcançaram 95% de concordância. Por fim, no ciclo 3, merece ser destacado o fato do subdomínio referente às habilidades alçar 100% de concordância e o guia de apoio ficar próximo da recomendação de ser idealmente superior a 90%.

Embora importantes as análises anteriores por domínios e subdomínios para visualizarmos a etapa de validação, a leitura das respostas individuais dos juízes agregadas pelos I-IVC nos permite uma compreensão qualitativa profunda do comportamento dos indicadores. Analisamos essa situação a partir de agora com base nos Gráficos 3, 4 e 5. Especificamente, observamos a influência dessas respostas nos indicadores cuja concordância não atingiu o valor de 100%. Isso nos pareceu sugestivo uma vez que nossos dados não constaram de nenhum indicador com valoração abaixo do ponto de corte, 0,78. Assim, o caráter também qualitativo da análise poderia ser mais explorado para melhorar o instrumento em sua segunda versão.

Gráfico 3 – I-IVC dos indicadores do ciclo 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Primeiramente, ressaltamos, no Gráfico 3, que o nível de concordância entre os juízes foi elevado a despeito de todos os indicadores do ciclo 1, variando de 90% a 100%. A maioria, 80%, obteve concordância máxima. Logo, nenhum dos 15 indicadores do ciclo ficou abaixo do ponto de corte para o I-IVC. Porém, três indicadores I. 7, I. 14 e I. 15 concentraram os menores índices: 90%. O I. 7, habilidade C1MOD02, foi avaliado pela juíza Ane em 2, a qual apontou que não o compreendeu. O I.14, habilidade C1MOG09, o juiz Fred o avaliou em 1 e apontou como justificativa uma contradição contida na expressão “isto é” do comando do instrumento de avaliação. Por fim, o indicador I.15, habilidade C1MOG10, foi avaliado pela juíza Tina com pontuação 2. Ela justificou a nota expressando que ele poderia ser realocado ao 09, o que entendemos tratar-se da habilidade C1MOG09. Os detalhes dessas análises estão descritos no quadro 3. Em seguida, analisemos os I-IVC dos indicadores do ciclo 2.

Quadro 3 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 1

Indicadores	Sugestões indicadas pelos juízes	Modificações
1. O conteúdo conceitual objeto do ciclo 1 é relevante, adequado e claro para apoiar o ensino baseado em metamodelagem.

Continua.

Quadro 3 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 1

(Continuação)

Indicadores	Sugestões indicadas pelos juízes	Modificações
2. O conteúdo conceitual objeto do ciclo 1 é relevante, adequado e claro para apoiar os ciclos 2 e 3 do ensino baseado em metamodelagem mirando a citologia.
3. O objetivo geral do ciclo 1 é relevante, adequado e claro para discutir o respectivo conteúdo conceitual objeto do ciclo.	<p>I.3 O objetivo geral do ciclo 1: discutir a natureza dos modelos e o processo de modelagem para fundamentar interpretações sobre modelos consensuais imagéticos em biologia e citologia.</p> <p>.....</p> <p>A juíza Tina mesmo pontuando em 3 o item interroga se o instrumento tem público-alvo e se, em caso afirmativo, não seria interessante indicá-lo aqui no objetivo. A sugestão foi acatada e reescrita. Deixamos subentendido o público-alvo, professores do ensino médio, pelo contexto “ensino de biologia/citologia no ensino médio”.</p>	I.3 O objetivo geral do ciclo 1: discutir a natureza dos modelos e o processo de modelagem para fundamentar interpretações sobre modelos consensuais imagéticos no ensino de biologia/citologia do ensino médio.
4. As questões-problema do ciclo 1 são relevantes, adequadas e claras em relação ao foco do ciclo de modelagem.
5. A sinalização do limite ou escopo dos modelos e da modelagem no ciclo 1 foi indicada claramente.	<p>I.5 A sinalização do limite ou escopo dos modelos e da modelagem no ciclo foi indicada claramente.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A cultura epistêmica da biologia [...] ▪ Como a citologia, especificamente, utiliza-se dos objetivos “explorar sistemas complexos” e “explorar possibilidades”? <p>.....</p> <p>O juiz Dio sugere que os tópicos da citologia sejam indicados. Avaliou o item em 3. Essa sugestão foi acatada.</p> <p>.....</p>	<p>I.5 A sinalização do limite ou escopo dos modelos e da modelagem no ciclo foi indicada claramente</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A cultura epistêmica da biologia tem interesse em objetivos diversos em relação aos modelos, a destacar: explicar, prever, desenvolver conceitos, explorar sistema complexo e explorar possibilidades, mas as diferentes subáreas dessa ciência possuem interesse epistêmicos particulares.

Continua.

Quadro 3 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 1

(Continuação)

	<p>A juíza Tina, entende que: “A última parte, por ser uma pergunta, talvez se encaixe melhor dentro das questões-problema”. Ao rever a fundamentação teórica, entendemos que o princípio de não confinar os modelos de forma terminal implica articularmos um ciclo com o próximo e, desse modo, a forma de pergunta tinha por objetivo destacar esse caráter de continuidade. Todavia, achamos pertinente a proposta da juíza de deixar a interrogação apenas nas questões-problema. Porém, no lugar de realocarmos, apenas reestruturamos a sentença.</p>	<p>A citologia, como subárea da biologia, tem interesse em explicações detalhadas de processos e estruturas, como vimos nos exemplos sobre a estrutura e função do DNA e da membrana. Sacrifica, desse modo, o poder preditivo de modelos mais abstratos por modelos explicativos mais realistas.</p>
6. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação do Ciclo 1	<p>I.7 C1MOD02 Discutir sobre a característica dos modelos segundo a qual nenhum deles é certo ou completo, embora possa haver diferença na complexidade epistemológica (descrever é mais simples do que explicar) e ontológica (abordar apenas a descrição de um ente é mais simples do que explicar processos) de uns sobre outros.</p> <p>.....</p> <p>A juíza Ane alegou que não compreendeu o indicador. Não fez sugestão de exclusão, de inclusão ou modificação. Consultando o indicador, percebemos tratar-se de um conteúdo importante para apreender o modelo como uma representação parcial da realidade. Entendemos que a compreensão do indicador possa exigir mais estudo em outros materiais ou mesmo alguma formação continuada. Mesmo assim, para não misturar certeza com complexidade, pois o fato de ser mais completo não implica, pelo outro lado, que um modelo mais simples esteja errado, resolvemos melhorar o indicador. É certo que, nesse caso, só uma abordagem interativa com os juízes seria mais efetiva.</p>	<p>I.7 C1MOD02 Discutir sobre a característica dos modelos segundo a qual nenhum deles é completo, embora possa haver diferença na complexidade epistemológica (descrever é mais simples do que explicar) e ontológica (abordar apenas a descrição de um ente é mais simples do que explicar processos) de uns sobre outros. No entanto, essa complexidade não implica tornar os modelos mais simples em errado.</p>

Continua.

Quadro 3 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 1

(Continuação)

	<p>I.14 C1MOG09 Discutir aspectos da modelagem na perspectiva apenas de uso dos modelos, isto é, usá-los para explicar, comunicar ou representar um dado conceito mais elaborado.</p> <p>.....</p> <p>O juiz Fred sugeriu “refazer” o item sem usar a expressão “isto é”, pois, segundo ele, essa acabava por ser uma afirmação de que a sentença anterior não está clara, e um dos aspectos do comando da questão é justamente a clareza. Ao examinar o indicador, efetuamos as alterações, tentando adequar o item à sugestão do juiz. Mais do que retirar a expressão “isto é”, entendemos que acrescentar a redação “o uso didático...” traria mais clareza ao item no sentido de um tipo particular de uso dos modelos.</p>	<p>C1MOG09 Discutir aspectos da modelagem na perspectiva apenas de uso didático dos modelos para explicar, comunicar ou representar um dado conceito mais elaborado.</p>
	<p>I.15 C1MOG10 Discutir aspectos da modelagem na perspectiva apenas de uso dos modelos para guiar experimentos ou observação nas atividades de investigação científica.</p> <p>.....</p> <p>A juíza Tina sugeriu reorganizar o indicador para que o mesmo fosse integrado ao I.14: habilidade C1MOG09. Embora concordemos com a juíza que ambas as habilidades realmente dizem respeito à prática da modelagem numa perspectiva de uso, e não de criação propriamente, a separação visou a tornar mais explícita essa ação mostrando nuances de uso. Assim, na habilidade C1MOG09, reforçamos o uso didático, enquanto na habilidade C1MOG10 reforçamos o uso como guia de experimentos ou observação, que no nosso entendimento demarcam usos distintos. Realizamos uma pequena alteração na redação desta última e a mantivemos independente, pelos motivos expostos anteriormente.</p> <p>.....</p>	<p>C1MOG10 Discutir aspectos da modelagem na perspectiva apenas de uso dos modelos para guiar experimentos ou guiar observação nas atividades de investigação científica.</p> <p>.....</p> <p>C1MOD01</p> <p>Envolver os estudantes em discussões sobre a natureza dos modelos, circunscrevendo-a como uma representação parcial e intencional de um conceito ou ideia, de uma estrutura ou ente, de um processo ou uma propriedade, sejam eles biológicos, físicos, químicos ou sociais.</p>

Continua.

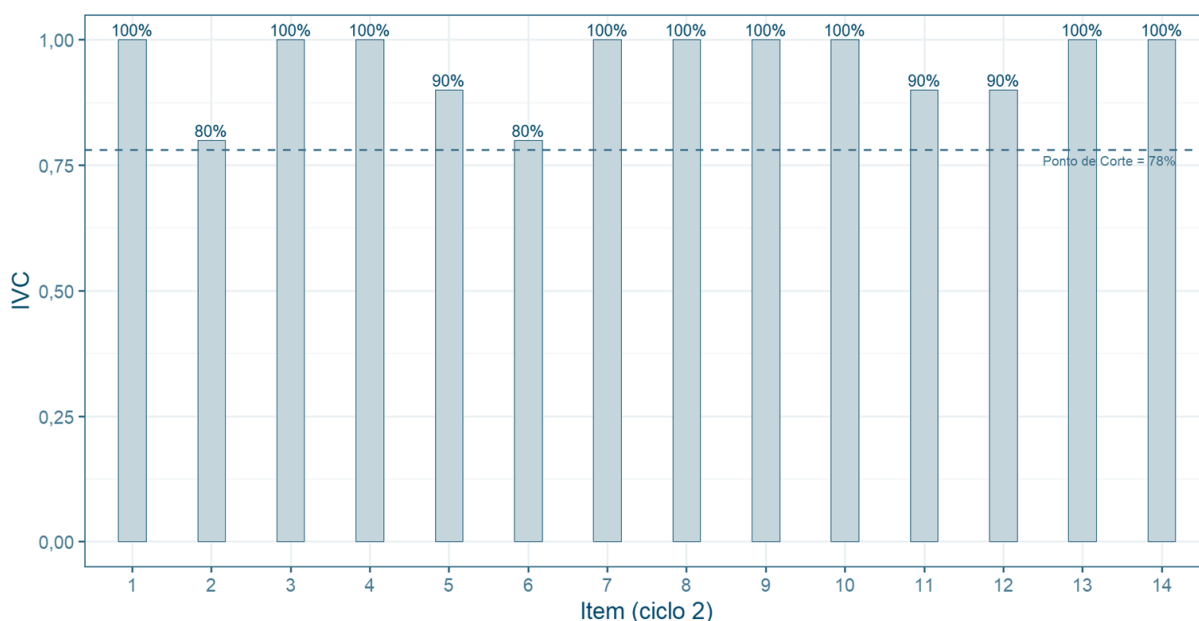
Quadro 3 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 1

(Conclusão)

	<p>A juíza Tina sugeriu remover a palavra “coisa” da habilidade C1MOD01, assim o fizemos.</p> <p>Envolver os estudantes em discussões sobre a natureza dos modelos, circunscrevendo-a como uma representação parcial e intencional de um conceito ou ideia, de uma estrutura, ente ou coisa, de um processo ou uma propriedade, sejam eles biológicos, físicos, químicos ou sociais.</p>	
7. Outros		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 4 – I-IVC dos indicadores do ciclo 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Gráfico 4 também nos mostra que todos os itens do ciclo 2 alcançaram I-IVC satisfatório, acima do ponto de corte de 78%. No entanto, houve menor representação de itens com concordância máxima, aproximadamente 64%, e ainda a presença de indicadores próximos ao ponto de corte indicado pela literatura, como observamos nos I. 2 e I. 6 com concordância de 80%. Outros três, I. 5, I. 11 e I.12, obtiveram 90% de concordância.

O I.2 se refere ao objetivo geral do ciclo 2: interpretar modelos imagéticos mirando seu uso para explorar sistemas complexos com foco na realidade em si mesma. O juiz Fred o

pontuou em 1, justificando uma incoerência no comando do indicador; e a Juíza Gal em 2, alegando a existência de uma repetição na frase “foco da realidade em si mesma” no ciclo 3. O primeiro é interpretado no Quadro 4, a seguir, e a segunda no Quadro 5, ao analisarmos o ciclo 3. O I.6 representante da habilidade C2MOD12 recebeu pontuação 2 e 1 dos juízes Tina e Fred, respectivamente. Por fim, os indicadores I.5, habilidade C2MOD11, I.11, habilidade C2MOG17, e I.12, habilidade C2MOG18, receberam pontuação 1 do juiz Fred, todas justificadas pelo argumento de insatisfação com a expressão “isto é”. A interpretação dessas falas está no Quadro 4 logo abaixo.

Quadro 4 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 2

Indicadores	Sugestões indicadas pelos juízes	Modificações
1. O conteúdo conceitual objeto do ciclo 2 é relevante, adequado e claro para apoiar o ensino baseado em metamodelagem.	<p>I.1 Contínuo de modelos imagéticos sobre DNA e membrana bem como a modelagem subjacente a estes.</p> <p>.....</p> <p>A juíza Gal, indiretamente, ao apontar incoerência no I.2 do ciclo 2 e I. 3 do ciclo 3 nos levou a esta correção.</p> <p>.....</p> <p>5. O juiz Dio embora tenha pontuado o item em 3, sugeriu certificarmos sobre os modelos estarem “cientificamente corretos e atualizados”. Segundo a fundamentação teórica que temos defendido neste trabalho (Halloun, 2006, Schuwarz e White, 2005, Svoboda e Pasmore, 2011) não faria sentido defender uma concepção estática ou positivista sobre os modelos. Os exemplos indicados, como o da dupla hélice e do mosaico fluido, são apenas pontos de apoio para a discussão. Isso fica evidente ao indicarmos o conteúdo conceitual do ciclo 2 “Contínuo de modelos imagéticos sobre DNA e membrana bem como a modelagem subjacente a estes”. E questões do guia de apoio como “É concebível aos cientistas sugerirem nova representação sobre um dado modelo? Acaso sim, justifiquemos.”</p>	<p>I.1 Contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA e a membrana bem como a modelagem subjacente a estes: foco no caráter subjetivo e seletivo do modelador.</p>

Continua.

Quadro 4 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 2

(Continuação)

Indicadores	Sugestões indicadas pelos juízes	Modificações
2. O objetivo geral do ciclo 2 é relevante, adequado e claro para discutir o respectivo conteúdo conceitual objeto do ciclo.	<p>I.2 Interpretar modelos imagéticos mirando o DNA e a membrana. Isto é, captar seus significados a partir do objetivo para os quais foram criados ou modelados. Neste ciclo destacar o objetivo epistêmico de explorar sistemas complexos com foco na realidade observada em si mesma, isto é, naquilo que o modelo pretende captar por meio da observação, da descrição ou da dedução teórica direta.</p> <p>.....</p> <p>O juiz Fred pontuou o item em 1 e mais uma vez sugeriu “refazer” o item sem usar a expressão “isto é”, pois, essa implicava em contradizer o próprio comando que direcionava o item para uma afirmação de clareza e, segundo o mesmo, a expressão tem como significado esclarecer algo. Além disso, alegou sua aparição duas vezes.</p> <p>A juíza Gal pontuou o item em 2 justificando que na matriz de referência a redação “com foco na realidade em si mesmo” constava no ciclo 3. De fato consta, mas não em relação ao próprio indicador I.2 do ciclo 3, e sim em relação ao indicador I.1 do ciclo. Assim, este indicador foi corrigido no espaço dedicado ao mesmo no ciclo 3.</p> <p>A juíza Tina pontuou esse indicador em 3. Porém fez sugestões justificando que “A sequência ficou um pouco longa, o que dificultou entender o que de fato, seria o objetivo geral.” A extensão de muitos indicadores da matriz deve-se ao fato de terem sido escritos propositalmente com o auxílio de modificadores, como na BNCC, para clarificar seu uso sobretudo pelos docentes. Mesmo assim, acatamos sua sugestão e juntamente com as demais reescrevemos esse indicador.</p>	<p>I.2 Interpretar contínuos de modelos imagéticos mirando o DNA e a membrana. A interpretação é assumida como o ato de captar o significado dos modelos a partir do objetivo para os quais foram criados. Neste ciclo, objetiva-se destacar o objetivo epistêmico e explorar sistemas complexos, por meio de modelos mais simplificados, exaltando o caráter subjetivo e seletivo dessa ação.</p>
3. As questões-problema do ciclo 2 são relevantes, adequadas e claras em relação ao foco do ciclo de modelagem.	I.3 questões-problema	<p>1.3 questões-problema</p> <p>6. O que nossos modelos imagéticos sobre a membrana estão representando (processo, estrutura)?</p>

Continua.

Quadro 4 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 2

(Continuação)

Indicadores	Sugestões indicadas pelos juízes	Modificações
3. As questões-problema do ciclo 2 são relevantes, adequadas e claras em relação ao foco do ciclo de modelagem.	I.3 questões-problema	1.3 questões-problema 7. O que nosso contínuo de modelos nos permite inferir sobre a atividade científica de uma perspectiva da subjetividade do modelador? 8. O que nosso contínuo de modelos nos permite inferir sobre os objetivos epistêmicos dos cientistas que estudam as células? 9. O que nosso contínuo de modelos nos permite inferir sobre o grau de complexidade epistemológica de cada representação? 10. A citologia faz uso de modelos realistas ou abstratos? Quais subáreas da biologia se utilizam mais de modelos abstratos ou realistas? 11. É concebível aos cientistas sugerirem nova representação sobre um dado modelo consensual?
4. A sinalização do limite ou escopo dos modelos e da modelagem no ciclo 2 foi indicada claramente.	I.4 Sinalizar o limite ou escopo dos modelos e da modelagem Nossos modelos tinham por objetivo representar a realidade em si mesma, sendo inclinados para o realismo dos modelos imagéticos em citologia. Com isso buscamos interpretar nossos modelos ou a prática da modelagem de uma perspectiva principalmente dos dados empíricos (observação ou experimentação) ou teóricos que sustentaram sua proposição.	I.4 Sinalizar o limite ou escopo dos modelos e da modelagem 12. Nossos modelos tinham por objetivo representar a realidade em si mesma, sendo inclinados para o realismo dos modelos imagéticos em citologia.

Continua.

Quadro 4 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 2

(Continuação)

Indicadores	Sugestões indicadas pelos juízes	Modificações
<p>4. A sinalização do limite ou escopo dos modelos e da modelagem no ciclo 2 foi indicada claramente.</p>	<p>Mas é certo que os modeladores estiveram inicialmente envolvidos com raciocínios que constituíam apenas hipóteses sobre a realidade que buscavam explicar. Vamos agora tentar refazer esse percurso sobre a versão conjecturada do nosso contínuo de modelos.</p> <p>.....</p> <p>Sensíveis à preocupação desse item nos outros ciclos, tentamos reescrevê-lo nos outros ciclos.</p>	<p>I.4 Sinalizar o limite ou escopo dos modelos e da modelagem</p> <p>13. Buscamos interpretar nossos modelos ou a prática da modelagem principalmente de uma perspectiva da subjetividade e seletividade do modelador.</p> <p>14. As explicações empíricas que analisamos sobre a estrutura do DNA e da membrana não revelaram a atividade criativa envolvida em muitas delas.</p> <p>15. Os modeladores, ao se debruçarem sobre a estrutura do DNA ou da membrana, de uma perspectiva experimental, e não apenas descritiva, se envolvem em raciocínios inicialmente hipotéticos.</p> <p>16. Essa atividade criativa não foi objeto da interpretação dos contínuos de modelos anteriormente.</p>
<p>5. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação do Ciclo 2</p>	<p>I.6 C2MOD12 Envolver os estudantes na identificação de aspectos morfofuncionais dos modelos, mirando o foco da representação, isto é, sua intencionalidade ontológica, ao longo de um contínuo de modelos imagéticos sobre a membrana: retratador de estrutura e descritor de processo. Para isso, sempre os encorajar ou os desafiar solicitando-lhes um novo modelo sobre um mesmo processo.</p> <p>.....</p>	<p>I.6 C2MOD12 Envolver os estudantes na identificação e interpretação de aspectos morfofuncionais dos modelos, exaltando o foco ou intencionalidade de cada representação ao longo de um contínuo de modelos imagéticos sobre a membrana: retratador de estrutura ou descritor de processo. Para isso, sempre os encorajar ou os desafiar solicitando-lhes um novo modelo sobre uma mesma estrutura ou mesmo processo.</p>

Continua.

Quadro 4 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 2

(Continuação)

<p>5. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação do Ciclo 2</p>	<p>A juíza Tina considerou que a habilidade C2MOD12 poderia ser alocada para habilidade C2MOD11. Concordamos com a juíza em parte. Realmente ambas incorporam quase a mesma estrutura frasal, com exceção que a primeira aborda o conteúdo conceitual da membrana e a segunda do DNA. A separação ali foi apenas uma prudência didática e não uma confusão conceitual que nos privasse de enxergar que ambas as habilidades poderiam ser circunscritas pela mesma perspectiva ontológica. Entendemos que se ater a um único conteúdo tornaria o planejamento de sequências didáticas mais demarcadas.</p> <p>.....</p> <p>O juiz Fred mais uma vez mostrou preocupação com a expressão “isto é”, pois, segundo ele, implica uma contradição com o comando da questão que sinaliza, como já explicamos, para ideia de adequação. Como temos visto esta preocupação se repetir ao longo de suas falas, é oportuno um esclarecimento. Entendemos que no contexto de uso da supraindicada expressão esta atua sim como um elemento de explicação da estrutura frasal como um todo, não entrando em contradição com o comando do instrumento por isso. Contudo, como temos explicado sobre essa pesquisa não recorrer ao processo iterativo com os juízes, reescrevemos o item a fim de considerar a voz deste além de melhorar outros aspectos que o ato de avaliar nos permitiu compreender.</p>	
	<p>I.5 C2MOD11 Envolver os estudantes na identificação de aspectos morfofuncionais dos modelos, mirando o foco da representação, isto é, sua intencionalidade ontológica, ao longo de um contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA: retratador de estrutura e descritor de processo. Para isso, sempre os encorajar ou os desafiar solicitando-lhes um novo modelo sobre um mesmo processo.</p> <p>.....</p> <p>O juiz Fred apresentou a mesma justificativa dada ao indicador I. 6. Logo, nossa interpretação aqui também acompanha aquela situação.</p>	<p>I.5 C2MOD11 Envolver os estudantes na identificação e interpretação de aspectos morfofuncionais dos modelos, exaltando o foco ou intencionalidade de cada representação ao longo de um contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA: retratador de estrutura ou descritor de processo. Para isso, sempre os encorajar ou os desafiar solicitando-lhes um novo modelo sobre uma mesma estrutura ou mesmo processo.</p>

Continua.

Quadro 4 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 2

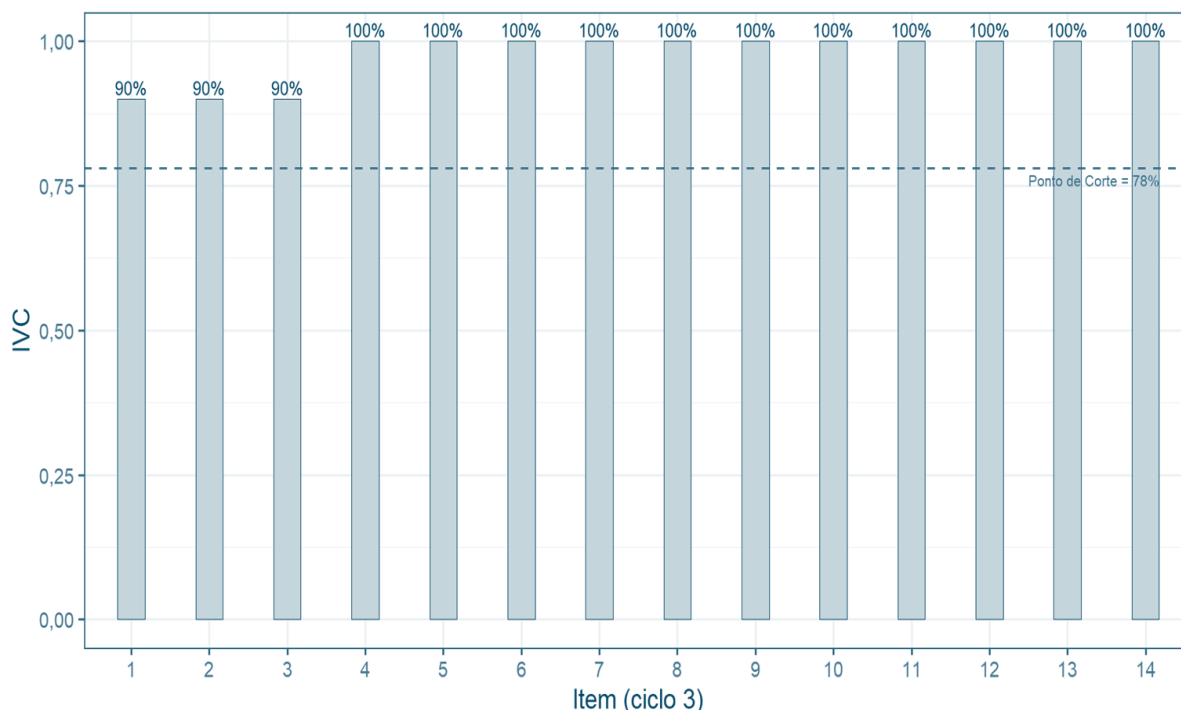
(*Conclusão*)

	<p>I.11 C2MOG17 Interpretar contínuos de modelos sobre o DNA de uma perspectiva da prática da modelagem em si, isto é, da inferência empírica ou dedutiva que permitiram a validação do modelo. Em outros termos, refletir sobre os dados empíricos ou teóricos que permitiram aos cientistas fundamentarem a validação desses modelos.</p> <p>.....</p> <p>O juiz Fred apresentou a mesma justificativa dada ao indicador I. 6. Logo, nossa interpretação aqui também acompanha aquela situação.</p>	<p>I.11 C2MOG17 Interpretar contínuos de modelos sobre o DNA de uma perspectiva da prática da modelagem (criação ou revisão), levando os estudantes a refletirem sobre alguns dados empíricos ou teóricos que permitiram aos cientistas fundamentarem a validação desses modelos.</p>
	<p>I.12 C2MOG18 Interpretar modelos sobre a membrana de uma perspectiva da prática da modelagem em si, isto é, da inferência empírica ou dedutiva que permitiram a validação do modelo. Em outros termos, refletir sobre os dados empíricos ou teóricos que permitiram aos cientistas fundamentarem a validação desses modelos</p> <p>.....</p> <p>O juiz Fred apresentou a mesma justificativa dada ao indicador I. 6. Logo, nossa interpretação aqui também acompanha aquela situação.</p>	<p>I.12 C2MOG18 Interpretar contínuos de modelos sobre a membrana de uma perspectiva da prática da modelagem (criação ou revisão), levando os estudantes a refletirem sobre alguns dados empíricos ou teóricos que permitiram aos cientistas fundamentarem a validação desses modelos.</p>
6. Outros		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme anunciamos, as respostas levantadas por meio do instrumento de avaliação da matriz foram sistematizadas, analisadas, por meio interpretativo, e reescritas quando julgamos conveniente. Agrupamos esses dados no âmbito dos três ciclos para acompanhar o próprio layout da matriz. Por fim, fazemos a análise do I-IVC dos indicadores do ciclo 3 mostrados no Gráfico 5.

Gráfico 5 – I-IVC dos indicadores do ciclo 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

Observamos que o Gráfico 5 apresentou um comportamento similar ao do Gráfico 3, variando de 90% a 100%, porém, os indicadores pontuados em menor concordância ficaram concentrados no subdomínio guia de apoio, enquanto no Gráfico 3 esses itens ficaram concentrados no subdomínio habilidade de ensino, aprendizagem e avaliação. Quase 80% dos indicadores conseguiram pontuação acima do preferencialmente recomendado pela literatura: superior a 90%. O I.1 representado pelo descritor conteúdo conceitual objeto do ciclo - contínuo de modelos imagéticos sobre DNA e membrana, bem como a modelagem subjacente a estes: foco na realidade em si mesma. A juíza Gal, ao avaliar o I.2 do ciclo 2, já mencionara esse item como sujeito a correções. Aqui ela repete a observação e o pontua em 2, justificando novamente a incoerência contida na frase “foco na realidade em si mesmo”. O juiz Fred avaliou o I.2, sobre o objetivo geral do ciclo 3, em 1. O juiz Ozy, por sua vez, avaliou o I.3, introduzir o foco do ciclo com questão-problema sobre o contínuo de modelos, em 2.

Quadro 5 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 3

Indicadores	Sugestões indicadas pelos juízes	Modificações
<p>1. O conteúdo conceitual objeto do ciclo 3 é relevante, adequado e claro para apoiar o ensino baseado em modelagem.</p>	<p>I.1 Contínuo de modelos imagéticos sobre DNA e membrana, bem como a modelagem subjacente a estes: foco na realidade em si mesma.</p> <p>.....</p> <p>A Juíza Gal se referiu a este item, I.1 do ciclo 3, ao justificar a pontuação 2 do indicador I.2 do ciclo 2. Percebemos que, apesar desta ter confundido esses indicadores, o I.1 do ciclo 3 realmente tinha sido escrito com um erro representado pela seguinte parte do descritor que não deveria conter na indicação do conteúdo conceitual deste ciclo: “foco na realidade em si mesma”, e sim foco na realidade conjecturada. Por sua vez, o I.1 do ciclo 2, faltou ser explicitado a frase: foco na realidade em si mesma.</p>	<p>I.1 Contínuo de modelos imagéticos sobre DNA e membrana, bem como a modelagem subjacente a estes: foco no caráter criativo do modelador ao pensar ou experimentar sobre versões da realidade.</p>
<p>2. O objetivo geral do ciclo 3 é relevante, adequado e claro para discutir o respectivo conteúdo conceitual objeto do ciclo.</p>	<p>I.2 Interpretar contínuo de modelos imagéticos, mirando o DNA e a membrana. Isto é, captar seus significados a partir do objetivo para os quais foram criados ou modelados. Neste ciclo, destacar o objetivo epistêmico “explorar possibilidades desconhecidas de sistemas complexos”. Em outras palavras, explorar ou acessar a realidade de forma apenas conjecturada.</p> <p>.....</p> <p>O juiz Fred fundamentou seu argumento mais uma vez no incômodo com as expressões como “isto é”, “em outras palavras”, que, segundo ele, são indicadoras de contradição em relação ao comando do item que questiona a clareza, adequação e relevância do item.</p>	<p>I.2 Interpretar contínuos de modelos imagéticos mirando o DNA e a membrana. A interpretação assumida como o ato de captar o significado dos modelos a partir do objetivo para os quais foram criados. Neste ciclo, destacar o objetivo epistêmico explorar de sistemas complexos, por meio de modelos mais simplificados, exaltando o caráter criativo dessa ação, em oposição ao caráter meramente descritivo e explicativo. Trata-se de um objetivo que explicita como a parte do ato de conhecer pode implicar realizar conjecturas sobre a realidade ao mobilizar recursos criativos por via da experimentação (empírica, de pensamento), analogias.</p>

Continua.

Quadro 5 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 3

(Continuação)

Indicadores	Sugestões indicadas pelos juízes	Modificações
3. As questões-problema do ciclo 3 são relevantes, adequadas e claras em relação ao foco do ciclo de modelagem.	<p>I.3 introduzir o foco do ciclo com questão-problema sobre o contínuo de modelos. Exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Projetei um modelo. E, agora, o que pensar sobre ele? Ao propor um modelo, o modelador geralmente pode combinar três tipos de raciocínio para realizar inferência (supor que algo existe partir de outro existente): dedução, indução e abdução sobre o conhecimento. Por meio da dedução, ele se orienta pelo conhecimento teórico construído, pela indução se orienta pelo conhecimento descritivo, observacional ou experimental de forma direta. Esses foram foco do nosso ciclo anterior. No entanto, após decidir sobre o que acrescentar ao modelo (criar ou revisar um modelo), o modelador conjectura muitas coisas sobre esse que ainda não observou, experimentou ou descreveu ainda. Desse modo, tentemos refazer possíveis conjecturas, hipóteses, que nossos modeladores talvez tenham feito sobre nosso contínuo de modelos do DNA e da membrana. ▪ Imaginemos ou pesquisemos possíveis questões levantadas por James Watson e Francis Crick sobre o modelo da dupla hélice do DNA. ▪ Imaginemos ou pesquisemos possíveis questões levantadas por Singer e Nicholson sobre o modelo do mosaico fluido da estrutura da membrana. <p>.....</p> <p>O juiz Ozy sugeriu acrescentar questões sobre “constituição molecular das membranas biológicas, com ênfase para as biomoléculas fosfolipídicas e proteínas (integrais transmembrana)”.</p>	<p>I.3 introduzir o foco do ciclo com questão-problema sobre o contínuo de modelos.</p> <p>Para começar... Explicações das realidades físicas geralmente podem combinar três tipos de raciocínio para realizar inferência (supor que algo existe a partir de outro existente): dedução, indução e abdução sobre o conhecimento. A dedução se fundamenta no conhecimento teórico construído. A indução se orienta pelo conhecimento empírico: descritivo, observacional ou experiencial. Esses foram foco do ciclo 2. No entanto, a tentativa de explicação da realidade pode levar o cientista a conjecturar muitas versões sobre essa, captadas não apenas descritivamente ou dedutivamente, mas, sobretudo, abducativamente. Sendo assim, pensemos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Por que no método científico experimental o uso do raciocínio abducativo torna-se imprescindível? ▪ Qual o papel dos modelos no contexto de experiências empíricas ou de pensamento?

Continua.

Quadro 5 – Modificações acatadas e reescritas após sugestões dos juízes – Ciclo 3

(Conclusão)

Indicadores	Sugestões indicadas pelos juízes	Modificações
4. A sinalização do limite ou escopo dos modelos e da modelagem no ciclo 3 foi indicada claramente.	<p>I.4. Sinalizar o limite do escopo do modelo/modelagem ao término do ciclo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quais atributos dos nossos modelos sobre o DNA e a membrana foram baseados em inferências experimentais? ▪ Quais atributos dos nossos modelos continuam ainda apenas baseados em inferências abduativas ou hipotéticas? <p>.....</p> <p>A juíza Tina já havia manifestado esse mesmo incômodo em relação ao ciclo 1. Do mesmo modo, concordamos com sua coerência neste ciclo 3.</p>	<p>I.4. Sinalizar o limite do escopo do modelo/modelagem ao término do ciclo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Na citologia, por ser uma ciência experimental, a realidade estrutural e funcional sobre o DNA e a membrana são apreendidas muitas vezes não pela observação e descrição de uma realidade estática, foco em si mesma. ▪ A compreensão da realidade muitas vezes requer imaginação, criação sobre determinados atributos dessa realidade, colocando-se, assim, a observação e a descrição a serviço de compreender uma realidade dinâmica. ▪ Muitos atributos dos nossos modelos antes de serem apresentados como um fato da realidade, foram apenas uma representação hipotética dessa realidade.
5. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação do Ciclo 3
6. Outros		

Fonte: Elaborado pelo autor.

As análises anteriores circunscreveram itens cuja pontuação não atingiu o índice de concordância máxima entre os juízes: 100%. Assim rastreamos as pontuações 1 e 2 que puxaram para baixo a concordância dos itens. Agora passamos a rastrear também itens que pontuaram em 3 ou 4. Como anunciamos, iríamos considerar toda sugestão que nos levasse a melhorar a matriz, independente do valor do ponto de corte em si para validação do item, 0,78, ou da nota individual de cada juiz. Esse encaminhamento também foi seguido por outros autores como Tamada e Cunha (2023). Tais análises seguem sistematizadas nos mesmos quadros três, quatro e cinco, respectivamente dedicados aos ciclos um, dois e três. A seguir, comentamos parcialmente esses apontamentos, e os detalhes de sua revisão estão nos quadros supraindicados.

Por exemplo, o juiz Brian pontuou todos os itens do instrumento de avaliação da matriz com 3 e não escreveu nenhuma sugestão. Contudo, entrou em contato diretamente com o pesquisador principal deste trabalho e, entre algumas das coisas que sugeriu, sinalizou a importância de realocar para o cabeçalho da matriz a explicação sobre o código alfanumérico das habilidades. Assim o fizemos por entendermos que isso aglutinaria em um único espaço elementos explicativos gerais, como título, conteúdo conceitual e outros. Também comentou sobre algumas polêmicas envolvendo o DNA que a história da ciência registrou.

A juíza Gal pontuou as habilidades C2MOD11 e C2MOD12, ciclo 2, em 4 cada uma, mas ponderou que poderiam vir juntas. Assim o fizera a Juíza Tina, a qual pontuou essas habilidades em 4 e 3 respectivamente. Concordamos em parte com a justificativa de ambas, todavia, mantivemos as duas habilidades separadas, como já explicamos. Por sua vez, Gal também entendera, como nós, que a razão principal para sustentarmos essa separação foi apenas porque assim tornaríamos melhor o tratamento didático das habilidades durante o planejamento de ensino pelos professores.

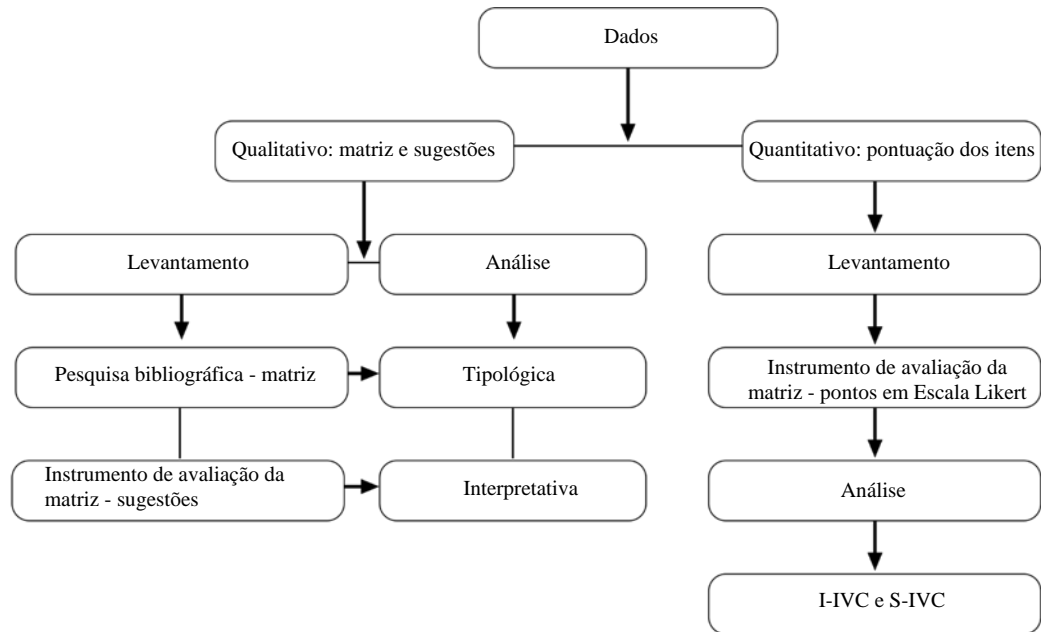
O juiz Dio pontuou todos os itens do instrumento em 3 ou 4, porém, fez muitas e diversificadas sugestões. Em relação ao ciclo 1, I.3, “objetivo geral do ciclo: discutir a natureza dos modelos e o processo de modelagem para fundamentar interpretações sobre modelos consensuais imagéticos”, sugeriu destacar, se possível, no próprio objetivo geral, as habilidades relativas à construção e à validação dos modelos. Entendemos que, na estrutura proposta pela matriz, esse indicador possui a característica de apenas indicar o objetivo geral do ciclo. A definição propriamente dita das habilidades possui espaço próprio no instrumento. Assim, as habilidades reivindicadas foram detalhadas por C1MOG05 e C1MOG06 daquele ciclo. Ainda em relação ao ciclo 1, I.5 “a sinalização do limite ou escopo dos modelos e da modelagem no

ciclo foi indicada claramente”, sugeriu que seria interessante apontar os tópicos da citologia que serão abordados. Assim o fizemos e os detalhes estão explicados no quadro 3.

A juíza Tina também fez uma série de sugestões, mesmo quando pontuou os itens em 3 ou 4. Sugeriu introduzir na descrição do indicador I.3, do ciclo 1, objetivo geral do ciclo, uma referência ao público-alvo. Em relação ao I.5, ciclo 1, sinalizar o limite ou escopo do modelo ou modelagem, sugeriu realocar parte do texto para o indicador I.4, do mesmo ciclo, “introduzir o foco do ciclo com questões-problema sobre o tema modelos e modelagem”. Acatamos parcialmente sua ideia. Destacou no I.2, objetivo geral, ciclo 2, que sua extensão dificultava o seu entendimento. Realizamos alguns ajustes e, como sempre, também justificamos nossas decisões. Os detalhes estão no quadro 4. Também modificamos o indicador I.I do ciclo 2, pois, ao sugerir alterações no ciclo 3, tivemos de manter a coerência entre estes. Por fim, a juíza pediu para reescrever o I.1 do ciclo 3 de maneira a ficar mais claro. Embora não tenha apontado o ponto de turbidez do item, ao consultá-lo novamente vimos que tinha relevância sua preocupação. Isso porque eram dois objetivos que se cruzavam, mas, ao mesmo tempo, mantinha particularidades. E é justamente neste ponto que se concentra o valor desses itens, consoante os objetivos do referencial teórico de Svoboda e Passmore (2011) sobre os objetivos epistêmicos: explorar sistemas complexos com foco na realidade em si mesmo e explorar possibilidades desconhecidas.

O diagrama a seguir resume os procedimentos de levantamento e a análise de dados qualitativo e quantitativo. No lado esquerdo, estão aqueles envolvidos com a definição e estruturação do constructo e a própria criação da matriz, abordagem qualitativa. No lado direito, estão aqueles envolvidos com a perspectiva quantitativa de análise dos dados e validação da matriz. A culminância desse processo misto foi o produto educativo na forma de uma matriz de ensino, mirando habilidades sobre ciência com lastro em modelos imagéticos e na modelagem, próximos da cultura epistêmica da biologia/citologia.

Figura 6 – Levantamento e análise de dados: uma síntese



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em síntese, o levantamento de dados empíricos (qualitativos e quantitativos) foi discriminado no POP (Procedimento Operacional Padrão), adaptado de Lima (2014). Trata-se de um dispositivo que visa a indicar um conjunto de ações envolvidas na busca desse tipo de dados. O POP-1 explicita o protocolo envolvido no processo de validação da matriz pelo IVC (Índice de Validade de Conteúdo). Por outro lado, o POP-2 explicita o protocolo envolvido na etapa de adequação da matriz às sugestões dos juízes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estrutura deste trabalho ancorou-se nos quatro polos da pesquisa social definidos por Bruyne, Herman e Schoutheete (1977): polo epistemológico, polo teórico, polo morfológico e polo técnico. Não descuidamos do alerta dos autores sobre esses demarcarem apenas uma configuração topológica. Com efeito, uma configuração que é sobretudo didática por atender o objetivo de indicar organizar aspectos imprescindíveis em torno da construção de um objeto científico. Nesse contexto, pareceu-nos conveniente retomá-la também nesse tópico. Nosso intuito é o mesmo: salvaguardamos o aspecto didático supraindicado em torno do nosso objeto. Assim, na abrangência de cada um desses polos, construímos estas considerações finais.

6.1 Sobre o polo epistemológico – modelos imagéticos em citologia e o ensino sobre ciência

A introdução deste trabalho contextualizou a problemática da abordagem epistemológica na formação científica, na formação docente e na didática das ciências. Com interesse direcionado mais especificamente a esses dois últimos, apresentamos ali nossa pergunta de pesquisa: a construção de um mediador curricular mais seletivo para apoiar o ensino, a aprendizagem e a avaliação de conteúdo procedimental e epistêmico, com lastro nos modelos imagéticos e na modelagem, seria viável no contexto da disciplina de biologia, subárea citologia?

Essa pergunta implicava refletir sobre três eixos epistemológicos principais: a produção de material didático para subsidiar a prescrição de conteúdo curricular epistêmico, a formação continuada de professores e o lastro disciplinar objeto desta produção. Nossa questão, resultado da pesquisa bibliográfica, guiou-nos ao delineamento dos seguintes objetivos: 1) rastrear os constructos modelo e modelagem na educação em ciência, mirando habilidades epistêmicas próximas da cultura disciplinar da biologia; 2) elaborar uma matriz de referência no âmbito de um conjunto de ciclos de modelagem para subsídio de ensino, aprendizagem e avaliação de conteúdo epistêmico para subárea de citologia; 3) validar a matriz por juízes especialistas, os quais são respondidos adiante no polo técnico.

Retomemos a problemática anunciada pela questão de pesquisa. As imagens celulares, em duas ou três dimensões, fixas ou em movimento, embora sejam exploradas didaticamente de uma perspectiva motivacional e cognitiva, muito se apegou a esse aspecto. O potencial simbólico que estas implicam comumente ocupam um segundo plano no ensino. Assumi-las como modelos, uma representação simbólica da realidade, nos permitiu desenvolver

um material didático para pensarmos o ensino sobre ciência, fato ainda mitigado no contexto geral dessa área e da disciplina escolar citologia, em particular. Vimos que essa e outras subáreas da morfologia, como a anatomia, estiveram inclinadas e preocupadas em desenvolver objetivos de aprendizagem restritos a fatos e a conceitos, numa dimensão essencialmente cognitiva.

Ensaiar propostas didáticas com alcance para além da dimensão cognitiva, implicada na quantidade de termos técnicos, não constitui uma questão só de diletantismo pedagógico dos professores. Toda formação – inicial, contínua, continuada – é arrimo da prática do ensino, do saber fazer. A formação continuada por meio de materiais didáticos sempre esteve na agenda da inovação do ensino de ciências. Porém, a proposição desses materiais urge reconhecer o ecletismo teórico para melhor fundamentá-las. Não ignoramos avanços de experiências empíricas em alguns campos disciplinares, como na física e na química, sobre ensino baseado em modelagem. Essas evidenciam o esclarecimento da trama conceitual do tema, a destacar: a polissemia dos conceitos de modelo e modelagem, os esquemas para encaminhamento de ensino.

As estruturas conceitual e metodológica abordadas neste trabalho, de caráter interventivo, permitem-nos assumi-lo como pesquisa básica em educação em ciências. Contudo, não nos dessensibilizamos com aquelas propostas inclinadas mais para o desenvolvimento instrucional, como diferenciou Moreira (2004, 2011). Embora importantes, podem ser produzidas desvinculadas de um referencial teórico e epistemológico claro, não constituindo uma pesquisa em educação propriamente.

Nesse sentido, recorreremos à Teoria da Modelagem em educação científica ao propormos a produção de uma matriz de ensino, aprendizagem e avaliação mirando a metamodelagem em citologia. Entre as justificativas para escolha dessa teoria estava o fato de ela proporcionar mais do que um esquema pragmático sobre os modelos e a modelagem. Nossa reticência maior foi inicialmente vislumbrarmos dificuldades quanto à adaptação ao contexto da biologia¹⁸, ciência de perspectiva metodológica de caráter exploratório. Por sua vez, essa teoria apresentava muitos exemplos de modelos e de modelagem da física, uma ciência guiada pelo método hipotético-dedutivo. Contornamos essa dificuldade inicial com o argumento sobre pesquisa exploratória e cultura disciplinar epistêmica.

¹⁸ Para maior aprofundamento sobre esse tema ver TERRA, Walter R.; TERRA, Ricardo R. **Filosofia da ciência: fundamentos históricos, metodológicos, cognitivos e institucionais**. São Paulo: Contexto, 2023.

6.2 Sobre o polo teórico – a teoria da modelagem em educação científica: a necessária triangulação de referenciais teóricos

Pela natureza também qualitativa desta pesquisa, fomos nos dando conta, ao longo do seu processo iterativo, da necessidade de triangular seu referencial teórico. Isso ficou ainda mais claro quando nos aprofundamos em torno das categorias modelagem científica em educação e cultura disciplinar epistêmica da biologia. Desse modo, embora julguemos o *corpus* conceitual da teoria de Halloun (2006) robusto, tivemos de articulá-lo com outros autores autorizados a apoiar a singularidade da nossa discussão. Principalmente recorremos a Schwarz e White (2005) sobre metamodelagem; e Svoboda e Passmore (2011) sobre cultura epistêmica na biologia. Os objetivos epistêmicos comumente reportados da modelagem no contexto daquela teoria, explicar e prever, não eram mais um empecilho para apreciação dos modelos com outros objetivos epistêmicos.

O núcleo da Teoria da Modelagem é ocupado pela discussão epistemológica sobre a natureza do conhecimento científico, especificamente aquela fundamentada em posições pós-positivistas. Desse modo, as representações encerradas pelos modelos acentuam a marca da aproximação parcial com a realidade ontológica. Isso nos permitiu abordar as imagens celulares em sua perspectiva simbólica e não apenas de produto terminal. O esquema de modelagem, por sua vez, ao especificar os traços ontológicos que o autor entende como fundamentais aos modelos e à modelagem de uma perspectiva genérica, isto é, sem entregar ainda a dimensão conceitual de que deve envolver a modelagem, nos permitiu identificar o nível de isomorfismo – morfológico, comportamental e morfológico e comportamental – que deveria circunscrever as habilidades propostas nos três ciclos da matriz. Não menos importante, por meio da estrutura do esquema de modelagem, atentamos por clarificar a função epistemológica dos modelos, de forma genérica no ciclo 1, e de forma específica nos ciclos dois e três da matriz.

Aproximando-se ainda mais do contexto escolar, o programa de modelagem sinaliza questões curriculares também de forma genérica, a destacar: o conteúdo, os meios de ensino e a avaliação. Para este trabalho, sua utilidade foi sobretudo atentarmos para mapearmos o conteúdo conceitual que seria objeto da matriz, estrutura da membrana e DNA, bem como descrevermos um conjunto de habilidade para orientar o ensino e a avaliação. Embora a matriz tenha assumido um formato mais complexo do que aquele configurado nas versões popularizadas no contexto das avaliações externas em larga escala, ficando mais próximo de guia de ensino, ela não descreve atividade didática em si, ao modo também daquelas.

A descrição dos ciclos de aprendizagem de Halloun (2006) deixa ainda mais explícito como estruturar o conteúdo de um curso de modelagem. Como explicamos no parágrafo anterior, a matriz não discorre sobre atividades didáticas em si, número de aulas, tempo e espaços de atividade de ensino-aprendizagem. Em nosso trabalho, a noção de ciclo subsume sobretudo a orientação para que a aprendizagem baseada em modelagem obedeça ao princípio da progressão. Assim fizemos em relação aos objetivos epistêmicos e à classe de referência do conteúdo conceitual. Com isso, conseguimos mostrar que um contínuo de modelos é consequência da abordagem parcial da realidade que o modelador elege representar.

Enfim, ao exaltar a convicção do seu valor educacional pelos anos de estudo dedicados ao tema, Halloun (2006) lança o convite tenaz aos educadores de outras áreas: aceitar o desafio de não deixar desaparecer, seja numa abordagem integral, seja adaptando partes de sua estrutura em outros campos disciplinares. Nessa esteira, nosso trabalho buscou adaptar parte do seu sistema conceitual, convictos de que sua teoria sobre a modelagem em educação tem mesmo características que consolidam um *corpus* teórico sobre esse tema. Assim, assumimos sua fundamentação sobre a noção de conhecimento, sobre as características ontológicas dos modelos, principalmente em relação à composição e à estrutura, e, por fim, sobre a ideia acerca do contínuo de modelos desensenvolvida nos ciclos.

6.3 Sobre o polo morfológico – uma matriz como guia de ensino

Configuramos, após o percurso de reflexão epistemológica e teórica sobre nosso problema, proposição de conteúdo curricular epistêmico mirando os modelos e modelagem, uma estrutura morfológica na forma de uma matriz de ensino sobre metamodelagem em citologia. Sensibilizados pelas dificuldades de abordagem didática do ensino baseado em modelagem, intencionalmente, a estruturamos de forma a dispor de muitos detalhes nas 30 habilidades que a compuseram, 10 em cada ciclo. Para isso, buscamos agregar muitos modificadores na estrutura frasal de cada uma delas, ao modo daqueles que orientaram a construção das habilidades descritas na BNCC/EM.

Certamente essa é uma ação importante no sentido de esclarecer o objeto e o objetivo de ensino, aprendizagem e avaliação, pois especificam contextos de uso ou escopo do mapeamento dos diferentes modelos. Por exemplo, as nuances entre os objetivos dos ciclos 2 e 3, sendo o conteúdo conceitual o mesmo para os dois, mas o objetivo epistêmico diferente, tornava a ação de detalhar as habilidades imprescindível.

Porém, o layout da matriz não ficou restrito às habilidades como frequentemente o são nos projetos de matrizes de avaliação em larga escala e que muito influenciaram o contexto escolar, como sabemos¹⁹. Como nosso estudo não tem a ambição de constituir-se uma ferramenta com essa envergadura, sabíamos dos seus limites como ferramenta didática, o que vamos comentar mais adiante. Por enquanto, retomemos a análise do layout. Resolvemos acrescentar um guia de apoio às habilidades, o qual consistiu de dois eixos. O primeiro buscava introduzir os modelos e a modelagem a um contexto de ensino por investigação. Para isso, foi criado um conjunto de questões-problema em torno do objetivo geral de cada ciclo. O segundo buscava demarcar o limite ontológico que foi objeto do mapeamento, a estrutura ou processo, ou mesmo a preocupação epistemológica do modelador, usar modelos simplificados para explorar sistemas complexos, conjecturar para guiar experimentos de pensamento empírico ou conduzir estudos exploratórios.

No conjunto, os dois aspectos principais da matriz, habilidades e guia de apoio ao ensino, foram descritos para acolher o maior número de informações para ajudar os professores durante sua ação de planejar e avaliar o ensino. Embora tenhamos encaminhado uma proposta mais complexa do que o layout de praxe para esse tipo de ferramenta, alinhamo-nos ao argumento de que a deliberação sobre modalidades didáticas propriamente é competência das escolas e de seus professores.

6.4 Sobre o polo técnico – entre resultados, implicações, limitações e continuidade

Este último tópico encerra-se discorrendo sobre os resultados de pesquisa, suas possíveis implicações no ensino baseado em modelagem no contexto da citologia, além de indicar alguns limites do estudo, bem como sugerir aos pesquisadores da área caminhos para sua continuidade. Lembremos que a natureza desta pesquisa fundamentou-se na abordagem de método misto com delineamento do tipo sequencial exploratório. Por fim, metodologicamente, assumimos a pesquisa de natureza interventiva do tipo pesquisa de desenvolvimento, cujo foco está na descrição de um produto ou processo dos mais diversos tipos, inclusive aqueles entendidos como materiais didáticos.

Os dados qualitativos referentes aos constructos abordados pela matriz foram analisados pela tipologia, em que se buscou sua validade conceitual. Por sua vez, as falas dos juízes sobre o conteúdo da matriz foram analisadas por meio interpretativo. Enfim, os dados

¹⁹ Ver estudo de Franco e Bonamino (2001).

quantitativos foram analisados por meio do I-IVC e do S-IVC. Esses foram levantados no instrumento de avaliação da matriz. Esses últimos dados foram os únicos levados em conta para validação da matriz, embora os dados qualitativos tenham dado suporte interpretativo àqueles.

6.4.1 Sobre os resultados

Assumimos que o rastreamento dos constructos modelos e modelagem na educação científica, sob a perspectiva da cultura disciplinar da biologia, que constituiu o primeiro objetivo específico deste trabalho, foi alcançado. Isso nos permitiu construir o instrumento mais seletivo que vislumbramos no início da pesquisa. Ao rastreá-los, concentramo-nos, inicialmente, em uma análise macro no contexto da modelagem em educação científica. Posteriormente, identificamos algumas lacunas ao mirar nosso objeto, como aquela ligada aos objetivos epistêmicos da prática da modelagem em biologia. Por fim, a noção de metamodelagem que gostaríamos de incluir na matriz foi contemplada teoricamente por esse rastreio e com farta indicação de como proceder nesse sentido.

Ao fecharmos essas lacunas do rastreamento, por meio de pesquisa bibliográfica tradicional, conseguimos imaginar os eixos que estruturaram o layout da matriz e consequentemente do instrumento de avaliação desta. Sem dúvida, esse objetivo constituiu etapa primordial do êxito desse tipo de trabalho focado na validade de conteúdo. A contextualização desses achados teóricos foi imprescindível para ampliarmos os objetivos de aprendizagem no contexto da morfologia, em que os modelos imagéticos são ainda pouco analisados do ponto de vista simbólico da representação.

Para a construção da matriz, segundo objetivo específico da pesquisa, foi fundamental o desenho do layout apresentado no polo morfológico. O repertório conceitual apreendido por meio do mapeamento dos constructos modelo e modelagem nos permitiu sintetizar as ideias mais relevantes a constarem no instrumento. A análise tipológica posterior nos foi dando segurança sobre seus elementos ao mesmo tempo que nos possibilitava as reservas necessárias sobre o que estávamos propondo.

Embora não tenha havido um processo interativo presencial entre os propositores da matriz e os juízes durante a pesquisa e ainda uma segunda fase de validação, o que seria muito salutar do ponto de vista do processo de validação, isso não foi um deslize metodológico: priorizarmos a validade da matriz por meio do IVC e em uma única etapa apenas. Para isso, tivemos de apostar em um produto muito detalhado, pois sabíamos das dificuldades em recorrer novamente a um número elevado de juízes para reavaliar o material tão cheio de detalhes.

Porém, não podemos deixar de ressaltar a consistência dos resultados obtidos por essa escolha quando analisamos a versão final da matriz pós-validação. A quantidade de alterações feitas a partir das sugestões dos juízes é sintomática, como vemos no quadro 3, síntese da avaliação das falas do ciclo 1; no quadro 4, síntese da avaliação das falas ciclo 2; e quadro 5, síntese da avaliação das falas ciclo 3.

Isso mostra que, indiretamente, a participação dos juízes na construção da matriz foi priorizada. Ainda mais, mostra que considerar o trabalho docente da perspectiva do sujeito coletivo é uma via promissora para evitar o isolamento paralisante desses profissionais frente à necessidade de inovações didáticas. Assumir a corresponsabilidade frente às mudanças que naturalmente os programas devem sofrer é mais legítimo principalmente quando pensamos no trabalho dos profissionais cuja atuação está diretamente ligada à escola e à sala de aula. Esses, geralmente, possuem menos apoio técnico especializado, necessário para levar adiante, com afinidade, e não só diletantismo, muitas evoluções da prática pedagógica.

Por fim, o terceiro objetivo específico mirou a validação da matriz propriamente dita por meio do índice de validade de conteúdo: IVC. Essa opção metodológica tem sido recorrente em estudos que promovem a produção de material didático. No entanto, não desconhecemos a importância da validade de conteúdo por meio qualitativo, principalmente quando delineiam a participação dos juízes de forma interativa e iterativa. Nesse caso, pode-se recorrer a um número menor de juízes para esse processo e ainda há mais garantia de participação desses, pois, por meio do levantamento apenas por escala do tipo Likert, essa participação pode ser menos expressiva, tanto quantitativa, quanto qualitativamente.

Feitas essas considerações sobre o processo qualitativo de validação, não podemos deixar de exaltar o IVC também. O instrumento de avaliação da matriz agregou aos indicadores um comando que indicava as exigências de relevância, de clareza e de adequação em cada item avaliado. Nossos principais resultados incluíram elevado nível de concordância dos S-IVC dos ciclos um, dois e três da matriz: 98%, 95% e 98%, respectivamente. Assim como o próprio S-IVC do instrumento que apresentou 97% de concordância. Todos, portanto, com resultado acima do preferencialmente recomendado: superior a 90%. Logo, inferimos, a partir desses dados, que os professores disporão de um suporte didático agregador de significado, de clareza e de adequação para apoiar o planejamento de ensino baseado em modelagem.

Portanto, a validação nos permitiu afirmar que a matriz criada está apta a ser um material didático mais seletivo para apoiar o ensino, a aprendizagem e a avaliação do ensino baseado em modelagem no contexto da citologia. Em particular, possibilita um melhor ensino sobre ciência ao destacar os modelos imagéticos em sua perspectiva simbólica. Os dois

objetivos da cultura disciplinar epistêmica da biologia – explorar sistemas complexos com foco na realidade e em si mesma e explorar sistemas complexos com foco na realidade conjecturada – acentuam o traço humano da ciência caracterizado por uma atividade intencional, subjetiva e, sobretudo, criativa.

6.4.2 Implicações do estudo

Levar adiante metas do ensino sobre ciências constitui um grande desafio ainda nos dias atuais como vimos ao longo deste trabalho. Uma das dificuldades está justamente na disposição de materiais didáticos mais seletivos. Isso porque as reflexões teóricas macro chegam naturalmente mais rapidamente do que aqueles e, muitas vezes, são inacessíveis pragmaticamente na forma como os professores costumam inovar seu ensino. Por outro lado, existe o perigo, e evidências empíricas como mostradas nesse estudo, de esses materiais perverterem os objetivos para os quais deveriam se voltar ou defender.

A discussão teórica neste estudo nos mostrou que os modelos e a modelagem constituem a essência do trabalho científico, daí ser útil para a encaminhar metas do ensino sobre ciência. Porém, alertou-nos da limitação de mediadores curriculares oficiais, como parâmetros, diretrizes e o próprio livro didático no auxílio que deveriam prestar ao ensino escolar inclinados com esse tema. Entendemos que nosso trabalho preenche parte dessa lacuna. Quando comparamos só constructos modelo e modelagem nos materiais supraindicados com a matriz produzida e validada, assumimos estarmos diante de um material cujo conteúdo espelha maior apropriação teórico por um lado. Por outro lado, a matriz também entrega uma ferramenta mais delineada para a tomada de posição pelo professor sobre o uso de modelos no ensino de uma perspectiva do ensino sobre ciência.

É temerário reduzir a complexidade do ensino ao caráter instrumental da didática que pode rotular, simplificar e isolar o trabalho docente. Essa pressão ideológica constantemente ronda o debate de inovação, sufocando discussões reflexivas com propostas diletantes ou por demais pragmáticas que evitam o debate sobre as condições reais em que a prática educativa se dá. Qualquer expressão do desenvolvimento curricular que incorpore atualizações, mas permaneça sem lugar na prática dos professores, como se nada os dissesse ou esclarecesse, é justificável ser diligenciada (Pacheco, 2005).

Infelizmente, nosso trabalho não pode dar conta dessa conjuntura social que circunscreve a escola e o ensino. Todavia, não constitui mais um material de análise pedagógica apenas. Possui uma estrutura com implicações didáticas mais evidentes. Deixa explícito o tipo

de conteúdo, indica questões-problema para sinalizar o início de cada ciclo de aprendizagem, indica como finalizá-los. Por fim, sugere um conjunto de habilidades para servir como referência.

Por fim, embora tenhamos escolhido o conteúdo da citologia como lastro conceitual para abordar o realismo dos modelos imagéticos sobre o DNA e a membrana, é possível adaptar nossa proposta para outros conteúdos. Talvez o primeiro ciclo possa ser até repetido na íntegra, já que ele é uma espécie de preparação para os outros. Essa é uma característica do ensino baseado em modelagem: começa-se explorando o sentido dos modelos na atividade científica. O ciclo 1 priorizou justamente esse conteúdo de metamodelagem no contexto da biologia.

6.4.3 Limitações e continuidade de estudo

Nosso estudo concentrou-se em um tipo de validação de um instrumento didático: a validade de conteúdo. Sendo assim, só pode responder ao princípio de representatividade do instrumento em relação ao conteúdo objeto do estudo. A Teoria da Modelagem a qual nos filiamos é explícita na defesa de que os ciclos de modelagem devem levar os alunos a uma evolução dos seus perfis paradigmáticos: do realismo ingênuo ao realismo científico. Estamos alertas ao fato de que mesmo a produção de um material didático mais seletivo e validado, como empreendemos com a matriz, jamais será o suficiente para o enfrentamento em absoluto da questão por nós apresentada.

No entanto, vislumbramos com coerência metodológica e potencial educativo um estudo de continuidade, mirando agora a validade de constructo sobre os modelos e modelagem tendo por base a matriz. Em síntese, este estudo poderia envolver duas etapas: 1) produzir uma sequência didática baseada nos ciclos; 2) construir um conjunto de itens a partir das habilidades da matriz. Enfim, o estudo poderia continuar sendo de método misto, com possibilidade de utilizar outros recursos estatísticos para avaliar a aprendizagem de constructo.

Destacamos outro ponto sobre limitação e continuidade. Embora tenhamos escolhido os professores como principais sujeitos sociais em nosso trabalho, e tenham sido eleitos juízes no processo de validação da matriz, sua participação na pesquisa poderia se dar de outras formas. Por exemplo, um estudo poderia ainda agregar, em seu levantamento de dados, a atuação deles no contexto de uma pesquisa-formação ou pesquisa-ação. Isso poderia ser interessante na perspectiva de desenvolver ainda mais pesquisas “com os professores” e não apenas “sobre os professores”.

REFERÊNCIAS

ACADEMIA Brasileira de Ciências (ABC): **Desinformação científica**. Brasília, DF: ABC, 2024. Disponível em: <http://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2024/06/Livro-Desinformacao-Cientifica-ABCJunho2024.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2024.

AGAZZI, Evandro. **A objetividade científica e seus contextos**. Trad. de Luisa Rabolini. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 2020.

ALEXANDRE, Neusa Maria Costa; COLUCI, Marina Zambon Orpinelli. Validade de conteúdo nos processos de construção e adaptação de instrumentos de medidas. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S. l.], v. 16, n. 7, p. 3061-3069, 2011.

ANDERSON, Lorin W. **Using the Revised Bloom's Taxonomy to Interpret "Prova Brasil" Data**. Distinguished Professor Emeritus University of South Carolina (USA) March 12, 2014.

ASTOFI, Jean-Pierre; DEVELAY, Michel. **A didática das ciências**. 10. ed. Trad. de Magda S.S. Fonseca. Campinas: Papirus, 2006.

AUGUSTO, Thaís Gimenez da Silva; BASILIO, Letícia Vieira. Ensino de biologia e história e filosofia da ciência: uma análise qualitativa das pesquisas acadêmicas produzidas no Brasil (1983-2013). **Ciência e Educação**, Bauru, v. 24, n.1, p.71-83, 2018.

AZEVEDO, N. H.; SCARPA, D. L. Revisão Sistemática de Trabalhos sobre Concepções de Natureza da Ciência no Ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. L.], v. 17, n. 2, p. 579-619, ago. 2017.

BAGNOUD, Danièle Périsset, Não toque na minha escola! Permanência e mudança na organização do ensino. In: THURLER, Monica Gather; MAULINI, Olivier. (org.). **A organização do trabalho escolar: uma oportunidade para repensar a escola**. Trad. de Fátima Murad. Porto Alegre: Penso, 2012. p. 36-47.

BAPTISTA, V. I. DE A.; LIMA, J. DE M.; MEDEIROS, L. M. DE A.; SCARDUA, A.; BAPTISTA, J. DA S. Concepções sobre anatomia humana de alunos do ensino médio da cidade de Cuité-PB: funções e relações com cotidiano. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 59-78, jul. 2015.

BARBOSA, F. T.; AIRES, Joanez A. Visões sobre natureza da ciência em artigos publicados em periódicos nacionais da área de ensino de ciências: um olhar para a educação em química. **Amazônia (UFPA)**, [S. l.], v. 14, p. 77-104, 2018.

BARLOW, Michael. **Avaliação escolar: mitos e realidade**. Trad. de Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed, 2006.

BASTOS, Fernando; NARDI, Roberto (orgs.). **Formação de professores e práticas pedagógicas: contribuições da pesquisa na área**. São Paulo: Escrituras Editora, 2008.

BAZERMAN, Charles. **Retórica da ação letrada**. Trad. de Adail Sobral; Angela Dionisio; Judith Chambliss; Pietra Acunha. 1. Ed. São Paulo: Parábola editorial, 2015.

BELTRAN, Maria Helena Roxo; SAITO, Fumikazu. História da ciência, epistemologia e ensino: uma proposta para atualizar esse diálogo. In.: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. 8., 2011, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: ENPEC, 2011.

BIZZO, Nélio. **Ciências: fácil ou difícil**. 1. ed. São Paulo: Biruta, 2009.

BLANCO-ANAYA, Paloma; JUSTI, Rosária; BUSTAMANTE, Joaquín Díaz de. Challenges and opportunities in analysing students modelling. **International Journal of Science Education**, [S. l.], 2017.

BLOOM, B. S.; HASTINGS, J. T.; MADDAUS, G. F. **Manual de Avaliação Formativa e Somativa do Aprendizado Escolar**. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1983.

BARBOSA, F. T.; AIRES, Joanez A. Visões sobre natureza da ciência em artigos publicados em periódicos nacionais da área de ensino de ciências: um olhar para a educação em química. **Amazônia (UFPA)**, [S. l.], v. 14, p. 77-104, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **PCN: Ciências Naturais – 3º e 4º Ciclos**. Brasília, DF: MEC, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF: MEC, 2002.

BRASIL. Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio. Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 135 p.

BRICCIA, Viviane. Sobre a natureza da ciência e o ensino. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. (org.). **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2017. p. 111-128.

BRUNO, Gabriel da Silva; CAROLEI, Paula. Contribuições do design para o ensino de ciências por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 851-878, 15 dez. 2018.

BRUYNE, Paul de; HERMAN, Jacques, SCHOUTHEETE, Marc de. **Dinâmica da pesquisa em ciências sociais: os polos da prática metodológica**. Trad. de Ruth Joffily. Rio de Janeiro: F. Alves, 1977.

BUNGE, Mario. **Teoria e realidade**. Trad. De Gita K. Guinsburg. 1. ed. São Paulo: Perspectiva, 2017. (Debates; 72)

CACHAPUZ, António Francisco. Epistemologia e ensino das ciências no pós mudança conceptual: análise de um percurso de pesquisa. In.: ENCONTRO NACIONAL DE

PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: UFRGS, 1999.

CACHAPUZ, António Francisco. Educação em ciências: contributos para a mudança. **Revista Vitruvian Cogitationes**, [S. l.], v. 3, n. 2, p. 64-80, 2022. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/revisvitruscogitationes/article/view/65705>. Acesso em: 10 jul. 2023.

CACHAPUZ, António Francisco; PRAIA, João; JORGE, Manuela. Da educação em ciência às orientações para o ensino das ciências: um repensar epistemológico. **Ciências e Educação**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 363-381, 2004.

CACHAPUZ, António; PRAIA, João; GIL-PÉREZ, Daniel. A emergência da didáctica das ciências como campo específico de conhecimentos. In: CACHAPUZ, António Francisco *et al.* (org.). **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005. p.187-232.

CALLEGARIO, Laís Jubini. *Et al.* As imagens científicas como estratégia para a integração da história da ciência no ensino de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 17, n.3, p.835-852, 2017.

CANDAU, Vera Maria. A didática e a formação de educadores – da exaltação à negação: a busca da relevância. In.: CANDAU, Vera Maria (org.). **A didática em questão**. 13. ed. Petrópolis: Vozes, 1996. p. 12-22.

CARDOSO, M. J. C.; SCARPA, D. L. Diagnóstico de elementos do ensino de ciências por investigação (DEEnCI): uma ferramenta de análise de propostas de ensino investigativas. **Revista brasileira de pesquisa em educação em Ciências**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 1025–1059, dez. 2018.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Critérios estruturantes para o ensino das ciências. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2006. p. 1-17.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. O que há de de comum no ensino de cada um dos conteúdos específicos. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). **Formação continuada de professores: uma releitura das áreas de conteúdo**. 2. ed. São Paulo: Cengage, 2017. p. 1-13.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; GIL-PÉREZ, Daniel. **Formação de professores de ciências: tendências e inovações**. 10. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011

CASTRO, Amelia Domingues de. Prefácio. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2006. p. VII-XI.

CHASSOT, Attico. **Alfabetização científica**: questões e desafios para educação. 3. ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2003.

COLEMAN, William. **Biology in the Nineteenth Century**: problems of forms, function, and transformation. Cambridge: Cambridge University Press, 1977.

COLL, César *et al.* **Os conteúdos na reforma**: ensino e aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes. Trad. de Beatriz Affonso Neves. Porto Alegre: Artes Médicas, 2000.

COLL, César; MARTÍN, Elena. **Aprender conteúdos e desenvolver capacidades**. Trad. de Cláudia Schilling. Porto Alegre: Artmed editora, 2004.

CONTRERAS, José. **Autonomia de professores**. Trad. de Sandra Trabucco Valenzuela. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2012.

DAMÁSIO, B. **Índice de validade de conteúdo**. [S. l.]: Blog Psicometria Online, 2021. <https://www.blog.psicometriaonline.com.br/indice-de-validade-de-conteud>. Acesso em: 12 jun 2024.

DELIZOICOV, Nadir Castilho; CARNEIRO, Maria Helena da Silva; DELIZOICOV, Demétrio. O movimento do sangue no corpo humano: do contexto da produção do conhecimento para o do seu uso. **Ciência e educação**, [S. l.], v. 10, n.3, p. 443-460, 2004.

DESLAURIERS, Jean-Pierre, KÉRISIT, Michéle. O delineamento de pesquisa qualitativa. *In*: POUPART, Jean et al. **A pesquisa qualitativa**: enfoques epistemológicos e metodológicos. Trad. de Ana Cristina Nasser. Petrópolis: Vozes, 2012.

DUARTE, N. O currículo em tempos de obscurantismo beligerante. **Revista Espaço do Currículo**, [S. l.], v. 2, n. 11, p. 139–145, 2018.

DUSO, Leandro *et al.* Modelização: uma possibilidade didática no ensino de biologia. **Revista Ensaio**, [S. l.], v. 15, n. 02, p. 29-44, maio-ago, 2013.

FARIAS *et al.* Aprendizagem ativa na educação em saúde: percurso histórico e aplicações. **Revista brasileira de educação médica**, [S. l.], v. 39, n. 1, p. 143-158, 2015.

FEHRING, R. Methods to validate nursing diagnoses. **Heart Lung**. [S. l.], v.16, n. 6, p. 625-629, 1987.

FERNANDES, Domingos. **Avaliar para aprender**: fundamentos, práticas e políticas. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

FERRAZ, Arthur Tadeu; SASSERON, Lúcia Helena. Propósitos epistêmicos para a promoção da argumentação em aulas investigativas. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 42-60, abr. 2017a.

FERRAZ, Arthur Tadeu; SASSERON, Lúcia Helena. Espaço interativo de argumentação colaborativa: condições criadas pelo professor para promover a argumentação em aulas investigativas. **Revista Ensaio**, [S. l.], v. 19, ago. 2017b.

FERREIRA, Cândida; ALENCOÃO, Ana; VASCONCELOS, Clara. O recurso à modelação no ensino de ciências: um estudo com modelos geológicos. **Ciênc. Educ.**, Bauru, v. 21, n. 1, p. 31-48, 2015.

FEYERABEND, Paul. **Contra o método**. Trad. de Cezar Augusto Mortari. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2011.

FLECK, Ludwik. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Trad. de Georg Otte e Mariana Camilo de Oliveira. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

FORQUIN, J.C. Saberes escolares, imperativos didáticos e dinâmicas sociais. **Teoria e Educação**, Porto Alegre, v. 3, n.5, p. 28-49, 1992.

FOUREZ, Gérard. Crise no ensino de ciências? **Investigações em Ensino de Ciências**. [S. l.], v. 8, n. 2, p. 109-123, 2023.

FRANCO, Creso; BONAMINO, Alícia. Iniciativas recentes de avaliação da qualidade da educação no Brasil. In: FRANCO, Creso (org.). **Avaliação, ciclos e promoção na educação**. Porto Alegre: Artmed Editora, 2001. p. 15-28.

FUMAGALLI, Laura. O ensino de ciências naturais no nível fundamental de educação forma: argumentos a seu favor. In: WEISSMANN, Hilda. (org.). **Didática das Ciências Naturais: contribuições e reflexões**. Porto Alegre: ArtMed, 1998. p. 1-29

GALILI, Igal. Scientific Knowledge as a Culture: A Paradigm for Meaningful Teaching and Learning of Science. In: GALILI, Igal. (Ed.) **Science: Philosophy, History and Education, History, Philosophy and Science Teaching New Perspectives**, Springer International Publishing AG, 2018.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GIL-PÉREZ, Daniel, *et al.* Defesa do construtivismo: que entendemos por posições construtivistas na educação em ciências? In: CACHAPUZ, António *et al.* (org.). **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005. p. 109-126.

GIL-PÉREZ, Daniel, *et al.* Superação das visões deformadas da ciência e da tecnologia: um requisito essencial para renovação da educação científica. In: CACHAPUZ, António *et al.* (org.). **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005a. p. 37-70.

GIL-PÉREZ, Daniel; VILCHES, Amparo. Importância da educação científica na sociedade actual. In: CACHAPUZ, António *et al.* (org.). **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005b. p. 19-34.

GILBERT, John K.; BOULTER, Carolyn. Aprendendo ciências através de modelos e modelagem. In: COLINVAUX, D. (org.) **Modelos e Educação em Ciências**. Rio de Janeiro: Ravil, 1998. p. 12-34.

GÓMEZ, Ángel I. Pérez. Competências ou pensamento prático? A construção dos significados de representação e de ação. In: SACRISTÁN, José Gimeno *et al.* (org.). **Educar por competência: o que há de novo?** Trad. de Carlos Henrique Lucas Lima. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 64-114.

GRECA, Ileana Maria. Discutindo aspectos metodológicos da pesquisa em ensino de ciências: algumas questões para refletir. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 73-82, 2002,

GURGEL, Ivã e PIETROCOLA, Maurício. O papel dos modelos no entendimento dos alunos. 4., 2005, Bauru. **Anais [...]**. Bauru: ABRAPEC, 2005.

HADJI, Charles. **Avaliação, regras do jogo: das intenções aos instrumentos**. Trad. de Júlia Lopes Ferreira e José Manuel Cláudio. Portugal: Porto Editora, 1994.

HADJI, Charles. **Avaliação desmistificada**. Trad. de Patrícia C. Ramos. Porto Alegre: ARTMED, 2001.

HALLOUN, Ibrahim A. **Modeling theory in science education**. v. 24. Springer: s. n., 2006.

HARRISON, Allan G.; TREAGUST, David F. **A typology of school science models**. **International Journal of Science Education**, [S. l.], v. 22, n. 9, p. 1011-102, 2000.

HOFER, Barbara K. **Epistemic cognition as a psychological construct: Advancements and Challenges**. Middlebury College, USA, 2015.

IHAKA, Ross; GENTLEMAN, Robert. R: A language for data analysis and graphics. **Journal of computation and graphical statistics**, v. 5, n. 3, p. 299-314, 1996.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; CRUJEIRAS, B. Epistemic Practices and Scientific Practices in Science Education. In: TABER, K.; AKPAN, B. (eds). **Science Education: International Course Companion**. Rotterdam: SensePublishers, 2017. p. 69-80.

JOHNSON-LAIRD, P.N. **Mental Models**. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

JUSTI, R.; GILBERT, J. K. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 369-387, 2002.

JUSTI, Rosária da Silva; MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. Construção de modelos no ensino de ligação iônica. In.: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., 2005, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABRAPEC, 2005.

KELLY, Gregory J.; DUSCHL, Richard A. Toward a research agenda for epistemological studies in science education. In: NATIONAL ASSOCIATION FOR RESEARCH TEACHING (NARST), **Proceedings [...]**. New Orleans, Louisiana, USA, 2002.

KELLY, Gregory J.; LICONA, Peter. **Epistemic Practices and Science Education**. Springer: History, Philosophy and Science Teaching, Science: Philosophy, History and Education, 2018.

KICKHÖFEL, Eduardo Henrique Peiruke. A lição de anatomia de Andreas Vesalius e a ciência moderna. **Scientia studia**, [S. l.], v.1, n. 3, p. 389-404, 2003.

KNELLER, G. F. **A ciência como atividade humana**. Trad. de Antonio José de Sousa. Rio de Janeiro: Zahar; São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

KRAPAS, Sonia et al. Modelos: uma análise de sentidos na literatura de pesquisa em ensino de ciências. In: COLINVAUX, Dominique (org.). **Modelos e educação em ciências**. Rio de Janeiro: Ravil, 1998. p. 35-53.

KRASILCHIK, Myriam. **Prática de Ensino de Biologia**. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

LIMA, Ana Carolina Maria Araújo Chagas Costa. **Construção e validação de cartilha educativa para prevenção da transmissão vertical do HIV**. 2014. 136f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará.

LIMA, Ana Carolina Maria Araújo Chagas Costa *et al.* Construção e Validação de cartilha para prevenção da transmissão vertical do HIV. **Acta Paul Enferm**, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 181-189, 2017.

LIMA, Ana Carolina Maria Araújo Chagas Costa *et al.* Construção e validação de cartilha educativa para sala de apoio à amamentação. **REME – Rev Min Enferm.**, [S. l.], v. 24, e-1315, 2020.

LORENZETTI, Leonir; DELIZOICOV, Demétrio. Alfabetização científica no contexto das séries iniciais. **Ensaio, pesquisa em educação em ciências**, [S. l.], v. 3, n. 1, 2001.

LUCKESI, Cipriano Carlos. **Avaliação da aprendizagem**. 15. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

LYNN, MR. Determination and quantification of content validity. **Nurs Res**. [S. l.], v. 35, n. 9, p. 382-385, out. 1986.

MACHADO, Juliana; CRUZ, Sonia Maria Silva. Conhecimento, realidade e ensino de física: modelização em uma inspiração Bungeana. **Ciência & Educação**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 887-902, 2011.

MARANDINO, Martha; SELLES, Sandra Escovedo, FERREIRA, Marcia Serra. **Ensino de biologia: histórias e práticas em diferentes espaços educativos**. São Paulo: Cortez, 2009.

MARQUES, Humberto Rodrigues *et al.* Inovação no ensino: uma revisão sistemática das metodologias ativas de ensino-aprendizagem. **Avaliação**, Campinas; Sorocaba, v. 26, n. 03, p. 718-741, nov. 2021.

MARTÍN, Elena. Prefácio. In: VALLS, Enric. **Os procedimentos educacionais: aprendizagem, ensino e avaliação**. Trad. de Juan Acuña. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

MARTINS, Roberto de Andrade. A história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle Celestino (org). **Estudos de História e Filosofia das Ciências**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MATTHEWS, M. R. New perspectives in history, philosophy and science teaching: na introduction. **Philosophy, History and Education, series: history, philosophy and science teaching: new perspectives**, Springer international publishing, 2018.

MC DONALD, Brendan Coleman (org.). **Esboços em avaliação educacional**. Fortaleza: Editora UFC, 2003.

MELO, R. P.; MOREIRA, R. P.; FONTENELE, F. C.; AGUIAR, A. S. C. De; JOVENTINO, E. S.; CARVALHO, E. C. De. Critérios de seleção de experts para estudos de validação de fenômenos de enfermagem. **Rev Rene**, [S. l.], v. 12, n. 2, abr. 2011.

MORAES, Roque; GALIAZZI, Maria do Carmo. **Análise textual discursiva**. 3. ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2016.

MOREIRA, Marco Antonio. Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. **Educación Científica**, [S. l.], v. 3, n.1, p. 10-17, 2004.

MOREIRA, Marco Antonio. **Metodologias de pesquisa em ensino**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOURA, Breno Arsioli. O que é natureza da ciência e qual sua relação com a História e Filosofia da ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 32-46, jan-jun, 2014.

MOURA, Ionara Holanda de *et al.* Construção e validação de material educativo para prevenção de síndrome metabólica em adolescentes. **Rev. Latino-Americana de Enfermagem (RELAE)**. [S. l.], v. 25, e 2934, 2017.

MOURA, Cristiano Barbosa de; GUERRA, Andreia. História cultural da ciência: um caminho possível para a discussão sobre as práticas científicas no ensino de ciências? **Revista Brasileira de Pesquisa em educação em Ciências**, [S. l.], v. 16, n.3, p.725-748, dez. 2016.

MUNFORD, Danusa; CASTRO, L.; LIMA, Maria Emília Caixeta de. Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo? **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 9, n. 1, p.89-111, jan-jun, 2007.

MUSEU DE CIÊNCIAS MORFOLÓGICAS DA UFMG. Ciências Morfológicas? Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, s. d. Disponível em: <https://www.ufmg.br/rededemuseus/mcm/>. Acesso em: 10 maio 2024.

NASCIMENTO, Matheus Monteiro *et al.* Métodos quantitativos interpretativos na educação em ciências: abordagens para análise multivariada de dados. **Revista Brasileira de Pesquisa em educação em Ciências**. [S. l.], v. 2, n. 26, dez, 2019.

NÓVOA, António. Nada substitui um bom professor: propostas para uma revolução no campo da formação de professores. In: GATTI, Bernadete Angelina. *Et al.* (org.). **Por uma política nacional de formação de professores**. 1. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2013. P.199-210.

OLIVA, Alberto. A hegemonia da concepção empirista de ciência a partir do Novo Organum. In: OLIVA, Alberto (org.) **Epistemologia: a cientificidade em questão**. Campinas: Papirus, 1990. p. 11-33.

OLIVEIRA, Carmen Irene C. De; GOUVÊA, Guaracira. Apresentação. **Imagem e ciência: perspectivas educacionais e pedagógicas dos documentos imagéticos**. São Paulo: Cortez; Campinas: CEDES, 2014. p. 9-13

OLIVEIRA, Maria Marly de. **Como fazer pesquisa qualitativa**. Petrópolis: Vozes, 2008.

PACHECO, José augusto. **Escritos curriculares**. São Paulo: Cortez, 2005.

PARSONS, Michael J. Prefácio In: ROSSI, Maria Helena Wagner. **Imagens que falam: leitura da arte na escola**. 5. ed. Porto Alegre: Mediação, 2011.

PERRENOUD, Philippe. **As competências para ensinar no século XXI: a formação dos professores e o desafio da avaliação**. Trad. de Patrícia Chittoni Ramos. Porto Alegre: Artmed, 2000.

PERRENOUD, Philippe. **Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens – entre duas lógicas**. Trad. De Patrícia Chittoni Ramos. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1999.

PERRENOUD, Philippe. **10 novas competências para ensinar**. Trad. de Cláudia Schilling e Fátima Murad. Porto Alegre: Artmed Editora, 2002.

PIETROCOLA, Maurício. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigação em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 213-227, 1999.

PIMENTA, Selma Garrido; LIMA, Maria Socorro Lucena. **Estágio e docência**. 6. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

PINO, Patrícia Visintainer; OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Concepções epistemológicas veiculadas pelos parâmetros curriculares nacionais na área de ciências naturais de 5ª a 8ª série do ensino fundamental. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 5-14, maio/ago. 2005.

POZO, Juan Ignacio; CRESPO, Miguel Ángel Gómez. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. Trad. de Naila Freitas. 5. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRAIA, João; CACHAPUZ, António; GIL-PÉREZ, Daniel. Problema, teoria, e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. In: CACHAPUZ, António Francisco *et al.* (org.). **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005. p. 71-92.

QUIVY, Raymond; CAMPENHOUDT, Luc Van. **Manual de investigação em ciências sociais**. Trad. de João Minhoto Marques; Maria Amália Mendes; Maria Carvalho. 5. ed. Lisboa: Gradiva, 2008.

RASCO, Félix Angulo. O desejo de separação: as competências nas universidades. In: SACRISTÁN, José Gimeno; *et al.* **Educar por competência: o que há de novo?** Trad. de Carlos Henrique Lucas Lima. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 198-232.

REGO, Sheila Cristina Ribeiro. Leitura de imagens: resultados de uma oficina com licenciandos em física. In: OLIVEIRA, Carmen Irene C. de, SOUZA, Lucia Helena Pralon de (orgs.). **Imagens na educação em ciências**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2014. p. 83-109.

REZENDE, A. *et al.* **Comparison of Team-Based Learning versus Traditional Lectures in Neuroanatomy: Medical Student Knowledge and Satisfaction**. Anatomical Sciences Education, 2019.

RIBEIRO, G.; SILVA, J. L. De J. C. Da. Discutindo o Processo de Criação Científica por meio de uma Abordagem Histórica da Anatomia Humana em um Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 19, p. 67-94, maio 2019.

RODRIGUES, Rui Martinho. **Pesquisa acadêmica: como facilitar o processo de preparação de suas etapas**. São Paulo: Atlas, 2007.

ROMAN, Cassiela *et al.* Metodologias ativas de ensino-aprendizagem no processo de ensino em saúde no Brasil: uma revisão narrativa. **Clin Biomed Res**. v. 37, n. 4, 2017.

ROSSI, Maria Helena Wagner. **Imagens que falam: leitura da arte na escola**. 5. ed. Porto Alegre: Mediação, 2011.

SACRISTÁN, José Gimeno. Introdução. In: **O currículo: uma reflexão sobre a prática**. Trad. de Ernani F. Da F. Rosa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000. p. 7-11

SACRISTÁN, José Gimeno; *et al.* **Educar por competência: o que há de novo?** Trad. de Carlos Henrique Lucas Lima. Porto Alegre: Artmed, 2011.

SANTOMÉ, Jurjo Torres. Evitando o ebate sobre a cultura no sistema educacional: como ser competente sem conhecimento. In: SACRISTÁN, José Gimeno *et al.* **Educar por competência: o que há de novo?** Trad. de Carlos Henrique Lucas Lima. Porto Alegre: Artmed, 2011. p. 161-197.

SANTOS, Fernando Santiago dos. A botânica no ensino médio: será que é preciso apenas memorizar nomes de plantas? In: SILVA, Cibelle Celestino (org.). **Estudos de história e filosofia das ciências**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. p. 223-243.

SANTOS, Flávia Maria Teixeira dos; GRECA, Ileana Maria. Metodologias de pesquisa no ensino de ciências na América Latina: como pesquisamos na década de 2000. **Ciência e Educação**, [S. l.], v. 19, n.1, p. 15-33, 2013.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Ciência e Educação**, [S. l.], v. 12, n. 36, p. 474-492, 2007.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 333-352, 2008.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SASSERON, Lúcia Helena. **Práticas em aula de ciências**: o estabelecimento de interações discursivas no ensino por investigação. 2018. 187f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SASSERON, Lúcia Helena; DUSCHL, Richard A. Ensino de ciências e as práticas epistêmicas: o papel do professor e o engajamento dos estudantes. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 52-67, ago. 2016.

SCARPA, Daniela Lopes; SILVA, Maria Batistoni e. A Biologia e o ensino de Ciências por investigação: dificuldades e possibilidades. In: CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. (org.). **Ensino de ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2017. p. 129-152.

SCHÄFER, Lothar; SCHNELLE, Thomas. Fundamentação da perspectiva sociológica de Ludwik Fleck na teoria da ciência. In: FLECK, Ludwik. (org.). **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Trad. De Georg Otte; Mariana Camilo de Oliveira. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010. p. 1-36.

SCHEID, N. M. J. História da ciência na educação científica e tecnológica: contribuições e desafios. **Revista Brasileira De Ensino de Ciência e Tecnologia**, [S. l.], v. 11, n. 2, 2018.

SCHIRMER, Saul Benhur; SAUERWEIN, Inés Prieto Schmidt. Recursos didáticos e história e filosofia da ciência em sala de aula: uma análise em periódicos de ensino nacionais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, [S. l.], v. 14, n. 3, 2014.

SCHNEIDERS, Luís Antônio. **O método da sala de aula invertida**. Lajeado: Editora da Univates, 2018.

SCHWARZ, Christina V.; WHITE, Barbara Y. Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. **Cognition and Instruction**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 165–205, 2005.

SILVA, Andréia Cardoso da *et al.* Elaboração e validação de tecnologia educativa de introdução a farmacologia, farmacocinética e farmacodinâmica. **Brazilian Journal of Health Review**, Curitiba, v. 6, n. 1, jan./feb. 2023.

SILVA, Fábio Augusto Rodrigues e. O ensino por investigação e as práticas epistêmicas: referências para a análise da dinâmica discursiva da disciplina projetos em bioquímica. In.: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. 7., 2009, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2009.

SILVA, Cibele Celestino. Uma análise histórica do uso de modelos no eletromagnetismo. In.: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. 5., 2005, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, 2005.

SILVA, Rosalina Carvalho da. A falsa dicotomia qualitativo-quantitativo: paradigmas que informam nossas práticas de pesquisas. In: ROMANELLI, Geraldo; BIASOLI-ALVES, Zélia Maria Mendes (org.). **Diálogos metodológicos sobre prática de pesquisa**. Ribeirão Preto: Legis Summa, 1998. p. 158-174.

SOARES, Magda. As pesquisas nas áreas específicas influenciando o curso de formação de professores. In: ANDRÉ, Marli (org.). **O papel da pesquisa na formação e na prática dos professores**. 11. ed. Campinas: Papirus, 2001. p. 91-105.

SOUSA, Marcos R. De; RIBEIRO, Antonio Luiz P. Revisão sistemática e meta-análise de estudos de diagnóstico e prognóstico: um tutorial. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, [S. l.], v. 92, n. 3, mar. 2009.

SOUZA, A. C.; ALEXANDRE, N. M. C.; GUIRARDELLO, E. B. Propriedades psicométricas na avaliação de instrumentos: avaliação da confiabilidade e da validade. **Epidemiol. Serv. Saúde**, [S. l.], v. 26, n. 3, p. 649-659, 2017.

SOUZA, Lucia Helena Pralon de. Imagens científicas e ensino de ciências: a construção de representação simbólica a partir do referencial real. In: OLIVEIRA, Carmen Irene C. de, SOUZA, Lucia Helena Pralon de (orgs.). **Imagens na educação em ciências**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2014. p. 111-134.

SOUZA, Vinícius Catão de Assis; JUSTI, Rosária. Estudo da utilização de modelagem como estratégia para fundamentar uma proposta de ensino relacionada à energia envolvida nas transformações químicas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 10, n. 2, 2010.

STRAUSS, Anselm; CORBIN, Juliet. Trad. de Luciane de Oliveira da Rocha. **Pesquisa qualitativa: técnicas e procedimentos para o desenvolvimento de teoria fundamentada**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

STRIEDER, Roseline Beatriz; WATANABE, Graciella. Atividades investigativas na educação científica: dimensões e perspectivas em diálogos com o ENCI. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 18, n. 3, dez. 2018.

SVOBODA, Julia; PASSMORE, Cynthia. **The Strategies of Modeling in Biology Education**. Published online: 2, December, 2011.

TALAMONI, Ana Carolina Biscalquini; FILHO, Claudio B. A anatomia e o ensino de anatomia no Brasil: a escola boveriana. **História, Ciência, Saúde**. Rio de Janeiro, v. 21, n. 4, p. 1301-1322, out-dez. 2014.

TAMADA, Rosane Cristina Piedade; CUNHA, Isabel Cristina Kowal Olm. Competências profissionais do técnico administrativo em educação: evidências de validade do conteúdo. **Revista Gestão Universitária na América Latina - GUAL**, Florianópolis, v. 16, n. 1, 2023.

TEIXEIRA, Paulo Marcelo Marine; NETO, Jorge Megid. Uma proposta de tipologia para pesquisas de natureza interventiva. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 23, n. 4, p. 1055-1076, 2017.

TERRA, Walter R.; TERRA, Ricardo R. **Filosofia da ciência: fundamentos históricos, metodológicos, cognitivos e institucionais**. São Paulo: Contexto, 2023.

THURLER, Monica Gather; MAULINI, Olivier. Introdução. A organização do trabalho escolar: pensá-la para fazê-la evoluir. In: THURLER, Monica Gather; MAULINI, Olivier. (org.). **A organização do trabalho escolar: uma oportunidade para repensar a escola**. Trad. de Fátima Murad. Porto Alegre: Penso, 2012. p. 11-34.

TRIVELATO, Sílvia Frateschi; SILVA, Rosana Louro Ferreira. **Ensino de ciências**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TRIVELATO, Silvia L. Frateschi; TONIDANTEL, Sandra M. Rudella. Ensino por investigação: eixos organizadores para sequências de ensino de biologia. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 17, n. Esp., p. 97-114, 2015.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. **Introdução a pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

TYLER, Ralph Winfred. **Princípios básicos de currículo e ensino**. Trad. de Leonel Vallandro. Porto Alegre: Globo, 1977.

UNESCO. **Relatório GEM 2020**. Unesco mostra que 40% dos países mais pobres não apoiam os estudantes em situação de risco durante a crise da COVID-19 e pede por inclusão na educação. Brasília, DF: Unesco, 2020.

VALLS, Enric. **Os procedimentos educacionais: aprendizagem, ensino e avaliação**. Trad. de Juan Acuña. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

VIANNA, Heraldo Marelim. **Testes em educação**. São Paulo: Ibrasa, 1982.

VIANNA, Heraldo Marelim. **Introdução à avaliação educacional**. São Paulo: IBRASA, 1989.

WEISSMANN, Hilda. O que ensinam os professores quando ensinam ciências naturais e o que dizem querer ensinar. In: WEISSMANN, Hilda. (org.). **Didática das ciências naturais**:

contribuições e reflexões. Trad. de Beatriz Affonso Neves. Porto Alegre: ArtMed, 1998. p. 31-55.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa:** como ensinar. Trad. de Ernani F. da Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A – CARTA CONVITE

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MORFOFUNCIONAIS

Prezado (a)

Estimado (a), _____.

Tenho a honra de convidá-lo (a) a participar como juiz (a) para validação de uma tecnologia educacional que estou desenvolvendo: uma matriz de referência. Este trabalho é objeto da minha pesquisa de doutorado no Programa de Pós-graduação em Ciência Morfofuncionais da FAMED/UFC. A pesquisa foi aprovada no Comitê de Ética e Pesquisa: CAAE: 71653223.9.0000.5054, Número do Parecer: 6.322.174.

A seguir, apresento resumidamente a proposta do trabalho:

Título: Metamodelagem como conteúdo curricular procedimental e epistêmico: proposição e validação de uma matriz de referência, mirando o realismo de modelos imagéticos em citologia.

Objetivo Geral: Produzir e validar uma matriz de referência para subsidiar o ensino, a aprendizagem e a avaliação de conteúdo procedimental e epistêmico, mirando modelos imagéticos e a modelagem científica em biologia/citologia.

Benefícios: O estudo pretende produzir um material didático mais seletivo para o tratamento do tema Modelo e Modelagem Científica em contexto escolar para professores do ensino médio da disciplina biologia.

A sua participação é voluntária e consiste em responder e sugerir alterações por meio do instrumento destinado a avaliar essa tecnologia já desenvolvida por mim. Este consiste em afirmações cujas respostas são categorizadas em escala do tipo Likert com graduação de 1 a 4.

Ressalto que essa etapa é parte integrante da minha tese de doutorado. Portanto, sua colaboração é essencial para o prosseguimento do meu trabalho que consiste na validação da Matriz.

Caso aceite participar, outros documentos serão disponibilizados posteriormente, como o Procedimento Operacional Padrão (POP-1), o Instrumento de Seleção dos Juízes (as), o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, a Matriz de Referência e o Instrumento de avaliação da matriz.

Cordialmente,

Esequias Rodrigues da Silva

**APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)
– JUÍZES**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE MEDICINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MORFOFUNCIONAIS**

Prezado (a) Senhor (a):

Você está sendo convidado (a) a participar voluntariamente como juiz (a) de uma pesquisa intitulada **metamodelagem como conteúdo curricular procedimental e epistêmico: proposição e validação de uma matriz de referência mirando o realismo de modelos imagéticos em citologia**. Temos por objetivo produzir e validar uma matriz de referência para subsidiar o ensino, a aprendizagem e a avaliação de conteúdo procedimental e epistêmico, mirando modelos imagéticos e a modelagem científica em biologia. O estudo, assim, pretende produzir um material didático mais seletivo quanto a essa temática, que sirva de orientação para os professores do ensino médio da disciplina escolar biologia.

Buscamos, principalmente, perfis de participantes com as seguintes características: a) experiência laboral em ensino, pesquisa com a biologia ou ciências da natureza; e b) experiência laboral em ensino, pesquisa voltada para a modelagem científica educacional. Considerando a opção de participar do estudo, o senhor (a) receberá um conjunto de documentos por correio eletrônico ou pessoalmente, a saber: 1. Carta convite; 2. procedimento operacional padrão (POP-1), um guia de instruções, que apresenta, em linhas gerais, os procedimentos de levantamento de dados empíricos junto aos juízes (as); 3. instrumento de avaliação da matriz de referência; 4. matriz de referência; 5. instrumento de seleção dos juízes (as); 6. uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE).

Para proceder com a avaliação da matriz de referência, basta o senhor (a) ler atentamente os itens e depois assinalar no instrumento destinado a essa ação a alternativa que melhor representa sua opinião acerca de cada uma das variáveis do instrumento. Essa avaliação poderá ser feita no próprio domicílio ou em outro lugar de sua conveniência. Será concedido ao senhor (a) um prazo de 20 dias para preencher os instrumentos (instrumento de avaliação da matriz e TCLE), devolvendo-os ao pesquisador por meio de correio eletrônico ou pessoalmente.

As informações cedidas para este estudo ficarão restritas ao mesmo. O (A) senhor (a) é livre para retirar seu consentimento em qualquer etapa do estudo, sem prejuízo de qualquer

tipo. Não haverá despesa pessoal para o participante em nenhuma fase do estudo. Será garantido ao participante se recusar a responder questões que lhe causem desconforto emocional ou constrangimento, sendo-lhe concedido o direito de sugestão de melhorias para os itens. Garanto-lhe sigilo de forma a assegurar-lhe privacidade e anonimato. Todavia, esclarecemos que os resultados da pesquisa serão tornados públicos, independentes de serem favoráveis ou não aos objetivos.

Finalmente, qualquer dúvida sobre sua participação na pesquisa poderá ser consultada junto ao Comitê de Ética da UFC por meio do telefone: (85) 3366 8344. Caso precise de um contato direto com o pesquisador, informo-lhe meus dados a seguir: Esequias Rodrigues da Silva, Telefone: (85) 987499695, E-mail: esequias.ufpi@gmail.com.

Após ler este termo e de se sentir informado e confortável a respeito das informações nele contidas, solicito que preencha e assine, no espaço abaixo, os dados indicados. Este termo será impresso em duas vias, sendo uma do pesquisador e a outra do participante.

Eu, _____,
inscrito sob o RG _____, após ler o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), concordo em participar voluntariamente do estudo intitulado **metamodelagem como conteúdo curricular procedimental e epistêmico: proposição e validação de uma matriz de referência mirando o realismo de modelos imagéticos em citologia.**

Fortaleza, _____, de julho de 2024

Assinatura do (a) participante

Assinatura do (a) pesquisador

Observações complementares

ATENÇÃO: Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a sua participação na pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFC/PROPESQ – Rua Coronel Nunes de Melo, 1000 - Rodolfo Teófilo, fone: 3366-8344. (Horário: 8h-12h de segunda a sexta-feira).

O CEP/UFC/PROPESQ é a instância da Universidade Federal do Ceará responsável pela avaliação e acompanhamento dos aspectos éticos de todas as pesquisas envolvendo seres humanos.

Endereço do (as) responsável (is) pela pesquisa**Nome:** Esequias Rodrigues da Silva**Instituição:** Universidade Federal do Ceará**Endereço:** Programa de Pós-Graduação em Ciências Morfofuncionais**Telefones para contato:** (85) 98749-9695**E-mail:** esequias.ufpi@gmail.com

APÊNDICE C – ESTRUTURA DA MATRIZ DE REFERÊNCIA PRÉ -VALIDAÇÃO

MATRIZ DE REFERÊNCIA: METAMODELAGEM SOBRE O REALISMO DE MODELOS IMAGÉTICOS EM CITOLOGIA		
Conteúdo conceitual: membrana, DNA e metamodelagem		
Conteúdo ontológico: retratadores de entes e descritores de processos		
Conteúdo procedimental: modelagem científica em educação		
Conteúdo epistêmico da cultura disciplinar da biologia: modelos para explorar sistema complexos e modelos para explorar possibilidades desconhecidas		
C1	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo	Modelos e o processo de modelagem científica: metamodelagem no contexto da cultura disciplinar da biologia e da citologia
	2. Objetivo geral	Discutir a natureza dos modelos e o processo de modelagem científica para fundamentar interpretações epistemológicas sobre modelos consensuais imagéticos em biologia e citologia.
	3. Guia de apoio à condução do ensino	<p>3.1 Introduzir o foco do ciclo com questões-problema sobre o tema modelos e modelagem. Exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ O que significa afirmar que um modelo científico é uma representação da realidade? O que um modelo científico pode representar? Existe um modelo completo? Um mesmo conceito, ente ou processo pode ser representado por mais de um modelo? ▪ O que o caráter aproximativo da representação do real pelos modelos nos diz sobre a própria natureza da ciência? ▪ Qual a utilidade de um modelo na ciência (comunicar, investigar ou compreender (explicar, descrever, prever)? ▪ Um cientista pode escolher entre propor um modelo mais preditivo, explicativo e realista? Nesse contexto, um seria melhor do que o outro? ▪ O que implica a criação e avaliação de um modelo? ▪ Um modelo construído, avaliado e aceito pelos cientistas (modelo consensual) pode ser revisado, questionado? Acaso possa, sob qual circunstância isso ocorre? <p>3.2 Finalizar o ciclo indicando o limite do escopo dos modelos ou do ciclo. Exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A cultura epistêmica da biologia tem interesse em objetivos diversos em relação aos modelos, a destacar: explicar, prever, desenvolver conceitos, explorar sistema complexo e explorar possibilidades, mas as diferentes subáreas dessa ciência possuem interesses epistêmicos particulares. ▪ Como a citologia, especificamente, utiliza-se dos objetivos para explorar sistemas complexos e explorar possibilidades?
	4. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	<p>C1MOD01 Envolver os estudantes em discussões sobre a natureza dos modelos, circunscrevendo-a como uma representação parcial e intencional de um conceito ou ideia, de uma estrutura, ente ou coisa, de um processo ou uma propriedade, sejam eles biológicos, físicos, químicos ou sociais.</p> <p>C1MOD02 Discutir sobre a característica dos modelos segundo a qual nenhum deles é certo ou completo, embora possa haver diferença na complexidade epistemológica (descrever é mais simples que explicar) e ontológica (abordar apenas a descrição de um ente é mais simples do que explicar processos) de uns sobre outros.</p> <p>C1MOD03 Apresentar diferentes objetivos dos modelos científicos na biologia, como descrever, explicar, prever, guiar experimentos e observações, explorar</p>

		sistemas complexos e explorar possibilidades desconhecidas, sinalizando que será enfatizado no ciclo C2 o objetivo “explorar sistema complexo”; e no ciclo C3 “explorar possibilidades desconhecidas no contexto da citologia”.
		C1MOD04 Explicar que a parcialidade representacional dos modelos culmina com o uso de múltiplos modelos para representar um dado conceito ou ideia, uma estrutura, um ente ou coisa, um processo ou uma propriedade.
		C1MOG05 Discutir a modelagem como um processo que envolve principalmente a criação e avaliação de modelos, e, alternativamente, também podendo ser estendida apenas ao uso e à revisão de modelos.
		C1MOG06 Discutir aspectos da modelagem relativa à etapa de criação de modelo, caracterizada principalmente pela proposição de inserir a um modelo um dado empírico ou teórico.
		C1MOG07 Discutir aspectos metodológicos específicos da etapa de avaliação de modelos, a saber: realização de experimentos empíricos, realização de experimentos de pensamento e observações.
		C1MOG08 Discutir sob quais condições a etapa de revisão de modelos é necessária, a destacar: quando o processo natural de avanço na compreensão de uma dada realidade exige a proposição de alterações em um dado modelo aceito consensualmente para acomodar novo aspecto teórico ou empírico.
		C1MOG09 Discutir aspectos da modelagem na perspectiva apenas de uso dos modelos, isto é, usá-los para explicar, comunicar ou representar um dado conceito mais elaborado.
		C1MOG10 Discutir aspectos da modelagem na perspectiva apenas de uso dos modelos para guiar experimentos ou observação nas atividades de investigação científica.
C2	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo.	Contínuo de modelos imagéticos sobre DNA e membrana, bem como a modelagem subjacente a estes.
	2. Objetivo geral	Interpretar ²⁰ modelos imagéticos mirando o DNA e a membrana. Isto é, captar seus significados a partir do objetivo para os quais foram criados ou modelados. Neste ciclo, destacar o objetivo epistêmico de explorar sistemas complexos com foco na realidade observada em si mesma, isto é, naquilo que o modelo pretende captar por meio da observação, da descrição ou da dedução teórica direta.
	3. Guia de apoio à condução do ensino	3.1 Introduzir o foco do ciclo com questões-problema sobre o contínuo de modelos. Exemplos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ O que nossos modelos imagéticos sobre o DNA estão representando (processo, estrutura)? ▪ O que nossos modelos sobre a membrana estão representando (processo, estrutura)? ▪ O que ficou de fora da representação em cada um dos modelos imagéticos apresentados? ▪ O que o contínuo de modelos nos permite inferir sobre a atividade científica de uma perspectiva de subjetividade do modelador e da cultura epistêmica dos cientistas que estudam a célula? ▪ O que o contínuo de modelos nos permite inferir sobre o grau de complexidade epistemológica? ▪ Por que modelos simplificados são úteis no estudo de fenômenos complexos?

²⁰ Utilizamos o termo interpretar no sentido defendido por Anderson (2014).

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Qual a importância do realismo para os modelos da citologia? Que outras subáreas da biologia vocês entendem fazer uso de modelos realistas? E quais fazem uso de modelos menos realistas? ▪ A proposição ou a criação dos modelos apresentados, como a dupla hélice do DNA ou o mosaico fluido da membrana, se basearam em quais dados teóricos, observacionais, descritivos? ▪ O que foi adicionado ao modelo da dupla hélice do DNA e do mosaico fluido da membrana? ▪ O que tornou os modelos da dupla hélice do DNA e o do mosaico fluido aceitos pela comunidade científica? ▪ O uso de modelos implica, de alguma forma, renunciar parte do seu realismo ontológico. Essa limitação também implica uma avaliação negativa sobre o uso dos modelos? ▪ É concebível aos cientistas sugerirem uma nova representação sobre um dado modelo? Acaso sim, justifiquemos. <p>3.2 Sinalizar o limite do escopo do modelo/modelagem ao término do ciclo. Exemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nossos modelos tinham por objetivo representar a realidade em si mesma, sendo inclinados para o realismo dos modelos imagéticos em citologia. Com isso, buscamos interpretar nossos modelos ou a prática da modelagem de uma perspectiva principalmente dos dados empíricos (observação ou experimentação) ou teóricos que sustentaram sua proposição. No entanto, é certo que os modeladores estiveram inicialmente envolvidos com raciocínios que constituíam apenas hipóteses sobre a realidade que buscavam explicar. Vamos agora tentar refazer esse percurso sobre a versão conjecturada do nosso contínuo de modelos.
4. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	C2MOD11	Envolver os estudantes na identificação de aspectos morfofuncionais dos modelos, mirando o foco da representação, isto é, sua intencionalidade ontológica, ao longo de um contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA: retratador de estrutura e descritor de processo. Para isso, sempre os encorajar ou os desafiar, solicitando-lhes um novo modelo sobre um mesmo processo.
	C2MOD12	Envolver os estudantes na identificação de aspectos morfofuncionais dos modelos, mirando o foco da representação, isto é, sua intencionalidade ontológica, ao longo de um contínuo de modelos imagéticos sobre a membrana: retratador de estrutura e descritor de processo. Para isso, sempre os encorajar ou os desafiar, solicitando-lhes um novo modelo sobre um mesmo processo.
	C2MOD13	Esclarecer que a abordagem dos problemas científicos por meio de modelos simples reflete uma condição metodológica inerente à prática científica: acrescentar muito detalhe a um modelo pode comprometer sua capacidade de identificar relação causa-efeito no contexto de um dado estudo, principalmente quando se está no início deste.
	C2MOD14	Envolver os estudantes na identificação de detalhes de modelos imagéticos em citologia que, mesmo sem representar a realidade em riqueza de detalhes, permite aos cientistas compreenderem melhor o conhecimento naquela área.
	C2MOD15	Envolver os estudantes na interpretação de modelos imagéticos sobre a membrana e o DNA, a partir do objetivo epistêmico de explorar sistemas complexos para destacar a ciência enquanto atividade humana, portanto, influenciada pela seletividade e subjetividade dos cientistas. Com isso reforçar que para cada modelo o modelador elege, subjetivamente, uma certa quantidade de realidade a incluir na representação.
	C2MOD16	Envolver os estudantes na interpretação de modelos imagéticos sobre o DNA e a membrana a partir do objetivo sistêmico de explorar sistemas complexos para destacar o aspecto social da ciência externalizado pelos problemas

		próprios de uma cultura epistêmica particular, como a citologia e a biologia molecular interessadas por modelos realistas, mecanicistas.
		C2MOG17 Interpretar modelos sobre o DNA de uma perspectiva da prática da modelagem em si, isto é, da inferência empírica e/ou dedutiva que permitiram a validação do modelo. Em outros termos, refletir sobre os dados empíricos ou teóricos que permitiram aos cientistas fundamentarem a validação desses modelos.
		C2MOG18 Interpretar modelos sobre a membrana de uma perspectiva da prática da modelagem em si, isto é, da inferência empírica ou dedutiva que permitiram a validação do modelo. Em outros termos, refletir sobre os dados empíricos ou teóricos que permitiram aos cientistas fundamentarem a validação desses modelos.
		C2MOG19 Envolver os estudantes na discussão sobre o processo de revisão do modelo. Por exemplo, indagando se o modelo da dupla hélice do DNA continua aceito, se algum dado novo, empírico ou teórico, lhe foi acrescentado posteriormente.
		C2MOG20 Envolver os estudantes na discussão sobre o processo de revisão do modelo. Por exemplo, rever modelos sobre a membrana e refletir sobre o que eles nos revelam do ponto de vista da natureza das explicações científicas.
C3	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo.	Contínuo de modelos imagéticos sobre DNA e membrana, bem como a modelagem subjacente a estes: foco na realidade em si mesma
	2. Objetivo geral	Interpretar o contínuo de modelos imagéticos mirando o DNA e a membrana. Isto é, captar seus significados a partir do objetivo para os quais foram criados ou modelados. Neste ciclo, é importante destacar o objetivo epistêmico e explorar possibilidades desconhecidas de sistemas complexos. Em outras palavras, explorar ou acessar a realidade de forma apenas conjecturada.
	3. Guia de apoio à condução do ensino	3.1 Introduzir o foco do ciclo com questão-problema sobre o contínuo de modelos. Exemplos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Projetei um modelo. E agora, o que pensar sobre ele? Ao propor um modelo, o modelador geralmente pode combinar três tipos de raciocínio para realizar inferência (supor que algo existe a partir de outro existente): dedução, indução e abdução sobre o conhecimento. Por meio da dedução, ele se orienta pelo conhecimento teórico construído, pela indução se orienta pelo conhecimento descritivo, observacional ou experimental de forma direta. Esses foram foco do nosso ciclo anterior. No entanto, após decidir sobre o que acrescentar ao modelo (criar ou revisar um modelo), o modelador conjectura muitas coisas sobre esse que ainda não observou, experimentou ou descreveu ainda. Desse modo... tentemos refazer possíveis conjecturas que nossos modeladores talvez tenham feito sobre nosso contínuo de modelos sobre o DNA e a membrana; ▪ Imaginemos ou pesquisemos possíveis questões levantadas por James Watson e Francis Crick sobre o modelo da dupla hélice do DNA; ▪ Imaginemos ou pesquisemos possíveis questões levantadas por Singer e Nicholson sobre o modelo do mosaico fluido da estrutura da membrana. 3.2 Sinalizar o limite do escopo do modelo/modelagem ao término do ciclo. Exemplos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Quais atributos dos nossos modelos sobre o DNA e a membrana foram baseados em inferências experimentais? ▪ Quais atributos dos nossos modelos continuam ainda apenas baseados em inferências abduativas ou hipotéticas?
	4 Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	C3MOD21 Envolver os estudantes na interpretação de modelos imagéticos sobre o DNA e, a partir do objetivo epistêmico, explorar possibilidades desconhecidas, destacando que este ressalta outra característica da natureza da ciência: a criatividade ancorada no raciocínio hipotético ou abduativo. Com isso, reforçar que a criação de modelos imagéticos envolve, anterior à descrição, à observação ou à experimentação da realidade em si mesma, típico do raciocínio

	<p>indutivo, o levantamento de hipóteses sobre a organização, composição da realidade que se pretende representar.</p>
	<p>C3MOD22 Envolver os estudantes na interpretação de modelos imagéticos sobre a membrana e, a partir do objetivo epistêmico, explorar possibilidades desconhecidas, destacando que este ressalta outra característica da natureza da ciência: a criatividade ancorada no raciocínio hipotético ou abdutivo. Com isso, reforçar que a criação de modelos imagéticos envolve, anterior à descrição, à observação ou à experimentação da realidade em si mesma, típico do raciocínio indutivo, o levantamento de hipóteses sobre a realidade que pretende representar.</p>
	<p>C3MOD23 Destacar que muitos modelos apresentados nos livros didáticos retratam a condição de um modelo já explicativo, embora possa ser uma explicação parcial, que por isso modelos são denominados esses consensuais. Portanto, não refletem mais as características dos modelos como discutidos neste ciclo C3 principalmente, onde eles ainda refletem o estágio inicial de pesquisa, em que muitos ainda funcionam como guia de pesquisa.</p>
	<p>C3MOG24 Envolver os estudantes na interpretação sobre o processo de criação do modelo da estrutura de DNA, como o embasamento em experimentos de pensamento, solicitando-lhes a levantar ou buscar por informação sobre algumas hipóteses que, possivelmente, os modeladores construíram e tentaram provar posteriormente.</p>
	<p>C3MOG25 Envolver os estudantes na interpretação sobre o processo de criação do modelo de membrana, como o embasamento em experimentos de pensamento, solicitando-lhes a levantar ou buscar por informação sobre hipóteses que, possivelmente, os modeladores construíram e tentaram provar posteriormente.</p>
	<p>C3MOG26 Envolver os estudantes em discussões sobre os processos de dedução, indução e abdução, ajudando-os a compreender que estes fazem parte da mesma estrutura triádica de raciocínio com que os cientistas buscam explicações para as realidades, embora as diferentes culturas disciplinares recorram a estes de forma a acentuar um ou outro.</p>
	<p>C3MOG27 Destacar que a inferência científica por meio da indução e dedução (inferência empírica e teórica) é um traço mais evidente do que a abdução (inferência abdutiva) quando nos referimos à natureza do conhecimento científico e seus processos. Este último quase sempre fica subentendido, embora seja o tipo de raciocínio mais revelador da ciência como atividade criadora.</p>
	<p>C3MOG28 Explicar que embora a abdução por si não tenha natureza empírica ou teórica, é hipotética, imaginativa, possui ou pretende lastro nesses em sua pretensão de alcançar o conhecimento real.</p>
	<p>C3MOG29 Envolver os estudantes na discussão introdutória sobre o processo da modelagem com foco nos objetivos explicativos dos modelos, destacando que estes, na verdade, refletem um estágio avançado que a representação alcançada depois de um certo tempo de pesquisa. Isto é, a modelagem é uma prática influenciada não só por objetivos epistêmicos.</p>
	<p>C3MOG30 Envolver os estudantes na discussão introdutória sobre o processo da modelagem com foco nos modelos preditivos, destacando que estes refletem representações mais abstratas, diferente dos modelos imagéticos, mecanicistas e realistas típicos da citologia. Sendo os primeiros típicos dos modelos matemáticos utilizados na ecologia, evolução e genética de população, por exemplo.</p>

Observação: código alfanumérico dos indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação. A primeira letra e o primeiro número indicam o ciclo e número do ciclo ao qual a habilidade pertence (C1, C2 ou C3). As duas letras seguintes especificam a inclinação da habilidade para os modelos em si (MOD) ou para a modelagem (MOG).

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE D – ESTRUTURA DA MATRIZ DE REFERÊNCIA PÓS-VALIDAÇÃO

MATRIZ DE REFERÊNCIA: METAMODELAGEM SOBRE O REALISMO DE MODELOS IMAGÉTICOS EM CITOLOGIA		
Conteúdo conceitual: membrana, DNA e metamodelagem		
Conteúdo ontológico: retratadores de entes e descritores de processos		
Conteúdo procedimental: modelagem científica em educação		
Conteúdo epistêmico da cultura disciplinar da biologia: modelos para explorar sistema complexos e modelos para explorar possibilidades desconhecidas		
Código alfanumérico dos indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação: a primeira letra e o primeiro número indicam o ciclo e número do ciclo ao qual a habilidade pertence (C1, C2 ou C3). As duas letras seguintes especificam a inclinação da habilidade para os modelos em si (MOD) ou para a modelagem (MOG). O último par numérico indica a posição topológica da habilidade na matriz.		
c1	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo	Modelos e o processo de modelagem científica: metamodelagem no contexto da cultura disciplinar da biologia e citologia.
	2. Objetivo geral	Discutir a natureza dos modelos e o processo de modelagem para fundamentar interpretações sobre modelos consensuais imagéticos no ensino de biologia/citologia do ensino médio.
	3. Guia de apoio à condução do ensino	<p>3.1 Introduzir o foco do ciclo com questões-problema sobre o tema modelos e modelagem.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ O que significa afirmar que um modelo científico é uma representação da realidade? O que um modelo científico pode representar? Existe um modelo completo? Um mesmo conceito, ente ou processo pode ser representado por mais de um modelo? ▪ O que o caráter aproximativo da representação do real pelos modelos nos diz sobre a própria natureza da ciência? ▪ Qual a utilidade de um modelo na ciência (comunicar, investigar ou compreender (explicar, descrever, prever)? ▪ Um cientista pode escolher entre propor um modelo mais preditivo, explicativo e realista? Nesse contexto, um seria melhor do que o outro? ▪ O que implica a criação e avaliação de um modelo? ▪ Um modelo construído, avaliado e aceito pelos cientistas (modelo consensual) pode ser revisado, questionado? Acaso possa, sob qual circunstância isso ocorre? <p>3.2 Finalizar o ciclo indicando o limite do escopo dos modelos ou do ciclo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A cultura epistêmica da biologia tem interesse em objetivos diversos em relação aos modelos, a destacar: explicar, prever, desenvolver conceitos, explorar sistema complexo e explorar possibilidades, mas as diferentes subáreas dessa ciência possuem interesse epistêmicos particulares. ▪ A citologia, como subárea da biologia, tem interesse em explicações detalhadas de processos e estruturas, como vimos nos exemplos sobre a estrutura e função do DNA e da membrana. Sacrifica, desse modo, o poder preditivo de modelos mais abstratos por modelos explicativos mais realistas.
	4. Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	<p>C1MOD01 Envolver os estudantes em discussões sobre a natureza dos modelos, circunscrevendo-a como uma representação parcial e intencional de um conceito ou ideia, de uma estrutura ou ente, de um processo ou uma propriedade, sejam eles biológicos, físicos, químicos ou sociais.</p>
		<p>C1MOD02 Discutir sobre a característica dos modelos segunda a qual nenhum deles é completo, embora possa haver diferença na complexidade epistemológica (descrever é mais simples do que explicar) e ontológica (abordar apenas a descrição de um ente é mais simples do que explicar processos) de uns sobre outros. No entanto, essa complexidade não implica tornar os modelos mais simples em errado.</p>
		<p>C1MOD03 Apresentar diferentes objetivos dos modelos científicos na biologia como descrever, explicar, prever, guiar experimentos e observações, explorar sistemas complexos e explorar possibilidades desconhecidas, sinalizando que será enfatizado no ciclo C2 o objetivo explorar sistema complexo e no ciclo C3 explorar possibilidades desconhecidas no contexto da citologia.</p>
		<p>C1MOD04 Explicar que a parcialidade representacional dos modelos culmina com o uso de múltiplos modelos para representar um dado conceito ou ideia, uma estrutura, um ente ou coisa, um processo ou uma propriedade.</p>
		C1MOG05

		Discutir a modelagem como um processo que envolve principalmente a criação e avaliação de modelos, e, alternativamente, também podendo ser estendida apenas ao uso e revisão de modelos.
		C1MOG06 Discutir aspectos da modelagem relativa à etapa de criação de modelo, caracterizada principalmente pela proposição de inserir a um modelo um dado empírico ou teórico.
		C1MOG07 Discutir aspectos metodológicos específicos da etapa de avaliação de modelos, a saber: realização de experimentos empíricos, realização de experimentos de pensamento e observações.
		C1MOG08 Discutir sob quais condições a etapa de revisão de modelos é necessária, a destacar: quando o processo natural de avanço na compreensão de uma dada realidade exige a proposição de alterações em um dado modelo aceito consensualmente para acomodar novo aspecto teórico ou empírico.
		C1MOG09 Discutir aspectos da modelagem na perspectiva apenas de uso didático dos modelos para explicar, comunicar ou representar um dado conceito mais elaborado.
		C1MOG10 Discutir aspectos da modelagem na perspectiva apenas de uso dos modelos para guiar experimentos ou guiar observação nas atividades investigação científica.
c2	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo.	Contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA e a membrana bem como a modelagem subjacente a estes: foco no caráter subjetivo e seletivo do modelador ao descrever a realidade em si mesma.
	2. Objetivo geral	Interpretar ²¹ contínuos de modelos imagéticos mirando o DNA e a membrana. A interpretação é assumida como o ato de captar o significado dos modelos a partir do objetivo para os quais foram criados. Neste ciclo, destacar o objetivo epistêmico de explorar sistemas complexos, por meio de modelos mais simplificados, exaltando o caráter subjetivo e seletivo dessa ação.
	3. Guia de apoio à condução do ensino	<p>3.1 Introduzir o foco do ciclo com questões-problema sobre o contínuo de modelos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ O que nossos modelos imagéticos sobre o DNA estão representando (processo, estrutura)? ▪ O que nossos modelos imagéticos sobre a membrana estão representando (processo, estrutura)? ▪ O que ficou de fora da representação em cada um dos modelos imagéticos apresentados? ▪ Por que modelos simplificados são úteis no estudo de fenômenos complexos? ▪ O que nosso contínuo de modelos nos permite inferir sobre a atividade científica de uma perspectiva da subjetividade do modelador? ▪ O que nosso contínuo de modelos nos permite inferir sobre os objetivos epistêmicos dos cientistas que estudam as células? ▪ O que nosso contínuo de modelos nos permite inferir sobre o grau de complexidade epistemológica de cada representação? ▪ A citologia faz uso de modelos realistas ou abstratos? Quais subáreas da biologia se utilizam mais de modelos abstratos ou realistas? ▪ É concebível aos cientistas sugerirem nova representação sobre um dado modelo consensual? ▪ O que tornou os modelos da dupla hélice do DNA e o do mosaico fluido aceitos pela comunidade científica? <p>3.2 Sinalizar o limite do escopo do modelo/modelagem ao término do ciclo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nossos modelos tinham por objetivo representar a realidade em si mesma, inclinados para o realismo dos modelos imagéticos em citologia. ▪ Buscamos interpretar nossos modelos ou a prática da modelagem principalmente de uma perspectiva da subjetividade e seletividade do modelador. ▪ As explicações empíricas que analisamos sobre a estrutura do DNA e da membrana não revelaram a atividade criativa envolvida em muitas delas.

²¹ Utilizamos o termo interpretar no sentido defendido por Anderson (2014).

c3		<ul style="list-style-type: none"> Os modeladores ao se debruçarem sobre a estrutura do DNA ou da membrana, de uma perspectiva experimental, e não apenas descritiva, se envolvem em raciocínios inicialmente hipotéticos. Essa atividade criativa não foi objeto da interpretação dos contínuos de modelos anteriormente.
	4 Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	<p>C2MOD11 Envolver os estudantes na identificação e interpretação de aspectos morfofuncionais dos modelos, exaltando o foco ou intencionalidade de cada representação ao longo de um contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA: retratador de estrutura ou descritor de processo. Para isso, sempre os encorajar ou os desafiar solicitando-lhes um novo modelo sobre uma mesma estrutura ou mesmo processo.</p> <p>C2MOD12 Envolver os estudantes na identificação e interpretação de aspectos morfofuncionais dos modelos, exaltando o foco ou intencionalidade de cada representação ao longo de um contínuo de modelos imagéticos sobre a membrana: retratador de estrutura ou descritor de processo. Para isso, sempre os encorajar ou os desafiar solicitando-lhes um novo modelo sobre uma mesma estrutura ou mesmo processo.</p> <p>C2MOD13 Esclarecer que a abordagem dos problemas científicos por meio de modelos simples reflete uma condição metodológica inerente à prática científica: acrescentar muito detalhe a um modelo pode comprometer sua capacidade de identificar relação causa-efeito no contexto de um dado estudo, principalmente quando se está no início deste.</p> <p>C2MOD14 Envolver os estudantes na identificação de detalhes de modelos imagéticos em citologia que mesmo sem representar a realidade em riqueza de detalhes permite aos cientistas compreenderem melhor o conhecimento naquela área.</p> <p>C2MOD15 Envolver os estudantes na interpretação de modelos imagéticos sobre a membrana e o DNA a partir do objetivo epistêmico de explorar sistemas complexos para destacar a ciência enquanto atividade humana, portanto, influenciada pela seletividade e subjetividade dos cientistas. Com isso reforçar que para cada modelo o modelador elege, subjetivamente, uma certa quantidade de realidade a incluir na representação.</p> <p>C2MOD16 Envolver os estudantes na interpretação de modelos imagéticos sobre o DNA e a membrana a partir do objetivo sistêmico explorar sistemas complexos para destacar o aspecto social da ciência externalizado pelos problemas próprios de uma cultura epistêmica particular, como a citologia e a biologia molecular interessadas por modelos realistas, mecanicistas.</p> <p>C2MOG17 Interpretar contínuos de modelos sobre o DNA de uma perspectiva da prática da modelagem (criação ou revisão), levando os estudantes a refletirem sobre alguns dados empíricos ou teóricos que permitiram aos cientistas fundamentarem a validação desses modelos.</p> <p>C2MOG18 Interpretar contínuos de modelos sobre a membrana de uma perspectiva da prática da modelagem (criação ou revisão), levando os estudantes a refletirem sobre alguns dados empíricos ou teóricos que permitiram aos cientistas fundamentarem a validação desses modelos.</p> <p>C2MOG19 Envolver os estudantes na discussão sobre o processo de revisão do modelo. Por exemplo, indagando se o modelo da dupla hélice do DNA continua aceito, se algum dado novo, empírico ou teórico, lhe foi acrescentado posteriormente.</p> <p>C2MOG20 Envolver os estudantes na discussão sobre o processo de revisão do modelo. Por exemplo, rever modelos sobre a membrana e refletir sobre o que eles nos revelam do ponto de vista da natureza das explicações científicas.</p>
	1. Conteúdo conceitual objeto do ciclo.	Contínuo de modelos imagéticos sobre DNA e membrana bem como a modelagem subjacente a estes: foco no caráter criativo do modelador ao experimentar versões conjecturadas da realidade.
	2. Objetivo geral	Interpretar contínuos de modelos imagéticos mirando o DNA e a membrana. A interpretação assumida como o ato de captar o significado dos modelos a partir do objetivo para os quais foram criados. Neste ciclo destacar o objetivo epistêmico de explorar sistemas complexos, por meio de modelos mais simplificados, exaltando o caráter criativo dessa ação, em oposição ao caráter meramente descritivo e explicativo. Trata-se de um objetivo que explicita como parte do ato de conhecer pode implicar realizar conjecturas sobre a realidade ao mobilizar recursos criativos por via da experimentação (empírica, de pensamento), analogias.
	3. Guia de apoio à condução do ensino	<p>3.1 Introduzir o foco do ciclo com questão-problema sobre o contínuo de modelos.</p> <p>Para começar... Explicações das realidades físicas geralmente podem combinar três tipos de raciocínio para realizar inferência (supor que algo existe partir de outro existente): dedução, indução e abdução sobre o conhecimento. A dedução se fundamenta no conhecimento teórico construído. A indução se orienta pelo conhecimento empírico: descritivo, observacional ou experiencial. Esses foram foco do ciclo 2. No entanto, a tentativa de explicação da realidade pode levar o cientista a conjecturar muitas versões sobre essa, captadas não apenas</p>

		<p>descritivamente ou dedutivamente, mas sobretudo abducativamente. Isso é típico do método experimental. Sendo assim, pensemos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Por que no método científico experimental o uso do raciocínio abducativo torna-se imprescindível? ▪ Qual o papel dos modelos no contexto de experiências empíricas ou de pensamento? <p>3.2 Sinalizar o limite do escopo do modelo/modelagem ao término do ciclo.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ A citologia por ser uma ciência experimental, também, a realidade estrutural e funcional sobre o DNA e a membrana são apreendidas muitas vezes não pela observação e descrição de uma realidade estática, foco em si mesma. ▪ A compreensão da realidade muitas vezes requer imaginação, criação sobre determinados atributos dessa realidade, colocando-se assim a observação e a descrição a serviço de compreender uma realidade dinâmica. ▪ Muitos atributos dos nossos modelos antes de serem apresentados como um fato da realidade, foram apenas uma representação hipotética dessa realidade.
4	Indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação	<p>C3MOD21 Envolver os estudantes na interpretação de modelos consensuais imagéticos sobre o DNA a partir do objetivo epistêmico de explorar possibilidades desconhecidas destacando que este ressalta outra característica da natureza da ciência: a criatividade ancorada no raciocínio hipotético ou abducativo. Com isso reforçar que a criação de modelos consensuais imagéticos pode envolver para além da descrição e da observação da realidade em si mesma, estática, típico do raciocínio indutivo, o levantamento de hipóteses sobre a realidade que se pretende representar.</p> <p>C3MOD22 Envolver os estudantes na interpretação de modelos consensuais imagéticos sobre a membrana a partir do objetivo epistêmico de explorar possibilidades desconhecidas destacando que este ressalta outra característica da natureza da ciência: a criatividade ancorada no raciocínio hipotético ou abducativo. Com isso reforçar que a criação de modelos imagéticos pode envolver, para além da descrição e da observação da realidade em si mesma, estática, típico do raciocínio indutivo, o levantamento de hipóteses sobre a realidade que pretende representar.</p> <p>C3MOD23 Destacar que muitos modelos apresentados nos livros didáticos retratam a condição de um modelo explicativo consensual, em contexto de uso. Portanto, não se destacam mais as características dos modelos como discutidos neste ciclo C3, onde eles ainda remetem ao estágio inicial de pesquisa experimental, assim funcionam como guia de experimentos para testar hipóteses levantadas.</p> <p>C3MOG24 Envolver os estudantes na interpretação sobre o processo de criação do modelo da estrutura de DNA, como por exemplo, o embasamento em experimentos de pensamento, solicitando-lhes a levantar ou buscar por informação sobre algumas hipóteses que possivelmente os modeladores construíram e tentaram provar posteriormente.</p> <p>C3MOG25 Envolver os estudantes na interpretação sobre o processo de criação do modelo de membrana, como por exemplo, o embasamento em experimentos de pensamento, solicitando-lhes a levantar ou buscar por informação sobre hipóteses que possivelmente os modeladores construíram e tentaram provar posteriormente.</p> <p>C3MOG26 Envolver os estudantes em discussões sobre os processos de dedução, indução e abdução, ajudando-os a compreender que estes fazem parte da mesma estrutura triádica de raciocínio com que os cientistas buscam explicações para as realidades, embora as diferentes culturas disciplinares recorram a estes de forma a acentuar um ou outro – uma as vezes é mais descritiva ou experimental.</p> <p>C3MOG27 Destacar que a inferência científica por meio da indução e dedução (inferência empírica e teórica) é um traço mais evidente do que a abdução (inferência abducativa) quando nos referimos a natureza do conhecimento científico e seus processos. Este último quase sempre fica subentendido, embora seja o tipo de raciocínio mais revelador da ciência como atividade criadora.</p> <p>C3MOG28 Explicar que embora a abdução por si não tenha natureza empírica ou teórica, é hipotética, imaginativa, possui ou pretende lastro nesses em sua pretensão de alcançar o conhecimento real.</p> <p>C3MOG29 Envolver os estudantes na discussão introdutória sobre o processo da modelagem com foco nos objetivos explicativos dos modelos, destacando que estes, na verdade, refletem um estágio avançado que a representação alcançada depois de um certo tempo de pesquisa. Isto é, a modelagem é uma prática influenciada não só por objetivos epistêmicos.</p>

		C3MOG30 Envolver os estudantes na discussão introdutória sobre o processo da modelagem com foco nos modelos preditivos, destacando que estes refletem representações mais abstratas, diferente dos modelos imagéticos, mecanicistas e realistas típicos da citologia. Sendo os primeiros típicos dos modelos matemáticos utilizados na ecologia, evolução e genética de população, por exemplo.

APÊNDICE E – INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA MATRIZ DE ENSINO PELOS JUÍZES (AS)

Nome do juiz (a):

Orientação para preencher o instrumento

- Estimados Juízes (as): marcar no instrumento de avaliação da matriz a seguir apenas uma das opções: ☐ para discordo totalmente; ☐ para concordo parcialmente; ☐ para concordo e ☐ para concordo totalmente. No caso de opções marcadas com 1 ou 2, por gentileza, sugerir alterações de quaisquer tipos: exclusão, inclusão, revisão.

Legenda do código alfanumérico das habilidades de ensino, aprendizagem e avaliação

- Código alfanumérico dos indicadores de ensino, aprendizagem e avaliação. A primeira letra e o primeiro número indicam número do ciclo ao qual a habilidade pertence (C1, C2 ou C3). As três letras seguintes especificam a inclinação da habilidade para os modelos em si (MOD) ou para a modelagem (MOG). O último par numérico indica a posição topológica da habilidade na matriz. Assim, por exemplo, o indicador C1MOD01 se refere ao primeiro ciclo da matriz, a habilidade inclinada para os modelos, 01 indica que essa habilidade ocupa a primeira posição topológica na matriz.

Avaliação do ciclo 1: Modelos e o processo de modelagem científica - metamodelagem no contexto da cultura disciplinar da biologia e citologia

A) CONTEÚDO CONCEITUAL OBJETO DO CICLO		SUGESTÕES DO AVALIADOR			
I.1	O conteúdo conceitual objeto do ciclo 1 é relevante, adequado e claro para apoiar o ensino baseado em metamodelagem.	1	2	3	4
I.2	O conteúdo conceitual objeto do ciclo 1 é relevante, adequado e claro para apoiar os ciclos 2 e 3 do ensino baseado em metamodelagem mirando a citologia.	1	2	3	4

B) OBJETIVO GERAL DO CICLO						SUGESTÕES DO AVALIADOR
I.3	O objetivo geral do ciclo 1, discutir a natureza dos modelos e o processo de modelagem para fundamentar interpretações sobre modelos consensuais imagéticos, é relevante, adequado e claro para discutir o respectivo conteúdo conceitual objeto do ciclo.	1	2	3	4	
C) GUIA DE APOIO À CONDUÇÃO DO ENSINO						SUGESTÕES DO AVALIADOR
I.4	As questões-problema são relevantes, adequadas e claras em relação ao foco do ciclo de modelagem.	1	2	3	4	
I.5	A sinalização do limite ou escopo dos modelos e da modelagem no ciclo foi indicada claramente.	1	2	3	4	
D) INDICADORES DE ENSINO, APRENDIZAGEM E AVALIAÇÃO						SUGESTÕES DO AVALIADOR
I.6	C1MOD01 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.7	C1MOD02 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.8	C1MOD03 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.9	C1MOD04 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e	1	2	3	4	

	expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.					
I.10	C1MOG05 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.11	C1MOG06 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.12	C1MOG07 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.13	C1MOG08 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.14	C1MOG09 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.15	C1MOG10 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	

Avaliação do ciclo 2: Contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA e a membrana bem como a modelagem subjacente a estes – foco na realidade em si mesma

A) CONTEÚDO CONCEITUAL OBJETO DO CICLO						SUGESTÕES DO AVALIADOR	
I.1	O conteúdo conceitual objeto do ciclo 2 é relevante, adequado e claro para apoiar o ensino baseado em modelagem sobre um contínuo de modelos imagéticos em citologia.	1	2	3	4		
B) OBJETIVO GERAL DO CICLO						SUGESTÕES DO AVALIADOR	
I.2	O objetivo geral do ciclo 2, interpretar modelos imagéticos mirando seu uso para explorar sistemas complexos com foco na realidade em si mesma, é relevante, adequado e claro para discutir o respectivo conteúdo conceitual objeto do ciclo.	1	2	3	4		
C) GUIA DE APOIO À CONDUÇÃO DO ENSINO						SUGESTÕES DO AVALIADOR	
I.3	As questões-problema são adequadas e claras em relação ao foco do ciclo de modelagem.	1	2	3	4		
I.4	A sinalização do limite ou escopo dos modelos e da modelagem no ciclo foi indicada claramente.	1	2	3	4		
D) INDICADORES DE ENSINO, APRENDIZAGEM E AVALIAÇÃO						SUGESTÕES DO AVALIADOR	
I.5	C2MOD11 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4		
I.6	C2MOD12 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em	1	2	3	4		

	relação às expectativas de ensino e avaliação.					
I.7	C2MOD13 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.8	C2MOD14 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.9	C2MOD15 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.10	C2MOD16 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.11	C2MOG17 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.12	C2MOG18 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.13	C2MOG19 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	

I.14	C2MOG20 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
-------------	--	---	---	---	---	--

Avaliação do ciclo 3: Contínuo de modelos imagéticos sobre o DNA e a membrana bem como a modelagem subjacente a estes – foco na realidade conjecturada

A) CONTEÚDO CONCEITUAL OBJETO DO CICLO						SUGESTÕES DO AVALIADOR
I.1	O conteúdo conceitual objeto do ciclo 3 é relevante, adequado e claro para apoiar o ensino baseado em metamodelagem sobre um contínuo de modelos imagéticos.	1	2	3	4	
B) OBJETIVO GERAL DO CICLO						SUGESTÕES DO AVALIADOR
I.2	O objetivo geral do ciclo 3, interpretar modelos imagéticos mirando seu uso para explorar possibilidades desconhecidas, conjecturadas em sistemas complexos, é relevante, adequado e claro para discutir o respectivo conteúdo conceitual objeto do ciclo.	1	2	3	4	
C) GUIA DE APOIO À CONDUÇÃO DO ENSINO						SUGESTÕES DO AVALIADOR
I.3	As questões-problema são adequadas e claras em relação ao foco do ciclo de modelagem.	1	2	3	4	
I.4	A sinalização do limite ou escopo dos modelos e da modelagem no ciclo foi indicada claramente.	1	2	3	4	
D) INDICADORES DE ENSINO E AVALIAÇÃO						SUGESTÕES DO AVALIADOR
I.5	C3MOD21 é relevante, adequado	1	2	3	4	

	ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.					
I.6	C3MOD22 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.7	C3MOD23 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino, aprendizagem e avaliação.	1	2	3	4	
I.8	C3MOG24 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino e avaliação.	1	2	3	4	
I.9	C3MOG25 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino e avaliação.	1	2	3	4	
I.10	C3MOG26 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino e avaliação.	1	2	3	4	
I.11	C3MOG27 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino e avaliação.	1	2	3	4	
I.12	C3MOG28 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e expressa clareza em relação às expectativas de ensino e avaliação.	1	2	3	4	
I.13	C3MOG29 é relevante, adequado ao objetivo do ciclo e	1	2	3	4	

**APÊNDICE F – PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP-1) PARA
LEVANTAMENTO DE DADOS EMPÍRICOS JUNTO AOS (ÀS) JUÍZES (AS)**

PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO - 1	
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ	
FACULDADE DE MEDICINA	
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MORFOFUNCIONAIS	
TAREFA: Levantamento de dados empíricos para tese de doutorado.	AJUSTADO EM: 2023
RESPONSÁVEL: Esequias Rodrigues da Silva	
OBJETIVOS	
Avaliar a Matriz de Referência pelos juízes (as).	
MATERIAIS	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Carta convite; ▪ Termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) ; ▪ Instrumento de seleção dos juízes (as); ▪ Matriz de referência; ▪ Instrumento de avaliação da matriz de referência. 	
ATIVIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Após identificação dos (as) juízes (as) aptos (as) a participar da atividade de avaliação do material instrucional, iremos contatá-los (as) pessoalmente ou por e-mail por meio de carta convite contendo título, objetivos e benefícios da pesquisa; ▪ Confirmada a aceitação do convite, o TCLE será entregue ao participante para lacrar sua anuência junto à pesquisa; ▪ Em síntese, serão enviados aos (às) juízes (as) os documentos: 1. Carta convite; 2.TCLE; Instrumento de seleção dos juízes (as) 1. Instrumentos de avaliação da matriz de referência com instruções de preenchimento e, 2. Matriz de referência a ser avaliada; ▪ Por fim, esses documentos, uma vez preenchidos, serão recolhidos para análise conjunta entre o pesquisador, o orientador e o coorientador. 	
PREPARADO POR: Esequias Rodrigues da Silva	EXECUTADO POR: Esequias Rodrigues da Silva

**APÊNDICE G – PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP-2) PARA
ADEQUAÇÃO DA MATRIZ DE REFERÊNCIA APÓS AVALIAÇÃO DOS (AS)
JUÍZES (AS)**

PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO - 2	
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ	
FACULDADE DE MEDICINA	
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MORFOFUNCIONAIS	
TAREFA: Levantamento de dados empíricos para tese de doutorado.	AJUSTADO EM: 2023
RESPONSÁVEL: Esequias Rodrigues da Silva	
OBJETIVOS	
Adequar a matriz de referência às sugestões dos (as) juízes (as).	
MATERIAIS	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matriz de referência avaliada; ▪ Instrumento de avaliação da matriz de referência preenchido pelos (as) juízes (as); ▪ Computador, impressora, papel A4, caneta. 	
ATIVIDADES	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recolher o instrumento de avaliação da matriz de referência, preenchido por juízes (as) e a versão original da matriz. ▪ Analisar cada item do instrumento de avaliação da matriz; ▪ Reavaliar sugestões dos (as) juízes (as) concernente a itens com valorações 1 e 2; ▪ Discutir com o orientador e o coorientador as adequações sugeridas pelos juízes; ▪ Elaborar um quadro-resumo com as sugestões dos (as) juízes (as), especificando: o ciclo da matriz, item do ciclo e sugestão, bem como a redação final acrescida das modificações; ▪ Finalizar a versão da matriz atento às recomendações dos (as) juízes (as). 	
PREPARADO POR: Esequias Rodrigues da Silva	EXECUTADO POR: Esequias Rodrigues da Silva

APÊNDICE H – INSTRUMENTO DE SELEÇÃO DOS (AS) JUÍZES (AS)

Identificação do juiz (a)	
Nome:	
Critérios	Valoração
1.1 Graduação em biologia.	2,0 pontos
1.2 Graduação em outra área/disciplina.	1,0 ponto
2.1 Especialização em ensino ou educação.	1,0 ponto
2.2 Especialização em biologia.	0,5 ponto
2.3 Mestrado em ciências humanas.	2,0 pontos
2.4 Mestrado em biologia.	1,0 ponto
2.5 Doutorado em ciências humanas.	3,0 pontos
2.6 Doutorado em biologia.	1,5 ponto
3.1 Participação em grupo de estudo/projeto de pesquisa ou extensão em educação ou ensino.	1 ponto
3.2 Participação em grupo de estudo/projeto de pesquisa ou extensão em biologia.	0,5 ponto
4.1 Publicação no âmbito da educação ou ensino.	2 pontos
4.2 Publicação no âmbito da biologia	1,0 ponto
4.3 Publicação sobre modelo/modelagem em educação ou ensino.	2,0 pontos
4.4 Publicação sobre modelo/modelagem em biologia	1,0 ponto
5.1 Experiência laboral com o ensino de citologia na educação superior ou ensino de biologia na educação básica.	2,0 pontos
5.2 Experiência laboral com o ensino de biologia em outros campos disciplinares, como anatomia, embriologia, histologia na educação superior.	1,0 ponto
Pontuação total atingida pelo juiz (a):	
Observações: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ponto de corte: 5 pontos. ▪ Pontuação do ponto de corte distribuída por pelo menos 3 dos critérios do instrumento. ▪ Pontuação consultada por meio do currículo <i>lattes</i> dos (as) convidados (as). ▪ Baseado em Fehring (1994, citado por Melo [<i>et al.</i>], 2011). 	