

PAULA SEIXAS MELLO

**ENSINO DE IMUNOLOGIA POR INVESTIGAÇÃO:
estudo do caso de uma sequência didática aplicada em
três versões para turmas dos cursos de biomédicas em
uma universidade**

**Belo Horizonte,
Minas Gerais-Brasil
Fevereiro – 2019**

PAULA SEIXAS MELLO

**ENSINO DE IMUNOLOGIA POR INVESTIGAÇÃO:
estudo do caso de uma sequência didática aplicada em
três versões para turmas dos cursos de biomédicas em
uma universidade**

**Orientador: Dr. Daniel Manzoni de Almeida
Orientadora: Dra. Leda Quercia Vieira.**

**Tese submetida ao Departamento de Bioquímica e
Imunologia do Instituto de Ciências Biológicas da
Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito
parcial para a obtenção do grau de Doutor em Imunologia.**

**Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte
Fevereiro – 2019**

Esse trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Gnotobiologia e Imunologia – ICB/UFMG e obteve auxílio dos seguintes órgãos financiadores:

- CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior**
- CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**
- FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais**

Aos meus pais, grandes incentivadores, pelo emprego de enorme sacrifício e força de trabalho para me proporcionarem o privilégio da formação acadêmica.

Ao meu amado marido Brad, por ser o meu ponto de equilíbrio.

Ao João Hugo, com quem desejo compartilhar ideais e algum conhecimento, para contribuir com sua formação educacional.

AGRADECIMENTOS

Ao Daniel, orientador e amigo. Pelas intensas reflexões, pelo conhecimento partilhado, por ter um outro olhar sobre as coisas e sobre o processo de cada um, por me mostrar que tenho com quem contar.

À Leda, por abrir as portas do seu laboratório para minha formação científica, desde sempre, mesmo quando aparentemente os meus interesses científicos não mais coincidiam com a linha de pesquisa principal do laboratório. Não há outra palavra para defini-la, a não ser generosidade.

Ao Caio, mais que amigo, irmão. Por dividir comigo e permitir que eu dividisse com ele alegrias, angústias, planos, leituras, camundongos, ideias, roupas, carnavais. Por me lembrar dos prazos e por motivar o meu processo de desconstrução diário rumo a um pensamento mais progressista e igualitário.

Aos meus alunos da Escola Estadual Isabel da Silva Polck, por me permitirem a experiência da docência em seu significado mais genuíno. Aos meus alunos da Universidade Federal de Minas Gerais, por me permitirem fazer pesquisa com o material formulado por eles durante nossos encontros.

Aos professores: Patiu, Flávio Amaral, Erich Tahara, Mariana Quezado e Carlos Renato Machado, por gentilmente permitirem que eu pudesse inserir a minha sequência didática investigativa dentro do cronograma das respectivas disciplinas pelas quais são responsáveis.

Aos queridos amigos do LAGI, em especial à Lili, à Grazi, ao Peter, à Clarinha, ao Diego, ao Gui e ao Carlos, por toda a ajuda durante as aulas experimentais e durante a formatação do texto da tese.

À professora Sílvia Trivelato por gentilmente me receber na FEUSP e permitir que eu integrasse o GEPEB por alguns meses. Agradeço a todos os “GEPEBianos” pelo caloroso acolhimento e todo conhecimento partilhado no tempo em que estive em São Paulo. Sem vocês, a minha imersão na literatura teria sido muito mais dura.

À professora Patrícia Marzin, por orientar o meu doutorado-sanduíche em Grenoble e pela calorosa recepção em um país estrangeiro. À Danny e ao Julien pelos dias que passamos lá.

Ao departamento de Bioquímica e Imunologia, por acolher-me desde 2008 e ao Orlando e ao Alexandre.

À Escola Estadual Isabel da Silva Polck, à Suzana e aos servidores, pelo apoio durante o árduo processo de obtenção da minha licença não remunerada.

À CAPES, pelas bolsas PROEX e PDSE.

Ao Hugo, à Ingrid e ao João Hugo.

RESUMO

O presente trabalho se alinha aos estudos epistemológicos do ensino científico, cuja concepção de aprendizagem se projeta para além do produto, ou seja, da formação conceitual e considera também os processos e as práticas científicas. Tendo em vista uma educação em Imunologia para a formação profissional dentro dos cursos de Ciências Biológicas e da Saúde, nós argumentamos a favor da tomada de elementos da epistemologia da Imunologia como ferramenta de ensino e aprendizagem. Assim, nós planejamos uma sequência didática investigativa que promova oportunidades para os estudantes vivenciarem dois desses aspectos: experimentação e abstração. Nossa atividade traz a análise de dados experimentais obtidos de uma técnica típica da Imunologia, “o ensaio para a avaliação da fixação do complemento”, como pré-requisito para a resolução do problema de investigação. Nosso objetivo é verificar quais elementos da prática científica da Imunologia são apropriados pelos estudantes durante a realização da atividade. Mais especificamente, desejávamos compreender como os discursos são construídos epistemologicamente no ambiente de aprendizagem, o quanto isso se assemelha ao desejado pela cultura científica e o que precisamos acessar para melhorar a qualidade epistêmica desses discursos. Para isso, nós analisamos quais são as práticas epistêmicas mobilizadas pelos estudantes durante a formulação de argumentos escritos nos relatórios científicos produzidos durante a execução da investigação. A nossa ferramenta de análise de argumentos foi construída a partir da descrita em Kelly e Takao (em *Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing*. *Science Education*, 86(3), 314-342) e nos permitiu avaliar o status epistêmico das afirmações dos estudantes. Como resultado, nós observamos que os estudantes aderem às convenções de gênero da escrita científica, quando constroem sentenças que relacionam as observações experimentais particulares com as asserções teóricas de maior generalidade. Entretanto, nossas análises apontam para dificuldades dos estudantes em utilizar no texto escrito as evidências obtidas das inscrições não-verbais. Isso sugere que é necessário um maior número de atividades ativas que propiciem a compreensão da forma como os dados são amarrados no texto e da relevância do uso de dados para a retórica científica. Além disso, nós observamos que em alguns relatórios as conclusões não perpassam uma resposta ao problema de investigação, sugerindo que a recuperação dos elementos motivadores da investigação também é um movimento sofisticado que deve ser motivado dentro do treinamento na escrita científica. Nossos achados reforçam a importância de se trabalhar a abstração dentro de sequências didáticas que visem uma formação para a aquisição de competências científicas dentro da Imunologia.

ABSTRACT

This work aligns with epistemological studies of science education, whose conception of learning has shifted from learning as a product (conceptual understanding) to learning as scientific processes and practices. Based on the educational goals for professional training in Immunology within Biological Sciences and Health courses, we propose taking into account elements of the epistemology of Immunology as teaching and learning tools. Thus, we devised a didactic investigative sequence that provides experience for students in two of these aspects: experimentation and abstraction. Our activity engaged students in the analysis of experimental data obtained from a typical Immunology technique, "the complement fixation assay", as a prerequisite for the inquiry-problem solving. Our aim was to determine which elements of the scientific practice of Immunology are used by students during the activity. More specifically, we wanted to understand how discourses are constructed epistemologically in the learning environment, how much they resemble those desired by scientific culture and what we need to access in order to improve the epistemic quality of these discourses. To that end, we analyzed the epistemic practices used by students during the construction of written arguments in the scientific reports produced during the investigation. Our tool for argument analysis was developed from one described by Kelly and Takao (in *Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing*, *Science Education*, 86 (3), 314-342), which allowed us to evaluate the epistemic status of students' statements. As a result, we observed that students adhered to the genre conventions of scientific writing when constructing sentences that relate to particular experimental observations to more general theoretical assertions. However, our analysis points to students' difficulties in using evidence obtained from non-verbal inscriptions while producing the written text. This suggests a need for a greater number of active-learning activities to provide instruction for how data are tied to the text and about the relevance of the data to scientific rhetoric. In addition, we noted that in some reports the conclusions do mention a response to the research problem, suggesting that reconsidering the steps that make up the experiment is also a sophisticated epistemology that should be encouraged in scientific writing training. Our findings reinforce the importance of improving abstraction-skills within active-learning activities in Immunology science education.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1: Práticas epistêmicas gerais e específicas inseridas nas grandes práticas sociais do conhecimento. Figura extraída de Jiménez-Aleixandre (2008 apud Silva,2015, p.29)..... | 69 |
| Figura 2: Categorias de práticas epistêmicas em Manzoni-de-Almeida (2016)..... | 70 |
| Figura 3: Estrutura básica do modelo de níveis epistêmicos aplicado ao ensino científico de oceanografia extraído de Kelly e Takao (2002). | 75 |
| Figura 4: Modelo de níveis epistêmicos para a análise dos argumentos dos grupos de estudantes ao longo de quatro comandas do caderno de laboratório. | 78 |
| Figura 5: Esquema da situação-problema e da pergunta para a atividade..... | 83 |
| Figura 6: Caderno de laboratório – primeira parte | 84 |
| Figura 7: Análise da produção de perguntas experimentais, hipóteses e resultados esperados nos “Cadernos de Laboratório” | 87 |
| Figura 8: Fotografia do fundo de uma placa após o experimento e dados numéricos brutos obtidas pela leitura de uma placa em espectrofotômetro | 89 |
| Figura 9: Caderno de laboratório – segunda parte..... | 90 |
| Figura 10: Expressão dos resultados pelos grupos de estudantes das turmas T1, T2 e T3. | 91 |
| Figura 11: Articulação das inscrições literárias no texto..... | 93 |
| Figura 12: Trecho extraído do “caderno de laboratório” do grupo G14 | 95 |
| Figura 13: Trecho extraído do “caderno de laboratório” do grupo G6 | 97 |
| Figura 14: Análise de práticas epistêmicas nos “Cadernos de Laboratório” das turmas T1, T2 e T3..... | 99 |
| Figura 15: Quantidade de trechos categorizados para os 7 níveis epistêmicos levantados durante a análise de argumentos nos “Cadernos de Laboratório” | 104 |
| Figura 16: Esquema com a estrutura da argumentação para o grupo G8 | 107 |
| Figura 17: Trecho extraído do “caderno de laboratório” do grupo G9 | 111 |
| Figura 18: Análise da produção de perguntas experimentais, hipóteses e resultados esperados nos “Cadernos de Laboratório” | 114 |
| Figura 19: Expressão dos resultados pelos grupos de estudantes das turmas T4 a T7..... | 116 |
| Figura 20: Exemplos de escritos não-verbais obtidos no relatório G16..... | 117 |
| Figura 21: Articulação das inscrições literárias no texto..... | 118 |
| Figura 22: Análise de práticas epistêmicas nos “Cadernos de Laboratório” das turmas T4, T5, T6 e T7..... | 122 |
| Figura 23: Esquema com a estrutura da argumentação para o grupo G38 | 125 |
| Figura 24: Quantidade de trechos categorizados para cada um dos 7 níveis epistêmicos levantados durante a análise de argumentos nos “Cadernos de Laboratório” | 126 |
| Figura 25: Estrutura geral dos “Cadernos de Laboratório” para as turmas T8 e T9 | 132 |
| Figura 26: Expressão dos resultados pelos grupos de estudantes das turmas T8 e T9..... | 133 |
| Figura 27: Articulação das inscrições literárias no texto..... | 135 |
| Figura 28: Análise de práticas epistêmicas nos “Cadernos de Laboratório” de T8 e T9 | 136 |
| Figura 29: Esquema com a estrutura da argumentação para o grupo G45 | 139 |
| Figura 30: Quantidade de trechos categorizados para cada um dos 7 níveis epistêmicos durante a análise de argumentos nos “Cadernos de Laboratório” | 141 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela I: Conteúdo programático e sua sequência planejada para a disciplina de “Bioquímica Celular” para o curso de Ciências Biológicas, primeiro semestre de 2015..... | 56 |
| Tabela II: Conteúdo programático e sequência planejada para a disciplina de “Imunologia” para o curso de Enfermagem segundo semestre de 2015/primeiro semestre de 2016. | 57 |
| Tabela III: Artigos clássicos sobre complemento e principal conhecimento veiculado..... | 60 |
| Tabela IV: Conteúdo programático e sua sequência planejada para a disciplina de bioquímica celular para o curso de Ciências Biológicas N, primeiro semestre de 2018..... | 61 |
| Tabela V: Conteúdo programático e sequência planejada para a disciplina de imunologia para o curso de farmácia, primeiro semestre de 2018. | 63 |
| Tabela VI: Conteúdo programático e sua sequência planejada para a disciplina de imunologia para o curso de Ciências Biológicas R, primeiro semestre de 2018..... | 65 |
| Tabela VII: Esquema geral das principais atividades em cada fase da sequência didática-investigativa..... | 67 |
| Tabela VIII: Categorias de práticas epistêmicas e seus respectivos descritores utilizadas durante a análise neste trabalho. | 72 |
| Tabela IX: Modelo de níveis epistêmicos proposto para a análise de argumentos produzidos nos “Cadernos de Laboratório”..... | 77 |
| Tabela X: Plano de pesquisa com os principais elementos contemplados por cada uma das três adaptações da atividade investigativa sobre sistema complemento. | 79 |
| Tabela XI: Análise de práticas epistêmicas em episódios do texto produzido pelo grupo G14, no “caderno de laboratório”..... | 101 |
| Tabela XII: Categorização em níveis epistêmicos da argumentação no “caderno de laboratório” do grupo G8..... | 105 |
| Tabela XIII: Análise estatística da distribuição das proposições dos estudantes nos “Cadernos de Laboratório”. Foram analisados 15 relatórios das turmas T1, T2 e T3..... | 108 |
| Tabela XIV: Categorização em níveis epistêmicos da argumentação obtida das sessões justifique os resultados, do “caderno de laboratório” do grupo G2..... | 109 |
| Tabela XV: Análise de argumentos articulada à análise de práticas epistêmicas em trechos do texto produzido pelo grupo G38..... | 123 |
| Tabela XVI: Análise estatística da distribuição das proposições dos estudantes nos “Cadernos de Laboratório”. Foram analisados 24 relatórios das turmas T4, T5, T6 e T7..... | 127 |
| Tabela XVII: Análise de práticas epistêmicas articulada à análise de argumentos em trechos do texto verbal produzido pelo grupo G45, no “caderno de laboratório”..... | 138 |
| Tabela XVIII: Análise estatística da distribuição das proposições dos estudantes nos “Cadernos de Laboratório”..... | 140 |
| Tabela XIX: Análise de práticas epistêmicas articulada à análise de argumentos em trechos do texto verbal produzido pelo grupo G51..... | 143 |

LISTA DE ABREVIATURAS

EDTA: ácido etilenodiamino tetra-acético (Ethylenediamine tetraacetic acid)

MAC: Complexo de ataque à membrana

NaOH: Hidróxido de sódio

NE I: Nível epistêmico I

NE II: Nível epistêmico II

NE III: Nível epistêmico III

NE IV: Nível epistêmico IV

NE V: Nível epistêmico V

NE VI: Nível epistêmico VI

NE VII: Nível epistêmico VII

P.E.: Prática Epistêmica

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 O meu lugar de fala | 1 |
| 1.2 A pesquisa científica sobre o ensino de ciências | 3 |
| 1.2.1 O ensino científico por investigação: aspectos históricos..... | 3 |
| 1.2.2 Os estudos epistemológicos sobre educação científica..... | 12 |
| 1.3 A pesquisa científica no ensino superior | 21 |
| 1.4 O campo da Imunologia e seu ensino..... | 31 |
| 1.5 As questões de pesquisa | 40 |
| 2 OBJETIVOS..... | 44 |
| 2.1 Objetivo principal | 44 |
| 2.2. Objetivos específicos | 44 |
| 3. METODOLOGIA..... | 45 |
| 3.1 As turmas, os professores dos cursos de graduação em biomédicas e a professora- pesquisadora da atividade investigativa | 47 |
| 3.1.1 Bioquímica celular | 47 |
| 3.1.2 Bioquímica aplicada à enfermagem | 48 |
| 3.1.3 Imunologia (para o curso de graduação em Enfermagem)..... | 50 |
| 3.1.5 Imunologia (aplicada ao curso das graduação em Ciências Biológicas)..... | 51 |
| 3.1.6 A professora-pesquisadora da atividade investigativa | 52 |
| 3.2 A concepção da sequência didática investigativa em Imunologia | 52 |
| 3.2.1 A construção..... | 52 |
| 3.2.2 A aplicação | 54 |
| 3.2.3 Coleta de dados | 68 |
| 3.3 A análise das práticas epistêmicas nos escritos produzidos pelos estudantes | 68 |
| 3.4 A análise de argumentos científicos nos “Cadernos de Laboratório” | 73 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 80 |
| 4.1 O ponto de partida | 81 |
| 4.2 O engajamento dos grupos de estudantes no problema experimental em 2015 e 2016 | 82 |
| 4.3 O engajamento dos estudantes no problema experimental após a inclusão de uma etapa na sequência didático-experimental sobre sistema complemento..... | 112 |
| 4.4 O engajamento dos estudantes no problema de investigação a partir da análise de dados previamente obtidos | 130 |
| 4.5 Considerações finais..... | 143 |
| 5. CONCLUSÃO | 156 |

| | |
|--|-----|
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 159 |
| 7. ANEXOS | 165 |
| 7.1 Protocolo experimental para fixação do sistema complemento | 165 |
| 7.2 Cadernos de laboratório..... | 167 |
| 7.2.1. Cadernos de laboratório das turmas T1 a T7 | 167 |
| 7.2.2 Cadernos de laboratório das turmas T8 e T9..... | 168 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 O meu lugar de fala

Venho de uma família de professores. Pessoas que por um longo período da vida se comprometeram com a formação dos jovens aprendizes e fizeram dessa tarefa objetivo de vida. Ao longo da minha formação estudantil tive ainda a oportunidade de conviver com professores que transformaram gradativamente a minha visão de mundo e contribuíram para que eu me tornasse o que hoje sou. Indubitavelmente, por causa dessas pessoas eu desenvolvi o gosto pela docência e o desejo de, por meio dela, contribuir para um mundo mais plural.

Eu não venho de uma família de cientistas. Doze anos após ingressar na universidade pela primeira vez constato que não fazia ideia do que era ciência quando escolhi me formar em ciências biológicas. A biologia representava para mim uma forma de me aproximar do mundo natural e dos conhecimentos sobre o corpo humano, que tanto despertam a curiosidade de alunas e alunos do ensino básico. Mas eu só conseguia conceber essa aproximação pelo ponto de vista de aprender conceitos em profundidade. A universidade me formaria bióloga na medida em que me proporcionaria um conhecimento conceitual maior do que o de qualquer outro indivíduo não biólogo. Assim, lembro-me de que na minha imaginação sobre o contexto do ensino universitário estavam os livros de muitas páginas, as salas de aula cheias de gente e a biblioteca central da UFMG, não os laboratórios de pesquisa.

Atualmente entendo que essa concepção era mais influenciada pela forma com a qual eu aprendi biologia que com o gosto pela pesquisa. Não há como se imaginar o que não se conhece. Ciência para mim era uma atividade distante, desconectada de propósito epistêmico e realizada por gente com níveis de inteligência superior, quase deuses. Dessa forma, os primeiros semestres na universidade federal representaram para mim quase que uma incursão antropológica. Me adequar à rotina, à forma de organização daquela comunidade e ao vocabulário foi um processo de muitas descobertas.

Tive a sorte de ser aceita como aluna de iniciação científica logo no primeiro ano do curso. Essa imersão na rotina do laboratório contribuiu para que eu logo percebesse que mesmo dentro da universidade a educação formal pouco explora os aspectos epistêmicos da prática científica. Dentro da sala de aula recordo-me de uma disciplina intitulada “evolução do pensamento científico”, em que o professor promovia reflexões filosóficas sobre construção do saber científico na biologia por meio de bate-papo e exposições teóricas. Mas na maioria das vezes, a compreensão dessas construções é sacrificada em função do volume de conteúdo que há para ser apresentado. Ao longo desses anos a constante reflexão sobre essa questão com meus orientadores e colegas me direcionou a pensar em um projeto de doutorado que contemplasse a possibilitação de um ambiente científico nas salas de aula.

Novamente, eu não fazia ideia do que era a pesquisa no ensino científico, mesmo tendo cursado licenciatura em biologia (talvez naquela época eu ainda me encontrasse extasiada pelo microambiente das bancadas, o que me afastou do universo da pesquisa educacional). Foi bastante enriquecedor debruçar-me sobre outro tipo de vocabulário técnico, sobre outra maneira de se construir a escrita, sobre outras formas de se fazer e de se pensar o conhecimento. Desse processo veio a ideia de que desenvolveríamos essa pesquisa dentro da epistemologia da educação científica para o ensino universitário. Se desejamos formar indivíduos competentes cientificamente nas grandes áreas do conhecimento, devemos compreender como se dá a construção de saberes especificamente em cada área do conhecimento. Nesse trabalho apresento as minhas conclusões articuladas aos referenciais teóricos e às diversas discussões e experiências pelas quais passei nos últimos anos. Essas experiências certamente contribuíram para o desabrochar de uma professora mais sensível para os processos e as evidências do aprendizado, mas que ainda possui um longo caminho a percorrer em direção ao conhecimento sobre os caminhos do ensino e aprendizagem para a formação científica.

1.2 A pesquisa científica sobre o ensino de ciências

As pesquisas em educação científica têm se voltado, cada vez mais, para a perspectiva sociocultural da educação, segundo a qual não é possível encarar a aprendizagem fora do ambiente social na qual ela é construída. Tal perspectiva é inserida na Teoria Histórico-Cultural de Vygostky (1896-1934), cuja concepção central de aprendizado traz a linguagem como principal mediadora. Os diálogos, os gestos, a palavra escrita, as imagens visuais, constituem ferramentas da comunicação. Mas a linguagem adquire, também, uma concepção para além do diálogo, que é a de componente regulador do pensamento: ela estrutura a materialização daquilo que experienciamos, por meio de signos que constroem a subjetividade, dirigem os processos mentais e medeiam a formação de conceitos (Schroeder, Ferrari, & Maestrelli, 2010; Scott & Mortimer, 2005). O sujeito, imerso em situações sociais em que há compartilhamento de ideias, se apropria de diversos elementos desse contexto para promover ajustes mentais e formar o próprio pensamento individual (Schroeder et al., 2010). Portanto, fica claro que se desejamos compreender melhor os elementos e como eles estão envolvidos no processo de aprendizagem de um indivíduo, devemos começar pela compreensão de como a comunicação se estrutura na comunidade específica onde as ideias estão em jogo. Mas em que aspecto essa concepção de aprendizagem é aplicada à educação científica? Para respondermos a essa pergunta, faz-se necessária uma breve descrição sobre o percurso do ensino científico, desde o século XIX até os dias atuais.

1.2.1 O ensino científico por investigação: aspectos históricos

Barrow (2006) apresenta uma definição para o termo investigação, retirada do Terceiro Dicionário Interativo Webster. A palavra investigação é definida como “o ato ou instância de buscar verdade, informação ou conhecimento; ou consulta; ou pesquisa; ou questão”. A inserção da investigação no campo da educação científica acontece, pois, como tentativa de aproximação do ensino com a ciência da forma como ela é feita. Cientistas engajados em

processos de investigação autêntica estão em busca de novas informações ou conhecimento sobre o mundo natural e, por isso, incursionam em questões e práticas complexas para tentarem descobrir a resposta às questões (Munford & Lima, 2007; NRC¹, 1996). Assim, a inclusão dessas práticas como abordagem de ensino e aprendizagem pode contribuir para o desenvolvimento de habilidades essenciais para a formação de indivíduos com raciocínio crítico sobre assuntos de natureza sociocientífica, com capacidade de tomar decisões e outras habilidades que favoreçam a formação profissional para aqueles que desejarem se tornar cientistas (NRC, 1996).

DeBoer (2006) realiza uma profunda análise do histórico do ensino científico nos currículos Norte-Americanos e Europeus ao longo dos anos. O que todos esses currículos têm em comum é a recomendação de se empregar estratégias de ensino por investigação. Entretanto, essa abordagem assume diferentes caracteres ao longo do tempo, sendo modelada pelas questões que tocam a estrutura da sociedade a cada época.

Os primeiros registros da recomendação do uso de investigação como método educacional coincidem com a inclusão das ciências naturais nos currículos, ainda no Século XIX. À essa época os currículos eram baseados em estudos da gramática e matemática clássicas e a inserção das ciências naturais se torna vantajosa, pelo potencial de se desenvolverem habilidades na lógica-indutiva por meio de investigação. Os currículos seriam, portanto, incrementados pela introdução de uma nova maneira de se realizar o conhecimento escolar, que era a realização de observação empírica para construir ideias assertivas sobre o mundo ao redor. Para possibilitar essas observações, as aulas de ciências foram estimuladas por meio de práticas dentro do laboratório, compreendido como o local onde o indivíduo poderia desenvolver livremente a própria investigação para verificar fenômenos, a partir do desenvolvimento

¹ National Research Council: Conjunto de documentos que constituem os Parâmetros Curriculares para o Ensino de Ciências dos Estados Unidos. O primeiro foi publicado em 1996.

intelectual e de raciocínio lógico-indutivo. Dentre as habilidades desejáveis para os estudantes estavam: treinamento dos órgãos do sentido, organização da percepção através dos sentidos, construção de inferências, registro acurado das percepções e construção de afirmações lógicas a partir das observações (DeBoer, 2006). A instrução pelos professores era realizada em ambientes de bate-papo mais informal, livre de autoridade.

Já no início do Século XX as tensões sociais que conduzem a população às ondas de imigração, bem como questões sobre urbanização e saúde pública, influenciam as discussões sobre ensino científico, que passa a ser orientado não mais em termos de desenvolvimento intelectual pessoal do indivíduo, mas para possibilitar o acesso às questões sociocientíficas. Essas ideias se traduzem principalmente no pensamento de John Dewey (1902-1990), que preconiza a educação científica desde a infância, a sólida formação do sujeito nas ciências, e a incursão em problemas em que os sujeitos estejam genuinamente interessados (Barrow, 2006). São identificados os propósitos e as habilidades para serem desenvolvidas pela investigação, são elas: fazer medidas e aprender a ser um observador acurado (DeBoer, 2006).

Com o lançamento do Sputnik em 1957, alguns críticos começam a apontar que o ensino científico tinha se tornado intelectualmente fraco nos Estados Unidos da América, o que fora atribuído ao excessivo grau de liberdade dado às investigações nos laboratórios e à falta de uma instrução adequada (Barrow, 2006). Assim, uma corrente reformista se instala na década de 1950 até 1970, com uma proposta de recuperação do rigor científico e da estrutura das disciplinas que haviam sido perdidos. As tensões sociais do pós-Guerra e a corrida da Guerra Fria pressionam a educação científica nos EUA, que adquire um caráter salvacionista e altamente disciplinar. O foco é, então, direcionado para formar novos cientistas e também indivíduos não cientistas que apoiem e confiem na ciência, pelo bem da nação. Para isso, é necessário voltar ao conhecimento disciplinar e ao rigor metodológico para entender como uma disciplina se constitui, quais são as motivações do empreendimento científico e que implicações

conceituais emergem dessa atividade. Assim, os estudantes poderiam, por meio de investigação ou de instrução direta, receber explicações sobre um determinado conhecimento e o histórico da produção desse, além de serem convidados a resolver problemas e tentar obter soluções alternativas, mas sem conduzir a investigação por eles mesmos (DeBoer, 2006).

Essa tendência impactou também o Brasil no mesmo período, quando o sistema educacional Estadunidense influenciou fortemente e financiou o modelo educacional Brasileiro. O estabelecimento de acordos de prestação de assistência técnica e financeira MEC-USAID traçaram o tom das reformas educacionais que atingiram também o ensino superior brasileiro (Borges & Lima, 2007; Lampert, 2008), com destaque para a crença de que a educação científica com caráter altamente rigoroso, metodológico e profissionalizante poderia superar o déficit científico-tecnológico e salvaguardar a segurança das nações (Krasilchik, 2004). Embora esse modelo se propusesse a valorizar as práticas científicas em um contexto sociocultural, permaneceu muito restrito ao tecnicismo, à reprodução automática de métodos ou à promoção de atividades teóricas descritivas (Krasilchik, 2004; Lampert, 2008).

No pós-década de 1970 os estudos revisionais sugerem que esse tipo de orientação excessivamente disciplinar, rigorosa e metodológica era excludente para os indivíduos pertencentes às camadas menos favorecidas da população, porque tinha como pressuposto que os estudantes trouxessem consigo concepções teóricas já consolidadas e, além disso, não acessava o interesse pessoal dos indivíduos. A partir daí, começam a tomar forma as ideias de um ensino mais democrático, que culminam na reforma educacional dos anos 1980. Essa reforma tem o marco na publicação de vários documentos da política pública para o ensino científico na educação básica estadunidense. O Project 2061 da *American Association for the Advancement of Science* (AAAS) publica o primeiro texto, denominado *Science for all Americans*, em que o ensino passa a ser interpretado sob a ótica da alfabetização científica.

A alfabetização científica surge para designar uma nova visão educacional que objetivava oferecer oportunidades aos estudantes em situações de ensino e aprendizagem as quais contribuíssem para uma formação que possibilitasse a participação em processos sociais, por meio do desenvolvimento de capacidades e competências para a aplicação de conhecimentos científicos para tal (Sasseron & Carvalho, 2011). É preconizado, a partir de então, que esses indivíduos, incluindo indivíduos pertencentes às minorias Norte-Americanas (Kelly & Duschl, 2002), dominem os conceitos científicos para o uso em diferentes esferas da vida (DeBoer, 2006).

A reforma pressupõe que o indivíduo deva receber da educação científica não apenas compreensão conceitual, mas também acessar a natureza das ciências, o processo histórico de construção do conhecimento, os elementos da prática científica (NRC, 1996). Para isso, preconiza a investigação como um método de ensino (Munford & Lima, 2007). Nesse sentido, o ensino por investigação ganha contornos a partir de concepções construtivistas (DeBoer, 2006) e passa a ser interpretado como uma das abordagens metodológicas que podem ser requeridas no processo de alfabetização científica (Barrow, 2006). Os artigos do *National Science Education Standards* (NSES) nos Estados Unidos (NRC, 1996; 2000; 2012) elaboram uma série de recomendações sobre o papel dos professores e estudantes na aplicação dos processos que envolvem a investigação de uma dúvida científica para gerar compreensão de conceitos, teorias e modelos (Anderson, 2002; NRC 2000). No Reino Unido, o documento *Public Understanding of Science* também dispõe a consideração da abordagem investigativa nas salas de aula (Duschl, 2008) e mais recentemente essa concepção é incorporada na elaboração dos Parâmetros Curriculares Nacionais na década de 1990, no Brasil (PCN, 2006).

Esses documentos fornecem orientações sobre processos e objetivos, bem como sobre habilidades desejadas e currículos para a formação científica dos indivíduos engajados em investigação. Entretanto, ainda hoje o termo ensino por investigação carece de uma definição

consensual, seja nos documentos oficiais ou entre cientistas da educação (Anderson, 2002; Barrow, 2006). Por isso, o tema perpassa uma ampla discussão e envolve uma gama de definições e situações de aprendizagem, cujo sucesso em produzir resultados positivos dependerá de uma série de fatores que parecem estar mais relacionados à percepção de como essa abordagem pode ser aplicada dentro de contexto em cada ambiente de aprendizagem particular, do que da mobilização de um conjunto de métodos pré-concebidos (Anderson, 2002; Hodson, 2014).

Os Parâmetros Curriculares Estadunidenses elaboraram um guia em que são reunidas algumas características básicas para ser contempladas no ensino por investigação. Assim, em uma atividade investigativa é desejável que os estudantes: i) se engajem em perguntas de cunho científico; ii) priorizem a seleção de evidências para responder questões; iii) formulem explicações baseadas em evidências; iv) avaliem as próprias explicações à luz de teorias de caráter científico; v) comuniquem e justifiquem as afirmações propostas (NRC, 2010). Salienta-se que cada ambiente de aprendizagem pode apresentar variedades de adaptações a esse esquema básico, como por exemplo, a inserção de um passo para levantamento de hipóteses (quando conveniente) ou para avaliação por pares, desde que a geração de uma questão problematizadora de caráter científico seja investigada sob os preceitos metodológicos da ciência. Essa abordagem oportuniza aos indivíduos a familiarização com elementos da prática científica, que na compreensão atual adquire um significado para além do método (Erduran & Dagher, 2014). Portanto, o sujeito deve se familiarizar não só com elementos metodológicos, tais como a utilização de equipamentos; mas também com elementos interacionais, cognitivos e epistêmicos, tais como a revisão por pares, a coleta de dados para teste de hipóteses, as especificidades da linguagem, a história do pensamento científico.

Diversos trabalhos sugerem que a utilização de metodologias ativas (escopo onde o ensino por investigação está inserido) é bastante eficiente para esse propósito, em relação às

estratégias tradicionais de ensino. Uma meta-análise avaliou 225 artigos que comparavam a performance de estudantes engajados em diversas estratégias construtivistas ou em instrução formal. As análises estatísticas sugerem que as metodologias construtivistas se relacionam ao sucesso em testes e à diminuição das taxas de falha (notas D e F) dos estudantes de diversos cursos de graduação do eixo ciências, engenharia e matemática. Em média, o desempenho dos alunos nos exames aumentou independente do curso e do tamanho das turmas, em relação aos grupos que realizaram instrução direta (Freeman et al., 2014). Outro trabalho evidenciou como o engajamento de estudantes na investigação científica relacionada a assuntos de interesses pessoais aumenta a motivação para a compreensão dos resultados: os estudantes que analisaram o próprio microbioma por meio de um kit recorriam mais à literatura, mobilizavam maior número de evidências e afirmavam estar genuinamente interessados na solução da atividade (Weber et al., 2018).

É necessário, entretanto, planejamento cuidadoso no uso dessas metodologias para minimizar a possibilidade de falha. Munford e Lima (2007) discutem três concepções que elas julgam equivocadas sobre o tema, de acordo com os Parâmetros Curriculares Estadunidenses (NRC, 2002). A primeira delas é a de que a simples inclusão do experimento nas propostas educacionais sem que haja um propósito investigativo claramente colocado para os estudantes pode terminar constituindo-se em atividade que se resume em execução de protocolo. Portanto, para que uma atividade experimental seja inserida no escopo do ensino por investigação, deve fomentar o engajamento nas práticas científicas e na execução de modelagem, argumentação e investigação (Crujeiras-Perez & Jimenez-Aleixandre, 2017). A segunda, é o mito de que as atividades devem se constituir necessariamente em propostas de investigação bastante abertas, sem que se considere contextualmente as características de cada ambiente de aprendizagem. E, em terceiro: alguns temas científicos não são, por natureza, favoráveis para serem ensinados

por essa abordagem e, sendo assim, há diversas outras ferramentas de ensino disponíveis para tal (Munford & Lima, 2007).

Hodson (2014) elabora críticas ao uso deliberado de metodologias de aprendizagem. A experiência do ensino das ciências por indução nos mostra que muitos conceitos científicos são contra-intuitivos e, sendo assim, não é mais possível conceber a ideia de que uma mesma metodologia irá apoiar corretamente diferentes objetivos de aprendizagem. Assim, Hodson elabora quatro categorias importantes de serem distintas de acordo com os objetivos de aprendizagem durante planejamento da estratégia de ensino:

- O aprendizado da ciência: aquisição e desenvolvimento de conceitos científicos básicos;
- O aprendizado sobre ciência: desenvolver compreensão sobre as características básicas da prática científica, tais como o status e as circunstâncias sociais e intelectuais do conhecimento; a maneira como as comunidades científicas se organizam; as particularidades linguísticas da comunicação; a validade das afirmações científicas e a interação entre ciência, tecnologia e sociedade;
- O fazer ciência: engajamento e desenvolvimento de competência em investigações científicas;
- O acesso a assuntos sociocientíficos: desenvolvimento de habilidades críticas para confrontar visões sociais, político-econômicas e morais sobre assuntos sociocientíficos.

Para ele uma estratégia bem-sucedida perpassa a seleção de poucos objetivos para serem apoiados por uma proposta específica para cada experiência de aprendizado. Por exemplo, uma proposta que objetiva promover aquisição conceitual deverá ser em termos de estrutura completamente diferente de uma proposta que objetiva contribuir para a compreensão da lógica da natureza da ciência. Por isso, se o objetivo de aprendizagem não oferece muita flexibilidade quanto à meta que se deseja atingir, talvez seja mais indicado utilizar o *fazer ciência* nas situações em que seja possível lidar com imprevistos, com erros, com necessidade de maior

tempo para conclusão do planejamento e com a possibilidade de surgimento de conclusões diferentes daquelas previstas pelo professor (Hodson, 2014).

Em relação aos níveis de abertura de uma investigação, Blanchard et al. (2010) baseiam-se em três elementos-chave – formulação de questões, coleta de dados e interpretação dos dados gerados – para estruturar quatro graus de investigação em sala de aula. O nível zero é chamado de “verificação” e é o que mais se afasta do modo desejável de aprendizagem por investigação, porque o professor fornece a questão-problema e os procedimentos adequados para que os estudantes apenas confirmem conclusões que já foram previamente fornecidas. Já no nível I “investigação estruturada”, o professor fornece a pergunta-problema e suficiente instrução sobre os métodos, mas os alunos devem construir as próprias conclusões a partir da análise de dados. No nível II, chamado “investigação guiada”, os estudantes são convidados a propor os próprios métodos para responder à questão científica proposta pelo professor e no nível III “investigação aberta”, grupos de alunos em um contexto mais independente são desafiados a propor seus próprios questionamentos e, por conseguinte, metodologias para chegar às respostas ainda desconhecidas.

O trabalho de Blanchard e colegas é uma análise quantitativa e comparativa de uma mesma atividade em biologia forense adaptada para os graus 0 e 2, em que se observa maiores ganhos a longo prazo em diferentes tipos de conhecimento (conceitual, procedimental) para o grupo engajado no grau 2 de investigação. Os autores ressaltam, entretanto, a inexistência de um nível ideal de investigação sem que se considerem características como concepções prévias, status socioeconômico, idade, nível de escolaridade, experiência prévia em investigação, tempo para a realização da atividade. O que ele quer dizer é que os resultados dele não corroboram a ideia de que o grau 2 seria o grau ideal de investigação e sim que essa estrutura da atividade de biologia forense produz dados positivos para aquele ambiente de aprendizagem específico.

Outras análises sobre o engajamento de estudantes no planejamento de investigações (portanto atividades de maiores graus de liberdade) corroboram essas afirmações. São observadas dificuldades relacionadas à aquisição e análise de dados (Girault & d'Ham, 2014), à explicitação de critérios de medição (Crujeiras-Perez & Jimenez-Aleixandre, 2017) e à mobilização de suporte teórico adequado, bem como na escrita de relatórios científicos (Marzin & De Vries, 2008), sugerindo que os estudantes precisam de algum nível de instrução (*scaffolding*) para suportarem a alta carga cognitiva que uma atividade investigativa demanda. Um trabalho avaliou a argumentação em um curso em que estudantes acessam tópicos com explicações científicas sobre aquecimento global para responder a questões. A análise mostrou que os estudantes que solicitavam feedback ou faziam uso da ferramenta de revisão automática atingiam pontuações mais altas nas avaliações (Mengxiao et al., 2017).

Em conjunto e considerando-se as condições de aprendizagem, essas observações evidenciam que as abordagens de ensino ativo são bastante vantajosas em desenvolver habilidades relacionadas ao conhecimento. Mas quais seriam essas condições? Para clarear melhor essa questão, as pesquisas em ensino científico se apropriam do conhecimento epistemológico das grandes áreas do conhecimento para identificar os padrões, nos ambientes de aprendizagem, que podem constituir fontes epistemológicas frutificadoras para se construir informação em sala de aula.

1.2.2 Os estudos epistemológicos sobre educação científica

O apogeu das descobertas científicas alimentou por muito tempo a ilusão de que a ciência impulsionaria as demais estruturas sociais ao progresso, como se ele fosse resultado do acúmulo de informações oriundas das investigações científicas. Acreditava-se na garantia de que a aplicação rigorosa do método geraria certezas nas incursões investigativas e que a educação pelo método conduziria a sociedade ao raciocínio lógico. Porém, o século XX é

marcado por diversas tensões sociais como por exemplo aquelas relacionadas à saúde pública (DeBoer, 2006), inclusive no Brasil, com a Revolta da Vacina em 1904.

Esse cenário é propício para a formação de uma nova corrente de pensamento epistemológica que passa a interpretar a ciência a partir de uma ótica voltada para o social. Sendo assim, começa-se a considerar a influência de alguns componentes no empreendimento científico, como os interesses políticos, dos financiadores e dos próprios pesquisadores na ciência, além do caráter interacional da atividade científica, que traz a subjetividade como um componente da episteme da ciência. Diversos intelectuais interessados na epistemologia² do conhecimento científico passam, assim, a interpretá-lo como consequência da negociação de normas, regras, valores para definir o que será considerado conhecimento válido, em um ambiente de compartilhamento de práticas sociais comuns, situadas em contexto (Latour & Woolgar, 1986; Longino, 2000).

Alguns pesquisadores lançam mão da etnografia³ para incursionar pelos contextos da prática científica, a fim de caracterizar a natureza dessas atividades sociais. Bruno Latour é pioneiro ao infiltrar-se na rotina de um renomado laboratório de neurociências, onde se coloca na posição de observador desprovido de qualquer relação ou conhecimento prévio, durante o contexto da descrição de um hormônio peptídico, o qual levaria o pesquisador-chefe à conquista do Prêmio Nobel em 1977. Latour toma essa posição para realizar descrições de cada elemento como a rotina, a disposição, características e utilização da aparelhagem, bem como as discussões científicas nas reuniões (Latour & Woolgar, 1986). Essa postura fornece o grau de

² A epistemologia é uma área da filosofia da ciência que se ocupa do estudo da natureza do conhecimento. Historicamente diversos pensadores elaboraram diferentes epistemologias para o conhecimento científico, desde Platão, passando por Aristóteles, Francis Bacon e a lógica indutiva, Galileo e os princípios da experimentação matemática, Descartes e o método cartesiano, Husserl e a fenomenologia e os filósofos contemporâneos Como Bruno Latour com a etnografia de laboratório e Knorr Cetina com as culturas epistêmicas (Blaga, 2014; Lima & Teixeira, 2011; Østergaard, Dahlin, & Hugo, 2008).

³ A etnografia é definida como o estudo do comportamento em seu contexto social. Enquadra-se sob uma perspectiva qualitativa de pesquisa, em que nas definições clássicas envolve a observação a partir de um distanciamento entre o observador e o fato observado e a realização de descrições minuciosas a partir de diversas fontes de coleta, para garantir interpretações próximas da realidade. Atualmente os estudos etnográficos englobam novas perspectivas, como a autoetnografia.

independência que ele necessita para verificar como a organização social dos indivíduos comprometidos com aquela atividade influencia a legitimação das descobertas científicas que ali acontecem.

Em seu livro “Vida de Laboratório”, datado de 1979, Latour refere-se àquele grupo com quem convive por dois anos como se ele fosse uma tribo exótica (Latour & Woolgar, 1986, p.17). O que ele quer dizer com isso é que assim como as tribos africanas ou qualquer outra comunidade não científica, o produto produzido pela atividade científica – no caso, o fato científico – é fruto de operações dadas em função de práticas sociais. E é aí que está situada a episteme do conhecimento científico: muito particular dessa tribo é o ato de escrever e codificar tudo o que é feito a cada etapa de uma sequência de transformações, que parte da obtenção de amostras biológicas, as quais são introduzidas em aparelhos para a geração de números, que serão utilizados para alimentar dados em um computador, para a geração de uma curva. Porém, a validação dessa informação deve passar por canais de discussões e trocas de informações em um sistema complexo de colaboração entre autores e emprego de estratégias próprias de retórica, o que dá às descobertas científicas o status de construção coletiva (Latour & Woolgar, 1986, p.236). Latour não advoga contra a confiabilidade dos dados ou contra a prática científica. O que ele faz é descrever os processos pelos quais uma cultura comum ratifica ou descarta a robustez dos dados (Latour, 1987), na medida em que o interesse da audiência científica está mais voltado para as condições de geração dos fatos que são apresentados, do que para afirmações dadas como verdade, mas apresentadas fora de circunstância.

As epistemologias de Latour e de filósofos da ciência contemporâneos se estabelecem em meio a um contexto de mundo onde o desenvolvimento científico a todo vapor não era capaz de frear as tensões sociais. É esse mesmo terreno, marcado pela pluralidade e complexidade das estruturas sociais, que pressiona para uma revisão na educação científica e conduz à reformulação das supracitadas propostas educacionais, a partir da década de 1980. As pesquisas

em ensino científico passam, assim, a considerar os estudos epistemológicos da ciência durante o planejamento dos ambientes de educação científica. Esses estudos informam sobre elementos-chave e circunstâncias sociais de produção de conhecimento dentro da pesquisa autêntica, o que pode ser bastante vantajoso, porque delimita os potenciais e limites da ciência nas propostas educacionais (Kelly & Duschl, 2002).

É fundamental, entretanto, compreender que as pesquisas educacionais consideram a existência de diferenças determinantes entre as epistemologias da investigação autêntica e da investigação nos ambientes de aprendizagem dentro das escola (Chinn & Malhotra, 2002). Enquanto a primeira possui como propósito de pesquisa a contribuição para a construção de um conhecimento novo, a segunda propõe que os sujeitos detectem regularidades sobre um conhecimento já estabelecido, em um espaço com características culturais, metodológicas e procedimentais particulares (Chinn & Malhotra, 2002; Lopes-Scarpa & Frateschi-Trivelato, 2013). Assim, o que as pesquisas em educação científica fazem é argumentar a favor da tomada de elementos da ciência autêntica, adaptados como ferramenta inserida dentro do contexto de aprendizagem. Um simples transplante das práticas para tentar satisfazer as metas educacionais pode incursionar em erros, porque nem todo comportamento contribui efetivamente quando inserido dentro da proposta de ensino (Kelly & Duschl, 2002). Além disso, os estudos epistemológicos têm o potencial de revelar considerações para além da prática que emergem nos ambientes da ciência autônoma, prática que deve influenciar o processo de compreensão dos significados dentro dos ambientes de ensino. A análise do funcionamento desses elementos no contexto educacional pode ampliar a compreensão sobre a educação científica (Kelly & Licona, 2018).

Lopes-Scarpa e Frateschi-Trivelato (2013) advogam que conceber as especificidades das culturas escolar e científica é ponto de partida para compreender os caminhos do aprendizado. Para contribuir nessa compreensão, as autoras compararam os argumentos em dois

textos científicos de grande relevância para a genética com as respostas que os alunos de uma escola pública deram a uma problemática envolvendo a análise de um experimento de genética. Os resultados mostram que os textos científicos analisados apresentam argumentos analíticos, com os sujeitos das orações determinados nos tempos verbais na terceira pessoa do presente, para dar o status de *fato* às descobertas. Por outro lado, no texto dos estudantes predomina o tempo passado, em que os sujeitos das frases constituem o DNA ou as substâncias utilizadas nos experimentos. Esse traço do texto dos estudantes reflete um distanciamento e também um caráter de narrativa histórica (Mayr, 2004).

No livro “Biologia, Ciência Única”, de 2004, Ernst Mayr descreve as duas grandes áreas da biologia: a biologia funcional e a biologia evolutiva. Essa grande área se difere da primeira por se distanciar das técnicas experimentais e ir buscar evidências na narrativa histórica (Mayr, 2004). No caso dos textos científicos tomados na investigação proposta por Lopes-Scarpa e Frateschi-Trivelato, claramente há descrição de dados experimentais, entretanto a sequência investigativa analisada recorre à narrativa histórica como estratégia didática para que os estudantes percebam a natureza do conhecimento científico. As autoras observam que esse processo de recontextualização da biologia funcional para a narrativa histórica se reflete na escrita dos alunos e é uma evidência de hibridização entre as duas culturas – escolar e científica – que estabelecem zona de contato nos ambientes de aprendizagem. Para elas, a zona de contato gera uma nova cultura híbrida em que o caminho para acessar as afirmações científicas é marcado por processos de recontextualização (Lopes-Scarpa & Frateschi-Trivelato, 2013).

Jiménez-Aleixandre, Bugallo-Rodríguez e Duschl (2000) discutem sobre a existência de hábitos procedimentais da escola que refletem o conjunto de valores detidos por essa cultura. Por exemplo, preencher cabeçalhos, fazer tarefas de “dever de casa”. Esses hábitos podem ou não estar relacionados aos objetivos de aprendizagem e, quando não estão (quando são requeridos sem uma razão específica), constituem barreira ao aprendizado dentro da escola. Os

autores analisam argumentos de estudantes para caracterizar em quais momentos, durante uma sequência de investigação em genética, os estudantes de ensino médio estão fazendo tarefa escolar (*doing lesson*) ou fazendo ciência (*doing science*). Os alunos devem discutir sobre diferentes hipóteses fornecidas a respeito da razão da mudança da cor dos frangos quando criados em fazendas. Ela classifica os argumentos dos estudantes dentro de duas categorias: a cultura escolar (quando os estudantes agem como estudantes e realizam tarefas porque está sendo solicitado que o façam; ou porque faz parte do cotidiano) ou dentro da categoria da cultura científica (quando eles estão engajados em falar e fazer ciência).

A análise mostra que os estudantes tendem a iniciar o diálogo por meio de asserções correspondentes ao fazer tarefa, expresso em, por exemplo: quando alguém concorda com os demais membros do grupo não porque está de acordo com a decisão, mas para fazer parte desse grupo; ou quando uma aluna escolhe a hipótese dos genes como causadores das mudanças, porque o assunto faz parte da aula de genética. Mas à medida que os diálogos se processam em um ambiente de investigação que oportuniza aos estudantes a imersão na atividade, sob a mediação, discussão e solicitação de revisões pelo professor, é observado que os estudantes assumem posições categorizadas no fazer ciência, como: avaliação das afirmações, uso de diferentes hipóteses para as justificativas e realização de metáforas e analogias (Jiménez-Aleixandre, Bugallo-Rodríguez, & Duschl, 2000).

Ambos os trabalhos de Lopes-Scarpa & Frateschi-Trivelato (2013) e Jiménez-Aleixandre, Bugallo-Rodríguez e Duschl (2000) utilizam a estrutura do argumento dos estudantes como evidência de aprendizado. A comunidade científica utiliza-se de argumentação, em uma retórica que adquiriu estilo próprio e se constitui gênero da escrita científica. Latour (1987) observa as estratégias pelas quais um cientista tenta conferir status às conclusões: ele vincula as próprias sentenças às afirmações científicas de grande nível de generalidade, ao mesmo tempo em que explora o conteúdo dos dados de pesquisa para mostrar

exatamente aquilo que está no texto, inclusive com a elaboração de legendas para indicar ao leitor como a figura deve ser lida. Dessa forma, o autor “protege o texto contra a força do leitor” (Latour, 1987, p.78), sugerindo à audiência que a forma como ele apresenta o dado é segura, pois encontra respaldo na confiabilidade da técnica e na literatura.

Portanto, a retórica científica compreende a realização de movimentos mentais complexos e bastante particulares dessa cultura, na tentativa de persuasão. Compreender em que circunstâncias ela é apropriada pelos estudantes é fundamental. No processo de análise da articulação entre observação e teoria, Kelly e Duschl (2002) organizam três processos de transformação ($T1 \rightarrow T2 \rightarrow T3$) em um contínuo de evidência-explicação. Dentro desse esquema, T1 é definido como a transformação de dados em evidência, T2 é a conversão de evidências em padrões e modelos e T3 é definido como a transformação desses padrões em explicação. Cada uma das transformações representa um ponto de tomada de decisões pelos estudantes imersos no discurso epistêmico argumentativo: para realizar as transformações do contínuo eles necessitam definir aquilo que pode ser considerado válido em termos de evidências, padrões e modelos na dada cultura do conhecimento. Para fazer esse movimento é necessário se apropriar de alguns elementos da cultura científica, o que constitui evidência de aprendizado (Kelly & Duschl, 2002).

Um aspecto de relevância para ser acessado é a estrutura dos argumentos nos textos científicos em salas de aula. O modelo de Toulmin, ou Padrão Toulmin (Toulmin, 2003) tem sido especialmente útil, porque identifica elementos do argumento escrito ou falado durante o discurso, mesmo durante atividades de ensino-aprendizagem, onde as bases do conhecimento ainda não estão totalmente consolidadas e as formulações dos alunos podem ainda não ser totalmente corretas conceitualmente (Jiménez-Aleixandre & Bustamante, 2003).

No livro “Os Usos dos Argumentos”, escrito em 1958, Toulmin propõe como ferramenta de identificação de argumentos a classificação dos trechos em alguns elementos

campo-independentes. Assim, na concepção desse autor, um determinado trecho constitui um argumento quando detectamos nele referência aos Dados (D), que são os fatos mobilizados para dar suporte à conclusão; à Conclusão (C), que é a premissa final cujo mérito está sendo estabelecido e à Justificativa (W), que constitui as regras, princípios e razões que conectam os dados à conclusão. Outros três elementos do Modelo de Toulmin, quando presentes em adição ao *layout* básico, podem fornecer pistas sobre a qualidade das asserções (Erduran, Simon, & Osborne, 2004). São eles: Apoio (B), que consistem nas leis, conceitos e teorias que apoiam a justificativa; Qualificadores (Q), são as condições nas quais a conclusão se torna válida, portanto a presença de asserções de apoio confere força ao que é postulado; Refutadores (R), que são as condições nas quais a conclusão não é apoiada. Toulmin observou que o valor dos argumentos, em sua concepção linguística, também é dado em função da epistemologia, por isso a qualidade de um argumento pode estar relacionada à presença e à quantidade elementos extras (Jiménez-Aleixandre et al., 2000).

Mello, Marzin e Manzoni-de-Almeida (artigo em preparação) realizam análise de argumentos de estudantes brasileiros e franceses em duas atividades de investigação aplicadas no modelo presencial e na mobilidade à distância, essa, a partir da utilização da plataforma digital *LabBook* (Girault & d'Ham, 2014). As atividades consistiram na distribuição de dados numéricos em duas situações diferentes em Imunologia para responder a duas perguntas de investigação. Foi observado que em ambas as situações e em ambas as modalidades os estudantes são capazes de produzir argumentos para responder à problemática, porém eles apareciam em maior número na estrutura básica DWC. Isso pode estar relacionado à necessidade de maior treinamento na estrutura do layout Toulmin e também à complexidade dos dados de análise.

Jiménez-Aleixandre et al. (2008), afirmam que argumentação é uma prática epistêmica. As práticas epistêmicas são definidas como as atividades sociais cognitivas e discursivas que

são estabelecidas dentro de uma comunidade que compartilha valores, ferramentas e significados estabelecidos por critérios comuns (Kelly, 2008; Sandoval, 2000). Elas refletem a forma como a comunidade científica propõe, comunica, avalia e legitima o conhecimento. Por isso, são mutáveis ao longo do tempo e situadas contextualmente, podendo variar dependendo do tipo de atividade ou até mesmo se constituir inicialmente em práticas específicas em uma comunidade, para posteriormente serem modificadas, expandidas e utilizadas por membros de grupos maiores (Kelly & Licona, 2018). Sandoval (2000) elabora cinco diferentes práticas epistêmicas e afirma que o engajamento dos estudantes nessas práticas favorece a compreensão epistêmica, ou seja, o entendimento de significados e a apropriação de ideias relacionadas ao pensamento sobre ciência.

Para verificar como essa compreensão ocorre, diversas ferramentas de análise têm sido desenvolvidas nos contextos específicos de aprendizagem (Araújo & Mortimer, 2009; Jiménez-Aleixandre, Mortimer, Silva, & Días, 2008; Kelly & Licona, 2018). Jiménez-Aleixandre et al. (2008) elaboram uma rubrica que considera diversas práticas epistêmicas gerais e específicas, organizadas em três grandes áreas do conhecimento: produção, comunicação e avaliação do conhecimento. A argumentação aparece como uma prática geral de avaliação do conhecimento e as práticas específicas da argumentação são: distinguir conclusões de evidências; usar dados para avaliar teorias; usar conceitos para interpretar dados; olhar para os dados por diferentes perspectivas; recorrer a outros conhecimentos para acessar a consistência dos dados. Como práticas gerais de produção e de comunicação, temos como exemplo, respectivamente: interpretar padrões nos dados e produzir relatórios que circulam na sala de aula.

Sasseron e Duschl (2016) empregam a análise de práticas epistêmicas para avaliar o engajamento de estudantes do ensino fundamental brasileiro em uma discussão científica. Os autores buscam compreender como esse engajamento pode ser relacionado ao progresso intelectual dos estudantes (engajamento disciplinar produtivo), em uma concepção de

alfabetização científica. A análise dos turnos de fala dos estudantes revela movimentos de produção, comunicação e avaliação de ideias, sugerindo que a discussão de um assunto científico pode se constituir em um ambiente de oportunidades para a compreensão do conhecimento científico nas escolas.

1.3 A pesquisa científica no ensino superior

As universidades se estabeleceram como ambientes de pesquisa e ensino em todo o mundo há muitos anos. No Brasil, as universidades públicas se consolidaram como locais de realização da maioria dos empreendimentos científicos (Borges & Lima, 2007; Furtado, Davis, Goncalves, & de Almeida, 2015) o que foi impulsionado a partir dos acordos MEC/USAID, que financiaram uma reforma universitária com ênfase na pesquisa para servir o mercado internacional. O Brasil saltou de uma ciência pouco expressiva para a maior produção científica da América Latina a partir da década de 70 (Lampert, 2008), alcançando 13ª produção mundial nos dias atuais (Furtado et al., 2015). Esses acordos também estabeleceram em 1968 o tripé pesquisa – ensino – extensão como atribuições básicas da universidade, demonstrando um caráter não exclusivo da pesquisa nesses locais: a universidade não existe também sem ensino (Lampert, 2008)

Se o aprendizado de ciências nas escolas se manifesta por meio de características de hibridização entre as culturas escolar e científica, o ensino científico no ambiente das universidades também adquire características próprias. Manzoni-de-Almeida (2016) e Manzoni-de-Almeida et al. (2016) afirmam que a universidade constitui “espaço de fronteira”, uma concepção que se diferencia do conceito de hibridização (Scarpa, 2009). Os objetivos do ensino científico para a graduação se diferenciam dos objetivos do ensino escolar, na medida em que aquele é planejado para a formação profissional. A própria estrutura das disciplinas dos cursos de graduação e pós-graduação difere substancialmente das disciplinas escolares, essas últimas sendo produzidas para atender aos objetivos didáticos, com finalidade educativa

(Sasseron & Duschl, 2016). Já as primeiras são planejadas para a compreensão científica das grandes áreas em profundidade. Nas universidades os professores são os indivíduos que coordenam pesquisas e os alunos podem se engajar em projetos de iniciação científica e de pós-graduação, os quais serão executados nos laboratórios vizinhos às salas de aula. A universidade constitui lugar de encontro. Pesquisa e ensino coexistem em um mesmo tempo e espaço, podendo compartilhar, pois, os mesmos sujeitos ativos.

Lampert (2008) discute intensamente sobre o papel social que a pesquisa deveria assumir na universidade. Para transformá-la, a universidade deveria estar disposta a compreender as necessidades de um novo mundo e produzir conhecimento que ultrapassasse as fronteiras das plataformas de depósito de teses e que superasse os limites das exigências dos programas de pós-graduação, de forma a contribuir efetivamente para a melhoria de vida da população brasileira. Nesse sentido, a pesquisa é e deve ser tratada como pré-requisito para as profissões dentro das grandes áreas das ciências biomédicas. A atividade profissional na medicina, na enfermagem, na biologia (e demais áreas), que não se apropria da pesquisa se resume à prática e para a simples prática não é necessária formação acadêmica. Portanto, a pesquisa na universidade também precisa ser mobilizada como recurso metodológico para a formação científica profissional. Uma universidade inovadora precisa, pois, oferecer uma pedagogia que se afaste do ensino puramente formal e que se aproprie das abordagens que permitam atender ao novo perfil cultural de sujeitos com os quais ela se compromete a formar. Nesse espaço de fronteira (Manzoni-de-Almeida, 2016; Manzoni-de-Almeida, Marzin-Janvier, & Trivelato, 2016), os docentes necessitam estar preparados para conduzir processos de ensino e aprendizagem para além da transmissão formal de conceitos, que auxiliem os futuros profissionais na aquisição de uma visão científica para ser aplicada nas próprias rotinas. Esse pensamento científico deve projetar o exercício da prática profissional para além da reprodução sistemática de protocolos, para além da realização de diagnósticos ou prescrições sem que haja

parâmetros suficiente fortes para tal, para além da aplicação de estratégias de ensino de ciências que se restrinja a transmissão de conteúdo.

A utilização da pesquisa como recurso metodológico no espaço de fronteira (Manzoni-de-Almeida, 2016; Manzoni-de-Almeida et al., 2016) deve oportunizar ao indivíduo o contato íntimo com os elementos mobilizados pela atividade científica específica da área, além de fornecer também a oportunidade de compreender as implicações de um determinado conhecimento científico dentro da sociedade. Indivíduos especialistas que desenvolvam habilidades relacionadas à pesquisa serão certamente capazes de atuar profissionalmente em uma sociedade mais complexa e pragmática. Outro ponto a ser destacado é que é impossível acompanhar o volume de conhecimento científico a partir de estratégias de ensino formais resumidas à transmissão conceitual. Portanto, nos ambientes da universidade o futuro profissional deve se engajar na pesquisa para adquirir autonomia de se atualizar nesse conhecimento (Lampert, 2008; Vieira, Nicoli, Prado, Santoro, & Teixeira, 2001). Dessa forma, para que a educação científica ultrapasse os limites do ensino formal e capacite indivíduos especialistas em um determinado conhecimento, deve considerar objetivos educacionais específicos para a aquisição de visão profissional da ciência.

Essa necessidade é bem explicitada nos trabalhos de pesquisadores que argumentam a favor da tomada de elementos domínio-específicos no ensino científico para a graduação. Jimenez-Aleixandre (2012) argumenta que o ensino superior de genética deve ser feito a partir de considerações explícitas sobre dois assuntos domínio-específicos da área: determinismo e reducionismo. Ela realiza uma breve análise histórica para descrever como é problemático, mesmo dentro da comunidade científica, dar crédito às pressuposições epistêmicas que estejam fora do dogma central da genética (por exemplo a não aceitação da noção de prions à época em que os dados foram apresentados). Além disso, é observado que a visão reducionista e determinística da genética é dominante nas discussões sociais, na mídia e no próprio material

didático, o que constitui entrave para o desenvolvimento de raciocínio crítico dos estudantes do curso de graduação em biologia: durante uma investigação no tema de expressão gênica, muitos deles expressaram dificuldades em interpretar os dados para enxergar as evidências e assim compreender a informação que o resultado fornece. Essa dificuldade parece ser reforçada pelo estilo do material didático em genética, que aborda o tema por um viés predominantemente determinista (Jiménez-Aleixandre, 1994) A partir daí a autora elenca aspectos de relevância para serem acessados no ensino científico de genética: i) o que conta como aceitável na ciência muda ao longo do tempo; ii) visualizar padrões em dados não é trivial, por isso é necessário articular conhecimento teórico e evidências no ensino disciplinar; iii) é necessário haver aquisição de raciocínio probabilístico e abandono de concepções determinísticas nas abordagens sobre genoma.

O trabalho de Mayr (2004), por exemplo, é um marco para a biologia, porque promove uma ruptura com o pensamento da filosofia tradicional que a classificava dentro do escopo da física mecanística. Para distinguir por que a biologia deveria ser tratada como uma ciência autônoma Mayr demonstra que a biologia evolutiva cumpre, como atributos básicos, a organização do conhecimento em princípios explicativos próprios e também possui características próprias que a separam de outras áreas da ciência. Evolucionistas lidam com sistemas expostos à programas genéticos ao longo de uma escala de tempo geológica. Portanto a prática científica na construção dessa ciência se afasta dos procedimentos experimentais e recorre à narrativa histórica para construir explicações científicas. Mas o grande ponto de autenticidade da biologia em relação à física é que os sistemas biológicos não estão restritos apenas às leis naturais, mas à influência dos genomas (Mayr, 2004, p.31). Sendo assim, as perguntas científicas, a metodologia, a natureza dos dados e das evidências são fundamentalmente diferentes entre essas duas comunidades de práticas, de forma que as

habilidades exigidas para a aquisição de visão profissional em cada uma também não serão as mesmas.

Pesquisas no campo da filosofia da ciência informam aspectos relevantes sobre como são estabelecidas as negociações sobre a representação de dados dentro da cultura científica. A construção de saberes após a coleta de informações sobre um fenômeno se inicia com a materialização desses dados no texto científico, daí sua importância. O termo inscrição literária foi cunhado (Latour e Woolgar, 1986 p.60) para designar traços, pontos, gráficos, mapas, espectros, histogramas, fotografias e números que servem como evidências para a conclusão, constituindo-se matéria-prima para a argumentação científica. Latour descreve como essas inscrições adquirem diferentes status quando são colocadas em interação com afirmações teóricas já estabelecidas, em um processo retórico de tentativa de eliminação de flexibilidade interpretativa (Latour & Woolgar, 1986).

Roth e Pozzer-Ardenghi (2013) acrescentam que diferentes inscrições oferecem diferentes informações sobre o fenômeno, portanto a proximidade entre o fenômeno e sua representação dependerá da inscrição literária escolhida. Para ilustrar essa observação, os autores esquematizam o contínuo de inscrições durante a caracterização hipotética de uma flor de lótus: a fotografia retrata elementos gerais como pétalas, cor, proporções entre as partes e demais características da flor, bem como o ambiente em seu entorno. Para uma interpretação mais específica, um esquema (ou diagrama) é capaz de representar características próprias compartilhadas pela maior parte das flores de lótus. Já as equações podem representar aspectos ainda mais pontuais, como a massa da flor em função do tempo. Mas à medida que se processa o contínuo com o aumento do grau de abstração, informações sobre o contexto de coleta dos dados podem ser perdidas se não houver uma compreensão das práticas sociais que fundamentam a sobreposição de inscrições (Roth & Pozzer-Ardenghi, 2013).

Um estudo comparou como cientistas e graduandos de biologia interpretam gráficos sobre dinâmica populacional. O trabalho concluiu que, enquanto os cientistas recorrem às próprias experiências empíricas para tomar conclusões, os estudantes se baseiam no conhecimento da estrutura dos gráficos para construir as análises (Bowen, Roth, & McGinn, 1999). Isso pode estar relacionado com a maneira descontextualizada com que os gráficos são apresentados na sala de aula: se na prática científica as inscrições são praticamente o próprio fenômeno inserido no texto, nas salas de aula elas são tratadas como mero formalismo, gerando uma ausência de compreensão da sua função no contexto (Capecchi, 2004, p.60). Como alternativa, Bowen et al. (1999) sugerem que, para possibilitar uma compreensão profunda do objeto de estudo, a interpretação do texto científico em sala de aula deveria ocorrer no sentido inverso, partindo-se da inscrição, para se recuperar as práticas sociais que levaram à caracterização do fenômeno.

Roth (2013) corrobora essas afirmações a partir de uma pesquisa etnográfica em um laboratório de oceanografia, em que se observou que cientistas imprimiam um grande esforço para reconstruir o contexto de coleta, quando eram desafiados a desvendar inversamente as etapas de construção das inscrições. Essas evidências sugerem que a compreensão da representação de dados no contexto de sala de aula demanda que os alunos participem primeiro dos processos de construção de inscrições, para só depois serem capazes de interpretá-las.

A apropriação de práticas epistêmicas também é considerada no ensino das disciplinas científicas nas universidades, constituindo-se evidência de aprendizado. Dentro dos ambientes de investigação os alunos realizam atividades situadas em um terreno de compartilhamento entre eles e com o professor, o que confere às epistemologias práticas (Sandoval, 2005) dos alunos o status de ação do conhecimento (Kelly, 2016). Um estudo realizado por Silva (2011) observou o movimento epistêmico de um grupo de alunos engajado em investigar a eficácia do cravo-da-índia como repelente para formigas na disciplina “Projetos em Bioquímica” do curso

de biologia de uma universidade. Os estudantes definiram passo-a-passo ao longo do semestre o planejamento da investigação, os critérios de medição, realizaram a execução, a representação de dados e a comunicação por pôster ao final da disciplina. Os autores verificam que esse processo sob a mediação de três professores levou a realização de movimento bastante sofisticado, caracterizado pela transformação de ações em operações, chamado de operações epistêmicas (Silva, 2011). Essas aparecem quando ações ou habilidades anteriormente aprendidas passam a ser requeridas posteriormente como pré-requisito para a execução de novas ações (Scott & Mortimer, 2005).

Uma característica importante dos estudos sobre as práticas sociais do conhecimento nos contextos de aprendizagem é que eles trazem como novidade a consideração do sujeito epistêmico como a comunidade local. Essa mudança de foco vem da concepção de aprendizagem como movimento situado socialmente, sendo reflexo de formas de ser, saber, interagir e participar, que são coletivamente – e não individualmente – definidas dentro de uma comunidade (Kelly, 2008; Kelly & Licona, 2018). No caso da análise das operações epistêmicas citada acima, a análise de trechos do discurso falado de um grupo de estudantes evidencia como, por meio de relações dialógicas estabelecidas nesse grupo e com o professor, os conceitos sobre análise estatística são discutidos e combinados interacionalmente, até que se chegue a um consenso sobre o significado e sobre como se realizar o cálculo do desvio-padrão (Silva & Mortimer, 2013).

A ferramenta mais recente para estudo de práticas epistêmicas é a de Kelly e Licona (2018) e inclui às categorias de proposição, comunicação e avaliação do conhecimento anteriormente propostas (Jiménez-Aleixandre et al., 2008; Kelly & Takao, 2002) uma nova categoria onde foram inseridas práticas epistêmicas de legitimação do conhecimento. Eles elaboram objetivos educacionais em três dimensões: conceitual, epistêmico e social, e definem esses objetivos para três diferentes abordagens de ensino científico: investigação científica,

engenharia e abordagem sociocientífica. De acordo com esses autores, cada tipo de currículo promoverá ênfase em diferentes aspectos dos objetivos conceitual, epistêmico e social. Baseados nesses objetivos educacionais, eles definem a existência das quatro grandes áreas: proposição, comunicação, avaliação e legitimação do conhecimento, com diferentes exemplos para as três abordagens do ensino científico (Kelly & Licona, 2018).

Manzoni-de-Almeida et al. (2016) se baseiam na concepção de conhecimento construído em torno da atividade experimental para analisar como se dá a apropriação de práticas epistêmicas por estudantes de graduação e pós-graduação em Imunologia. Assim, a ferramenta que eles utilizam é baseada na descrita em Silva (2015), para analisar como práticas epistêmicas o desenvolvimento de hipóteses, a construção de dados, a menção aos dados, a descrição, o uso de asserções teóricas e o acesso à consistência dos dados (entre outras). Três comandas são estruturadas para favorecer o aparecimento de estruturas do argumento de Toulmin (2003), são elas: represente os dados; conclua as suas observações; justifique as suas conclusões. Eles observam que a comanda oferecida em cada sessão estimula o surgimento de práticas epistêmicas específicas e que isso ocorre com os estudantes de ambos os graus de instrução. Entretanto, é observado que muitas das asserções dos estudantes tendem a ser repetitivas ao longo das diferentes comandas, sugerindo a necessidade de trabalhar os elementos da estrutura argumentativa científica com maior explicitação (Manzoni-de-Almeida et al., 2016).

Outro assunto que a filosofia da ciência informa aos estudos epistemológicos em educação científica é a persuasão de pares (Kelly & Duschl, 2002). A escrita científica possui um estilo literário onde se empregam estratégias de retórica para uma audiência específica, buscando conferir às sentenças o status de fato científico. Quando falamos de uma “audiência específica”, estamos nos referindo ao fato de que cada comunidade disciplinar estrutura a produção de saberes a partir do estabelecimento de normas disciplinares específicas.

Compreender os pontos de vista de uma comunidade quando ela “olha” para um dado pode fornecer pistas sobre como ensinar sujeitos a aprender a reconhecer padrões e assim ler a mensagem que o dado passa. Para isso, é necessário definir “o que conta” (Kelly & Duschl, 2002) como válido naquela comunidade.

Sá, Kasseboehmer & Queiroz (2014) pontuam que as habilidades para argumentação são complexas e por isso não costumam aparecer espontaneamente. Isso sugere a necessidade de instrução sobre a escrita argumentativa, porém há ainda pouco estudo para fornecer informações sobre como essa instrução deve se proceder. O trabalho avalia a frequência dos elementos do Padrão Toulmin dentro dos argumentos dos estudantes que receberam ou não instrução prévia do Modelo de Toulmin por meio de metodologia ativa. As autoras observam que o grupo que recebeu instrução tende a formar argumentos com maior número de justificativas, apoio e refutadores, sendo, portanto, movimento mais complexo que aqueles formados pelo grupo que não passou por instrução. Esses dados estão em consonância com os achados de Manzoni-de-Almeida et al., (2016) e Manzoni-de-Almeida (2016), que advogam a favor de uma correta instrução sobre os elementos da escrita argumentativa.

Kelly e Takao (2002) relatam problemas relacionados ao surgimento de ambiguidades no modelo de Toulmin, o que é observado durante a análise de argumentos complexos. Frequentemente, podem ser detectadas situações em que o mesmo trecho esteja atuando como conclusão e posteriormente seja requerido como dado ou justificativa para uma nova asserção. Esses diferentes níveis de generalidade não são abordados no modelo de Toulmin e podem gerar inconsistência se não forem considerados cautelosamente. Kelly e Takao estão particularmente interessados em verificar como estudantes de graduação em Oceanologia constroem as linhas de raciocínio para identificar padrões geológicos por meio de um CD-ROM. Assim, desejam acessar quais construtos específicos do conhecimento disciplinar em oceanografia são requeridos durante a construção de argumentos por esses estudantes. Pensando nisso, eles

desenvolveram uma ferramenta de análise de argumentos a partir de modificações no modelo de Toulmin. Essas modificações são realizadas baseando-se nas proposições de Latour (1987) sobre a retórica da escrita científica, que é caracterizada pelo movimento discursivo que parte de contingências particulares do contexto experimental em direção às asserções teóricas de maior generalidade (Kelly & Chen, 1999).

Essa estratégia de análise é particularmente útil, porque identifica as habilidades de retórica necessárias para a escrita acadêmica em oceanografia. Por exemplo: os dados de placas tectônicas disponibilizados não falam por si só. Portanto os estudantes devem ser capazes de formular uma linha de evidência com a articulação de dados de múltiplos tipos e de suporte conceitual, o que é uma atividade bastante complexa. Assim, o modelo de análise proposto no trabalho de Kelly e Takao considera, adicionalmente ao layout de Toulmin, o status das afirmações por meio do estabelecimento de seis níveis epistêmicos. Esses níveis não são hierárquicos em termos de complexidade, mas são dispostos da base para o topo, partindo-se das afirmações mais específicas (onde se encontram referências aos dados), progressivamente em direção aos níveis de maior generalidade (trechos com referências às grandes afirmações teóricas). O modelo de níveis epistêmicos apoia a análise de múltiplas afirmações ao categorizar nos níveis epistêmicos em cada um dos diferentes trechos de um argumento complexo. Além disso, eles analisam a construção semântica desses argumentos por meio da observação de como os estudantes relacionam as asserções de diferentes níveis.

No referido trabalho eles analisaram 24 relatórios produzidos durante a investigação e concluem que os estudantes engajados em formas de escrita aderiram às práticas disciplinares específicas da oceanografia, o que é revelado pela presença de inscrições, pela consideração de diferentes evidências e pela formulação de cadeias de raciocínio para a conclusão da atividade (Kelly & Takao, 2002).

No presente trabalho, nós nos apropriaremos da ferramenta de Kelly e Takao para analisar argumentos de estudantes engajados em uma atividade de investigação em Imunologia. Nos interessa analisar como a articulação de dados e teoria é feita para resolver a pergunta-problema e justificar as decisões, mas antes disso, é necessário compreendermos alguns aspectos relevantes da cultura científica da Imunologia e o que já se sabe sobre a educação científica nesse campo.

1.4 O campo da Imunologia e seu ensino

A Imunologia é o campo da Biologia que estuda o sistema imunológico nos organismos vivos. Já o sistema imunológico constitui uma complexa rede de componentes, tais como moléculas, células, tecidos e órgãos, os quais atuam em diversas situações, como em infecções por agentes patogênicos, resposta ao câncer, inflamações estéreis, reações de tolerância, reações de hipersensibilidade, rejeição a enxertos e montagem de diversos outros padrões de regulação do ambiente fisiológico – como por exemplo as sinapses imunológicas e os mecanismos de coevolução – para a manutenção da homeostase (Callenbach, 2006).

A visão do sistema imune em termos de homeostase é bem aceita dentro da comunidade científica atual, estando presente explícita ou implicitamente em vários trabalhos experimentais (Barman et al., 2016; Belkaid & Harrison, 2017; Cadwell, 2016; Coombes & Powrie, 2008; Varol, Zigmond, & Jung, 2010). Entretanto, por muitos anos as ideias sobre reações imunitárias não eram concebidas dentro de um contexto de um sistema fisiológico complexo, articulado e interconectado tal qual, por exemplo, o sistema nervoso. O sistema imunológico era comumente representado como sinônimo de “aparelho”, em que um conjunto de células e órgãos dispostos estrategicamente executam função análoga: a defesa (Rumelhard, 1990). As ideias de que o sistema imune não se limita a uma função geral do organismo são concretizadas com o acúmulo

de conhecimento e a formulação de diversas teorias ao longo da história, na tentativa de fornecer uma elucidação sobre os mecanismos de funcionamento do sistema imunológico.

A palavra reconhecimento é bastante empregada desde os primórdios da Imunologia (Tauber, 1999) tendo origens nas ideias de próprio e não-próprio propostas por Macfarlane Burnet, que serviriam para a elaboração da teoria da seleção clonal em 1959. Essa teoria postula que o amadurecimento dos linfócitos no timo durante o período fetal é resultado de um processo de seleção e eliminação dos timócitos que eram capazes de se ligar com estruturas do próprio organismo. Já as células não-reativas são salvas da apoptose e já amadurecidas são liberadas para os órgãos linfoides secundários do organismo, para serem ativadas pelo reconhecimento de componentes estranhos (Pereira, Trivelato, & Manzoni-de-Almeida, 2017). Já em 1970 essa teoria se estabeleceu como um dogma da Imunologia, constituindo-se em matriz da disciplina, sendo mobilizada ainda hoje (Tauber, 1999) nas salas de aula e livros didáticos para explicar, juntamente com a teoria da seleção positiva (1993), o processo de maturação dos timócitos. “Como é possível o organismo tolerar a presença do feto que tem 50% de material genético estranho durante a gravidez?”; “Como é possível algo reconhecer alguma coisa que nunca fora antes conhecida?”: Esses paradoxos foram gerados a partir da teoria da seleção clonal e foram posteriormente superados pela teoria das redes idiotípicas de Jerne (Tauber, 2000): tal teoria postula que o repertório de anticorpos (paratopo) com diferentes sítios, seria, na verdade, uma “imagem interna” complementar a todos os epitopos antigênicos existentes na natureza (Tauber, 2000).

Ainda, com o prosseguimento da atividade experimental na área ao longo dos anos, diversas outras teorias surgiram para tentar estabelecer uma linguagem comum e menos subjetiva para o funcionamento do sistema imune. Como exemplos citamos o modelo do perigo (danger model) proposto por Polly Matzinger em 2002, para explicar como os “sinais de perigo”

disparam uma resposta imunológica e a teoria da rainha vermelha para explicar os processos de coevolução entre parasita e hospedeiro (Pereira et al., 2017).

Rumelhard (1990) conceitua o sistema imunológico a partir de sua característica poli funcional, descentralizada, deslocalizada, móvel e dinâmica. Assim, ele define as reações imunitárias como “as duas faces de um espelho”: ele mostra como frequentemente os componentes da imunidade podem estar envolvidos em fenômenos com finalidade oposta, mas a partir de um mesmo mecanismo. Por exemplo as reações de tolerância (interpretadas como negativas nos casos de cânceres) *versus* as reações de facilitação (tidas como positivas para os antígenos fetais). Outro paradigma colocado por esse autor se relaciona ao vocabulário da imunologia, em relação à estrutura das palavras e de significado. Os termos técnicos da área foram definidos para os componentes da imunidade a partir de uma função que eventualmente pode se modificar, gerando definições difíceis de se representar dentro do contexto. Por exemplo, o prefixo *anti* que implica “ser contra” algo na palavra antígeno e reforça a visão marcial que é bastante forte nas discussões sobre o tema (Rumelhard, 1990).

Essas discussões tão importantes à compreensão do funcionamento do sistema imunológico não são contempladas no ensino da disciplina, permanecendo à margem nos manuais didáticos escolares ou mesmo no ensino universitário. É observado que no ensino médio os conhecimentos de Imunologia são apresentados dentro dos tópicos de genética e fisiologia e estão restritos ao ensino conceitual sobre sistema ABO e anticorpos. Os livros didáticos também não concebem a Imunologia como um campo científico autônomo: de quatro grandes coleções didáticas utilizadas nas escolas da cidade de João Pessoa para ensino de biologia, um dos livros sequer apresenta conteúdo de Imunologia e nos outros três subsequentes o conhecimento da disciplina é apresentado de forma superficial, fragmentada e subordinada à genética e à fisiologia. Esse dado é relacionado às observações de que os estudantes entrevistados pelo mesmo estudo não assimilam o conteúdo de forma ampla – o que se reflete

na falha em definir para que serve o sistema imunológico – e sim de forma fragmentada, quando respondem que as vacinas são boas para evitar doenças (Silva, 2014).

Com relação aos manuais didáticos utilizados para ensino de Imunologia na graduação e pós graduação dos cursos de biomédicas, Siqueira-Batista et al. (2009) apresentam uma análise que descreve a predominância de uma visão marcial nas descrições sobre a interação do sistema imunológico com os microrganismos, o que pode ser observado em trechos como: “a imunidade inata proporciona as *linhas iniciais de defesa* contra os microrganismos” (Abbas et al., 2003 apud Siqueira-Batista, 2009), ou em: “se olharmos para o nosso corpo, também apresentamos duas *muralhas de proteção* (...)” (Balestieri, 2006 apud Siqueira-Batista, 2009). Segundo esses autores a predominância desse paradigma é um entrave à compreensão da complexidade dos sistemas vivos no cerne dos contextos de interação ecológica, o que constitui inclusive questão a ser tratada na formação e na prática de profissionais da saúde (Siqueira-Batista et al., 2009). O paradigma bélico foi identificado no discurso de 71 estudantes de um curso técnico em enfermagem, o que foi relacionado à apropriação de concepções que conduzem à tomada de decisões dentro do “modelo sanitário”, com ênfase na ação curativa. Essa visão é dominante na área médica ainda nos dias de hoje (Andrade, Araújo-Jorge, & Coutinho-Silva, 2016).

Outro ponto relacionado ao ensino científico de Imunologia na graduação é que o espaço das universidades constitui “fronteira” (Manzoni-de-Almeida et al., 2016) entre a produção do conhecimento nos laboratórios de pesquisa e a apresentação desse conhecimento nos ambientes de aprendizagem. A produção científica brasileira cresceu nos últimos 10 anos, ocupando atualmente o 13º lugar mundial (Furtado et al., 2015), tendência que é acompanhada pela produção científica da Imunologia, que segundo Barral e Barral-Neto (2007), tem cerca de 12% dos pesquisadores brasileiros mais citados nas bases de dados científicas e ocupa o 11º lugar mundial nas pesquisas em Imunologia. Tendo em mente o volume de conhecimento gerado

mundialmente nessas bases de dados, fica muito difícil conceber uma educação por meio de livros didáticos que elimine a subjetividade e abrace toda a informação conceitual. A todo momento novos paradigmas são estabelecidos: citamos as considerações atuais sobre o papel imunorregulador da microbiota intestinal em todo o organismo (Belkaid & Harrison, 2017); as descobertas sobre a conexão entre encéfalo e sistema imunológico pelo sistema linfático meningeal, derrubando o dogma de que o encéfalo seria uma região imunoprivilegiada do corpo (Louveau et al., 2016); a tecnologia *Cre-lox* de recombinação gênica, gerando uma ferramenta que abre múltiplas possibilidades para a pesquisa de alta performance em Imunologia (Yarmolinsky & Hoess, 2015).

Ainda, há que se considerar a característica da abstração como um componente das técnicas da Imunologia. A Imunologia se sagrou como ciência experimental que tem seu foco de interesse em fenômenos microscópicos e moleculares, praticamente invisíveis e dinâmicos ao longo do tempo e do espaço dentro de um organismo. Esses fenômenos vêm sendo caracterizados por meio de técnicas experimentais que fornecem razões numéricas, medidas de intensidade luminosa e outras relações indiretas que demandam ao analista a realização de movimento de retorno às práticas sociais que motivaram a investigação, para compreensão da mensagem transmitida pelas relações matemáticas (Roth, 2013). Além disso, considera-se o aspecto interativo entre os membros da comunidade no microambiente de pesquisa e também nos seminários e congressos. Mas o ensino disciplinar na universidade nem sempre dialoga com esses aspectos da prática e o conhecimento é apresentado pronto, em um ambiente de pouca interação e, portanto, de pouca oportunidade para discussão de assuntos científicos (Lampert, 2008).

Natale et al. (2019, no prelo) analisaram 36 resumos submetidos ao Congresso da Sociedade Brasileira de Imunologia (SBI), na categoria *teaching/education in Immunology* entre os anos de 2010 e 2017. Eles observam que o número de resumos nessa categoria era

inferior ao número de resumos publicados nas demais categorias. Para os resumos analisados, detectou-se o predomínio de trabalhos inseridos nos focos temáticos de aprendizado de conceitos científicos e formação de conceitos, em relação aos demais focos, como por exemplo, formação de professores e história da ciência. Além disso, esses trabalhos constituíram suas análises majoritariamente em questionários e entrevistas. Essas observações refletem as características da atividade profissional em Imunologia, inserida dentro da pesquisa educacional. Porém é preocupante que outros focos temáticos não sejam muito bem explorados, dado que a preparação de novos cientistas está fortemente relacionada a uma sólida educação científica.

Pensando em uma educação para a formação científica dos indivíduos, nós acreditamos que é mais coerente promover uma educação em Imunologia que se aproxime dos aspectos sociais da produção de conhecimento da área. Nesse sentido, Manzoni-de-Almeida et al. propõem estratégias que exploram características da atividade experimental (2015, 2016), ou que discutem a imunologia sob a ótica da filosofia (Pereira et. al., 2017), dentro do ensino formal de Imunologia por meio de abordagem sociocultural. Esses trabalhos têm suas análises baseadas nas ferramentas desenvolvidas nos estudos epistemológicos da educação científica, o que representa um olhar para o ensino de Imunologia sob uma nova perspectiva.

Assim, um questionário foi aplicado na disciplina de Imunologia Básica para duas turmas de estudantes da graduação de Farmácia e Bioquímica da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), *campus* Diadema (2º semestre de 2013). Os estudantes elegeram como conteúdos de maior dificuldade de compreensão o desenvolvimento e maturação de linfócitos B e o sistema complemento. Baseado nisso, uma atividade de investigação sobre expressão gênica e expressão de receptores de linfócitos B foi desenvolvida (Manzoni-de-Almeida & Trivelato, 2015), para que os estudantes investigassem em que estágio de diferenciação estavam as células hipotéticas em diferentes amostras. Diferentes dados numéricos originados

previamente via RT-PCR, *Northern Blot* e citometria de fluxo⁴ foram distribuídos para que os estudantes realizassem análise de dados e se baseassem nessas análises para concluir um problema hipotético e justificar a escolha. A análise de práticas epistêmicas mostra o aparecimento de categorias que se aproximam da atividade científica, como descrição, conclusão, conceitualização, acesso à consistência de dados, uso de dados para explanação teórica (Manzoni-de-Almeida et al., 2016). Após a inserção de uma nova etapa, a sequência foi aplicada em um outro momento em que os alunos receberam treinamento na produção de argumentos. O treinamento previa a escrita de textos científicos em diferentes momentos previamente à investigação sobre linfócitos B. A análise da produção de argumentos segundo o padrão Toulmin (2003), mostra que a instrução sobre argumentação, aliada à investigação, favorece a produção de argumentos mais completos e o surgimento de operações epistêmicas relacionadas à análise de dados empíricos (Manzoni-de-Almeida, 2016).

Nós observamos que a atividade de Manzoni-de-Almeida e colegas (2016) oferece informações importantes sobre o movimento epistêmico de estudantes em uma atividade investigativa de Imunologia no ensino superior. Porém, essa proposta não contempla alguns aspectos da atividade experimental estabelecida pelos cientistas em experimento, como por exemplo, a montagem de esquemas experimentais, a formulação de hipóteses, a análise de protocolos, a construção de grupos-controle, o manejo de equipamentos, a negociação para a

⁴ Dados de RT-PCR (Transcrição Reversa da Reação em Cadeia da Polimerase) foram utilizados para verificar a expressão da enzima RAG. Utiliza-se essa técnica para detectar a expressão de uma sequência particular de RNA, sugerindo que o gene complementar a essa sequência está ativo naquela situação particular. Ela se baseia na transcrição reversa do RNA em sua sequência complementar de DNA, que será finalmente amplificada por PCR (Reação em Cadeia da Polimerase) e detectada em bandas via eletroforese.

Dados de Northern Blot foram utilizados para avaliar a expressão gênica na recombinação somática V(D)J. Trata-se de um método baseado na hibridização de uma amostra contendo diversas sequências de RNAs desconhecidas (separadas por tamanho via eletroforese) com uma sonda de DNA, RNA ou oligonucleotídeos, cuja sequência é conhecida. A sonda pode ser marcada com isótopos radioativos ou com compostos quimioluminescentes, os quais permitirão a detecção das ocorrências de hibridização, para a verificação de expressão gênica naquela situação particular.

Dados gerados via Citometria de fluxo foram fornecidos para a verificação da presença de Imunoglobulinas de membrana. Baseia-se utilização de anticorpos marcados previamente com fluorescência, que permitirá, após incubação com a amostra a ser testada, revelar a expressão de proteínas de membrana (ou intracelulares) específicas que se ligaram aos anticorpos.

tomada de decisões durante o experimento. Baseado nisso, o presente trabalho apresenta a concepção de uma atividade investigativa que proporcione aos estudantes de graduação em biomédicas na prática experimental da Imunologia. O experimento, pois, é mobilizado como recurso principal para a investigação de um problema sobre sistema complemento. Nós hipotetizamos que essa estratégia promova uma maior aproximação com a prática científica e, portanto, estimule o desenvolvimento de um maior número de habilidades e aquisições epistêmicas relacionadas à execução da atividade experimental e necessárias para um bom treinamento profissional.

O sistema complemento foi eleito, porque constitui um tema típico da Imunologia. É formado por um conjunto de mais de 30 fragmentos proteicos com função imunoenzimática, os quais são liberados constitutivamente em solução no soro dos mamíferos e participam de processos imunoinflamatórios, por meio de reações em cascata. A ativação da cascata do complemento pode ocorrer dependente de anticorpo (via clássica), espontaneamente (via alternativa), ou a partir da ligação a resíduos de lectina-manose (via da lectina). Ela promove a geração de diversos fragmentos proteicos que adquirem função catalítica em sequência, culminando na promoção de citólise por meio do Complexo de Ataque a Membrana (MAC), bem como na promoção de fagocitose, de opsonização e de ativação celular.

Historicamente, toda a construção do conhecimento acerca do sistema complemento é proveniente de técnicas experimentais de observação indireta. A via clássica foi descoberta ainda no Século XIX por Jules Bordet, quando ele observou que era necessária a presença de um componente termolábil para que o soro de animais imunizados fosse capaz de lisar vibriões coléricos (Kabat & Mayer, 1961). Já a via alternativa foi descrita somente em meados do Século XX por Pillemer (Pillemer, Seifter, & Ecker, 1942), a partir da observação de que componentes como o zymozan (um polissacarídeo derivado da parede celular de fungos) eram capazes de consumir, ou “fixar” elementos do complemento na presença de Mg^{2+} , mesmo quando

anticorpos não estavam presentes. Essa propriedade dos fatores do complemento se ligarem à superfície de certas moléculas é tão proeminente, que embasou a criação um método clássico da Imunologia, que é a análise da atividade hemolítica (ou fixação) pelo complemento (Kabat & Mayer, 1961; Servais, Walmagh, & Duchateau, 1991)

Ainda hoje, cientistas empregam o teste de fixação por complemento que consiste em incubar esses antígenos com o soro de cobaias, o que é posteriormente adicionado a uma solução de eritrócitos íntegros. Se houver formação de complexos antígeno-complemento (via alternativa) ou de antígeno opsonizado com o complemento (via clássica) os eritrócitos conservam-se íntegros após o final do experimento, mas se o antígeno não se ligar ao complemento, seus fragmentos permanecerão livres para a formação do complexo de ataque à membrana (MAC) e lise da membrana plasmática dos eritrócitos (Angioi et al., 2016; Dong & Liu, 2016; Kabat & Mayer, 1961; Pillemer et al., 1942; Stavitsky, Stavitsky, & Ecker, 1949). De posse das observações macroscópicas em relação a turbidez solução resultante, da comparação com os grupos-controle, bem como dos valores gerados pela leitura em espectrofotômetro, o imunologista deve executar análises para compreender o que os dados numéricos sugerem e assim desenvolver explicações científicas para tornar o fenômeno compreensível para a audiência de cientistas.

Trata-se, portanto, de um conteúdo que contempla elementos bastante presentes na imunologia: experimentação e abstração. Entretanto, no ensino de Imunologia o papel imunomediador da cascata enzimática do complemento é praticamente relegado a um status de menor importância. Principalmente quando comparado à ênfase dada ao tema de anticorpos, sendo que são os fatores do complemento os responsáveis pelas funções efetoras, não os anticorpos (Rumelhard, 1990).

Não à toa, o sistema complemento foi eleito pelos estudantes como um tema de grande rejeição durante o curso de Imunologia Básica (Manzoni-de-Almeida & Trivelato, 2015). A

nossa intenção a partir da escolha do complemento como tema da nossa proposta de investigação é que as análises do material escrito produzido pelos estudantes permitam identificar a presença de padrões nesses argumentos, que possam informar sobre os caminhos da epistemologia do aprendizado para essa área. Desejamos observar o que esses padrões nos revelam sobre o que é considerado como dado, evidência e raciocínio válidos para o grupo de estudantes. Essas observações trazem à tona informações epistêmicas sobre aquilo que poderá ser diretamente acessado, especificamente em atividades de Imunologia, para estimular a aquisição de uma visão profissional pelos estudantes.

1.5 As questões de pesquisa

Lampert (2008) descreve o cenário preocupante das universidades brasileiras. A partir da reforma universitária de 1968 o Brasil observou um incremento da atividade científica, que acontece predominantemente nas universidades públicas (Furtado et al., 2015). A mesma reforma também conduziu ao aumento na quantidade de universidades privadas isoladas, que carecem de condições para o empreendimento de pesquisa e de projetos de ensino com pesquisa. Com relação ao ensino, em ambos os casos ainda se observa uma preocupação exacerbada com o formalismo, que é revelado pelos currículos que constituem listagens de disciplinas contendo conteúdos descontextualizados, que não propiciam a investigação (Lampert, 2008).

Com relação à Imunologia, é uma grande área da biologia, com pesquisa em temas nas áreas de medicina e saúde, de forte apelo e interesse social, como por exemplo os transplantes, as tecnologias de vacina, a infecção por HIV. Formar profissionais das ciências biomédicas que sejam competentes nos saberes da Imunologia é uma tarefa necessária. Entretanto, muito pouca oportunidade é gerada para os estudantes de Imunologia experienciarem situações que os aproximem dessa ciência como ela realmente é feita. A Imunologia é uma ciência

essencialmente experimental e os experimentos típicos da área frequentemente se apropriam de tecnologias da biologia molecular, as quais demandam alto aparato e custo financeiro para implementação. Além disso, de grande importância para a construção do conhecimento da Imunologia são os experimentos *in vivo* e esse fator tem relação com o fato do sistema imunológico ser totalmente dinâmico dentro da dimensão espaço-tempo em um organismo (Rumelhard, 1990). Executar experimentos com essas características nos ambientes de ensino e aprendizagem seria tarefa quase impossível, inclusive se considerarmos limitações de tempo dos currículos, questões éticas e a realidade dos investimentos financeiros no ensino público brasileiro.

Entretanto, os trabalhos de Manzoni-de-Almeida (2016) e Manzoni-de-Almeida et al. (2016) fornecem algumas evidências de que é possível produzir estratégias de ensino e aprendizagem que recorram a elementos típicos da Imunologia para promover a investigação de um problema na área, dentro do ensino superior. De maneira geral, essas estratégias recorrem à mobilização de dados previamente obtidos, os quais serão adaptados e inseridos em uma sequência de investigação que tenha, como pré-requisito, a análise desses dados para se obter a resposta à problemática proposta. O uso desse recurso como estratégia é bastante interessante, tanto do ponto de vista financeiro e de tempo. Além disso, as análises dos discursos escritos pelos estudantes engajados na investigação por meio dessa estratégia sugerem que há a apropriação de práticas sociais do conhecimento, que são bastante semelhantes às práticas nas pesquisas autênticas (Manzoni-de-Almeida, 2016; Manzoni-de-Almeida et al., 2016; Pereira et al., 2017).

Para a realização do presente trabalho, estávamos motivados a compreender melhor como a temática do experimento, inserido como recurso metodológico do ensino por investigação, pode contribuir na aprendizagem de Imunologia. Considerando os referenciais teóricos com os quais nos alinhamos, nós desejamos avaliar as questões de linguagem que

podem aparecer na escrita dos estudantes dos cursos de graduação engajados na análise de dados experimentais, obtidos da execução de uma técnica típica da imunologia. O quão próxima do científico são as formulações escritas, produzidas por eles?

Nós inicialmente planejamos uma sequência investigativa que mobiliza a obtenção de dados, a partir da manipulação de instrumentos e de materiais pelos grupos de estudantes engajados na resolução do problema. Pensando na geração de oportunidades também para as turmas que dispõem de maiores limitações no tempo dos currículos, nós realizamos, como adaptação da sequência, a supressão da fase de coleta de dados. Essa versão contempla a investigação pela análise de dados experimentais brutos previamente obtidos pelas turmas anteriores, a qual será realizada na modalidade semipresencial.

A escolha da técnica experimental durante a elaboração da sequência didático-investigativa e a conseguinte aplicação para as turmas dos cursos de biomédicas foi um processo permeado por desafios. Como poderíamos vencer as barreiras do tempo nos currículos e do custo financeiro das práticas experimentais típicas da Imunologia? Como empreenderíamos uma atividade investigativa experimental que atenda objetivos educacionais e também possa ser utilizada em um contexto de interdisciplinaridade? Ao longo das próximas sessões realizaremos a apresentação da atividade didático-investigativa experimental, abordaremos essas inquietações e os resultados obtidos das respostas às nossas perguntas de pesquisa, que se seguem:

- 1) Qual é a importância da investigação dentro do ensino de Imunologia?
- 2) Quais são as práticas epistêmicas mobilizadas pelos estudantes durante uma atividade didática- investigativa em imunologia?
- 3) Como é a produção de argumentos no ensino por investigação de Imunologia?

4) Que aspectos relevantes as análises dessas informações fornecem sobre a promoção do ensino de Imunologia?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo principal

Essa pesquisa tem como objetivo elaborar uma atividade investigativa experimental com um tema de Imunologia e caracterizar as questões de linguagem escrita e das práticas epistêmicas derivadas das interações entre os sujeitos durante a sua execução em cursos de graduação em ciências biológicas e da saúde.

2.2. Objetivos específicos

- Consultar capítulos de manuais didáticos e artigos científicos clássicos sobre o sistema complemento e construir uma atividade investigativa com o tema para ser aplicada para alunos e alunas da graduação em ciências biológicas e da saúde;
- Adaptar a atividade investigativa para ser aplicada em outras disciplinas do curso de graduação em ciências biológicas e da saúde;
- Verificar a presença das Práticas Epistêmicas nos escritos dos estudantes no “Caderno de Laboratório” da atividade investigativa, segundo adaptação à ferramenta utilizada em Manzoni-de-Almeida et al., 2016.
- Analisar e caracterizar a estrutura dos argumentos formulados nos escritos dos estudantes no “Caderno de Laboratório” da atividade investigativa, segundo ferramenta descrita em Kelly e Takao, 2002.
- Identificar a presença de padrões que possam fornecer informações epistêmicas para orientar quanto a possíveis rumos sobre o ensino de Imunologia no ensino superior.

Nossa hipótese é que os estudantes se apropriam de práticas científicas relacionadas à prática experimental para construir argumentos científicos durante a resolução do problema de investigação.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho é uma pesquisa exploratória que deseja contribuir na compreensão de como o ensino por investigação impacta na geração de conhecimento, no espaço de fronteira da sala de aula do ensino superior em Imunologia.

Para tentar responder às nossas dúvidas de pesquisa nós procedemos à construção de uma sequência didática investigativa com um experimento sobre o sistema complemento. Nossa intenção é avaliar como os estudantes mobilizam os dados de uma técnica experimental da Imunologia e relacionam esses dados à teoria do complemento para produzir argumentos escritos durante a resolução de um problema experimental relacionado ao tema.

Nós iniciaremos essa sessão pela descrição da construção da sequência didática investigativa e, então, descreveremos os aspectos metodológicos da nossa análise de dados. Desde meados de 2015, já na fase de aplicação da sequência tal qual ela foi inicialmente concebida e ao longo das discussões, leituras e análises, novas questões foram estabelecidas e nortearam o rumo da pesquisa até o final de 2018. Assim, a atividade didática investigativa foi gradualmente reformulada e ganhou novos contornos para ser reaplicada em outras situações em que podíamos experimentar a inclusão ou exclusão de etapas, de maneira a clarear essas questões e manter um ambiente gerador de oportunidade aos estudantes.

Por considerar a existência de variáveis nos nossos contextos de obtenção de dados, nós compreendemos que o método de pesquisa que melhor se adequa a essa circunstância deve estar inserido dentro da abordagem de pesquisa qualitativa (Fazenda, 1995). Pensar uma metodologia da pesquisa qualitativa adequada, à medida em que esse trabalho foi ganhando corpo nos gerou questões: estaria a nossa pesquisa inserida no escopo das metodologias de antropologia/etnografia? Para ilustrar a perspectiva dos sujeitos a etnografia se apodera de estratégias de coleta bastante diversificadas, com observações bastante minuciosas,

diversificação da fonte de dados e apresentação de dados primários (Ludke & André, 2013). Nosso interesse, entretanto, se concentra predominantemente em um tipo de fonte de dados que são os argumentos escritos dos estudantes. E em como esse material tem o potencial de fornecer informações sobre o processo de ensino e aprendizagem de sujeitos que se engajam em uma atividade com características da prática científica disciplinar da Imunologia. Assim, o nosso foco recai não sobre um único grupo, ou sobre uma única turma, ou sobre uma unidade social (Godoy, 1995), mas sobre o que os padrões na escrita dos estudantes, engajados em três esquemas de investigação diferentes, têm a nos dizer. Nesse sentido, nos cabe esclarecer que mesmo adotando a concepção de sujeito epistêmico coletivo (Kelly & Licona, 2018), a definição de estudo de caso (Ludke & André, 2013) ainda assim não parece nos contemplar completamente, dado que as nossas análises compreendem a apresentação de uma sequência didática investigativa que ganhou características particulares em três diferentes modelos. Sendo assim, nós optamos por descrever a nossa pesquisa como “o estudo do caso de uma sequência didática investigativa aplicada em três situações”.

As análises que apresentaremos foram obtidas da coleta de dados nos escritos dos estudantes nos “Cadernos de Laboratório” (Manzoni-de-Almeida et al., 2016), em diferentes contextos. Esses escritos correspondem ao total de 51 “Cadernos de Laboratório” produzidos por grupos de alunas e alunos em nove turmas dos cursos de biomédicas, que cursavam disciplinas do departamento de Bioquímica e Imunologia da Universidade Federal de Minas Gerais. Esses estudantes executaram uma atividade didática-investigativa com o tema central em Imunologia, entre os anos de 2015 a 2018. Além desse material, anotações e descrições gerais sobre as turmas também foram utilizadas. Todos os “Cadernos de Laboratório” foram digitados e codificados para facilitar o distanciamento na análise dos dados. Iniciaremos esse tópico pelas descrições gerais das turmas e dos professores responsáveis pelas disciplinas, passando pela construção da atividade didática-investigativa em sistema complemento, até a

metodologia de análise dos escritos, que compreendeu o desenvolvimento e o uso de ferramenta de análise de práticas epistêmicas (Jiménez-Aleixandre et al., 2008; Kelly & Takao, 2002) e de argumentos, na parte final dessa sessão.

3.1 As turmas, os professores dos cursos de graduação em biomédicas e a professora-pesquisadora da atividade investigativa

3.1.1 Bioquímica celular

A disciplina de bioquímica celular é ofertada pelo departamento de Bioquímica e Imunologia do Instituto de Ciências Biológicas (ICB), na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). É ministrada nos turnos diurno (R) e noturno (N) para turmas de cerca de 40 alunos do segundo período de Ciências Biológicas. Tem duração de 60 horas de aulas teóricas para exposição dos seguintes temas dispostos em ementa: bioquímica celular; relação de estrutura e função de biomoléculas; mecanismos de catálise biológica; biossíntese e degradação de biomoléculas.

A atividade foi aplicada para as turmas de bioquímica celular N no segundo semestre dos anos de 2015 e de 2018 e R no primeiro semestre de 2018. Os estudantes de ambos os turnos já haviam cursado⁵ no período anterior as disciplinas de Evolução I, Biologia Celular, Parasitologia Geral, Química para Ciências Biológicas. Durante a aplicação da atividade, estavam cursando também Genética I, Biofísica, Histologia dos Sistemas Orgânicos.

Em geral, dois professores dividem a carga horária da disciplina em cada turno. Vamos aqui descrever os professores responsáveis (aqueles que ministram a maior carga horária) nos dois turnos: a professora de Bioquímica Celular N possui graduação em Ciências Biológicas e atualmente é professora titular da UFMG. Tem experiência na área de Imunologia, com ênfase em resposta imune contra parasitas intracelulares, Gnotobiologia e Imunologia das infecções

⁵ Aqui e nas demais turmas nós citamos apenas as disciplinas relacionadas ao ciclo básico da área de biomédicas

endodônticas. Possui mais de 120 artigos publicados em periódicos da área e diversos textos direcionados a Educação e Popularização da Ciência e Tecnologia. Além disso é uma das coordenadoras de um programa de extensão que visa promover o intercâmbio entre pesquisadores do ICB e o ensino básico de Belo Horizonte, por meio da geração de oportunidades para que os estudantes experienciem o universo da investigação científica, a partir do engajamento em projetos a serem executados durante uma semana em laboratórios de pesquisa do ICB. O professor de Bioquímica Celular R também é graduado em Ciências Biológicas e atualmente é professor associado III da UFMG. Tem experiência na área de Genética, com ênfase em Genética, atuando principalmente nos seguintes temas: *Trypanosoma cruzi*, replicação, reparo e recombinação de DNA, estresse oxidativo. Tem mais de 80 artigos publicado em periódicos de relevância e capítulos de livro e é o atual coordenador do colegiado de graduação em Ciências Biológicas. Esse professor também ministra a disciplina “Projetos em Bioquímica”, que é cursada subsequentemente à Bioquímica Celular R. Em Bioquímica Celular os estudantes recebem instrução para escrever um projeto de pesquisa que inclua uma dúvida autêntica no tema de Bioquímica, para ser investigada no semestre seguinte, culminando na apresentação dos dados em forma de pôster (Silva & Mortimer, 2013; Vieira et al., 2001).

3.1.2 Bioquímica aplicada à enfermagem

A disciplina de Bioquímica Aplicada à Enfermagem oferecida pelo departamento de Bioquímica e Imunologia do ICB, UFMG. É ministrada no turno diurno de cerca de 60 alunos do primeiro período de Enfermagem. Tem duração de 60 horas, sendo 30 horas de aulas teóricas e 30 horas de prática, para exposição dos seguintes temas dispostos em ementa: Processos bioquímicos – aspectos estruturais dos metabólicos celulares e dos substratos intermediários para produção de macromoléculas; obtenção celular de energia metabólica; das vias metabólicas e sua regulação.

A sequência didática-investigativa sobre complemento foi aplicada no primeiro semestre de 2018 e os estudantes cursavam também: Fundamentos de Genética e Evolução, Metodologia Científica e Biofísica.

Dois professores dividem a disciplina, o primeiro tem graduação em Farmácia-Bioquímica e atualmente é professor adjunto A da UFMG. Possui experiência na área de Bioquímica e Biologia Celular/Molecular, com ênfase em metabolismo, bioenergética e processos co-traducionais em *Saccharomyces cerevisiae*, atuando principalmente nos seguintes temas: envelhecimento, restrição calórica, espécies reativas de oxigênio, metabolismo energético e controle de qualidade da síntese de proteínas. Possui 17 trabalhos publicados em periódicos de relevância. A outra professora é agrônoma e professora da adjunta A da UFMG. Tem experiência nas áreas de Biofísica, Bioquímica e Biologia Molecular, com ênfase em Química de Macromoléculas, atuando principalmente nos seguintes temas: espectrometria de massa, sequenciamento de peptídeos, análise conformacional de peptídeos, estrutura e dinâmica de proteínas e RMN. Tem mais de 19 artigos publicados em periódicos de relevância.

A escolha das turmas de bioquímica para a aplicação da sequência investigativa experimental foi realizada com os seguintes objetivos: 1) estudar o papel de um experimento de Imunologia no ensino por investigação; 2) desenvolver e estudar uma atividade de caráter interdisciplinar, que pudesse ser adaptada para a adequação à grade curricular de bioquímica área de ciências biomédicas. Assim, o sistema complemento foi inserido na grade dessas disciplinas como um modelo para estudo de cascatas enzimáticas e suas principais consequências (atividade catalítica, amplificação de reação, inflamação e lise celular). Entendemos que a inserção do tema do sistema do complemento nesse contexto contribuiria para a construção de uma ponte entre esse conteúdo e a Bioquímica.

3.1.3 Imunologia (para o curso de graduação em Enfermagem)

A disciplina de Imunologia é aplicada para estudantes que cursam o ciclo básico do curso de enfermagem e pertence ao departamento de Bioquímica e Imunologia do ICB, na UFMG. É ministrada no turno diurno de cerca de 40 alunos do segundo período de Enfermagem. Tem duração de 45 horas de aulas teóricas, para exposição dos seguintes temas dispostos em ementa: estudo das moléculas e dos mecanismos de ativação e efetores na imunidade inata e adaptativa, humoral e celular.

A sequência didática-investigativa sobre complemento foi aplicada no segundo semestre de 2015 e primeiro semestre de 2016. Os estudantes já haviam cursado: fundamentos de genética e evolução, metodologia científica, biofísica; estavam cursando: estatística, microbiologia aplicada à enfermagem, citologia e histologia aplicadas à enfermagem, anatomia aplicada à enfermagem, embriologia geral.

A professora que ministrou as aulas de imunologia possui graduação em Farmácia e Bioquímica e atualmente é professora associada da UFMG. Tem experiência na área de Imunologia e Bioquímica, com ênfase em Imunologia de Doenças Parasitárias. Possui mais de 33 artigos completos em periódicos da área e ministra em paralelo uma disciplina chamada “Prática Didática em Imunologia”, que tem o objetivo de introduzir os alunos e alunas da pós-graduação à prática didática dentro das disciplinas do departamento.

3.1.4 Imunologia básica (aplicada ao curso de Farmácia)

A disciplina de Imunologia Básica é aplicada para estudantes que cursam o ciclo básico do curso de farmácia e pertence ao departamento de Bioquímica e Imunologia do ICB, na UFMG. É ministrada no turno diurno de cerca de 60 alunos do segundo período de Farmácia. Tem duração de 45 horas de aulas teóricas, para exposição dos seguintes temas dispostos em ementa: fundamentos de imunobiologia e imunoquímica; indução das respostas celular e humoral estimuladas pelo antígeno e suas consequências.

A sequência didática-investigativa sobre complemento foi aplicada no primeiro semestre de 2018. Os estudantes já haviam cursado: Bioquímica Celular, Biofísica, Matemática, Anatomia Humana Básica, Farmácia e Sociedade, Citologia e Histologia, Química Geral, Química Geral e Experimental; estavam cursando: Genética, Fisiologia, Química Inorgânica, Química Inorgânica Experimental.

O professor que ministrou as aulas de Imunologia possui graduação em Ciências Biológicas e atualmente é professor adjunto da UFMG. Tem experiência na área de Farmacologia e Imunologia Celular, com foco em mecanismos envolvidos na inflamação, lesão e dor de articulações, envolvendo pesquisas básicas e clínicas. Tem cerca de 60 artigos em periódicos de relevância e capítulos de livros.

3.1.5 Imunologia (aplicada ao curso das graduação em Ciências Biológicas)

A disciplina de Imunologia é oferecida pelo departamento de Bioquímica e Imunologia do ICB, na UFMG. É ministrada para turmas de cerca de 40 alunos que cursam o quarto período do turno diurno (R) e quinto período do turno noturno (N) de Ciências Biológicas. Tem duração de 30 horas de aulas teóricas para exposição dos seguintes temas dispostos em ementa: fundamentos de imunobiologia e imunoquímica; indução das respostas celular e humoral estimuladas pelo antígeno e suas consequências.

A atividade foi aplicada para as turmas de imunologia R e N no primeiro semestre de 2018. Os estudantes de ambos os turnos já haviam cursado no período anterior as disciplinas de Evolução I, Biologia Celular, Parasitologia Geral, Química para Ciências Biológicas, Genética I, Bioquímica Celular, Biofísica, Histologia dos Sistemas Orgânicos, Biologia de Microrganismos, Anatomia Humana Básica. Durante a aplicação da atividade, estavam cursando também biologia molecular, introdução à bioestatística, embriologia geral.

O professor que ministrou as aulas de Imunologia para as turmas de ciências biológicas é o mesmo professor responsável pela turma de farmácia.

3.1.6 A professora-pesquisadora da atividade investigativa

Sou licenciada em Ciências Biológicas, mestre em Bioquímica e Imunologia e doutoranda em Imunologia. Sou professora de Ciências e Biologia do ensino básico do estado de Minas Gerais, atualmente em licença para fazer doutorado. Durante a graduação, desenvolvi e testei uma sequência didática em Biotecnologia como trabalho de conclusão de curso, ao mesmo tempo em que fiz uma iniciação científica (e posteriormente, um mestrado) na área de Imunologia Experimental, testando um modelo murino para estudo de leishmaniose. Tenho experiência com aulas de Ciências para o ensino fundamental e de Biologia para o ensino médio e foi onde desenvolvi grande interesse pelas questões que norteiam o ensino das ciências naturais. Por isso, a motivação para este doutorado foi executar um projeto que aliasse esse interesse às práticas científicas, analisando o engajamento dos estudantes do ensino superior em uma sequência prática investigativa com a temáticas interdisciplinar entre Bioquímica e Imunologia.

Durante a execução da sequência didática-investigativa eu planejei e ministrei as aulas teóricas de sistema do complemento (exceto para as turmas de Imunologia para Enfermagem, cujas aulas teóricas ficaram sob responsabilidade da professora responsável pela disciplina), bem como a atividade experimental e aula final de análise dos dados.

3.2 A concepção da sequência didática investigativa em Imunologia

3.2.1 A construção

A Imunologia é uma área particular da Biologia em que o conhecimento vem sendo construído em quase sua totalidade por meio de experimentos, em especial experimentos matematizados. Assim, a dinâmica da investigação na ciência Imunologia tem terreno de base nos testes de hipóteses via experimentos de observação indireta, como por exemplo os testes imunoenzimáticos. As pesquisas científicas na área gradualmente tornam esse conhecimento

mais robusto e complexo, fazendo com que as informações contidas nos livros textos fiquem desatualizadas. Paralelamente, o ensino de Imunologia no Brasil ainda é fundamentalmente amparado nas informações contidas nos livros (Silva, 2014; Siqueira-Batista et al., 2009), com pouca oportunidade para engajamento em aspectos da prática científica disciplinares da Imunologia, como por exemplo a produção de argumentos científicos.

Esse modelo de ensino gera um ambiente pouco atrativo para o estudante e cria entraves para a compreensão das dimensões conceitual, social e epistêmica da Imunologia. Um levantamento realizado na disciplina de imunologia básica para duas turmas de estudantes da graduação de farmácia e bioquímica da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), *campus* Diadema (2º semestre de 2013) mostrou que 95% dos alunos gostariam de mais aulas práticas durante a disciplina. Esse levantamento mostrou, ainda, que de todos os conteúdos oferecidos na carga horária da disciplina o tema do sistema do complemento é o segundo tema de maior rejeição, devido ao difícil aprendizado e pouco entendimento durante as aulas. Outro fato interessante é que 65% dos alunos sugeriram que uma aula prática com o tema de sistema complemento poderia ajudar no melhor aproveitamento e entendimento do conteúdo (dados não mostrados) (dados coletados para avaliação da disciplina de Imunologia Básica do curso de Farmácia e Bioquímica da Universidade Federal de São Paulo ministrada pelos professores Daniel Manzoni de Almeida, Karina Bortoluci e Patrícia Xander).

O levantamento desses dados à época foi importante para o desenvolvimento da atividade investigativa estudada por Manzoni-de-Almeida & Trivelato (2015), Manzoni-de-Almeida e colaboradores (2016) e Manzoni-de-Almeida (2016). Entretanto, essa atividade não oferece a oportunidade para os estudantes realizarem a obtenção de dados empíricos oriundos de experimentos. A experimentação com temas que envolvam técnicas de biologia molecular ainda é altamente custosa e depende um número de aulas incompatível com um programa disciplinar da realidade atual. Já com relação ao sistema complemento, é um tema de

importância na Imunologia em que há técnicas laboratoriais mais acessíveis, de custo realístico e tempo de execução adequado para uma aula prática na graduação, como por exemplo, o teste de hemólise de eritrócitos de coelho pela via alternativa do complemento (Fuller, 2008; Servais et al., 1991).

Com o objetivo de contemplar o experimento no ensino da Imunologia, aqui, nossa atividade investigativa-experimental foi construída baseada na atividade desenvolvida por Manzoni-de-Almeida & Trivelato (2015) e Manzoni-de-Almeida e colaboradores (2016) acrescentando, além dos princípios da investigação básica, o experimento como um passo nesse processo. Nossa atividade foi construída e adaptada segundo o nível 1 de Blanchard et al. (2010), ou seja, uma atividade em que o professor fornece um problema geral. No caso específico da nossa sequência, esse problema deve, ainda, ser refinado pelos estudantes durante a formulação de uma questão experimental (ver resultados). O método de coleta e obtenção dos dados também é fornecido por nós, porém, a interpretação dos resultados é aberta aos estudantes. Acreditamos que essa estrutura seja a que melhor se adequa à execução da atividade, considerando-se o tempo disponível para a inserção nos cronogramas das disciplinas.

Pensando nas limitações e possibilidades dos cronogramas, nós planejamos um esquema básico de três ou quatro aulas, dependendo da carga horária total de cada disciplina. Esse fator determinou em quais turmas aplicaríamos as duas versões com maior número de etapas presenciais (que compreenderam a realização da atividade didática-investigativa experimental) e quais delas executariam a versão semipresencial (atividade didática-investigativa com análise de dados numéricos previamente obtidos).

3.2.2 A aplicação

A sequência didático-investigativa foi inicialmente aplicada para uma turma que cursava bioquímica celular N em 2015 e duas turmas de enfermagem que cursavam imunologia durante

o ano de 2016. Para fins organizacionais, nós iremos dividir a estrutura da atividade em três fases:

Fase I – a base teórica: apresentação do conteúdo sobre o Sistema do Complemento e da proposta investigativa, com o fornecimento da situação-problema norteadora da investigação para os alunos e alunas (1 aula):

Esta fase foi construída em duas etapas. A primeira foi a apresentação da teoria sobre o Sistema do Complemento. Baseado em Manzoni-de-Almeida e Trivelato (2015), essa aula foi estruturada tomando como base os capítulos sobre o Sistema do Complemento de dois livros didáticos de Imunologia, utilizados nas aulas de imunologia (um brasileiro [CALICH, V. L. G & VAZ, C. A. C. Imunologia. 2ª Edição. Editora Revinter: Rio de Janeiro, 2009] e outro estrangeiro [ABBAS AK; ANDREW H; LICHTMAN, Jordan S. PILLAI. Imunologia Celular e Molecular. 6 ed. Rio de Janeiro: Revinter; 2008]). A consulta aos livros-texto foi realizada para verificar quais artigos científicos foram utilizados como base para a construção dos capítulos e assim definir os principais conceitos a serem trabalhados sobre o sistema do complemento, são eles: i) histórico, descoberta, células secretoras, local de ação; ii) propriedade zimogênica e importância em gerar alças de amplificação; iii) mecanismos de ação: formação da MAC e lise celular, formação de anafilatoxinas e opsonização; v) fatores de regulação. O objetivo didático dessa etapa era realizar definições importantes relacionadas ao tema de sistema complemento.

A segunda etapa foi a apresentação e planejamento da atividade investigativa para os grupos de alunos e alunas. Nesta etapa eles receberam o material dos “Cadernos de Laboratório” para preenchimento da primeira parte, destinada à: determinação da substância de escolha para avaliação da capacidade de fixar complemento; montagem da pergunta experimental; delineamento de hipóteses e de resultados esperados e condições para teste na aula prática experimental. Os objetivos didáticos dessa etapa eram: auxiliar os alunos a compreender o

propósito da realização de tarefas típicas no planejamento de um experimento, para possibilitar o engajamento nessas tarefas de forma coletiva.

Na disciplina de Bioquímica Celular, o sistema complemento foi discutido como um modelo para estudo da função imunológica das cascatas enzimáticas e suas principais consequências (atividade catalítica, amplificação de reação, inflamação e lise celular). Assim, esses conceitos foram integrados aos da Imunologia na primeira aula. De acordo com o cronograma, os alunos encerram, nessa etapa, uma sequência de 4 aulas no conteúdo de proteínas e enzimas. Entendemos que a inserção do tema do sistema do complemento nesse momento da disciplina contribuiria para a construção de uma ponte entre esse conteúdo da Imunologia com a Bioquímica. A tabela I esquematiza o cronograma da disciplina de bioquímica celular de 2015 após inserção da sequência experimental investigativa sobre sistema complemento. Nós aproveitamos o intervalo de dois meses entre a primeira aula e a aula experimental para revisar o preenchimento das comandas na primeira parte dos “Cadernos de Laboratório” e propor devolutivas para que os estudantes que não fornecessem hipóteses compatíveis tivessem a oportunidade de fazê-lo.

Tabela I: Conteúdo programático e sua sequência planejada para a disciplina de “Bioquímica Celular” para o curso de Ciências Biológicas, primeiro semestre de 2015.

| Data | Tópico |
|-------------|---|
| 02/03 | 1. Introdução à Bioquímica |
| 05/03 | 2 - Proteínas e enzimas |
| 09/03 | 3 - Proteínas e enzimas |
| 12/03 | 4 - Proteínas e enzimas |
| 16/03 | 5 - Proteínas e enzimas – aula teórica sistema do complemento e apresentação da pergunta-problema |
| 19/03 | 6 - Membranas e lipídeos– prova proteínas e enzimas 1 |
| 23/03 | 7 - Membranas e lipídeos |
| 26/03 | 8– Membranas e lipídeos |
| 30/03 | 9 – Estrutura de carboidratos e Glicólise – prova membranas e lipídeos 2 |
| 04/04 | 10 – Glicólise |
| 09/04 | 11- Glicólise |

| | |
|-------|---|
| 13/04 | 12 - Gliconeogênese – prova glicólise 3 |
| 16/04 | 13 – Gliconeogênese |
| 23/04 | 14 - Metabolismo do glicogênio prova gliconeogênese 4 |
| 27/04 | 15 - Metabolismo do glicogênio |
| 30/04 | 16 - Ciclo de Krebs – prova met glicogênio 5 |
| 04/05 | 17 - Ciclo de Krebs |
| 07/05 | 18 - Cadeia respiratória - prova ciclo de Krebs 6 |
| 11/05 | 19 - Cadeia respiratória |
| 14/05 | 20 - Via das pentoses - prova cadeia respiratória 7 |
| 18/05 | 21 - Via das pentoses |
| 21/05 | 22- Fotossíntese- prova via das pentoses 8 |
| 25/05 | 23 – Fotossíntese |
| 28/05 | 24 – Metabolismo de ácidos graxos – prova fotossíntese 9 |
| 01/06 | 25 – Sistema complemento: aula experimental |
| 05/06 | 26 - Metabolismo de aminoácidos – prova metabolismo de ácidos graxos 10 |
| 11/06 | 27 – Discussão em grupo sobre resultados da aula prática |
| 15/06 | 28 – Prova metabolismo de aminoácidos 11 |
| 18/06 | 29 - Aula integração metabólica |
| 22/06 | 30- Discussão da aula prática e entrega dos cadernos de laboratório |
| 25/06 | 31- Apresentação de trabalho |

A tabela II esquematiza a estruturação da sequência investigativa na disciplina de imunologia aplicada à enfermagem em 2015 e 2016, em que a aula teórica foi posicionada no período final da disciplina, com intervalo menor para a execução da aula prática. Nesse intervalo de 30 dias os grupos de alunos e alunas foram estimulados a discutir fora da sala de aula sobre as mesmas questões que haviam sido abordadas em encontros presenciais na disciplina de Bioquímica Celular.

Tabela II: Conteúdo programático e sequência planejada para a disciplina de “Imunologia” para o curso de Enfermagem segundo semestre de 2015/primeiro semestre de 2016.

| Data | Tópico |
|-------------|--|
| 24/08 | 1. Introdução à Imunologia - Conceitos Básicos - Introdução Paula Seixas |
| 28/08 | 2 - Propriedades Gerais das Respostas Imunes (I) |
| 31/08 | 3 - Propriedades Gerais das Respostas Imunes (II) |
| 04/09 | 4 - Células e Tecidos do Sistema Imune - Organização Anatômica e Funcional |

| | |
|-------|---|
| 07/09 | 5 – Feriado |
| 11/09 | 6 – Resposta Imune Inata |
| 14/09 | 7 – Inflamação e Migração Celular |
| 18/09 | 8– Receptor antigênico do Linfócito B – Imunoglobulinas |
| 21/09 | 9 – Desenvolvimento de Linfócitos B - Geração da Diversidade do Repertório Imune (I) |
| 25/09 | 10 – Desenvolvimento de Linfócitos B - Geração da Diversidade do Repertório Imune (II) |
| 28/09 | 11- 1ª. avaliação (20 pontos) - aulas 1 a 9 - Paula Seixas |
| 02/10 | 12 - Receptor antigênico do Linfócito T e Complexo Principal de Histocompatibilidade |
| 05/10 | 13 – Processamento e Apresentação de Antígenos |
| 09/10 | 14 - Desenvolvimento de Linfócitos T |
| 12/10 | 15 - Feriado |
| 16/10 | 16 - GD (Bárbara Mendes e Paula Seixas) (10 pontos) |
| 19/10 | 17 - Ativação dos Linfócitos T e B - Receptores, Mol. Accessórias e Citocinas (I) |
| 23/10 | 18 - Ativação dos Linfócitos T e B - Receptores, Mol. Accessórias e Citocinas (II) |
| 26/10 | 19 - 2ª. avaliação (15 pontos) - aulas 11 a 13 (Paula Seixas) |
| 30/10 | 20 – Recesso |
| 02/11 | 21 – Feriado |
| 06/11 | 22- Fotossíntese- prova via das pentoses 8 |
| 09/11 | 23 – Mecanismos Efetores da Imunidade Celular |
| 13/11 | 24 – Não houve aula |
| 16/11 | 25 – Tolerância Imunológica e autoimunidade |
| 20/11 | 26 - Mecanismos Efetores da Imunidade Humoral - o Sistema do Complemento |
| 23/11 | 27 – 3ª. avaliação (20 pontos) - aulas 15, 16, 18 e 20 |
| 27/11 | 28 – Sistema complemento: aula experimental - Paula Seixas |
| 30/11 | 29 - Discussão Resultados Aula Prática - Paula Seixas e distribuição Estudo Dirigido - Hipersensibilidades II, III, IV) |
| 04/12 | 30- Discussão da aula prática e entrega dos “Cadernos de Laboratório” |
| 07/12 | 31- Imunidade a Agentes Infecciosos |
| 14/12 | 32 - Hipersensibilidades I e métodos imunológicos laboratoriais |
| 16/02 | 33 – 4ª. avaliação (15 pontos) - aulas 19, 22, 23, 24 |

Fase II – a experimentação: aula prática para realização do ensaio de fixação do sistema complemento para o teste das hipóteses formuladas e coleta de resultados pelos grupos de alunos e alunas (1 aula);

Esta fase foi desenvolvida em uma etapa. Após receberem orientações gerais sobre o laboratório, a técnica experimental e o protocolo com os métodos de realização do experimento,

cada grupo realizou seu experimento com o auxílio da professora-pesquisadora e dos monitores voluntários da pós-graduação.

A aula prática teve duração de 2 horas e foi realizada no laboratório de aulas práticas do Departamento de Bioquímica e Imunologia, ICB-UFMG. No dia da aula prática os alunos e as alunas receberam seus preparados de reagentes rotulados, os demais materiais estavam dispostos nas bancadas, juntamente com um protocolo para análise da lise pelo complemento, além do “Caderno de Laboratório” formulado por nós como em Manzoni-de-Almeida e colaboradores (2016). Nesse material os e as estudantes puderam registrar os procedimentos, as expectativas, os dados obtidos e a discussão dos dados. O objetivo didático dessa fase foi executar a coleta dos próprios dados, por meio da manipulação de instrumentos, equipamentos e materiais corriqueiramente utilizados nas práticas experimentais em Imunologia.

Fase III – a construção dos escritos científicos: discussão entre estudantes e professor para estabelecer consenso durante a análise nos “Cadernos de Laboratório” (1 aula):

Nesta fase os grupos de alunos e alunas se reuniram e com os dados brutos em mãos e foram estimulados pela professora-pesquisadora a expressar, descrever, analisar, discutir e concluir resultados na segunda parte dos “Cadernos de Laboratório”. Essa sessão dos “Cadernos de Laboratório” foi elaborada como em Manzoni-de-Almeida e Trivelato (2015) e Manzoni-de-Almeida et al. (2016). Quatro comandas foram construídas de maneira a favorecer o aparecimento de estruturas do argumento que se aproximem da descrita em Toulmin (2006). Para motivarmos a produção de textos em que as conclusões são baseadas em dados e justificadas a partir de conhecimento teórico, as comandas inseridas na segunda parte dos “Cadernos de Laboratório” eram: registre os dados do seu experimento; descreva os resultados do seu experimento; baseado nos seus conhecimentos sobre Imunologia e sistema complemento, justifique os resultados encontrados; conclua o seu experimento. Os objetivos

didáticos dessa fase foram: mediar a discussão e orientar os estudantes na análise de dados brutos para a construção dos escritos verbais nos “Cadernos de Laboratório”.

No primeiro semestre de 2018 uma nova etapa foi inserida dentro da *fase I*, que passou a ter duas aulas. Logo após a apresentação da teoria do sistema complemento e da proposta de investigação, os grupos de estudantes receberam artigos científicos clássicos sobre o tema (Tabela III). Os objetivos didáticos dessa nova etapa foram: fornecer um modelo para a discussão com base em dados sobre os mecanismos de funcionamento da via alternativa do complemento e realizar instrução sobre a escrita de textos científicos. Durante um mês após a aula sobre a teoria do sistema complemento cada grupo de estudantes deveria preparar uma breve apresentação do artigo que fora recebido. Para a apresentação, eles deveriam selecionar uma ou duas principais figuras do artigo e explicar a dúvida científica por trás daquela figura, a mensagem que a figura veiculava e quais eram as estratégias empregadas pelo autor para tentar convencer o leitor de que a conclusão era verdadeira. A apresentação deveria ser realizada durante 10 minutos, com 5 minutos a mais para discussão mediada pelo professor. Quatro turmas realizaram a sequência experimental com a inclusão da apresentação dos artigos: uma turma de bioquímica aplicada à enfermagem; duas turmas de ciências biológicas N (Tabela IV) e R, todas cursando bioquímica; uma turma de farmácia que cursava imunologia (Tabela V). As fases II e III permaneceram inalteradas.

Tabela III: Artigos clássicos sobre complemento e principal conhecimento veiculado

| GRUPO | REFERÊNCIA DO ARTIGO | PRINCIPAL CONHECIMENTO VEICULADO |
|-------|--|---|
| 1 | Pillemer, L., Blum, L., Pensky, J., & Lepow, I.H. (1953). The Requirement for Magnesium Ions in the Inactivation of the Third Component of Human Complement (C'3) by Insoluble Residues of Yeast Cells (Zymosan). The Journal of Immunology, 71 (5) 331-338; | Descoberta de que as proteínas do terceiro componente do complemento poderiam ser “consumidas” por zymozan, mesmo na ausência de anticorpos, desde que houvesse íons de magnésio em solução |

| | | |
|---|---|---|
| 2 | Pillemer, L., Blum, L. Lepow, I.H., Ross, O.A., Todd, E.W., Wrdlaw, E.C. (1954). The Properdin System and Immunity: I. Demonstration and Isolation of a New Serum Protein, Properdin, and Its Role in Immune Phenomena. <i>Science</i> , 120(3112), 279-285. | Descoberta do sistema properdina e elucidação do mecanismo de enzimático de inativação de C3 pela formação do um complexo properdina-zymozan. |
| 3 | Servais, G., Walmagh, J., Duchateau, J. (1991). Simple quantitative haemolytic microassay for determination of complement alternative pathway activation (AP50). <i>Journal of Immunological Methods</i> , 140(1), 93-100. | Apresentação de um método quantitativo para determinação da atividade hemolítica pela via alternativa do complemento. |
| 4 | Podack, E.R., & Tschopp, J. (1982). Polymerization of the ninth component of complement (C9): Formation of poly(C9) with a tubular ultrastructure resembling the membrane attack complex of complement. <i>PNAS</i> , 79(2), 574-578. | Elucidação do mecanismo de polimerização de vários componentes C9 para a formação da MAC. |
| 5 | Brittingham, A., Morrison, C.J., McMaster, W.R., McGwire, B.S., Chang, K.P., Mosser, D.M. (1995). Role of the <i>Leishmania</i> surface protease gp63 in complement fixation, cell adhesion, and resistance to complement-mediated lysis. <i>The Journal of Immunology</i> , 155 (6) 3102-3111. | O papel do GP63 na superfície de <i>Leishmania</i> como mecanismo de entrada silenciosa em macrófagos via opsonização. |
| 6 | Rooijackers, S.H., Ruyken, M., et al. (2005). Immune evasion by a staphylococcal complement inhibitor that acts on C3 convertases. <i>Nature Immunology</i> , 6(9):920-7 | Inibição das C3-convertases pelas proteínas SCIN em todas as vias do complemento como mecanismo de evasão em <i>Staphylococcus</i> |
| 7 | Walpen, A.J., Mohacsi, P., Frey, C., Roos, A., Daha, M.R., Rieben, R. (2002). Activation of complement pathways in xenotransplantation: an in vitro study. <i>Transplant Immunology</i> , 9(2-4), 271-80 | Avaliação da ativação do sistema complemento em um modelo de xenotransplante, a partir de testes <i>in vitro</i> da atividade hemolítica das vias clássica e alternativa. |

Tabela IV: Conteúdo programático e sua sequência planejada para a disciplina de bioquímica celular para o curso de Ciências Biológicas N, primeiro semestre de 2018.

| Data | Aula | Tema da aula |
|--------|------|-------------------------|
| 01/mar | 1 | Introdução à Bioquímica |
| 05/mar | 2 | Proteínas e enzimas |

| | | |
|--------|----|---|
| 08/mar | 3 | Proteínas e enzimas |
| 12/mar | 4 | Proteínas e enzimas |
| 15/mar | / | Atividade noturno |
| 19/mar | 5 | Prova 1 - Proteínas e enzimas |
| 22/mar | 6 | Aula teórica: complemento como modelo estudo de cascatas enzimáticas |
| 26/mar | 7 | Estrutura de carboidratos |
| 29/mar | / | Feriado |
| 02/abr | 8 | Glicólise |
| 05/abr | 9 | Prova 2 - Estrutura de Carboidratos e Glicólise |
| 09/abr | 10 | Gliconeogênese |
| 12/abr | 11 | Prova 3 – Gliconeogênese |
| 16/abr | 12 | Apresentação de artigos complemento e entrega dos cadernos de laboratório (I parte) |
| 19/abr | 13 | Metabolismo do glicogênio |
| 23/abr | 14 | Prova 4 - Metabolismo do glicogênio |
| 26/abr | 15 | Via das pentoses fosfato |
| 30/abr | / | Recesso escolar |
| 03/mai | 16 | Prova 5 - Via das pentoses fosfato |
| 07/mai | 17 | Aula experimental: Existe algum fator que interfere no complemento? |
| 10/mai | 18 | Ciclo de Krebs |
| 14/mai | / | Atividade noturno |
| 17/mai | 19 | Prova 6 - Ciclo de Krebs |
| 21/mai | 20 | Cadeia respiratória e fosforilação oxidativa |
| 24/mai | 21 | Cadeia respiratória e fosforilação oxidativa |
| 28/mai | 22 | Discussão aula prática e entrega dos cadernos de laboratório |
| 31/mai | / | Feriado |
| 04/jun | 23 | Prova 7 - Cadeia respiratória e fosforilação oxidativa |
| 07/jun | 24 | Fotossíntese |

| | | |
|--------|----|---|
| 11/jun | 25 | Prova 8 – Fotossíntese |
| 14/jun | 26 | Membranas e lipídeos |
| 18/jun | 27 | Prova 9 - Membranas e lipídeos |
| 21/jun | 28 | Metabolismo de ácidos graxos |
| 25/jun | 29 | Prova 10 - Metabolismo de ácidos graxos |
| 28/jun | 30 | Metabolismo de aminoácidos |
| 02/jul | 31 | Prova 11 - Metabolismo de aminoácidos |
| 05/jul | 32 | Não haverá aula |
| 09/jul | 32 | Integração metabólica |
| 12/jul | / | Exame especial |

Tabela V: Conteúdo programático e sequência planejada para a disciplina de imunologia para o curso de farmácia, primeiro semestre de 2018.

| Aula | Data | Tema da aula |
|-------------|-------------|--|
| 1 | 06/03 | Introdução à Imunologia - Conceitos Básicos |
| 2 | 08/03 | Introdução à Imunologia - Conceitos Básicos |
| 3 | 13/03 | Moléculas da Imunidade inata |
| 4 | 15/03 | Inflamação e migração celular |
| 5 | 20/03 | <i>Sistema do complemento - Paula Seixas – aula expositiva</i> |
| 6 | 22/03 | Antígenos e anticorpos |
| 7 | 27/03 | Exercícios |
| | 29/03 | Recesso |
| 8 | 03/04 | 1ª Prova |
| 9 | 05/04 | Receptores de Linfócitos T e B |
| 10 | 10/04 | Linfopoiese de linfócitos T e B: diversidade do repertório imune |
| 11 | 12/04 | MHC e o processamento de antígenos |

| | | |
|----|-------|--|
| 12 | 17/04 | <i>Sistema do complemento - Paula Seixas – apresentação de artigos</i> |
| 13 | 19/04 | Ativação de linfócitos T |
| 14 | 24/04 | Ativação de linfócitos B |
| 15 | 26/04 | Exercícios |
| | 01/05 | Feriado |
| 16 | 03/05 | 2ª Prova |
| 17 | 08/05 | <i>Sistema do complemento - Paula Seixas – aula experimental</i> |
| 18 | 10/05 | Imunidade a agentes infecciosos e evasão do sistema imune |
| 19 | 15/05 | Tolerância Imunológica |
| 20 | 17/05 | <i>Sistema do complemento - Paula Seixas – discussão entre grupos</i> |
| 21 | 22/05 | Reações de Hipersensibilidades |
| 22 | 24/05 | Imunodeficiências |
| 23 | 29/05 | Memória Imunológica e vacinas |
| | 31/05 | Recesso |
| 24 | 05/06 | Métodos Imunológicos Laboratoriais |
| 25 | 07/06 | Pesquisa em imunologia (seminários) |
| 26 | 12/06 | Pesquisa em imunologia (seminários) |
| 27 | 14/06 | Pesquisa em imunologia (seminários) |
| 28 | 19/06 | Exercícios |
| 29 | 21/06 | 3ª Prova |
| 30 | 26/06 | Exame especial |

Ainda em 2018, outras duas turmas realizaram a sequência didático-investigativa sobre complemento. Essas turmas, entretanto, não executaram a *fase II* com a realização da prática laboratorial. Para resolver o problema de investigação, os grupos de estudantes que cursavam imunologia em duas turmas do curso de ciências biológicas, R e N, receberam um pacote de

dados brutos coletados de grupos que haviam realizado a prática anteriormente e foram desafiados a realizar a análise. Para esses estudantes a sequência investigativa foi dividida em três aulas. No caso dessa versão a *fase I* foi mantida inalterada, com as duas primeiras aulas destinadas à apresentação da teoria sobre complemento (realizada pelo professor) e a apresentação dos artigos clássicos (realizada pelos grupos de estudantes), com os mesmos objetivos didáticos explicitados anteriormente. A terceira aula presencial foi uma aula para a finalização da discussão sobre os artigos e para a apresentação da investigação, com orientações sobre a análise de dados que seria feita à distância. Os cadernos de laboratório foram enviados aos estudantes via *Moodle*, com a pergunta experimental já delineada. Além disso, essa versão não incluiu o levantamento de hipóteses e de resultados esperados. Os grupos deveriam se reunir em um horário à parte, executar as análises e depois realizar a devolução via *Moodle* dos cadernos de laboratório preenchidos. A professora-pesquisadora estava disponível para discussão online, caso os grupos julgassem necessário.

Tabela VI: Conteúdo programático e sua sequência planejada para a disciplina de imunologia para o curso de Ciências Biológicas R, primeiro semestre de 2018.

| Aula | Data | Tema da aula |
|-------------|-------------|--|
| 1 | 07/03 | Introdução: Conceitos Básicos, órgãos e células do sistema imune |
| 2 | 14/03 | Imunidade Inata |
| 3 | 21/03 | Inflamação e Migração Celular |
| 4 | 28/03 | Sistema do Complemento – aula Paula Seixas |
| 5 | 04/04 | Prova 1 (25 Pontos) |
| 6 | 11/04 | Antígenos, Anticorpos e Receptores de Células T |
| 7 | 18/04 | Complexo de Histocompatibilidade / Processamento e Apresentação de Antígenos |
| 8 | 25/04 | Desenvolvimento de Linfócitos B e T |

| | | |
|----|-------|--|
| 9 | 02/05 | Ativação dos Linfócitos T e B - Receptores, moléculas acessórias e citocinas |
| 10 | 09/05 | Apresentação de artigos – aula Paula Seixas |
| 11 | 16/05 | Discussão e preparação para a atividade investigativa à distância – Paula Seixas |
| 12 | 23/05 | Prova 2 (30 Pontos) |
| 13 | 30/05 | Imunidade a agentes infecciosos e evasão do sistema imune |
| 14 | 06/06 | Tolerância Imunológica |
| 15 | 13/06 | Hipersensibilidades |
| 16 | 20/06 | Vacinas e Memória imunológica |
| | 27/06 | Prova 3 (30 Pontos) |

A tabela VII articula as atividades em cada fase da discussão com os objetivos didáticos que determinaram o planejamento dessas atividades. Três turmas em 2015/2016 não executaram a aula 02 e duas turmas em 2018 não executaram a coleta de dados experimentais realizada na aula 03 (essas turmas procederam a análise de dados brutos à distância).

Tabela VII: Esquema geral das principais atividades em cada fase da sequência didática-investigativa.

| Fase da investigação | Aula | Atividades principais | Objetivo didático |
|---------------------------------------|-----------|--|--|
| A base teórica | 01 | Aula teórica expositiva sobre sistema complemento realizada pela professora em diálogo com os estudantes | Definir os fatos científicos que levaram à descoberta das vias clássica e alternativa; definir os mecanismos de ativação, funcionamento e regulação das vias catalíticas do complemento; definir as demais funções imunológicas dos componentes do complemento |
| | | Distribuição dos cadernos de laboratório para preenchimento da primeira parte | Negociação entre os grupos durante a realização das tarefas relacionadas ao planejamento do experimento |
| A experimentação | 02 | Apresentação de artigos científicos clássicos sobre sistema complemento pelos estudantes | Compreender os elementos mobilizados na construção de um texto no gênero literário da escrita científica; Disponibilizar modelos teóricos com dados para incrementar a argumentação |
| | 03 | Realização do experimento para teste das hipóteses sobre a fixação do complemento | Executar tarefas manuais típicas da prática experimental a partir da leitura do protocolo, manipular instrumentos, tomar decisões em grupo |
| A construção dos escritos científicos | 04 | Produzir formulações escritas para responder à pergunta de investigação | Produzir inscrições não-verbais a partir de dados brutos; Mobilizar evidências nos escritos verbais durante a formulação de relatórios científicos |

3.2.3 Coleta de dados

A coleta dos dados em todos os casos foi realizada por : i) anotações durante as aulas; ii) coleta do material escrito e produzidos pelos alunos e pelas alunas nos “Cadernos de Laboratório” (Manzoni-de-Almeida et al., 2016) durante a atividade investigativa.

3.3 A análise das práticas epistêmicas nos escritos produzidos pelos estudantes

Para realizar a análise de práticas epistêmicas nos escritos dos “Cadernos de Laboratório” a escolha entre as rubricas de categorias de análise disponíveis na literatura partiu do levantamento de duas característica-chave da nossa pesquisa: a primeira delas se relaciona à natureza do nosso material de análise. Nós estamos interessados em avaliar o discurso escrito nos textos científicos dos estudantes engajados em uma investigação sobre sistema complemento. Por isso, optamos por suprimir as práticas epistêmicas de legitimação do conhecimento (Kelly & Licona, 2018), que são descritas quando os estudantes constroem consenso sobre o que é válido em termos de conhecimento relevante para a comunidade epistêmica. Entendemos que o relatório científico escrito é, pois, o produto já pronto dessa negociação. No nosso modelo tampouco será vantajoso adotarmos uma ferramenta que considere a divisão das práticas epistêmicas nas demais grandes áreas das práticas sociais (produção, comunicação, avaliação) do conhecimento (Jiménez-Aleixandre et al., 2008; Kelly & Duschl, 2002). Pensando em termos de sobreposição, o próprio relatório científico é uma prática epistêmica de comunicação do conhecimento que requer a execução de outras práticas epistêmicas inseridas nas demais duas práticas sociais do conhecimento, a saber, “articular o conhecimento técnico e conceitual” e “usar dados para avaliar teorias” são duas práticas epistêmicas descritas, respectivamente, nas grandes áreas de produção e avaliação do conhecimento por Jiménez-Aleixandre (2008), como mostra a figura 1:

| Práticas sociais relacionadas ao conhecimento | Práticas epistêmicas gerais | Práticas epistêmicas específicas |
|---|--|---|
| Produção | Articular o próprio conhecimento | Monitorar o progresso Realizar investigações Usar conceitos para planejar e executar ações (p.e. no laboratório) Articular conhecimento técnico e conceitual Construir significados |
| | Dar sentido aos padrões nos dados | Considerar diferentes fontes de dados Construir dados |
| Comunicação | Interpretar e construir inscrições | Relacionar difentes linguagens: observacional, representacional e teórica Transformar dados em diferentes formatos |
| | Produzir relatórios e outros textos que circulam na sala de aula | Escrever textos em diferentes linguagens científicas |
| | Persuadir os membros da comunidade | Apresentar suas próprias ideias e enfatizar pontos chaves Negociar explicações |
| Avaliação | Coordenar teoria e evidência: argumentação | Distinguir conclusões de evidências Usar dados para avaliar teorias Usar conceitos para interpretar dados Olhar os dados de diferentes perspectivas Recorrer a outros conhecimentos para consistência dos dados |
| | Contrastar conclusões (próprias ou alheias) com as evidências disponíveis (avaliar plausibilidade) | Justificar suas próprias conclusões Críticoar conclusões de outros Usar conceitos para categorizar dados anômalos |

Figura 1: Práticas epistêmicas gerais e específicas inseridas nas grandes práticas sociais do conhecimento. Figura extraída de Jiménez-Aleixandre (2008 apud Silva,2015, p.29)

A segunda característica-chave da nossa atividade tem relação com a estrutura central da sequência didático-investigativa, que emprega a prática experimental como método principal de investigação. Kelly e Licona (2018) afirmam que as práticas epistêmicas não são estáticas e variam ao longo do tempo de maneira campo-dependente. Portanto, se os objetivos educacionais em uma atividade de abordagem sociocientífica variam em relação aos de uma atividade de investigação experimental, as práticas epistêmicas que aparecerão nos dois casos também devem variar. Para o nosso ambiente de aprendizagem era esperado obtermos práticas epistêmicas relacionadas aos elementos da prática experimental, tais como a problematização,

o delineamento de hipóteses, a mobilização de dados no texto, a articulação entre dados experimentais e literatura. Sendo assim, nós nos apropriamos da ferramenta utilizada em Manzoni-de-Almeida et al. (2016) e descrita previamente em Silva (2015). Essa autora se baseia no conhecimento gerado pela análise de dados experimentais para construir uma rubrica que emprega grande parte das práticas epistêmicas que nós consideramos sujeitas a aparecerem nos dados da nossa atividade (Figura 2).

| Epistemic practice | Signification |
|---|---|
| Questioning | Create a question related to the topic <u>being studied</u> or resume a matter previously proposed by the teacher. Corresponds to the motivation to start a discussion. |
| Develop hypothesis | Elaborate possible explanation for a question or problem |
| Making predictions | Can predict results based on the explanatory hypothesis. |
| Building data | Collect and record data |
| Consider different sources | Resort to any data other than what is being worked on right now to solve the problem under discussion |
| Conclude | Finalizing a problem or a question proposed |
| Mention | Make explicit reference to those produced inscriptions, some knowledge of authority (teacher or specialized bibliography) |
| Describe | Discuss a system, object or phenomenon, in terms of characteristics of their constituents or spatiotemporal displacement of these constituents. |
| Explain | Establish causal relationship between observed phenomena and theoretical concepts, and /or implementing conditions of the experiment to make sense of this phenomenon. |
| Exemplify | Present theoretical model illustrated by specific data. |
| Opine | Presents a personal opinion, well signposted |
| Conceptualize | Assign meaning to a concept explicit |
| Generalize | Develop descriptions and explanations that are independent of a specific context |
| Use data to theoretical evaluation | Present data to evaluate the theoretical statements. |
| Assess consistency of data | Ponder the validity of the data obtained. |

Figura 2: Categorias de práticas epistêmicas em Manzoni-de-Almeida (2016), adaptadas de Silva (2015). A estrutura básica dessa rubrica foi adaptada por nós no desenvolvimento das categorias para análise de práticas epistêmicas nos “Cadernos de Laboratório”.

A leitura preliminar dos cadernos de laboratório demandou a inclusão de novas categorias e a exclusão de outras categorias da ferramenta ilustrada na figura 2. A categoria construir dados (*building data*) foi suprimida, porque todos os grupos que realizaram a aula prática concluíram a *fase II – experimentação* e executaram coleta de dados. No lugar dela, inserimos a categoria: “fazer inscrições literárias”, que representa um passo para além da coleta de dados brutos (Latour & Woolgar, 1986). Na *fase I* foi estabelecida uma discussão durante a apresentação de artigos científicos e nela os estudantes receberam instruções sobre a importância da representação de dados nos textos científicos. Nós incluímos as categorias inferir e interpretar dados, essa última surgiu quando observamos trechos da escrita dos estudantes em que havia claramente a intenção de interpretar a mensagem contida nos dados. Após as modificações, nós apresentamos a nossa rubrica contendo as categorias de práticas epistêmicas, com os respectivos descritores para cada uma delas (Tabela VIII):

Tabela VIII: Categorias de práticas epistêmicas e seus respectivos descritores utilizadas durante a análise neste trabalho.

| Práticas epistêmicas | Significação |
|---|---|
| Fazer questões | Criar uma questão experimental relacionada ao problema experimental ou outras questões advindas da pergunta inicial; corresponde à motivação para se iniciar uma discussão. |
| Desenvolver hipóteses | Elaborar uma possível explicação para a pergunta ou o problema |
| Fazer previsões | Prever resultados dos grupos experimentais e controles, baseado em uma hipótese explicativa |
| Explicar esquema de investigação | Explicitar as ferramentas, bem como o procedimento utilizado na execução do experimento |
| Fazer inscrições literárias | Elaborar diferentes formas de representação dos dados brutos para dar forma ao fenômeno |
| Mencionar inscrições no texto | Fazer referência explícita às inscrições literárias durante as explicações |
| Descrever dados | Discutir um sistema, objeto ou fenômeno em termos de características |
| Comparar dados | Estabelecer diferentes status para dois dados ou mais, dentro da explicação |
| Interpretar dados | Determinar o significado dos dados obtidos na investigação |
| Explicar dados | Estabelecer relação causal entre o fenômeno observado e conceitos teóricos/condições experimentais |
| Inferir | Hipotetizar com base na análise dos próprios dados |
| Lidar com dados anômalos | Selecionar e discutir dados anômalos provocados por erros ou fatores experimentais inesperados que possam ter influenciado o resultado |
| Acessar a consistência dos dados | Definir qual evidência é válida para a afirmação específica que está sendo feita |
| Relacionar dado e teoria | Apresentar dados relacionando-os às grandes proposições teóricas |
| Conceituar | Enunciar conceito acerca de algo |
| Concluir | Finalizar o problema ou a questão proposta |
| Considerar ≠ fontes de dados | Mobiliza mais de um tipo de dado para resolver o problema em questão |

Após a elaboração da nossa rubrica de práticas epistêmicas nós partimos para a definição das unidades de análise. Na segunda parte dos cadernos de laboratório nós preparamos quatro comandas para serem preenchidas pelos estudantes durante o processo de análise de dados. As comandas solicitavam, uma a uma, que o grupo realizasse o registro dos dados, a análise, elaborasse uma justificativa aos achados e que concluísse o trabalho. As respostas às comandas constituíram o nosso material de análise de práticas epistêmicas e de argumentos (descrita no tópico seguinte), pois os construtos nas respostas a essas comandas poderiam conter a estrutura de um texto científico em que as afirmações são justificadas à luz dos dados e da teoria. Assim, para evitar inconsistências, nós definimos que as unidades de análise deveriam corresponder a trechos não muito longos dos textos dos alunos. Assim, as nossas unidades de análise foram classificadas como: uma sentença completa, começando no início da frase, até o ponto final (.), ou dois pontos (:). Cada unidade foi numerada por um algarismo arábico de forma crescente, à medida que o texto prosseguiu. Nem sempre era possível identificar uma prática epistêmica a cada nova sentença, mas essa definição foi importante para reduzir o número de inconsistências e sobreposições na análise dos textos complexos produzidos pelos estudantes.

3.4 A análise de argumentos científicos nos “Cadernos de Laboratório”

Para a análise de argumentos nos “Cadernos de Laboratório” nós realizamos a adaptação da ferramenta descrita em Kelly e Takao (2002). A escolha dessa ferramenta partiu da detecção de sobreposições nos trechos dos argumentos após a nossa tentativa de realizar as análises pelo modelo de Toulmin (2003). O sistema de níveis epistêmicos (NE) desenvolvido por Kelly e Takao se torna bastante atrativo para o nosso contexto de análise de argumentos complexos, formulados em sentenças longas. Ele considera os construtos disciplinares-específicos para estabelecer diferentes status epistêmicos para cada instancia de generalidade em que o trecho

da escrita dos estudantes faz alusão. Isso permite verificar em que pontos do texto houve referência a que nível de generalidade e como esses níveis se relacionam, traçando um perfil sobre como os estudantes aderiram às convenções do gênero da escrita científica (Kelly & Takao, 2002).

O modelo original de níveis epistêmicos foi estabelecido em um contexto de análise de dados em um CD-ROM sobre placas tectônicas, dentro de um curso de graduação em oceanografia. Para elaborar seis níveis epistêmicos os autores partiram dos construtos específicos da geologia em direção as asserções teóricas sobre placas tectônicas (Figura 3). Os autores estabelecem três critérios indicadores da força do argumento: i) a razão entre o número de afirmações categorizadas nas instâncias particulares dos dados e o número de afirmações categorizadas nas instâncias das grandes teorias; ii) a distribuição entre as afirmações localizadas no campo da observação e aquelas localizadas no campo de interpretação; iii) a relação entre as afirmações ao longo dos níveis epistêmicos, que é aferida pela presença de conectores e dá o valor semântico do argumento (Kelly & Takao, 2002)

Epistemic levels

Argument structure mapped according to epistemic levels

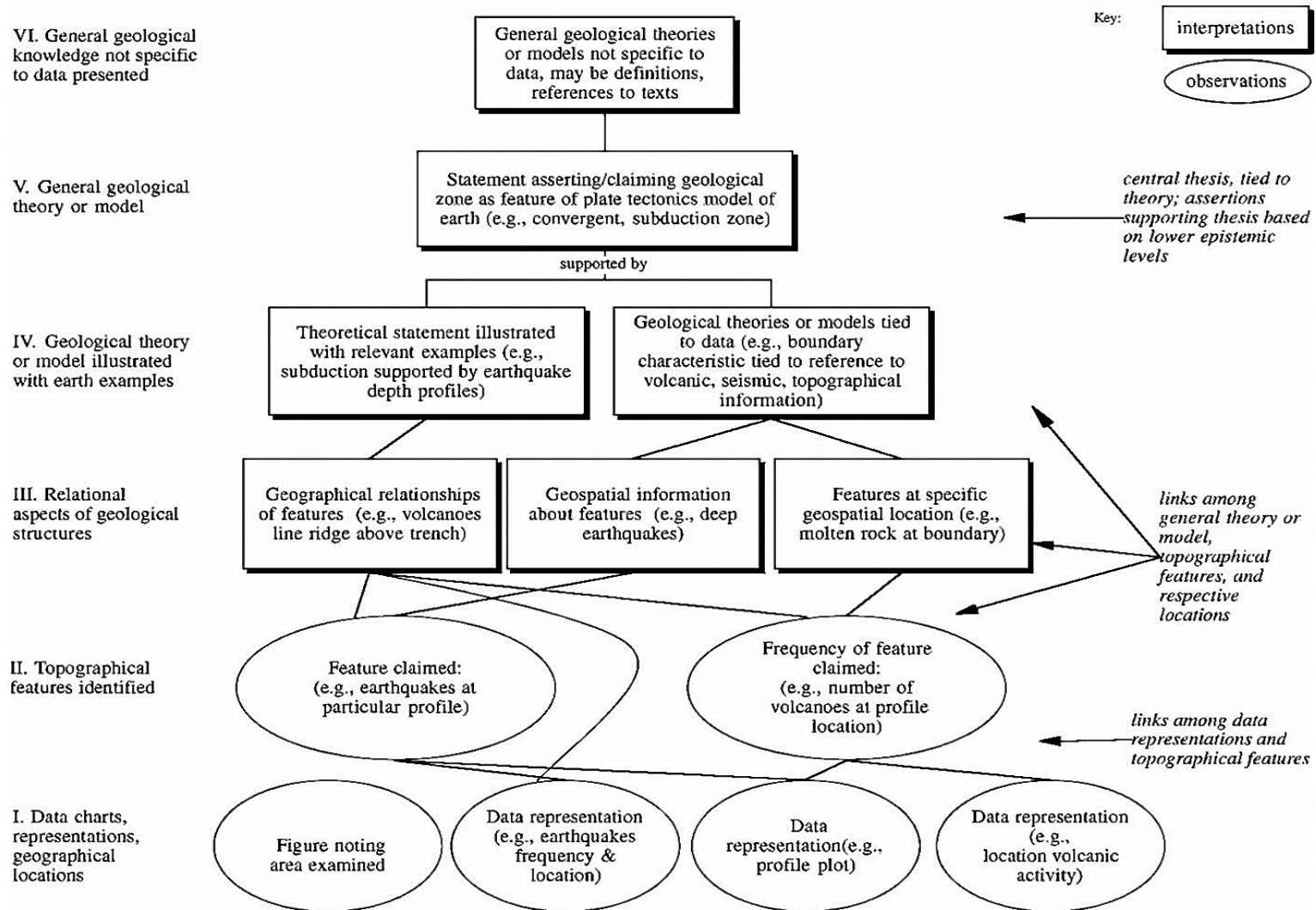


Figura 3: Estrutura básica do modelo de níveis epistêmicos aplicado ao ensino científico de oceanografia extraído de Kelly e Takao (2002).

Para construir o nosso sistema de análise a partir da ferramenta de Kelly & Takao nós inserimos os construtos específicos do ensaio de fixação do complemento e da estrutura da atividade didático-investigativa nos níveis mais basais. Já as asserções de grande generalidade referentes às teorias da Imunologia e de outras áreas da Biologia foram inseridas nos níveis superiores, para avaliar o status das afirmações dos estudantes. Além disso, nós construímos um sétimo nível para categorizar os trechos contendo afirmações não congruentes ao esperado pela cultura científica. O resultado final é um modelo de sete níveis epistêmicos organizados em ordem crescente de generalidade e não necessariamente hierárquicos em termos de complexidade epistêmica, como mostrado na tabela IX e na figura 4:

Tabela IX: Modelo de níveis epistêmicos proposto para a análise de argumentos produzidos nos “Cadernos de Laboratório”.

| NÍVEL EPISTÊMICO | ESTRUTURA DO ARGUMENTO DE ACORDO COM O N.E. |
|--|---|
| VII Saberes não congruentes com os saberes científicos | Proposições que apresentem conhecimento não congruente com o esperado pela cultura epistêmica |
| VI Saberes das teorias de outras áreas do conhecimento | Mobilização de informação do conhecimento de outras áreas, não diretamente relacionados com o complemento, mas que tenham sido mobilizadas para dar suporte à investigação <ul style="list-style-type: none"> - Citações utilizadas para fazer referência ao contexto experimental |
| V Saberes da teoria geral do complemento | Proposições apresentando a teoria geral do complemento por meio de: <ul style="list-style-type: none"> - Citações retiradas de livros, revistas, artigos, etc.; - Modelos ilustrados com dados prévios; - Conhecimentos prévios, premissas Mobilizados para dar suporte à investigação |
| IV Relação entre expectativas, resultados obtidos e fatores experimentais | Descrição dos dados e conclusão relacionados a: <ul style="list-style-type: none"> - Hipótese inicial ou resultados esperados; - Novas hipóteses após a análise; - Características experimentais que possam ter influenciado no resultado (limitações do dado, limitações da técnica, características da substância); - Conclusões extras à conclusão principal |
| III Como o resultado se relaciona à pergunta experimental | Proposições no texto relacionando corretamente a presença/ausência de lise à capacidade de a situação de escolha fixar complemento |
| II Conclusões imediatas obtidas pelas análises dos resultados dos experimentos | Proposições no texto identificando presença/ausência de lise, de acordo com as análises qualitativa e quantitativa |
| I Representação de dados | Referência direta aos dados no texto <ul style="list-style-type: none"> - Figura, esquema, cálculo, tabela, gráfico |

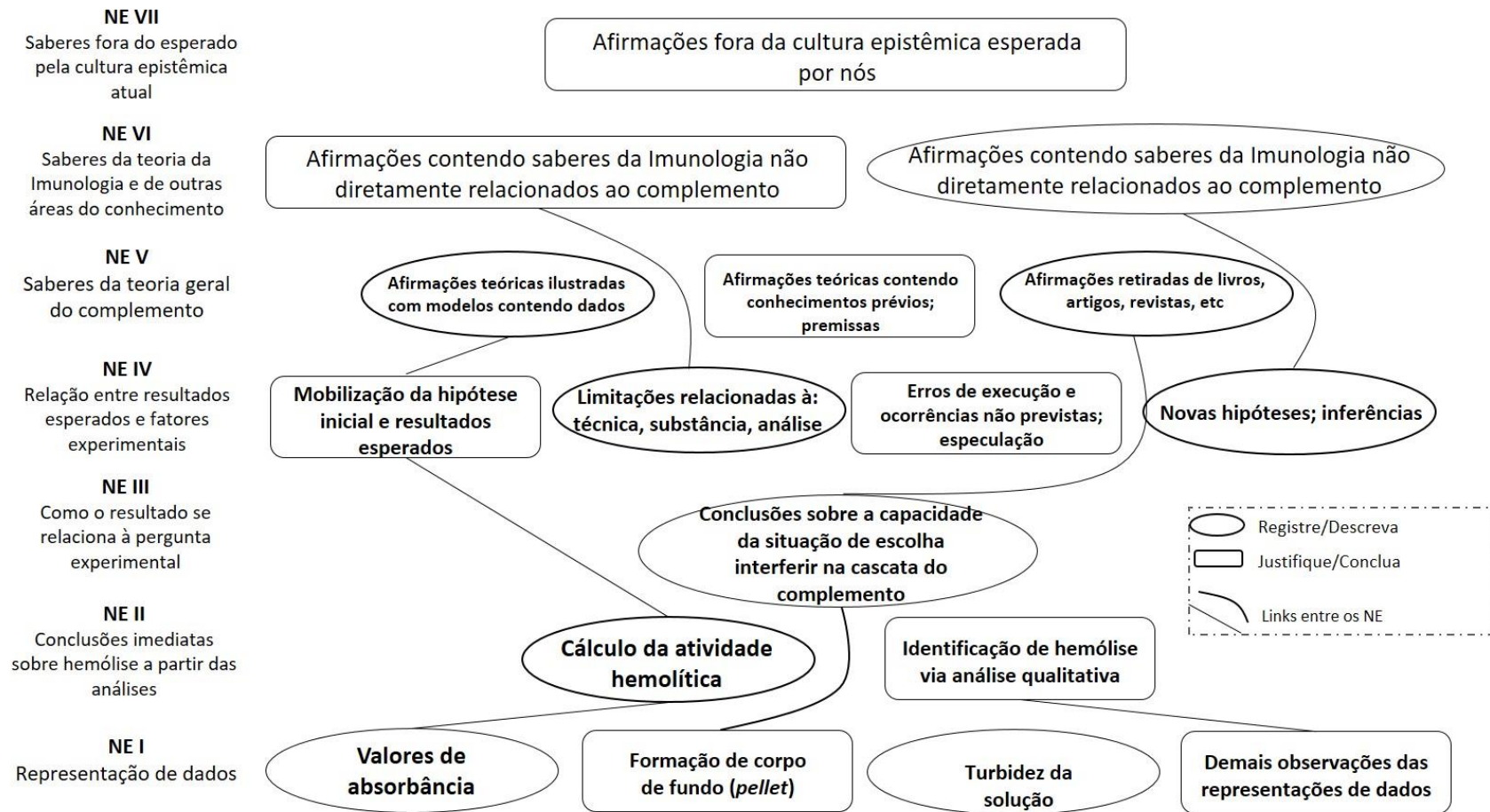


Figura 4: Modelo de níveis epistêmicos para a análise dos argumentos dos grupos de estudantes ao longo de quatro comandas do caderno de laboratório. Círculos ovais representam a categorização dos níveis epistêmicos dos argumentos encontrados nas comandas registre/descreva. Já os retângulos identificam os argumentos nas comandas justifique/conclua. As linhas que unem os círculos/retângulos ao longo dos níveis epistêmicos representam as relações semânticas ao longo dos níveis.

As unidades de análise definidas para as práticas epistêmicas foram também utilizadas para a análise do argumento. Assim, cada sentença foi classificada em um nível epistêmico correspondente. Nós definimos que os critérios para avaliar a força do argumento são os mesmos que aqueles adotados por Kelly e Takao (2002), com a inclusão de um 4º critério, cuja elaboração foi baseada na natureza abstrata das interpretações que a técnica experimental executada na prática oferece (ver resultados). Esse critério é a presença de sentenças no NEIII, o que representa efetivamente uma conclusão à pergunta experimental. Durante a análise, um mapa de níveis epistêmicos foi elaborado para cada relatório, segundo modelo da figura 3

Para facilitar a escrita, as turmas foram codificadas pela letra T e um número. Para evitar a identificação dos participantes, todos “Cadernos de Laboratório” foram codificados pela letra G e um número. Sete cadernos de laboratório da turma de bioquímica celular (2015) foram numerados de 1 a 7; quatro cadernos de laboratório produzidos nas turmas de imunologia aplicada à enfermagem 2015 e mais quatro para turma de 2016, foram numerados de 8 a 11 e de 12 a 15, respectivamente; seis cadernos de laboratório produzidos pela turma de bioquímica celular N e seis pela turma R em 2018 foram numerados de 16 a 21 e de 22 a 27, respectivamente; cinco cadernos de laboratório produzidos pela turma de bioquímica aplicada à enfermagem 2018 foram numerados de 28 a 32; sete cadernos de laboratório produzidos pela turma de imunologia para a Farmácia, numerados de 33 a 39; seis cadernos de laboratório para cada uma das turmas de imunologia (R e N) do curso de ciências biológicas 2018, numerados de 40 a 45 e de 46 a 51, respectivamente. O plano de pesquisa com a esquematização das principais atividades a serem executadas está descrito na tabela X. Cada adaptação empregou o acréscimo/supressão de etapas para criar um ambiente gerador de conhecimento para os estudantes e possibilitar responder nossas dúvidas de pesquisa.

Tabela X: Plano de pesquisa com os principais elementos contemplados por cada uma das três adaptações da atividade investigativa sobre sistema complemento.

| Turmas | Cadernos de Laboratório | Apresentação de artigos científicos | Geração de pergunta experimental | Levantamento de hipóteses | Realização de experimento | Análise de dados experimentais | Conclusão |
|---|-------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|-----------|
| Bioquímica Celular N 2015 (T1) | G1 – G7 | | | | | | |
| Imunologia aplicada à enfermagem 2015 (T2) | G8 – G11 | | X | X | X | X | X |
| Imunologia aplicada à enfermagem 2016 (T3) | G9 – G15 | | | | | | |
| Bioquímica Celular N 2018 (T4) | G16 – G21 | | | | | | |
| Bioquímica Celular D 2018 (T5) | G22 – G27 | | | | | | |
| Bioquímica aplicada à enfermagem 2018 (T6) | G28 – G32 | X | X | X | X | X | X |
| Imunologia aplicada à Farmácia 2018 (T7) | G33 – G39 | | | | | | |
| Imunologia R 2018 (T8) | G40 – G45 | | | | | | |
| Imunologia N 2018 (T9) | G46 – G51 | X | | | | X | X |

Todas as informações coletadas foram previamente autorizadas pelos participantes da pesquisa, que leram e assinaram o Termo de Livre Consentimento (TCLE). O presente estudo foi submetido, analisado e autorizado para realização pelo comitê de ética em animais (CEUA 258 / 2015) e em humanos (CAAE 58960416.6.0000.5149 / número do parecer: 1.717.179).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa sessão, a apresentação dos nossos resultados será realizada articulada ao referencial teórico que utilizamos como suporte para as reflexões que desejamos promover. De maneira geral, nós podemos dividir o nosso conjunto de resultados em dois grandes eixos: a concepção de uma sequência didática que utiliza o ensino por investigação como abordagem metodológica e a análise dos escritos produzidos pelos futuros profissionais da área de biológicas e saúde durante a resolução da problemática inserida nessa sequência.

Nós apresentaremos os nossos achados segundo a ordem cronológica em que a sequência investigativa experimental sobre sistema complemento foi aplicada. Essas adaptações foram realizadas ao longo do tempo de execução do projeto e motivadas por dois fatores: i) aprimoramento das condições de oportunidade de compreensão conceitual e epistêmica da Imunologia; ii) produção de diferentes estratégias de ensino que nos possibilitassem compreender o papel do experimento dentro do ensino de Imunologia por investigação.

Iniciaremos as descrições pela apresentação da atividade investigativa experimental tal qual ela foi concebida para as turmas T1 a T3, com a posterior análise das práticas epistêmicas e de argumentos dos cadernos de laboratórios produzidos nesse modelo de atividade. Depois, descreveremos as adaptações para a inclusão de uma nova etapa na atividade, que levou à aplicação dessa para as turmas T4 a T7. Apresentaremos, também, as análises para essas turmas. Descreveremos a atividade tal como ela foi planejada e aplicada para as turmas T8 e T9, além dos resultados das práticas epistêmicas e argumentos analisados nos cadernos de laboratório dessas turmas.

4.1 O ponto de partida

O sistema do complemento consiste em um conjunto de mais de 30 proteínas solúveis no plasma as quais, a partir de reações enzimáticas sequenciais de clivagem e inserção na membrana, culminam em lise celular e inflamação. Para a composição da atividade partimos da premissa de que se nós desejávamos possibilitar uma situação geradora de oportunidades de aprendizagem em Imunologia, não poderíamos nos ater a um modelo que se resumisse a transmissão dos componentes catalíticos do complemento. Jiménez-Aleixandre et al. (2008) afirmam que, durante a educação científica, os estudantes devem se apropriar dos critérios que são utilizados pela própria atividade científica, o que deve ser traduzido em uma abordagem experimental que estimule coletivamente a percepção do ambiente, a construção de conceitos e de atitudes, o compartilhamento em processos discursivos. A nossa proposta de pesquisa objetiva acrescentar a experimentação à realidade da investigação dentro do ensino para a formação em Imunologia e contribuir para o conhecimento sobre os ambientes de aprendizagem a partir de investigação no ensino superior.

Com base nos objetivos educacionais propostos em Hodson (2014), para responder a essa questão nós planejamos uma atividade didático-investigativa que contemple três desses objetivos: 1) *learning science*, que é a compreensão conceitual do sistema complemento. Para contemplar esse objetivo nós realizamos a apresentação da teoria sobre o tema na primeira aula, conforme descrito na metodologia; 2) *learning about science*, que compreende a exposição do histórico da construção do conhecimento sobre complemento e também da leitura e discussão de artigos científicos clássicos do tema, com foco no estilo da retórica científica e no papel das inscrições literárias dentro do texto escrito; e 3) *doing science*, que é a etapa que compreende o engajamento, o planejamento, a execução e a análise da atividade experimental investigativa com os estudantes.

4.2 O engajamento dos grupos de estudantes no problema experimental em 2015 e 2016

As informações obtidas na análise dos artigos científicos citados pelos dois livros-texto que analisamos para a construção da atividade sugerem que os componentes da via alternativa do complemento são capazes de se ligar inespecificamente a moléculas de natureza diversa, podendo ser proteínas bacterianas, nucleoproteínas, íons metálicos, albumina (Angioi et al., 2016; Dong & Liu, 2016; Kabat & Mayer, 1961; Pillemer et al., 1942). Baseado nisso, nós solicitamos aos estudantes que eles escolhessem suas próprias situações de interesse (condições físicas, reagentes químicos ou material biológico não tóxico e não patogênico) para serem avaliadas pela capacidade de “consumir” (fixar) fatores do complemento. Nós desejávamos que essa estratégia despertasse a curiosidade natural dos sujeitos, já que eles estariam livres para testar substâncias que estivessem presentes nas próprias rotinas pessoal ou acadêmica.

Nos anos de 2015 e 2016 as turmas T1, T2 e T3 executaram a sequência didática investigativa experimental sobre sistema complemento. A estrutura da atividade será descrita a seguir e é dividida em três fases:

Fase I – a base teórica: apresentação do conteúdo e fornecimento da situação-problema norteadora da investigação:

Esta fase desenvolveu-se em duas etapas. A primeira foi a apresentação da teoria sobre o Sistema do Complemento. A segunda etapa foi a apresentação e organização da atividade investigativa para os grupos de alunas e alunos. Nesta etapa foi distribuído o material dos “Cadernos de Laboratório”, além disso a situação-problema, bem como a questão norteadora da investigação foram apresentadas aos estudantes com o auxílio do Datashow (Figura 5):

AULA PRÁTICA: VERIFICAÇÃO DE FENÔMENOS DE INTERFERÊNCIA **NA VIA ALTERNATIVA DO COMPLEMENTO**

Jules Bordet (sec. XIX): eritrócitos podem sofrer lise pelo complemento. Sabendo-se que eritrócitos de coelho não possuem proteção à hemólise pela via alternativa, o que seria esperado, a partir da incubação em situações ideais, dessas células com soro normal de outra espécie de animal?

? Existem fatores (substâncias) que, adicionadas ao soro, são capazes de interferir na lise pelo complemento?

Avaliação da interferência na Via alternativa a partir da lise de eritrócitos de coelho

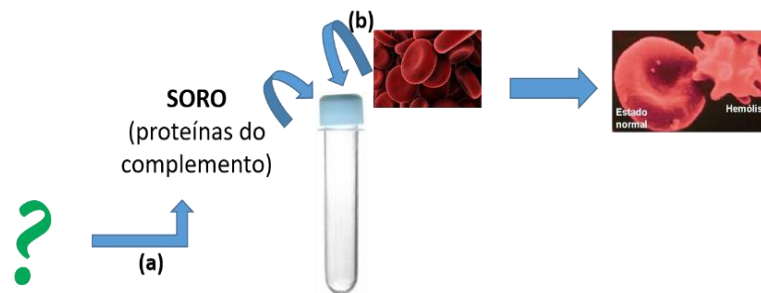


Figura 5: Esquema da situação-problema e da pergunta para a atividade. A adição prévia de uma substância teste ao soro seria capaz de inativar a atividade lítica da via alternativa do complemento? Em (a) representamos a pré-incubação da substância teste com o soro normal de camundongo. Em (b), temos a posterior adição de hemácias de coelho para a verificação dos resultados obtidos e comparação com o esperado.

A partir da substância ou condição física de escolha os grupos de alunas e alunos foram desafiados a gerar a própria pergunta experimental, que deveria abordar uma associação entre a situação de escolha e a questão de investigação apresentada por nós. A pergunta experimental, a hipótese, os resultados esperados e a literatura consultada deveriam ser registrados nos cadernos de laboratório previamente à execução da prática (Figura 6).

| CADERNO DE LABORATÓRIO | |
|---|--------------|
| VERIFICAÇÃO DE INTERFERÊNCIA NA VIA ALTERNATIVA DO SISTEMA DO COMPLEMENTO: | |
| Existem fatores (substâncias) que, adicionadas ao soro, são capazes de interferir na lise pelo complemento? | |
| DISCIPLINA: Imunologia TF1 | DATA: |
| GRUPO: | |
| Qual é a pergunta (dúvida experimental) para avaliação da interação com a cascata do sistema do complemento? | |
| Por que você escolheu testar o reagente em questão? | |
| Qual hipótese foi formulada sobre interação com a cascata do sistema do complemento? | |
| Quais são os reagentes/produtos/meios físicos serão usados na experimentação? Defina as condições, como a concentração em que esse material será utilizado. | |
| Quais são resultados esperados no experimento? Esquematize. | |
| Há algum dado que ajudou a formulação a hipótese? | |
| Houve alguma literatura consultada para formular a hipótese e a pergunta? Qual? | |

Figura 6: Caderno de laboratório – primeira parte: Resumo das comandas para formulação e registro de perguntas experimental, hipóteses, resultados esperados e literatura consultada pelos alunos das três turmas que receberam a sequência do Sistema Complemento, nos anos de 2015 e 2016. Os cadernos de laboratório foram distribuídos durante a Fase I da sequência didático-investigativa sobre sistema complemento. As comandas foram comprimidas em uma única página para facilitar a visualização na figura.

Apenas um grupo escolheu testar uma condição física, a temperatura (G4); os reagentes químicos eleitos e os respectivos grupos de estudantes foram: dois grupos escolheram trabalhar com ácido acético em diferentes concentrações (G1 e G7), albumina (G2), EDTA (G3), ácido salicílico (G5), vodca (G8), perfume (G10), dipirona (G11), bicarbonato de sódio (G12), pó de giz (G14), e cortisona (G15); dos grupos que escolheram trabalhar com material biológico, G6 elegeu a saliva, G9 o leite fermentado e G13, fermento biológico.

Pensando em um dos nossos objetivos, que era proporcionar a imersão dos sujeitos em elementos da prática científica, nós iniciamos as análises pelo exame das questões experimentais, das hipóteses e dos resultados esperados produzidos pelos alunos nos “Cadernos de Laboratório”. Para validar as formulações das práticas científicas nos construtos dos estudantes, nós consideraremos as definições disponíveis na nossa rubrica de práticas

epistêmicas descrita na sessão de metodologia e adaptada de Manzoni-de-Almeida et al. (2016) a partir de Silva (2015). A rubrica define a categoria “fazer questões” para os trechos em que o estudante “cria uma questão experimental relacionada ao problema experimental ou outras questões advindas da pergunta inicial”. Por isso, consideramos válidas somente as perguntas experimentais que relacionassem diretamente a possibilidade de testar os efeitos da adição do reagente eleito no sistema da hemólise mediada por complemento.

Os inscritos nos “Cadernos de Laboratório” (Figura 7) mostraram que cinco dos sete grupos de alunos e alunas na T1 formularam uma pergunta experimental de acordo com as nossas definições, tal como em: “*ao adicionar EDTA ao sangue de coelho o sistema complemento será bloqueado?*” (G3: EDTA). Na turma T2, três dos quatro grupos e na turma T3 todos os quatro grupos formularam uma pergunta experimental como em: “*A dipirona é capaz de se ligar ao complemento?*” (G11: dipirona) e “*Um meio mais alcalino é capaz de desnaturar as enzimas e inativar o sistema complemento?*” (G12: bicarbonato de sódio) (Figura 7A, B e C, respectivamente). Como exemplo de questões experimentais não consideradas válidas, apresentamos: “*o sistema complemento é ideal para a cascata de sinalização?*” (G4: temperatura) e “*Não há questões. A aula foi totalmente esclarecedora*” (G6: saliva).

Para Popper (1972) o conhecimento científico advém de observações planejadas, ou seja, antecedidas por um problema, por especulações e por algum fundamento teórico (Popper, 1972, p. 314). Logo, a construção das hipóteses deve ser precedida das observações, porque isso possibilita selecionar quais observações são potencialmente relevantes para a solução do problema. As observações dos escritos nos “Cadernos de Laboratório” mostraram, entretanto, que algumas hipóteses foram registradas nos campos que originalmente não eram destinados a ela, como por exemplo, na sessão de resultados esperados ou mesmo após a execução do experimento, durante as análises. A categoria de análise de práticas epistêmicas utilizada por nós identifica a prática “elaborar hipótese” quando o aluno “elabora possível explicação para

uma pergunta ou um problema”. Já a prática “fazer previsões” aparece quando o aluno “consegue prever resultados com base em uma hipótese explicativa”. Essas orientações nos permitiram diferenciar hipóteses de resultados esperados, mesmo quando eles eram registrados fora das sessões destinadas para tal.

O levantamento dos escritos referentes às hipóteses (Figura 7 D, E, F) sugere que, também nesse caso, a maioria dos grupos construiu formulações provisórias para serem testadas na fase experimental da atividade. Seis dos sete grupos de T1, todos os grupos T2 e metade dos grupos em T3 formularam hipóteses que especulavam sobre uma possível interferência dos seus reagentes no sistema complemento, por exemplo: “*A proteína CD55 interrompe a cascata do complemento. Age como um inibidor da C3*” (G6: saliva) ou, “*A expectativa é que não haja lise, pois esperamos que a dipirona se ligue ao complemento*” (G11: dipirona) e “*A cortisona se liga ao complemento e inativa o complemento*” (G15: cortisona). Todos os grupos que formularam hipóteses válidas (exceto um, dos seis grupos de T1) afirmaram ter se baseado em algum tipo de dado para construir as formulações: capítulos de livro de Imunologia, aulas de Imunologia ou de outra disciplina, artigos científicos.

Para a análise dos escritos no campo “Quais são os resultados esperados?” (Figura 7) consideramos válidos somente os registros que explicitavam diretamente as previsões dos alunos quanto à possibilidade de hemólise em cada um dos grupos experimentais e controles. A figura 7G mostra que na T1 nenhum grupo formulou resultados esperados de acordo com as nossas expectativas. Já na turma T2 todos os grupos formularam (Figura 7H) e na turma T3 apenas um grupo não formulou resultados esperados (Figura 7I). Nós observamos que os grupos que não formularam resultados esperados acabaram registrando hipóteses naquele campo, sugerindo que a distinção entre esses dois elementos pode não ter sido consolidada durante a atividade.

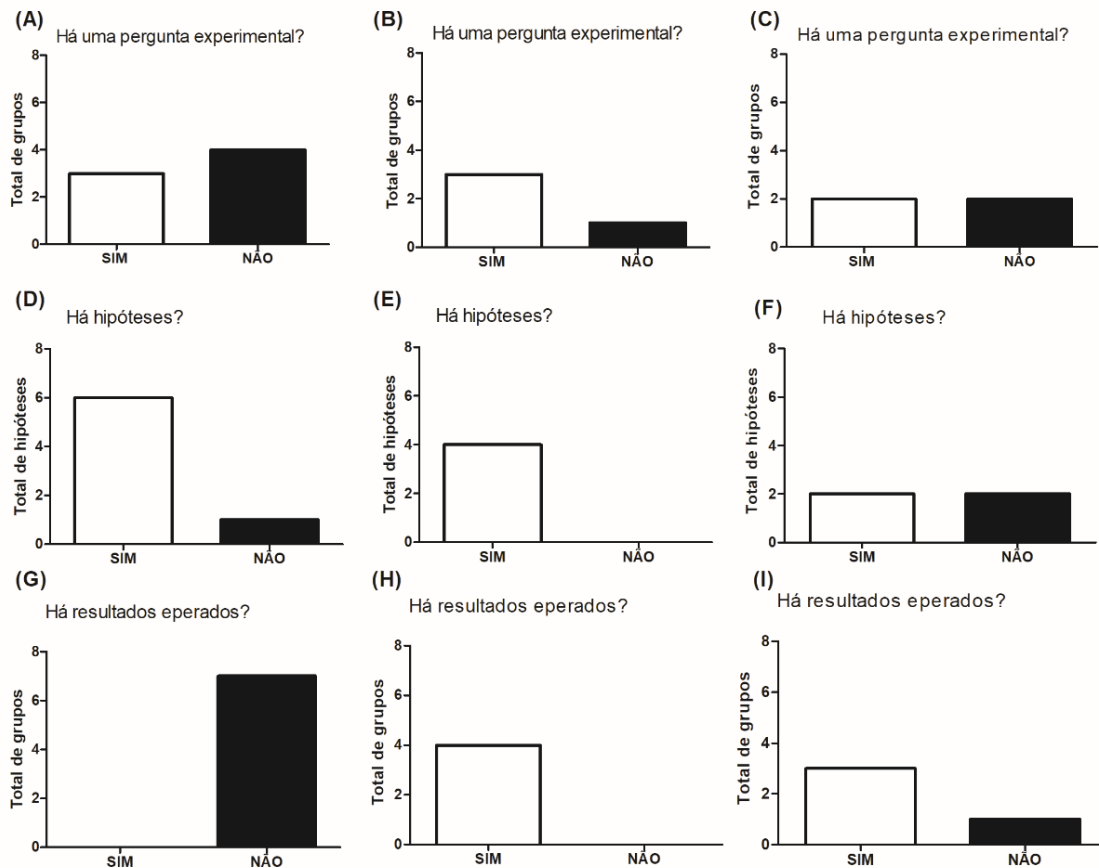


Figura 7: Análise da produção de perguntas experimentais, hipóteses e resultados esperados nos “Cadernos de Laboratório”. Foram analisados 15 relatórios de três turmas (T1, T2 e T3), que fizeram a atividade nos anos de 2015 e 2016. As letras A, D e G se referem às formulações obtidas em T1; B, E, H são referentes às formulações obtidas de T2 e C, F, I se referem às formulações realizadas em T3.

Fase II – a experimentação: aula prática para teste da hipótese e coleta de resultados

Fuller (2008) desenvolve um teste simplificado para a quantificação da lise de bactérias via soro, em sala de aula. Diversas outras metodologias (Angioi et al., 2016; Dong & Liu, 2016; Servais et al., 1991) empregam um método para estimar a atividade hemolítica (ou fixação) *in vitro* pelo complemento em situações de investigação na pesquisa básica e aplicada em Imunologia. Tais ensaios consistem na verificação da capacidade de diversas moléculas em interagir com fragmentos do complemento presentes no soro sanguíneo, ocasionando a inativação das vias clássica ou alternativa (dependendo do método) por meio da formação de

complexos entre antígenos (opsonizados, no caso da via clássica) e complemento. A adição posterior de um segundo sistema, tal como glóbulos vermelhos, evidenciará indiretamente a ocorrência de reação: os eritrócitos permanecerão intactos caso o antígeno de interesse tenha se ligado previamente ao complemento, não sobrando frações livres desse para a formação do Complexo de Ataque à Membrana (Angioi et al., 2016; Pillemer et al., 1942; Servais et al., 1991). Esses trabalhos direcionaram a definição do tema central da sequência didático-investigativa: *análise da interferência na atividade hemolítica da via alternativa do complemento*.

Por meio dessa atividade era esperado que os grupos de estudantes executassem uma série de tarefas complexas:

- Selecionar uma substância ou condição física para avaliar a capacidade dessa em interferir no complemento;
- Elaborar hipóteses sobre a interação da situação de escolha com o complemento;
- Executar o experimento com bases nas orientações contidas no protocolo experimental (em anexo), que consistia na incubação prévia da substância com soro de camundongo em condições ideais. Depois, adicionar volume correspondente dessa solução aos eritrócitos de coelho para avaliar a porcentagem de lise como um indicador indireto do resultado da incubação entre soro e substância-teste (Figura 5, letra a);
- Coletar dados a partir de duas fontes: observação macroscópica dos poços ao fim do ensaio e obtenção de valores de absorvância após leitura em espectrofotômetro (Figura 8);
- Estimar a porcentagem de hemólise por meio do cálculo da atividade hemolítica. Esse cálculo utiliza valores de absorvância dos grupos “100% lise” e “0% lise” (determinados arbitrariamente pelo analista) para estimar a hemólise relativa dos grupos experimentais;
- Partir dos dados numéricos e recuperar particularidades da substância e do contexto experimental para decodificar o significado de cada etapa e assim dar sentido às observações.
- Mobilizar conhecimento teórico para relacionar com as análises e construir argumentos científicos.

No laboratório de ensino as e os estudantes encontraram, além da solução pronta e rotulada, os materiais necessários, como: PBS 1, tampão barbital de sódio, soro normal de

camundongo, soro inativado de camundongo, eritrócitos de coelho 2%, placa de 96 poços, pipetas e ponteiros de volumes variados, além do protocolo experimental (em anexo) com as orientações para proceder às diluições seriadas e os “Cadernos de Laboratório”, onde foram feitos os registros formais da atividade experimental. O protocolo experimental foi construído por nós após a realização de testes prévios do material experimental, baseado em Morgan (2000, p.63). Após a conclusão da prática, os grupos levaram para casa uma fotografia com o fundo da placa após centrifugação para análise qualitativa, juntamente com os dados numéricos gerados após a leitura das placas em espectrofotômetro (Figura 8).

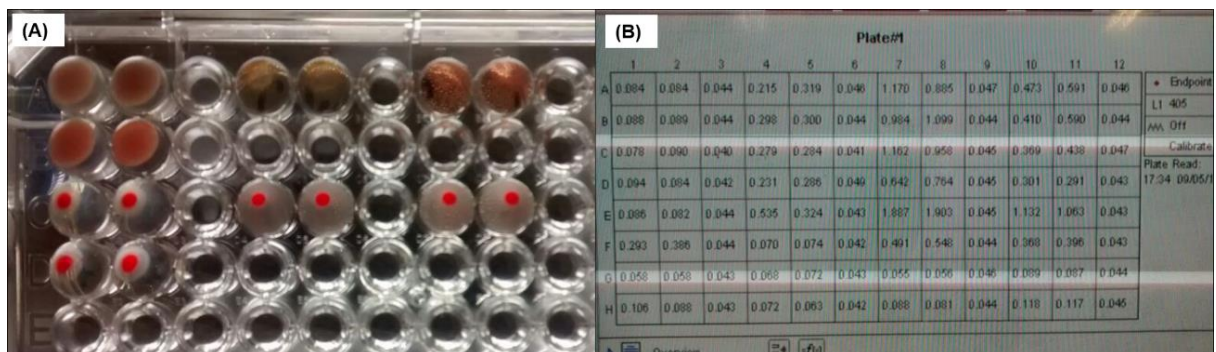


Figura 8: Fotografia do fundo de uma placa após o experimento (A) e dados numéricos brutos obtidas pela leitura de uma placa em espectrofotômetro (B).

Fase III – a construção dos escritos científicos

Os alunos discutiram entre si e com o professor, a fim de refletir sobre como os resultados gerados poderiam responder à pergunta da atividade. Durante a discussão eles foram encorajados a relacionar suas observações qualitativas e quantitativas com as expectativas levantadas antes do experimento (Popper, 1972). Essas reflexões ficaram registradas na segunda parte dos “Cadernos de Laboratório” (Figura 9) para análise dos argumentos escritos e do discurso empregados pelos grupos de estudantes.

| CADERNO DE LABORATÓRIO | |
|---|--------------|
| VERIFICAÇÃO DE INTERFERÊNCIA NA VIA ALTERNATIVA DO SISTEMA DO COMPLEMENTO: | |
| Existem fatores (substâncias) que, adicionadas ao soro, são capazes de interferir na lise pelo complemento? | |
| DISCIPLINA: | DATA: |
| GRUPO: | |
| Descreva a metodologia utilizada no o seu experimento | |
| Registre os dados obtidos durante o seu experimento | |
| Descreva os resultados encontrados durante o seu experimento | |
| Baseado nos seus resultados e nos seus conhecimentos sobre imunologia e sistema do complemento, justifique os resultados encontrados. | |
| Conclua o seu experimento | |

Figura 9: Caderno de laboratório – segunda parte: Quatro comandas foram elaboradas para registro, descrição, justificativa e conclusão dos estudantes durante a análise dos dados, após a fase de experimentação. As comandas foram comprimidas em uma única página para facilitar a visualização da figura.

Um dos nossos objetivos de pesquisa era verificar como os sujeitos determinam o que será considerado conhecimento válido dentro do ambiente de aprendizagem, durante resolução do problema sobre sistema complemento. Latour e Woolgar (1986) apresentam as maneiras como as formas de representação de um fenômeno são utilizadas como material para a argumentação. Eles discutem sobre os diferentes status epistêmicos assumidos por cada uma das inscrições literárias, como por exemplo o incremento epistêmico que há ao se partir de uma tabela para um gráfico. Baseado nisso, para verificar como os estudantes expressaram seus registros, nós analisamos os escritos nos cadernos de laboratório na sessão “registre os dados” (Figura 10).

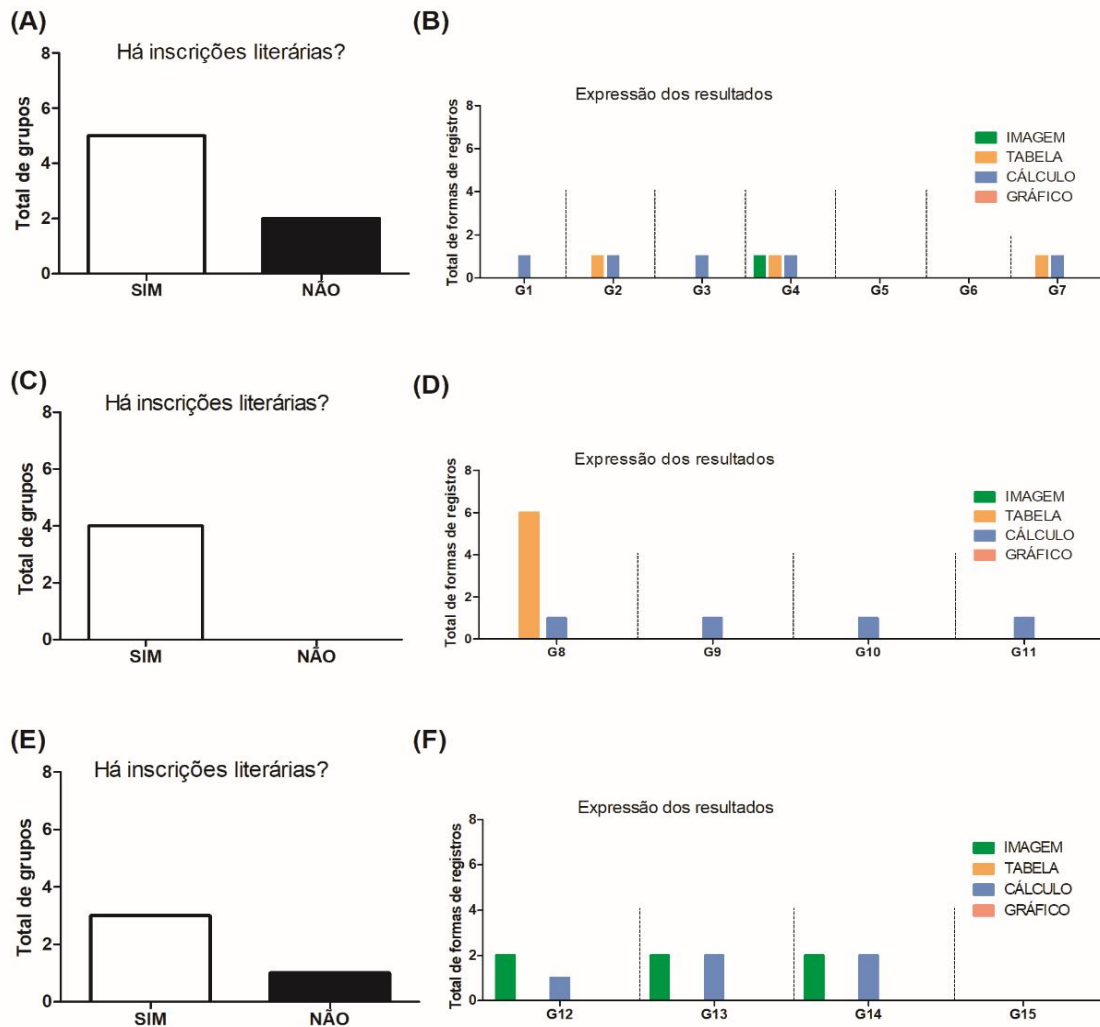


Figura 10: Expressão dos resultados pelos grupos de estudantes das turmas T1, T2 e T3. A presença de inscrições literárias para todos os grupos e os tipos de inscrições realizadas por cada grupo nos “Cadernos de Laboratório” estão representados em, respectivamente, (A) e (B) para T1; (C) e (D), para a turma T2; (E) e (F) para a turma T3. As turmas realizaram a sequência didático-investigativa experimental nos anos 2015 e 2016.

Nós observamos a execução de registros não verbais em cinco, dos sete “Cadernos de Laboratório”, da turma T1 (Figura 10A). Com exceção de gráficos, listamos a presença de tabelas, cálculos e imagens nos cinco grupos que realizaram tratamento dos dados brutos (Figura 10B). Nos cadernos de laboratório de G5 e G6 não houve expressão de resultados por registros não verbais. Em T2 não observamos a presença de gráficos e imagens nos Cadernos de Laboratório em nenhum dos grupos, porém todos expressaram o cálculo da atividade

hemolítica a partir das médias dos valores de absorbâncias (Figura 10C e D). Já em T3, não observamos a presença de gráficos e tabelas (Gráfico 10F) nos três grupos que realizaram o registro de inscrições literárias (Figura 10E). A análise indica que os grupos nas três turmas recorreram predominantemente a cálculo, imagem e tabela como formas de representação, o que pode ser explicado pelo fato de que o último tópico do protocolo experimental continha orientações para a realização do cálculo da atividade hemolítica (protocolo em anexo). Além disso, os estudantes foram orientados pela professora-pesquisadora a levarem consigo fotografias do fundo da placa ao fim do experimento. Entretanto, nenhum dos grupos em nenhuma das três turmas produziu legendas ou numerou as inscrições literárias.

Para verificar se os estudantes articulam o texto e as inscrições literárias no processo de argumentação, nós revisamos os escritos nas três últimas comandas dos “Cadernos de Laboratório”. Os relatórios foram categorizados para verificar a ocorrência de: I) mobilização dos dados para apoiar as observações; II) utilização no texto de todos os dados que tenham sido expressos na sessão de registro. Os relatórios em que detectávamos que todas as afirmações eram apoiadas na descrição das evidências obtidas das inscrições literárias foram incluídos na categoria “sempre”; os que realizavam observações ora apoiadas em evidências e ora não, foram categorizados como “parcialmente” e aqueles que construíram explicações não apoiadas em evidências foram incluídos na categoria “nunca”. O mesmo foi feito para estimar a relação entre a quantidade de dados expressos e a quantidade de dados que foram aproveitados nos argumentos: “sempre” foi utilizado para quando todas as inscrições na sessão de registro tenham sido mobilizadas para a construção dos argumentos, “parcialmente” para os grupos que expressaram inscrições, mas não utilizaram todas informações das inscrições no texto e “nunca”, para os grupos não incluíram nenhuma menção à dados nas explicações (Figura 11).

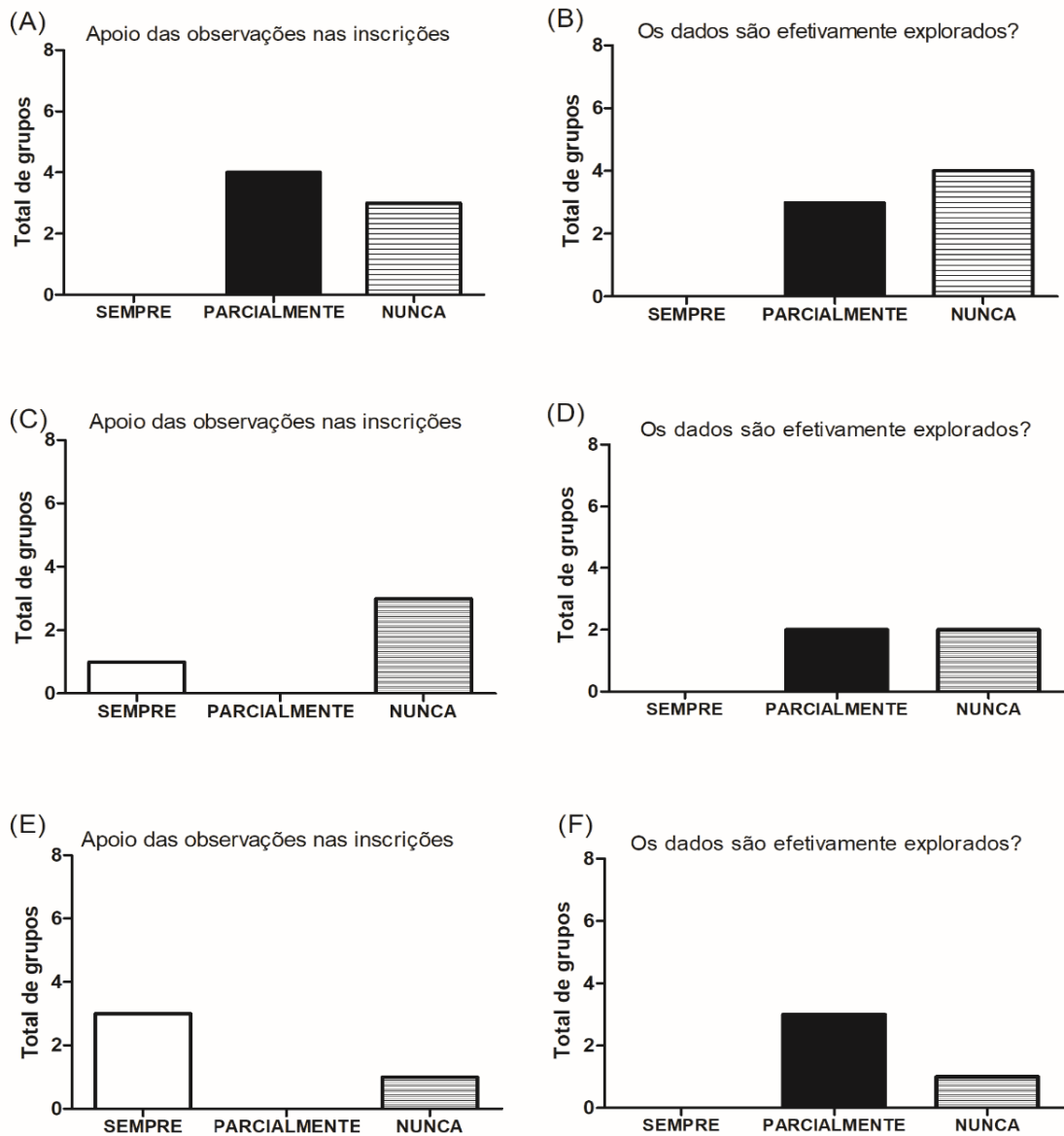


Figura 11: Articulação das inscrições literárias no texto. Em (A), (C) e (E) estimou-se a o número de vezes em que as afirmações eram apoiadas por evidências nas turmas T1, T2 e T3, respectivamente. Em (B), (D) e (F) representamos a estimativa do aproveitamento das inscrições não verbais no texto escrito, para as turmas T1, T2 e T3, respectivamente.

As análises dos escritos dos estudantes nos “Cadernos de Laboratório” sugerem que nem sempre as afirmações estavam apoiadas em evidências. Na turma T1, observamos que quatro grupos mobilizaram evidências para apoiar apenas algumas das observações e três grupos não apresentaram dados para vincular às afirmações. Além disso, nenhum dos grupos utilizou todas as formas de representação realizadas na sessão de registros (Figura 11A e B).

Apenas um grupo na turma T2 articulou os dados produzidos nos escritos das comandas nos “Cadernos de Laboratório” (Figura 11C), mas esse grupo também não explorou todas as inscrições literárias no texto escrito (Figura 11D). O mesmo aconteceu com os três grupos que apoiaram as sentenças nos dados na turma T3 (Figura 11E): nem todas as inscrições literárias foram aproveitadas no texto escrito (Figura 11F).

De acordo com Latour (1987), uma das estratégias empregadas na retórica dos textos científicos é vincular a sentença ao conteúdo das inscrições literárias. Essa é uma maneira de o autor transmitir a ideia de veracidade ao que está sendo dito, eliminando o componente da crença durante a interpretação do leitor. A seguir, apresentamos um trecho extraído do G14, que realizou o movimento de articulação de dados para a construção da sentença.

A) J:5 $\rightarrow \frac{(0,053 - 0,038)}{(0,203 - 0,038)} \cdot 100\% \Rightarrow \frac{0,015}{0,163} \cdot 100\% \Rightarrow 0,092 \cdot 100\% \Rightarrow 9,2\%$

B) J:10 $\rightarrow \frac{(0,072 - 0,038)}{(0,203 - 0,038)} \cdot 100 \Rightarrow \frac{0,034}{0,163} \cdot 100 \Rightarrow 0,20 \cdot 100\% \Rightarrow 20\%$

C) J:20 $\rightarrow \frac{(0,042 - 0,038)}{(0,203 - 0,038)} \cdot 100 \Rightarrow \frac{0,004}{0,163} \cdot 100 \Rightarrow 0,02 \cdot 100\% \Rightarrow 2\%$

D) J:40 $\rightarrow \frac{(0,039 - 0,038)}{(0,203 - 0,038)} \cdot 100 \Rightarrow \frac{0,001}{0,163} \cdot 100 \Rightarrow 0,006 \cdot 100 \Rightarrow 0,6\%$

F) sç teste $\rightarrow \frac{(0,063 - 0,038)}{(0,203 - 0,038)} \cdot 100 \Rightarrow \frac{0,025}{0,163} \cdot 100 \Rightarrow 0,15 \Rightarrow 15\%$ (A)

\rightarrow Quando comparamos a nossa solução teste (para os eritrócitos) houve uma capacidade de 15% de lise, veja as concentrações de J:5 e J:10, como os resultados estão próximos acreditamos que a nossa substância não se liga ao complemento, e sim, tem capacidade de lise as hemácias vizinha. Já nos casos de J:20 e J:40, acreditamos que não houve lise pelo fato das concentrações estarem baixas e não ter teste suficiente para lise as hemácias. (B)

Figura 12: Trecho extraído do “caderno de laboratório” do grupo G14 – sessão “descreva os dados”. Em (A) os estudantes apresentam o cálculo da atividade hemolítica. Em (B) os estudantes mobilizam os valores obtidos em (A) para realizarem suas conclusões a respeito da lise dos eritrócitos.

Os estudantes do G14 testaram a influência do pó-de-giz nos fatores do complemento no soro de camundongo. Ao fim do teste, eles realizaram o cálculo da atividade hemolítica (Figura 12A) e concluíram que a suspensão pó-de-giz era capaz de promover a hemólise independente da ação do complemento. Para isso, os estudantes compararam as porcentagens obtidas nos grupos experimentais ([suspensão pó-de-giz na concentração 1:5, 1:10, 1:20 e 1:40 + soro] + eritrócitos) com a porcentagem do grupo controle “suspensão pó-de-giz + eritrócitos” (Figura 12B).

De maneira interessante, nós observamos que parte dos grupos de estudantes (G3, G5, G6) os quais realizavam conclusões não respaldadas por inscrições literárias, descreviam resultados que pareciam ter sido extraídos da coleta de dados durante a prática, entretanto esses dados não estavam anexos aos “Cadernos de Laboratório”. A figura 13 apresenta um trecho de um relatório em que esse movimento acontece. Os estudantes do grupo G6 testavam a influência da saliva humana nos fatores do complemento. Eles consideraram que a saliva contém proteínas reguladoras da formação da cascata enzimática para hipotetizar que a hemólise seria bloqueada após a incubação do soro de camundongo com saliva.

O grupo, entretanto, não registrou nenhum tipo de inscrição literária, mas concluiu que a hemólise foi interrompida. Essa conclusão foi associada à presença de corpo de fundo na placa, mas a imagem não estava anexa como resultado experimental. Esse fato evidencia as observações de Latour (1987). Quando não há inscrições é necessário confiar no que é afirmado pelo escritor, o que nos sugere que uma importante etapa da prática científica falta a esse argumento para que ele adquira caráter de texto científico. Outro ponto interessante é que o grupo obtém resultados anômalos para a porcentagem de hemólise, os quais estão indicados como números negativos na sessão *descreva os resultados* (Figura 13), mas que não são discutidos em nenhum momento do “caderno de laboratório”.

Registre os dados obtidos durante o seu experimento

Usando sangue de coelho e além de saliva humana (1:5, 1:10, 1:20, 1:40) dispostos hermeticamente em placas de 96 poças (não totalmente usados).

Em um primeiro momento houve uma inibição da saliva com antígenos, logo ao se dispersar os produtos nenhuma alteração na solução ao longo do processo. Ao colocar em contato o sangue e o antígeno não apresentou nenhuma dificuldade de difusão e nenhuma alteração imediata.

Referência às observações macroscópicas do fundo da placa. Essas imagens não foram anexadas ao relatório

Ausência de inscrições literárias

Descreva os resultados encontrados durante o seu experimento

Após centrifugação a leitura feita em observância igual a 414nm, utilizamos os resultados encontrados para descrever o percentual de hemólise de cada diluição.

Percentual de hemólise:

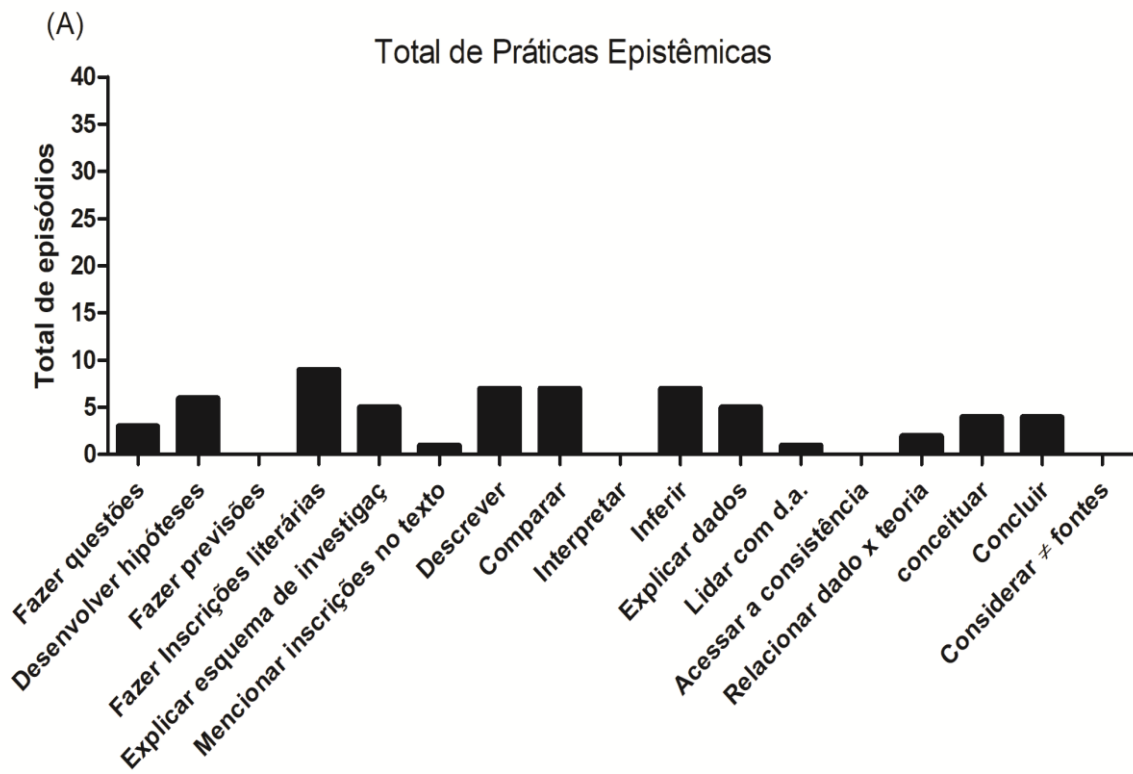
| | |
|------------------|------------|
| 1:5 - -2,2150% | Proporção |
| 1:10 - -11,1111% | → -5,555% |
| 1:20 - -59,2548% | → -29,625% |
| 1:40 - -34,5111% | → -17,255% |

- Visualmente, observou-se que houve formação de corpo de fundo na área reservada para a redução teste, levando a conclusão de que a cascata do complemento foi interrompida pela substância teste (saliva).

Relacionando os valores de resultados observados, pode concluir-se que, apesar da diferença de concentrações da redução teste, houve interrupção da cascata do complemento. As reduções com menor concentração de redução teste, apresentaram maior taxa de lise.

Figura 13: Trecho extraído do “caderno de laboratório” do grupo G6 – sessões “registre os dados” e “descreva os dados”. O grupo faz uso de dados não registrados formular uma explicação para o problema experimental.

Kelly & Duschl (2002) recomendam um ensino que considere as práticas sociais da ciência, ou seja, as práticas epistêmicas. A análise de práticas epistêmicas informa como o conhecimento é construído coletivamente em um determinado contexto. Nós entendemos que a categorização dessas práticas nos escritos dos estudantes nos informa sobre as diferentes maneiras empregadas por eles para explorar recursos para a formação das explicações, e o quanto essas maneiras se aproximam das práticas sociais do conhecimento realizadas durante uma investigação autêntica. Assim, nós realizamos a análise de práticas epistêmicas nos escritos dos estudantes das turmas T1, T2 e T3.



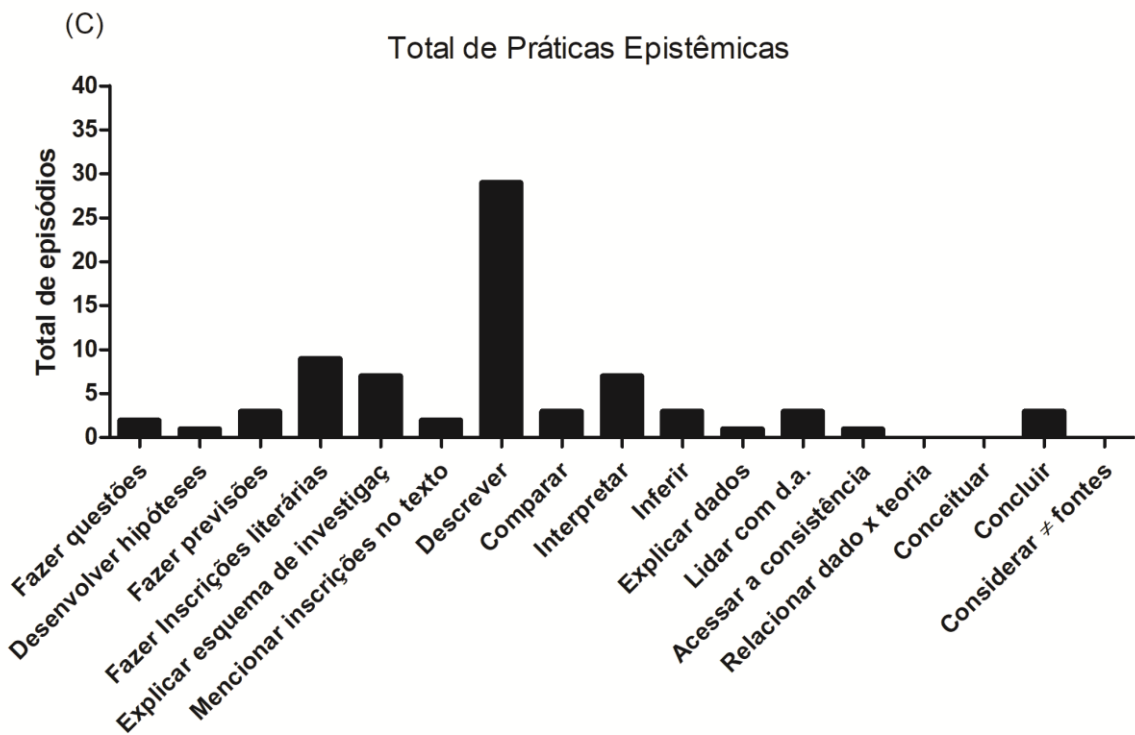
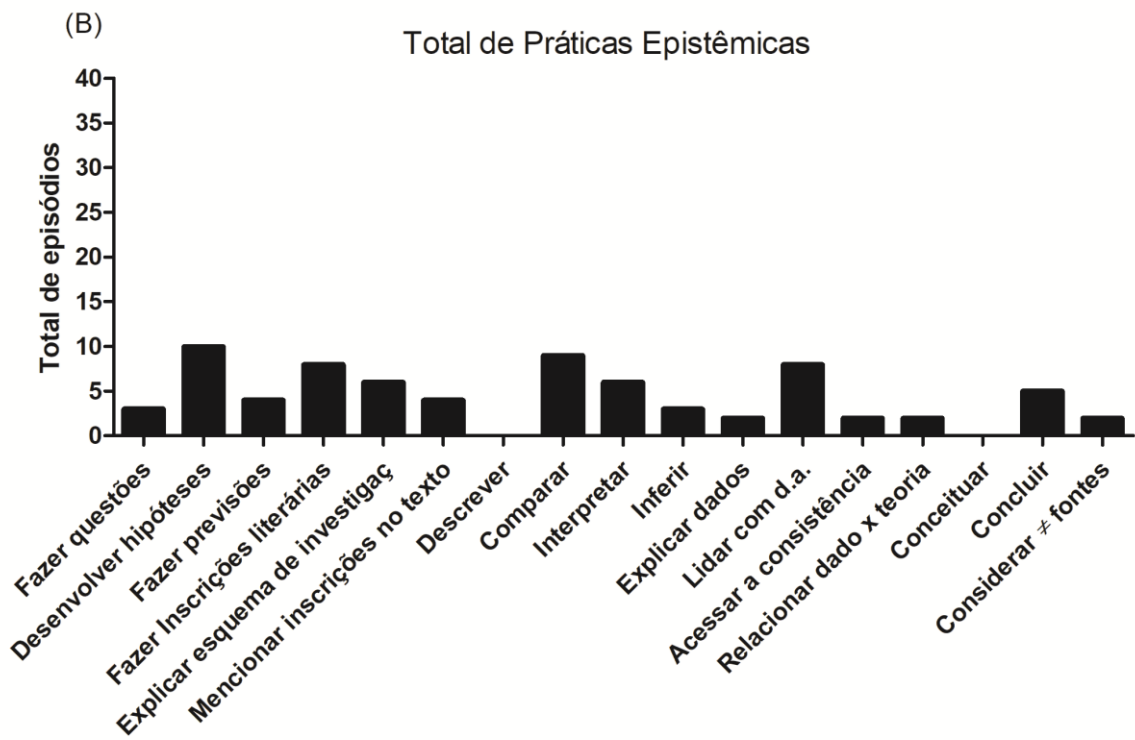


Figura 14: Análise de práticas epistêmicas (P.E.) nos “Cadernos de Laboratório” das turmas T1(A), T2 (B) e T3 (C), utilizando a rubrica descrita na sessão de metodologia. A primeira parte dos “Cadernos de Laboratório” foi percorrida à procura das práticas epistêmicas “fazer questões”, “desenvolver hipóteses” e “fazer previsões”. As demais práticas epistêmicas foram obtidas pela análise da segunda parte dos “Cadernos de Laboratório”. Foram analisados sete “Cadernos de Laboratório” em T1, quatro em T2 e quatro em T3.

A figura 14 revela o aparecimento de diversas categorias de práticas epistêmicas em todas as turmas, sugerindo que os grupos de estudantes se apropriam de práticas científicas relacionadas à atividade experimental durante a confecção dos relatórios. Foi observado que a categoria “descrever” aparece associada à menção às inscrições literárias no texto. Dois grupos, G13 e G14, realizam a descrição de dados em maior quantidade que os demais grupos, influenciando na frequência dessas duas práticas epistêmicas para a turma.

A tabela XI evidencia esse movimento nas sentenças 14 a 18 do “caderno de laboratório” de G14. Além disso, foi observado o aparecimento das práticas epistêmicas “mencionar inscrição no texto”, “comparar” e “inferir”. Esse grupo realiza diversas descrições e comparações entre os valores obtidos do cálculo da atividade hemolítica (que o grupo se confunde ao chamar de “conta de absorbância” ou ainda dá o nome de “absorbância” à porcentagem de lise), nos grupos experimentais e controle, para concluir que o pó de giz tem o efeito de promover hemólise independente de complemento (sentença [19]). Já na sentença [20], o grupo novamente recorre às comparações e ao fato de a solução de pó de giz estar bastante diluída para inferir que o alto fator de diluição pode ter influenciado no resultado do ensaio para esses poços (Tabela XI).

Tabela XI: Análise de práticas epistêmicas em episódios do texto produzido pelo grupo G14, no “caderno de laboratório”. Estão representados trechos das sessões descreva (cujas sentenças estão representadas entre parênteses) e justifique (cujas sentenças estão representadas entre colchetes). As linhas descontínuas da tabela aparecem quando há mais de uma prática epistêmica por sentença. O texto dos estudantes foi transcrito exatamente na forma como foi escrito.

| Sessão no “caderno de laboratório” | Unidade de análise Sentença | Trecho do texto dos grupos de estudantes no “caderno de laboratório” | Prática Epistêmica |
|---|--------------------------------|---|------------------------------|
| Descreva os resultados encontrados no seu experimento | (13) | “Baseado na <i>conta da absorvância</i> feita no tópico anterior, pudemos ter como resultado que:” | Mencionar inscrição no texto |
| | (14) | “No poço de 1:5 a <i>absorvância</i> foi de 9,2%. ” | Descrever |
| | (15) | “No poço de 1:10 a <i>absorvância</i> foi de 20%. ” | Descrever |
| | (16) | “No poço de 1:20 a <i>absorvância</i> foi de 2%. ” | Descrever |
| | (17) | “No poço de 1:40 a <i>absorvância</i> foi de 0,6%. ” | Descrever |
| | (18) | “No poço de ctr + sç teste, a <i>absorvância</i> foi de 15%. ” | Descrever |
| Justifique os resultados encontrados no seu texto | [19] | “A nossa solução-teste (poço F9 – ctrl + sç teste) teve uma capacidade de 15,3% de lise, enquanto que nas concentrações de 1:5 (poço A9 e 10) e 1:10 (poço B9 e 10) tiveram as capacidades de 9,2% e 20,8% de lise, respectivamente, ambos os valores bem próximos do valor da nossa solução-teste (15,3%), | Comparar |
| | | “... e, por esse motivo, acreditamos que a nossa substância não teve a capacidade de se ligar ao complemento e sim, teve a capacidade de lisar as hemácias sozinhas.” | Concluir |
| | [20] | “O mesmo acontece nas concentrações de 1:20 e 1:40, que tiveram capacidade de lise de 2,4% e 0,6%, respectivamente, | Comparar |
| | | “... acreditamos que o que aconteceu nesse caso foi que não houve lise, pelo fato das concentrações da solução-teste estarem baixas demais, não havendo, assim, solução-teste suficiente para lisar as hemácias. ” | Inferir |

Não foram categorizadas práticas epistêmicas para os grupos G3, G5, G6 e G15. Esses quatro grupos não anexaram aos “Cadernos de Laboratório” os dados brutos coletados na aula

prática e também não realizaram representação de dados. Dessa forma, baseado nas definições para um texto científico em que a representação de dados adquire papel de relevo na comunicação de resultados experimentais (Latour, 1987; Latour & Woolgar, 1986); baseado nas definições para práticas epistêmicas (Kelly & Duschl, 2002); e nas definições para cada categoria de práticas epistêmicas na nossa rubrica (metodologia), não foi possível localizar práticas epistêmicas no texto desses grupos. Nós entendemos que quando não há apresentação de dados o texto se distancia de um modelo que apresenta elementos persuasivos típicos do gênero da escrita científica e se aproxima de um texto didático. Esse estilo contém elementos relacionados aos procedimentos necessários para se concluir uma tarefa escolar, que perde o sentido epistêmico à medida que se orienta mais para a construção de uma resposta assertiva e menos para esmiuçar os caminhos que conduziram ao desenvolvimento de uma linha de raciocínio (Jiménez-Aleixandre et al., 2000).

Baseado nas convenções campo-específicas da Imunologia, nós desenvolvemos uma sequência didático-investigativa que tem como foco um elemento central da prática científica da área, o experimento. Já foi observado que os grupos de estudantes mobilizaram práticas sociais do conhecimento relacionadas à prática experimental, mas em termos específicos, como os estudantes articulam essas práticas para a formulação de argumentos fundamentados na retórica científica? Para verificar essa questão, nós procedemos à análise de argumentos pela ferramenta de níveis epistêmicos adaptada de Kelly e Takao (2002) (ver metodologia).

Baseado na natureza da nossa sequência didático-investigativa experimental, nós acrescentamos um critério diretamente relacionado à técnica experimental. O ensaio de fixação do complemento utiliza a hemólise de células de coelho como “segundo sistema”, ou seja, como indicador indireto do resultado da incubação entre os fatores do complemento no soro de camundongo e a substância (ou situação física) eleita pelos estudantes. Portanto, a compreensão do significado do ensaio de fixação do complemento constitui um passo para além da

verificação da ocorrência de hemólise: as evidências sobre a interferência da substância na cascata do complemento não estão disponíveis à primeira vista, porque não são dadas a partir de um resultado obtido diretamente pela técnica. A presença de instâncias afirmativas referentes a esse nível epistêmico evidencia a realização de um percurso mais sofisticado, em que os estudantes mobilizam o conceito da teoria do complemento para retornar, a partir da inscrição literária, em direção à pergunta experimental. Assim, nós estabelecemos que o 4º critério indicativo da qualidade do argumento é a presença de sentenças classificadas no nível epistêmico III (NE III), que corresponde, pelo modelo da Figura 4, à categoria para as afirmações que relacionam a capacidade da situação de escolha em interferir no complemento.

Nós percorremos as comandas *registre os dados; descreva os resultados; justifique os resultados; conclua o experimento*, à procura de trechos passíveis de categorização pelos níveis epistêmicos. Depois, analisamos a qualidade dos argumentos segundo os critérios estabelecidos acima.

A figura 15 mostra a quantidade de afirmações em cada nível epistêmico nos argumentos dos grupos de estudantes das turmas T1, T2 e T3. Para todas as turmas, nós observamos o predomínio de afirmações categorizadas no nível epistêmico I (NEI) e no nível epistêmico II (NEII), que se referem às instâncias particulares das descrições de dados. Também foram categorizadas sentenças no nível epistêmico IV (NEIV) e elas assim eram classificadas quando faziam referência a fatores relacionados ao contexto da prática experimental. Já era esperado que o NEIV aparecesse em todas as turmas, porque as justificativas envolvidas na resolução de um problema experimental demandam a contextualização dos fatores que possam influenciar em um experimento (Tabela IX e Figura 4), das características da substância e também a realização de reflexões sobre as expectativas antes do experimento. Nós observamos que, de forma muito comum, os estudantes retornavam ao contexto experimental (NE IV) para construir sentenças em que era necessário “lidar com dados anômalos” – uma prática epistêmica

que apareceu diversas vezes nos relatórios dos estudantes. Em relação ao NEIII, sentenças nesse nível epistêmico foram categorizadas para os grupos G1, G4, G6, G7, G8, G11, G14 e G15 (Figura 15 A, B, C).

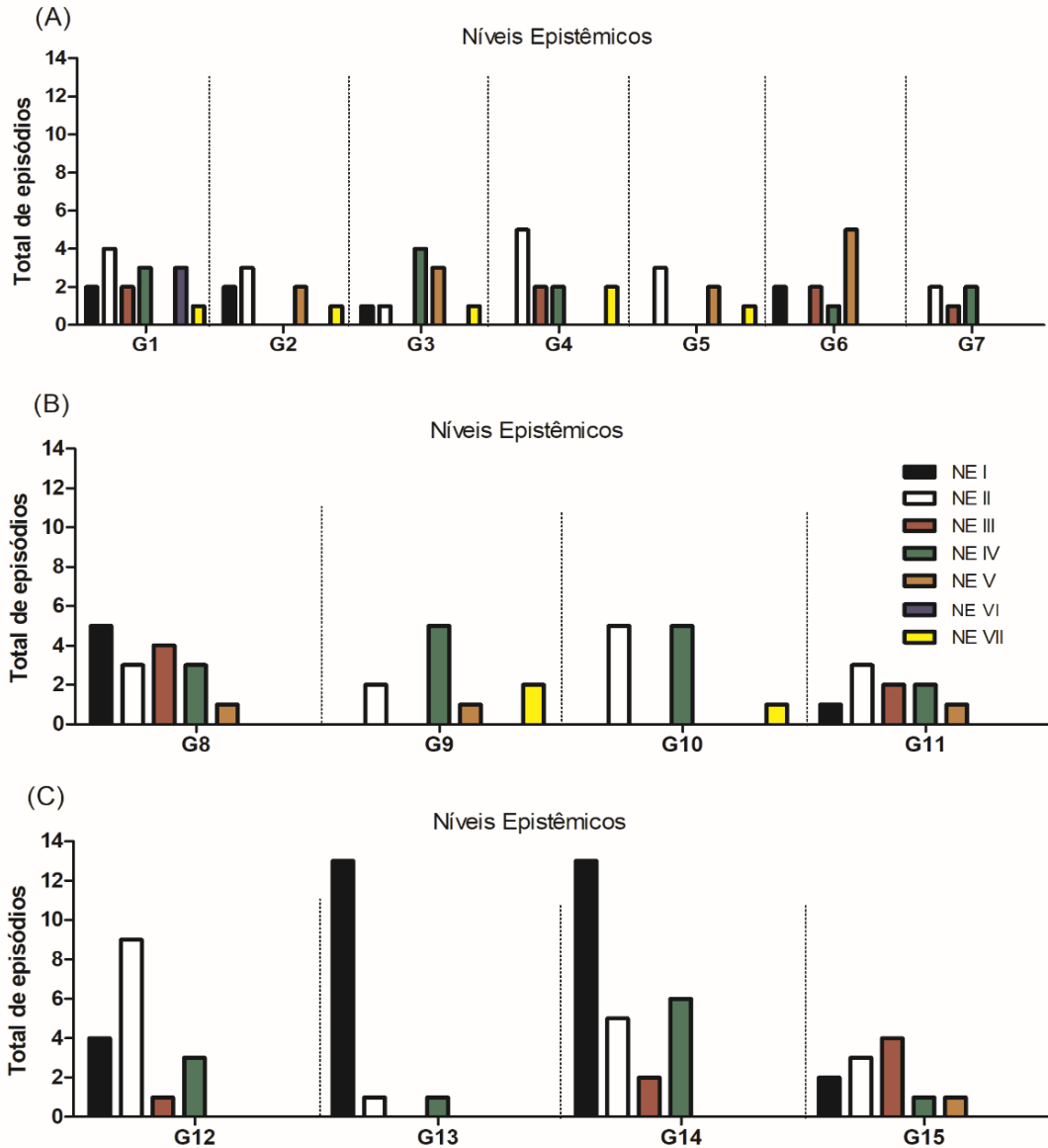


Figura 15: Quantidade de trechos categorizados para cada um dos 7 níveis epistêmicos levantados durante a análise de argumentos nos “Cadernos de Laboratório”. Em (A) a estimativa para a turma T1, em (B) para a turma T2 e em (C) para a turma T3.

Para ilustrar a análise, nós apresentamos a estrutura da argumentação obtida do grupo G8 na tabela XII. Uma vez que esse grupo utilizou tanto a sessão *registre* quanto *descreva* para

| | | | |
|------|---|-----|----------------------------------|
| [2] | “O grupo controle soro inativado mais hemácia era esperado como o grupo negativo (sem lise) | IV | Interpretar |
| | no entanto, observamos valores altos de absorvância | I | |
| | Significando maior chance de obtenção de lise. ” | II | |
| [3] | “Nossa hipótese é que houve uma troca dos grupos na hora da centrifugação. ” | IV | Lidar com dados anômalos |
| [4] | “ <u>Devido a esse</u> erro, optamos por considerar novos grupos controles, observando os valores obtidos na centrifugação: o grupo negativo (sem lise) - solução teste + hemácia e o grupo positivo (100% lise) - soro mais hemácia. ” | IV | Explicar esquema experimental |
| [5] | “Analisando os resultados que obtivemos, alguns pontos nos levam a crer que | III | Acessar a consistência dos dados |
| | o álcool se ligou ao complemento, <u>entre eles:</u> ” | | Inferir |
| [6] | “A diferença entre a absorvância no controle positivo (com o complemento intacto) na mesma concentração do grupo com teste e complemento, | I | Comparar |
| | indicando que o teste teria efeito de inibir a lise das hemácias.” | II | Interpretar |
| [7] | “A proximidade do valor de absorvância do teste e do controle negativo (sem lise).” | I | Comparar |
| [8] | “ <u>No entanto</u> , outros pontos nos levam a crer que | III | Acessar a consistência dos dados |
| | o teste não se ligou ao complemento, <u>como:</u> ” | | Inferir |
| [9] | “Os instrumentos utilizados não possuíam a precisão numérica necessária, levando a valores de controle questionáveis.” | IV | Lidar com dados anômalos |
| [10] | “A diferença entre o controle positivo e o teste na concentração 1:5 é tão pequena, | I | Comparar |
| | que pode ser considerada irrelevante.” | | Interpretar |
| [11] | “A natureza molecular da ligação do complemento com outras moléculas” | V | Relacionar dado e teoria |
| [12] | “ <u>Portanto</u> , o teste foi inconclusivo.” | III | Concluir |

Para aferir sobre a relação semântica entre as afirmações ao longo dos níveis epistêmicos, nós localizamos a presença de conectivos que relacionem as sentenças, conforme feito em Kelly e Takao (2002). Esses conectivos podem dar noção de adição, adversidade,

conclusão, causa e efeito e são localizados pela presença de termos como “além disso”; “porém”; “e”; “entretanto”; “devido a”, etc. A figura 16 mostra um esquema da estrutura de argumentação do G8, com explicitação das relações semânticas entre as sentenças, por meio das linhas, ao longo dos níveis (conforme modelo da Figura 4). O grupo realiza a distribuição das sentenças ao longo de diversos níveis, com o uso constante de conectivos entre elas. Isso pode ser observado no trecho seguinte, em que o conectivo foi grifado: [5] “*Analisando os resultados que obtivemos, alguns pontos nos levam a crer que o álcool se ligou ao complemento, entre eles.*”. O emprego desse conectivo relaciona a sentença [5] com as sentenças [6] e [7], nas quais são descritas as evidências que apoiam a afirmação em [5].

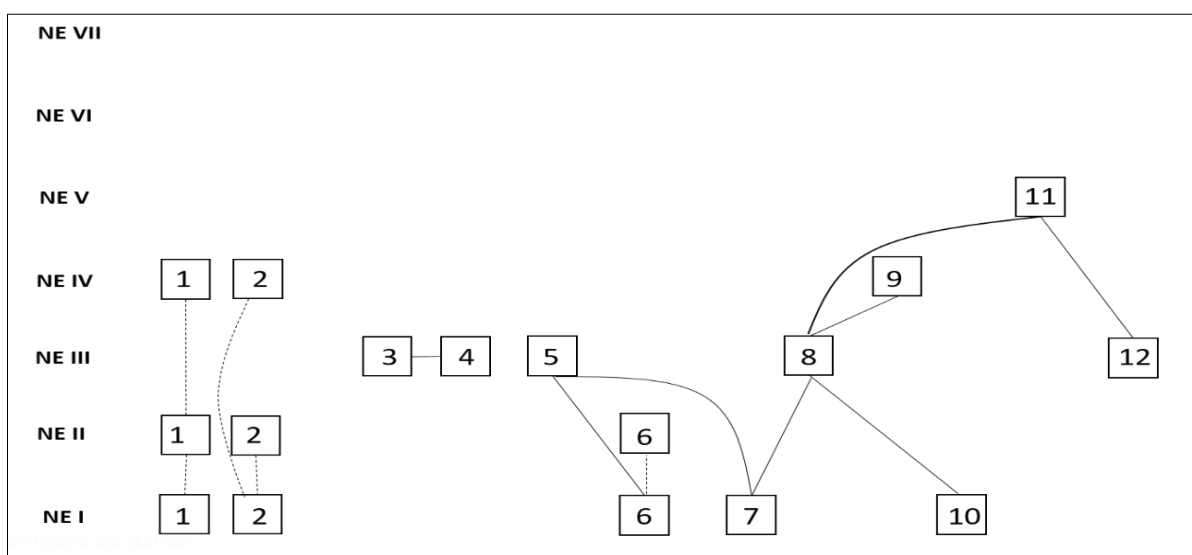


Figura 16: Esquema com a estrutura da argumentação para o grupo G8, em que as afirmações foram posicionadas em seus respectivos níveis epistêmicos. Linhas contínuas representam a presença de conectivos entre as sentenças ao longo dos níveis epistêmicos. Linhas pontilhadas representam a conexão dentro de uma mesma sentença ao longo de diferentes níveis epistêmicos, nesse caso específico pode haver uso de conectivos ou não. Todas as sentenças foram obtidas das sessões justifique e conclua, por isso estão representadas dentro de quadrados. Não foram categorizadas afirmações nos níveis epistêmicos VI e VII nesse grupo.

A tabela XIII apresenta a distribuição geral das proposições dos estudantes, ao longo dos 7 níveis epistêmicos. Nós categorizamos 38 afirmações no NEI e dessas, 34 estavam localizadas nas comandas registre e descreva. Entretanto, a maioria das proposições nesse nível

foi registrada em apenas dois relatórios, G13 e G14 (26 proposições), o que explica o alto desvio padrão na estatística para essa categoria. O nível epistêmico com maior número de registros para essas turmas foi o NEII, onde categorizamos as instâncias em que os estudantes se referiam a presença/ausência de lise (50 proposições). Nós observamos que tanto os grupos que realizaram inscrições literárias quanto os grupos que não mobilizaram dados no texto, tendiam localizar as afirmações nessa instância de generalização. O NEIV foi o terceiro nível epistêmico com maior número de proposições categorizadas (38 proposições), com predomínio nas sessões justifique e conclua. Nós observamos um total de 16 afirmações para o nível epistêmico V (NEV), todas nas comandas justifique e conclua. Os níveis epistêmicos com menor número de proposições categorizadas foram o nível epistêmico VII (NEVII) (8 proposições no total) e o nível epistêmico VI (NEVI) (3 proposições).

Tabela XIII: Análise estatística da distribuição das proposições dos estudantes nos “Cadernos de Laboratório”. Foram analisados 15 relatórios das turmas T1, T2 e T3.

| NE | Comandas | Total de afirmações | Média | Desvio-Padrão |
|------------|---------------------|----------------------------|--------------|----------------------|
| I | Registre; Descreva | 38 | 2,533333 | 4,405624 |
| | Justifique; Conclua | 7 | 0,466667 | 1,355764 |
| II | Registre; Descreva | 32 | 2,133333 | 1,959106 |
| | Justifique; Conclua | 18 | 1,2 | 0,861892 |
| III | Registre; Descreva | 3 | 0,2 | 0,414039 |
| | Justifique; Conclua | 18 | 1,2 | 1,521278 |
| IV | Registre; Descreva | 13 | 0,866666 | 1,302013 |
| | Justifique; Conclua | 24 | 1,6 | 1,242118 |
| V | Registre; Descreva | 0 | 0 | 0 |
| | Justifique; Conclua | 16 | 1,066667 | 1,437591 |
| VI | Registre; Descreva | 1 | 0,066667 | 0,258199 |
| | Justifique; Conclua | 2 | 0,133333 | 0,516398 |

| | | | | |
|------------|---------------------|---|----------|----------|
| VII | Registre; Descreva | 1 | 0,066666 | 0,258198 |
| | Justifique; Conclua | 8 | 0,533333 | 0,743223 |

Para exemplificar afirmações categorizadas nos NEV e NEVII, a tabela XIV esquematiza um trecho do “caderno de laboratório” do grupo G2 (sessão justifique os dados encontrados).

Tabela XIV: Categorização em níveis epistêmicos da argumentação obtida das sessões justifique os resultados, do “caderno de laboratório” do grupo G2. Os níveis epistêmicos foram categorizados em cada sentença do texto dos estudantes e estão apresentados em articulação com as práticas epistêmicas correspondentes.

| Unidade de análise (Sentença) | Trecho do texto dos grupos de estudantes no “caderno de laboratório” | Nível epistêmico | Prática epistêmica |
|-------------------------------|--|------------------|----------------------------------|
| [3] | “A via alternativa do sistema complemento foi escolhida para ser testada porque não precisa da presença de anticorpos, facilitando a realização do experimento.” | V | Explicar esquema de investigação |
| [4] | “O seu mecanismo efetor é baseado na interação entre várias proteínas que se ligam à membrana da célula que reagiu positivamente com o complemento, desencadeando a desativação da cascata de sinalização do complemento com consequente formação de um complexo de ataque à membrana (MAC) que ocasiona a lise celular pela formação de poros.” | V | Conceituar |
| [5] | “Inicialmente, o grupo havia formulado duas hipóteses:” | - | - |
| [6] | “Interação do leite fermentado com as proteínas do sistema complemento” | IV | Hipotetizar |
| [7] | “A influência da concentração da solução teste na atividade hemolítica das proteínas do sistema complemento” | IV | Hipotetizar |
| [8] | “A partir da análise dos resultados, foi possível comprovar a veracidade de ambas as hipóteses; já que como demonstrado nos resultados apresentados, os componentes do leite fermentado realmente interagiam com o sistema complemento (Não houve hemólise) (...)” | VII | Concluir |
| [9] | “Isso é afirmado, ao observar que nos poços de maior concentração houve menor taxa de atividade hemolítica, e esse percentual aumentou gradativamente à medida que as concentrações da solução teste foram reduzidas.” | VII | Interpretar |

O grupo inicia a sessão pela mobilização de conhecimento da teoria do complemento (NEV), nos trechos [3] e [4], para situar o leitor do porquê da escolha da via alternativa (explicar esquema de investigação) e introduzir um conceito teórico sobre o funcionamento da via (conceituar). O grupo recupera duas hipóteses, nos trechos [6] e [7] (NEIV: hipotetizar), com as quais tentará relacionar os resultados obtidos. No trecho [8] é possível observar esse movimento, entretanto, o grupo retira conclusões incompatíveis com os dados, quando afirma “(...) como foi demonstrado nos resultados apresentados, os componentes do leite fermentado realmente interagiram com o sistema complemento (não houve hemólise) (...)”. A figura 17 mostra os cálculos da atividade hemolítica na sessão *descreva os resultados*. O grupo obtém 85% de atividade hemolítica nas maiores concentrações, o que sugere o justamente o oposto, que houve baixa interação da substância com o complemento.

- **Descreva os resultados encontrados durante o experimento**

Após a leitura feita no espectrofotômetro, com os resultados obtidos, foram feitos os cálculos da atividade hemolítica, que considera as médias dos valores de absorvância (Abs) da solução teste, solução sem lise (soro inativado) e solução com 100% de lise (água) seguindo a seguinte fórmula:

$$Y = \frac{[(Abs^{SC\ TESTE} - Abs^{SC\ SEM\ LISE}) / (Abs^{SC\ 100\% \ LISE} - Abs^{SC\ SEM\ LISE})] \times 100\%}{}$$

1) 1:5

OBS: O valor de atividade hemolítica foi desconsiderado, pois possivelmente houve erro de pipetagem ou um maior tempo de espera.

2) 1:10

$$Y = \frac{[(0,088 - 0,0483) / (0,09475 - 0,0483)] \times 100\%}{}$$

$$Y = \frac{[(0,0397) / (0,04645)] \times 100\%}{}$$

Y = 85,46% de atividade hemolítica

3) 1:20

$$Y = \frac{[(0,0765 - 0,0483) / (0,09475 - 0,0483)] \times 100\%}{}$$

$$Y = \frac{[(0,0282) / (0,04645)] \times 100\%}{}$$

Y = 60,71% de atividade hemolítica

4) 1:40

$$Y = \frac{[(0,0625 - 0,0483) / (0,0475 - 0,0483)] \times 100\%}{}$$

$$Y = \frac{[(0,0142) / (0,04645)] \times 100\%}{}$$

Y = 30,57% de atividade hemolítica

Figura 17: Trecho extraído do “caderno de laboratório” do grupo G9 – sessão “descreva os resultados”. Os grupos realizam o cálculo da atividade hemolítica a partir das medidas de absorvância obtidas pelo experimento.

Um apanhado do perfil geral dos relatórios produzidos pelos estudantes engajados na nossa atividade evidencia a formulação de uma argumentação de estrutura relativamente curta (em torno de 10 sentenças ou menos) distribuídas ao longo das quatro últimas comandas do caderno de laboratório. Na estrutura de argumentação desses estudantes há a articulação de

práticas científicas, as práticas epistêmicas, apenas quando eles recorrem à mobilização de inscrições literárias para dar apoio às afirmações.

Entretanto, há relatórios onde não é observado o registro de inscrições literárias (G5, G6, G15), ou alguns casos em que as inscrições literárias produzidas não são mobilizadas no texto escrito, em momento algum (G1, G7), o que confere às afirmações um caráter de abstração que reduz a confiabilidade naquilo que é dito. Outro ponto interessante é que alguns grupos parecem expressar intensa preocupação em produzir afirmações que corroborem as expectativas ou a autoridade da literatura científica. Essa preocupação chega a ser tão expressiva em alguns grupos, que eles produzem conclusões que não podem ser corroboradas pelos dados (G9 e G10). Em todos os exemplos citados nesse parágrafo, parece haver uma maior preocupação com o conteúdo das afirmações que com a explanação do raciocínio gerador dessas afirmações, o que nos leva a concluir que, quando essas características estão presentes, a escrita se afasta do estilo da escrita científica. Ainda assim, argumentos de qualidade foram produzidos. Em G8 observamos a produção de 12 sentenças, as quais transitam ao longo de diferentes níveis epistêmicos em um processo de seleção de evidências e refinamento de raciocínio, com a mobilização de importantes práticas epistêmicas. Esse movimento sugere o desenvolvimento de pensamento científico pelos componentes desse grupo.

4.3 O engajamento dos estudantes no problema experimental após a inclusão de uma etapa na sequência didático-experimental sobre sistema complemento

A sequência investigativa experimental aplicada para T1, T2 e T3 não incluía a apresentação de um modelo que oportunizasse aos estudantes discutir com base em dados sobre os mecanismos de fixação do complemento, previamente à realização do experimento. Portanto, a interpretação dos resultados nessas turmas foi baseada predominantemente em formulações pessoais. Nós observamos, assim, que cerca de 45% desses relatórios se distancia

do científico por não realizar importantes etapas relacionadas à representação de dados e ao uso de evidências na escrita argumentativa. Para as turmas T4, T5, T6 e T7, nós resolvemos inserir esse modelo por meio da apresentação de artigos científicos sobre complemento. A questão que nos impelia era: a inserção da etapa de discussão dos artigos motivaria mudanças no perfil das formulações escritas dos estudantes?

Fase I – a base teórica: apresentação do conteúdo e fornecimento da situação-problema norteadora da investigação:

Baseado nas observações da figura 11 e com o objetivo de promover o incentivo à representação de dados e à mobilização desses dados e de conceitos teóricos nos escritos dos “Cadernos de Laboratório”, nós acrescentamos uma etapa na *fase I*. A primeira aula dessa fase foi dada como nas turmas anteriores, a proposta experimental foi apresentada e o caderno de laboratório foi distribuído para os grupos. Na aula seguinte (programada nos cronogramas para acontecer após intervalo de um mês da primeira aula), cada grupo de estudantes deveria apresentar um artigo científico, conforme descrito na metodologia. Ao fim dessa aula, os “Cadernos de Laboratório” foram devolvidos à professora-pesquisadora com a primeira parte (Figura 6) preenchida. A atividade foi aplicada em quatro turmas no ano de 2018 (T4 à T7).

A análise dos cadernos de laboratório das turmas T4 à T7 evidencia a escolha de substâncias diversas, de natureza biológica: hemolinfa de caramujos do gênero *Biomphalaria* (obtidas do departamento de parasitologia do ICB/UFMG a partir de animais sem infecção) (G16), sangue de cordeiro (G21), leite desnatado (G23), cerveja (G26), extrato de boldo (G27), leite integral (G29), saliva (G32), mel (G35), camarão (G36). Também verificamos a escolha de material de natureza química: glicose (G17 e G40), vitamina C (G18), ácido acético (G19), água sanitária (G20), ácido clorídrico (G22), albumina (G24), etanol (G25), aspirina (G28), Marevan (G30), óleo de coco (G31), Ibuprofeno (G33), lactose (G34), EDTA (G37), NaOH (G38), FeCl₂ (G39). Não verificamos a escolha de situações físicas para teste em nenhuma das quatro turmas.

O exame das questões experimentais, das hipóteses e dos resultados esperados revela que todos os grupos construíram perguntas experimentais e hipóteses válidas (Figura 18 A, B, D, E, G, H, J, K). Três grupos de T4 (Figura 18 C) e um grupo de T7 (Figura 18 L) não formularam resultados esperados conforme a expectativa. Para esse grupo, nós novamente detectamos o registro de hipóteses nessa comanda. Entretanto, o perfil geral dos cadernos de laboratório nessa fase da análise evidencia que a maioria dos grupos de estudantes realizou o registro de resultados esperados, sugerindo que a etapa de instrução por meio de artigos científicos foi importante para clarificar a diferença entre hipótese e resultados esperados.

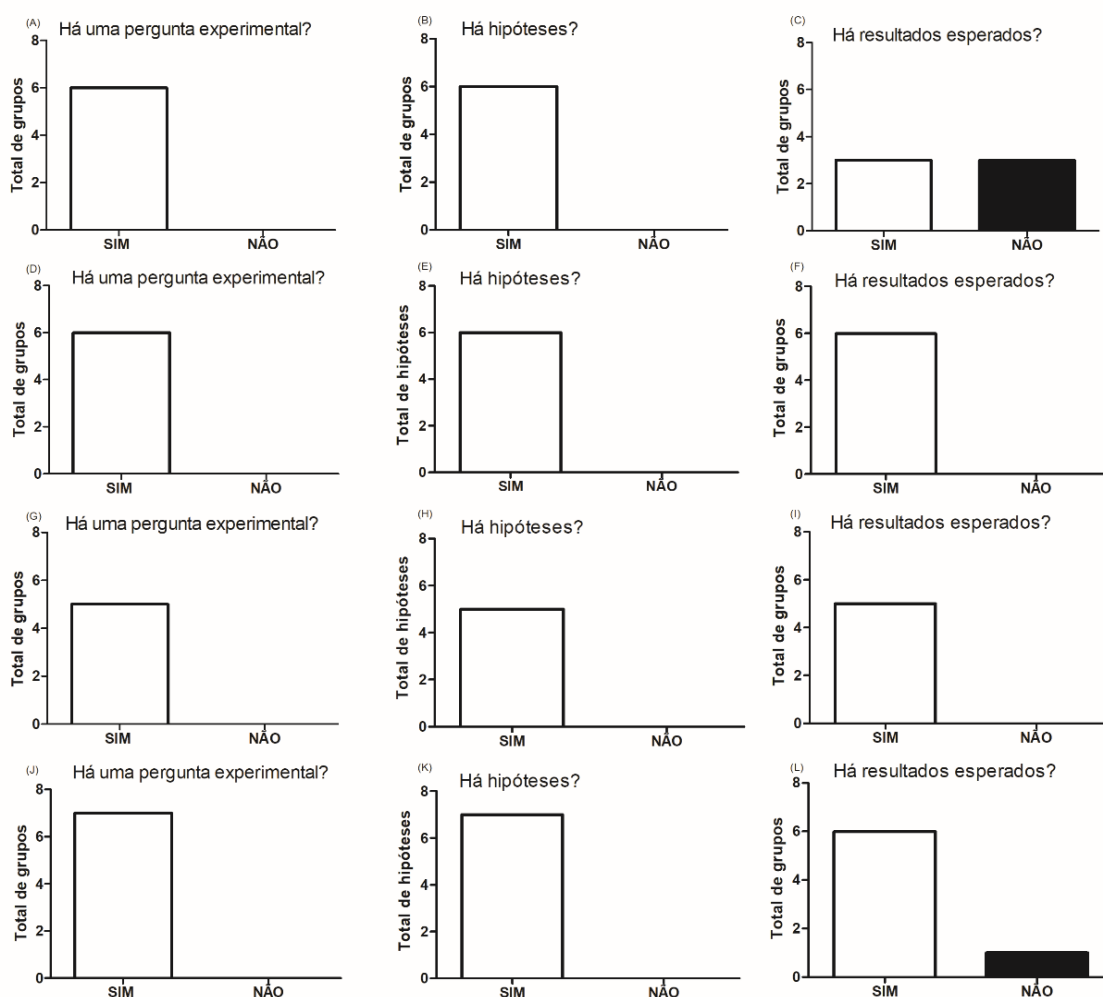


Figura 18: Análise da produção de perguntas experimentais, hipóteses e resultados esperados nos “Cadernos de Laboratório”. Foram analisados 21 relatórios de quatro turmas (T4, T5, T6 e T7), que fizeram a atividade no de 2018. As letras A, B e C se referem às formulações obtidas em T4; as letras D, E, F são referentes às formulações obtidas de T5; as letras G, H, I se referem às formulações realizadas em T6; as letras J, K, L se referem às formulações realizadas em T7.

A *fase II* foi realizada exatamente como descrito para as turmas anteriores. No dia do experimento os alunos receberam de volta os “Cadernos de Laboratório” e também o protocolo experimental. Todos os grupos de estudantes concluíram a coleta de dados e levaram para casa uma fotografia do fundo da placa e os dados numéricos das medidas de absorbância.

Fase III – a construção dos escritos científicos

Para verificar como ocorreu a expressão de registros na análise dos dados brutos, nós percorremos os “Cadernos de Laboratório” à procura de inscrições literárias (figura 19). Assim como nas turmas anteriores, a maioria dos grupos analisados realizou o registro de inscrições literárias (Figura 19 A, C, E, G). Porém, para essas turmas, nós observamos um aumento na quantidade e no tipo de inscrições literárias (Figura 19 B, D, F, H), corroborando a hipótese de que a apresentação de artigos científicos auxiliaria na representação de dados pelos estudantes. Com exceção de dois grupos (G21 e G27), todos realizaram a expressão dos dados em pelo menos um tipo de inscrição literária, com predomínio de imagem, cálculo e tabela. Diversos grupos, ainda, realizaram a confecção de tabelas e gráficos para incrementar a representação de dados (Figura 19).

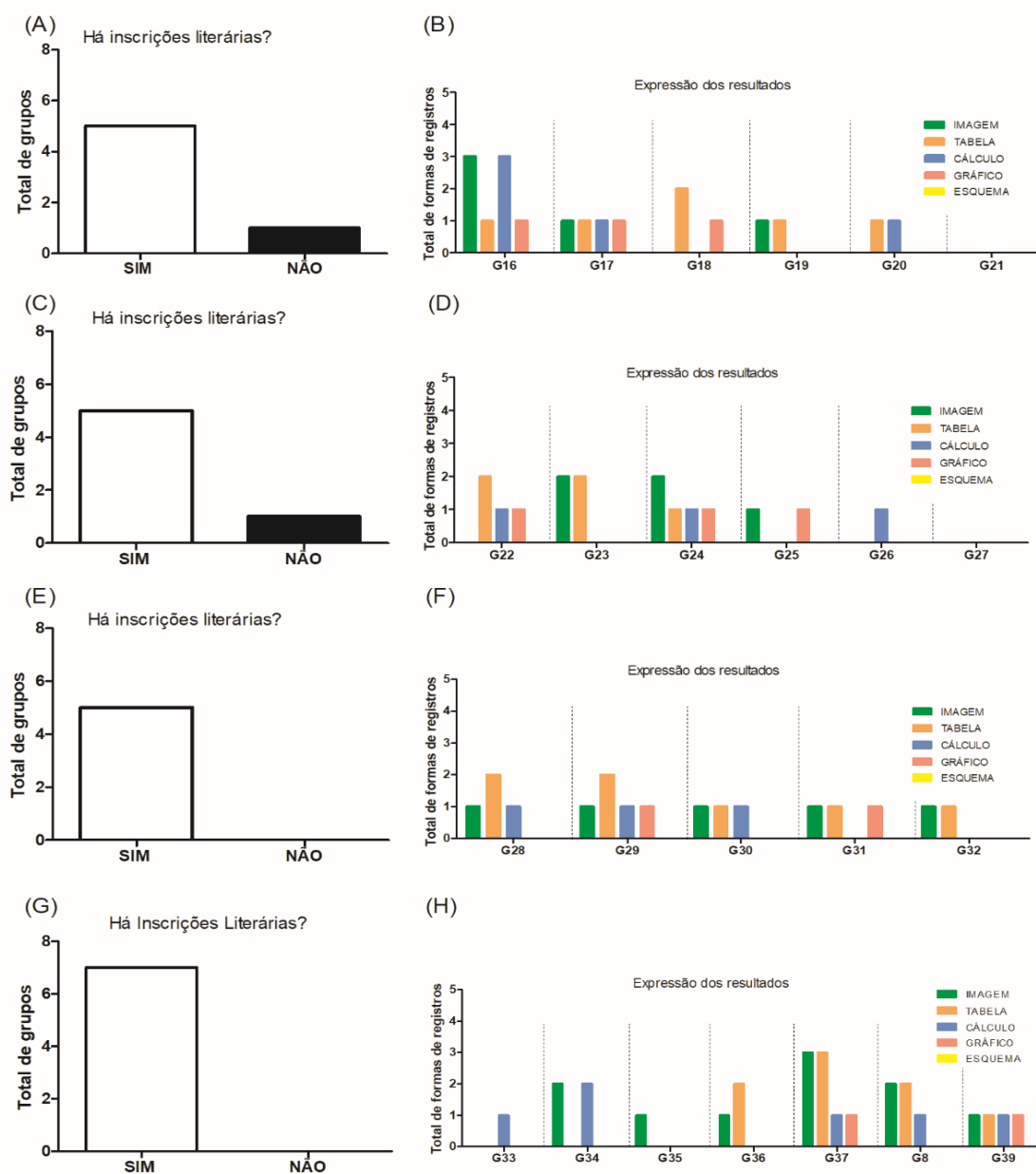


Figura 19: Expressão dos resultados pelos grupos de estudantes das turmas T4 a T7. A presença de inscrições literárias para todos os grupos e os tipos de inscrições realizadas por cada grupo nos “Cadernos de Laboratório” estão representados em, respectivamente, (A) e (B) para T4; (C) e (D), para a turma T5; (E) e (F) para a turma T6; (G) e (H) para a turma T7. As turmas realizaram a sequência didático-investigativa experimental no ano de 2018.

Dos grupos que construíram inscrições não-verbais, nós observamos que elas estavam identificadas por números e legendas nos grupos G16, G17, G22, G23, G24 e G25; Em T6, todos os grupos elaboraram legendas para seus registros não-verbais. Na turma T7, quatro grupos elaboraram legendas e numeraram as figuras (G36 à G39). A figura 20 esquematiza exemplos de inscrições literárias formuladas no “caderno de laboratório” por G16:

9- Registre os dados obtidos durante o seu experimento.

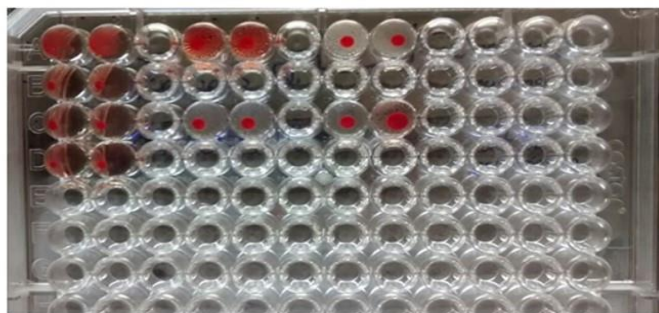


Figura 3: Placa de 96 poços. Resultados do experimento.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|-------|---|----|----|----|
| A | 0,284 | 0,192 | | 0,703 | 0,841 | | 0,042 | 0,050 | | | | |
| B | 0,158 | 0,208 | | | | | | | | | | |
| C | 0,218 | 0,309 | | 0,042 | 0,047 | | 0,160 | 0,239 | | | | |
| D | 0,314 | 0,229 | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | |
| G | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | |

Figura 4: Tabela de valores de absorbância

$$1:10: \frac{0,263 - 0,046}{0,772 - 0,046} = 0,298 \times 100\% = 29,8\%$$

$$1:100: \frac{0,271 - 0,046}{0,772 - 0,046} = 0,309 \times 100\% = 30,9\%$$

Figura 7: Cálculo de atividade hemolítica do teste 1:10 e 1:100.

Observação: Média de absorbância 100% lise = Controle eritrócito + Solução Teste
Média de absorbância SEM lise = Controle eritrócito + Soro Normal

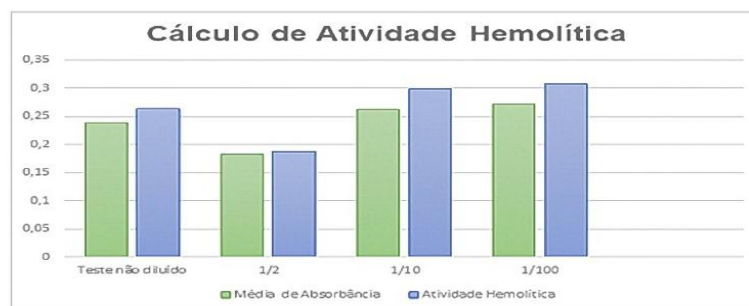


Gráfico 1: Cálculo de Atividade Hemolítica

Figura 20: Exemplos de escritos não-verbais obtidos no relatório G16. O grupo utilizou diversas formas de representação de dados na sessão “registre os dados” dos “Cadernos de Laboratório”, durante a análise do experimento, em 2018.

Para verificar como aconteceu a articulação entre os registros não-verbais e o texto verbal, nós revisamos as três últimas sessões dos “Cadernos de Laboratório” à procura de trechos que mobilizassem evidências das inscrições literárias. Os “Cadernos de Laboratório”, foram, então, categorizados como nas turmas anteriores (Figura 11). A figura 21 mostra o perfil de articulação das inscrições não-verbais para as quatro turmas:

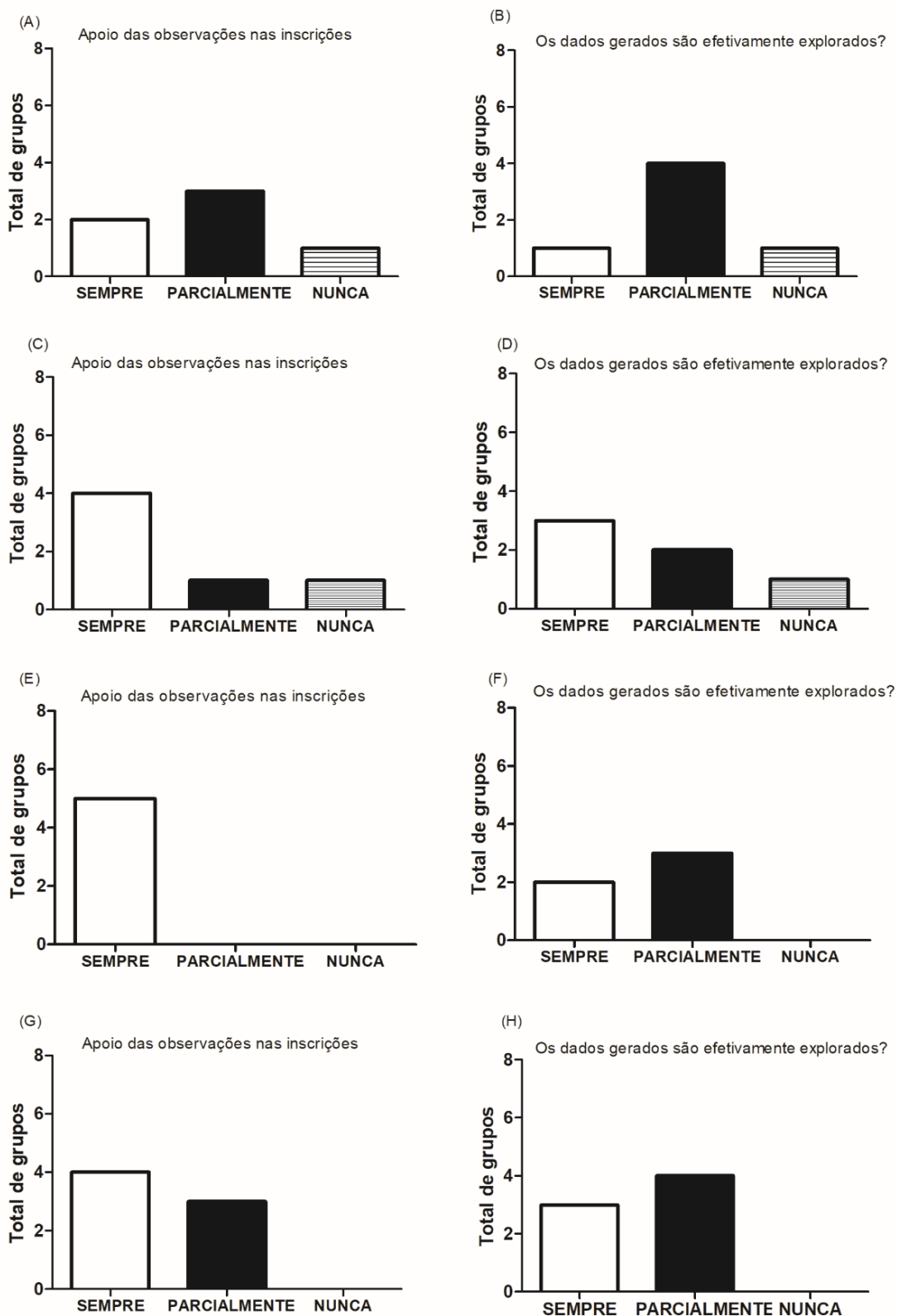


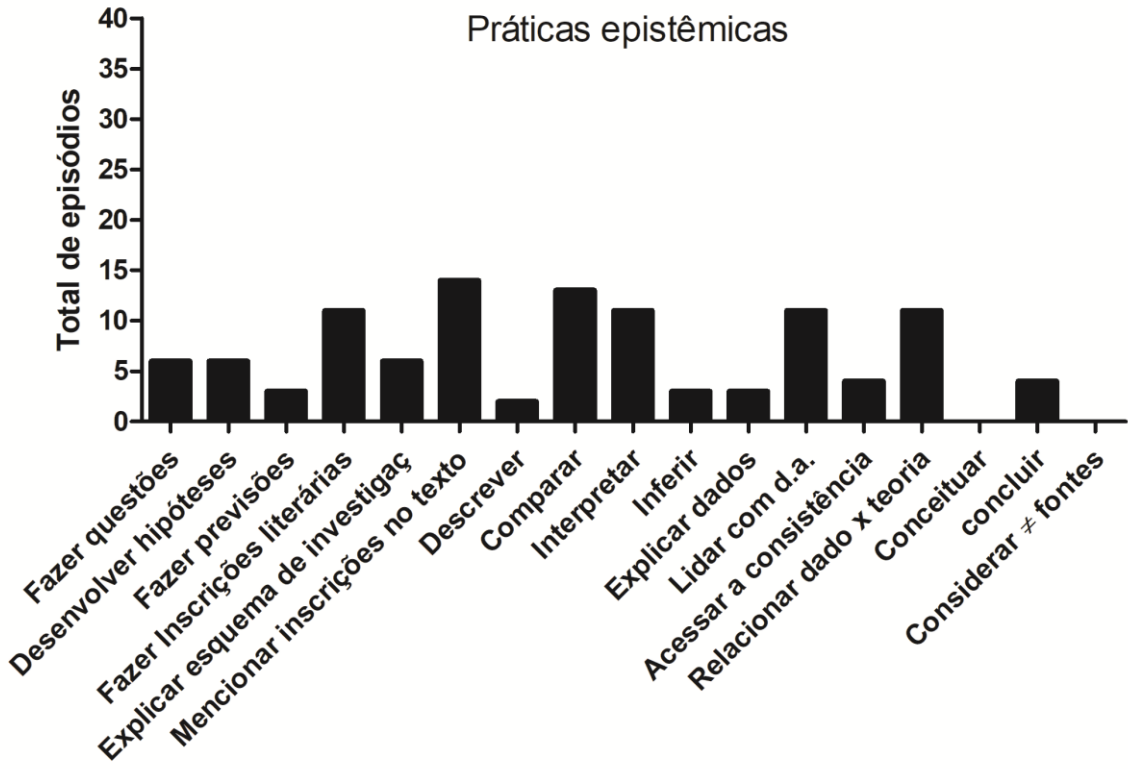
Figura 21: Articulação das inscrições literárias no texto. Em (A), (C), (E) e (G) estimou-se o número de vezes em que as afirmações eram apoiadas por evidências nas turmas T4, T5, T6 e T7, respectivamente. Em (B), (D), (F) e (H) representou-se a quantidade de inscrições utilizadas no texto em relação a quantidade de inscrições produzidas, para as turmas T4, T5, T6 e T7, respectivamente.

A análise dos escritos produzidos pelos estudantes evidencia que dois grupos da T4 basearam todas as conclusões em inscrições literárias (Figura 21A), mas apenas um aproveitou a informações de todas as inscrições literárias no texto (Figura 21 B). Dessa turma, o grupo G21 não produziu inscrições literárias (Figura 19), portanto foi caracterizado em “nunca” durante a nossa revisão para verificar se eles mobilizavam dados de apoio às conclusões (Figura 21 A). Para T5, cinco grupos apoiaram todas as conclusões em dados (Figura 21 C), mas desses, apenas três aproveitaram todos os resultados na formulação do texto escrito (Figura 21 D). O grupo categorizado em “nunca” foi o G27, que não formulou inscrições não-verbais (Figura 19). Todos os grupos de T6 utilizaram, mesmo que parcialmente, dados para fundamentar o texto (Figura 21 E), mas apenas dois deles mobilizaram todas as informações das inscrições não-verbais nos escritos verbais (Figura 21 F). Com relação a T7, todos os grupos realizaram articulação de dados, mesmo que parcialmente (Figura 21 G), mas novamente a maioria dos grupos não aproveitaram todas as inscrições literárias durante a formulação dos escritos verbais (Figura 21 H). Essas observações sugerem que a compreensão da representação de dados como um componente essencial da retórica científica (Latour, 1987) e não como um recurso didático-ilustrativo, demanda uma abordagem que fomente uma imersão mais profunda dos estudantes nessa etapa da escrita científica.

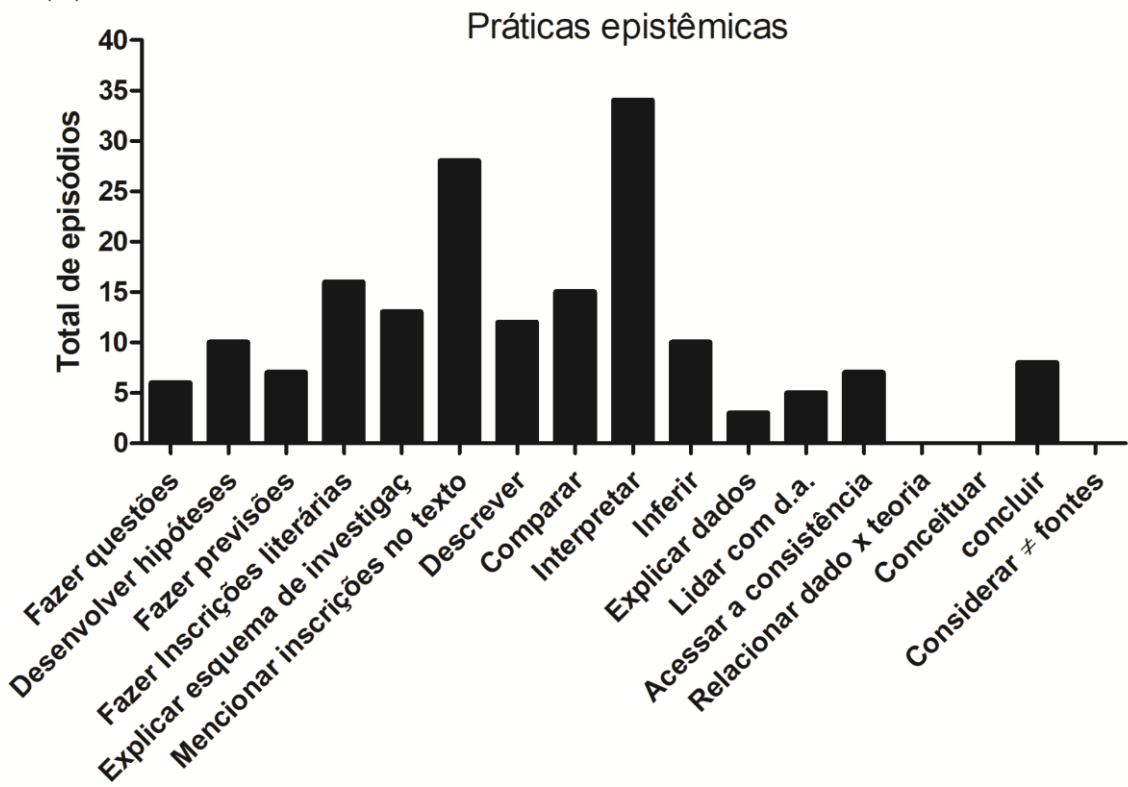
Para verificar se os escritos dos estudantes contêm trechos onde é possível se detectar a mobilização de práticas que se assemelham às práticas sociais da ciência, nós procedemos a análise de práticas epistêmicas nos escritos dos cadernos de laboratório. Nós observamos a presença de práticas epistêmicas em todos os grupos de todas as quatro turmas, com exceção de G21 e G27, os quais não anexaram nenhum tipo de registros não-verbais na sessão “registre os dados”. Quando o autor não utiliza a dados explicitamente registrados, é difícil saber se a afirmação corresponde ao fenômeno observado, por isso optamos por suprimir os dois relatórios dessa etapa de análises. A figura 22 esquematiza todas as categorias de práticas epistêmicas

obtidas nos “Cadernos de Laboratório” em cada uma das quatro turmas analisadas. Nós observamos, em relação às turmas anteriores (T1, T2, T3), o surgimento de um maior número de práticas epistêmicas. Outro fato importante é que parece haver uma tendência de predomínio de práticas epistêmicas que estão relacionadas a articulação dos próprios dados no texto (mencionar inscrições no texto, descrever, comparar, interpretar), em relação àquelas em que se mobiliza aporte teórico- conceitual (relacionar dados e teoria, conceituar).

(A)



(B)



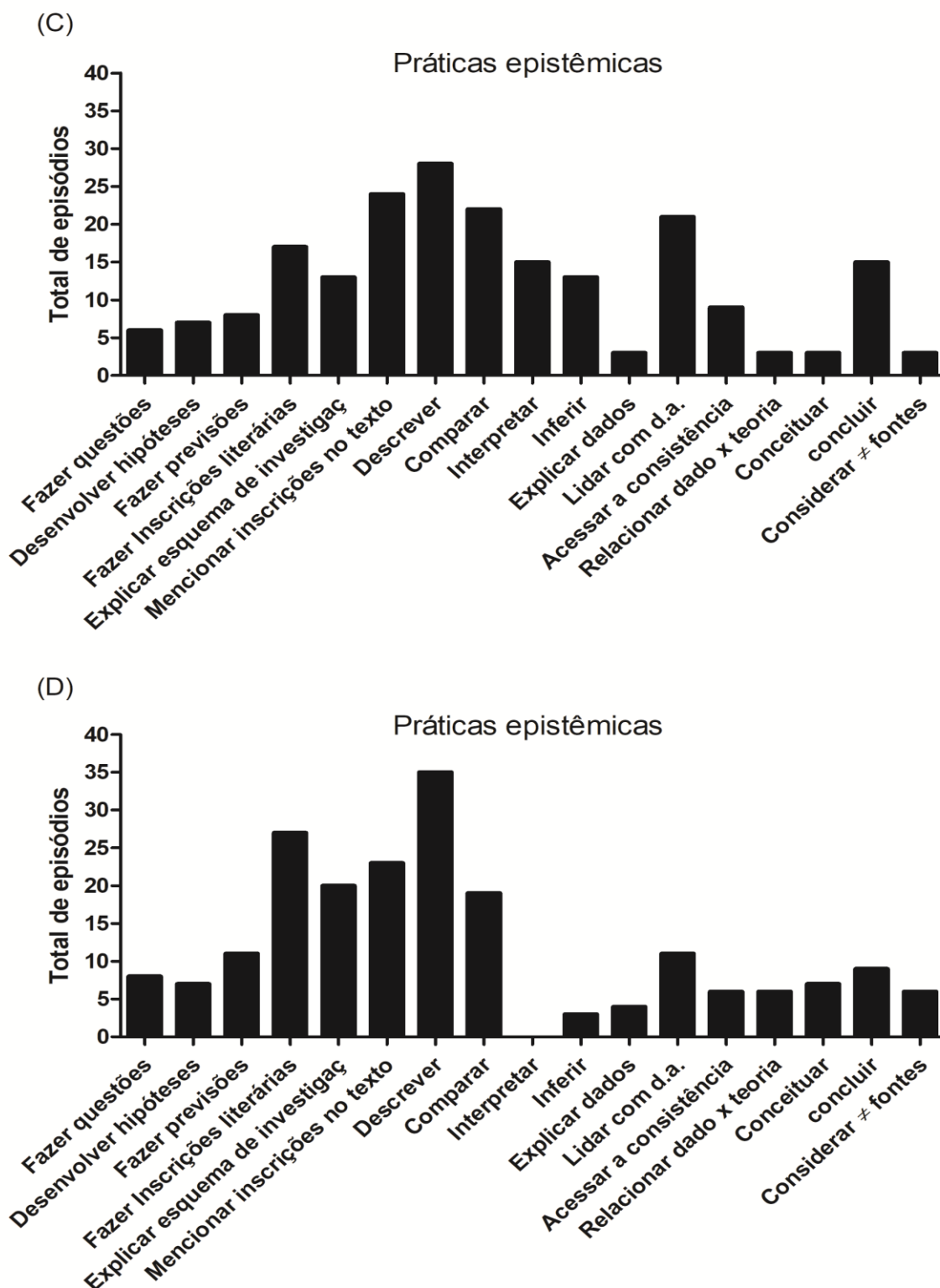


Figura 22: Análise de práticas epistêmicas nos “Cadernos de Laboratório” das turmas T4(A), T5(B), T6(C) e T7 (D), utilizando a rubrica descrita na sessão de metodologia. A primeira parte dos “Cadernos de Laboratório” foi percorrida à procura das práticas epistêmicas “fazer questões”, “desenvolver hipóteses” e “fazer previsões”. As demais práticas epistêmicas foram obtidas pela análise da segunda parte dos “Cadernos de Laboratório”. Foram analisados seis “Cadernos de Laboratório” para T4 e seis outros para T5, cinco para T6 e sete para T7.

Durante a análise dos “Cadernos de Laboratório”, nós encontramos evidências de que os grupos desenvolvem uma linha de raciocínio científico para explicar os dados na argumentação. Para exemplificar essa observação, na tabela XV nós selecionamos trechos da sessão *justifique*, no “caderno de laboratório” de G38. O grupo utilizou o conhecimento de uma reação química entre hidróxido de sódio e íons de magnésio para hipotetizar que o precipitado de hidróxido de magnésio, produto dessa reação, impossibilitaria a conclusão da cascata do complemento, por retirar íons de magnésio da disponibilidade na solução.

Após o teste da hipótese na aula experimental o grupo produziu as análises, nas quais nós categorizamos ao todo 41 sentenças (nas sessões *descreva os dados*, *justifique os resultados* e *conclua o seu experimento*). Alguns trechos apresentados na tabela XV evidenciam a ocorrência de intensa discussão, com mobilização de diferentes fontes de dados (sentenças [18] e [28]), com a realização de inferências baseadas em suporte teórico (sentenças [19-22]) e com a seleção de evidências (sentenças [28] e [29]). As práticas epistêmicas categorizadas para esse grupo são apresentadas articuladas à análise de argumentos, a partir da categorização das sentenças em níveis epistêmicos (conforme foi feito para as turmas T1 à T3). É possível observar que as afirmações transitam por diferentes níveis de generalidade, buscando apoio tanto nos dados (sentenças [18], [21], [28]) e resultados esperados (sentença [22]), quanto nas asserções teóricas gerais (sentenças [19], [20]).

Tabela XV: Análise de argumentos articulada à análise de práticas epistêmicas em trechos do texto produzido pelo grupo G38, na sessão *justifique* do “caderno de laboratório”. As linhas descontínuas da tabela aparecem quando há mais de um nível epistêmico ou mais de uma prática epistêmica por sentença. Os conectivos que relacionam duas sentenças diferentes estão grifados. O texto dos estudantes foi transcrito exatamente na forma como foi escrito.

| Unidade de análise Sentença | Trecho do texto dos grupos de estudantes no “caderno de laboratório” | Nível Epistêmico | Prática Epistêmica |
|--------------------------------|---|------------------|--------------------|
| [18] | “Analisando os dados obtidos percebeu-se que, ao contrário do que era esperado, o hidróxido de sódio não impediu a lise pelo complemento, | III | Concluir |

| | | | |
|------|--|-----|--|
| | já que não houve a precipitação de hemácias nos grupos experimentais, | I | Explicar dados |
| | além de que nesses grupos, o valor da absorvância foi elevado.” | | Considerar diferentes fontes |
| [19] | “Buscando-se saber o porquê <u>deste</u> resultado inesperado, conclui-se que o caráter fortemente básico do NaOH, sobressaiu-se sobre a sua capacidade de reagir com o íon magnésio.” | VI | Relação dado e teoria |
| [20] | “ <u>Devido a esse</u> caráter o NaOH tende a corroer os tecidos, e isso inclui as células, como as hemácias.” | VI | Relação dado e teoria |
| [21] | “ <u>Destá forma</u> , ao entrar em contato com as soluções testes, essa base teve a ação de corroer as hemácias, provocando sua lise.” | II | Inferir |
| [22] | “ <u>Isso</u> fez com que sua possível reação com o íon magnésio (cofator do sistema complemento), não fizesse efeito no experimento.” | IV | Inferir |
| [27] | “No grupo controle eritrócito + soro normal, que se trata de uma mistura de eritrócitos de coelho e soro normal de camundongo, era de se esperar que houvesse bastante lise, devido a presença do sistema complemento no soro. ” | IV | Fazer previsões |
| [28] | “De acordo com a imagem no fundo da placa após a centrifugação não pode-se concluir <u>isso</u> , | II | Explicar dados a partir de diferentes fontes |
| | já que houve grande precipitação de hemácias, entretanto, conforme o resultado da espectrofotometria, que apresentou alto valor de absorvância, | I | |
| | obteve-se o resultado esperado. ” | II | |
| [29] | “ <u>Como dito anteriormente</u> , o resultado do teste de espectrofotometria é mais confiável e conclusivo, já que se trata de um teste quantitativo.” | VI | Acessar a consistência do dado |
| [38] | “ <u>A partir de tudo o que foi discutido anteriormente</u> pode-se concluir que o hidróxido de sódio não foi capaz de interferir diretamente na lise pelo complemento da forma como se esperava anteriormente.” | III | Concluir |

A figura 23 apresenta a estrutura de argumentação para esse grupo, com as sentenças distribuídas entre os níveis epistêmicos e os conectores entre as sentenças. É possível observar que o grupo distribui uniformemente as sentenças nos diferentes níveis epistêmicos e que estabelece relação semântica entre elas. Além disso, há afirmações no NEIII, o que evidencia que mesmo diante de dados que não corroboram a hipótese, os estudantes realizaram a cadeia

de raciocínio que recupera as motivações que conduziram a realização do experimento. Dessa forma, os argumentos produzidos pelo grupo estão de acordo com as nossas expectativas, tanto em termos estruturais, quanto em relação às práticas científicas (Tabela XV e Figura 23). Similarmente, os escritos dos grupos G16, G23, G24, G25, G28, G29, G32, G35, G39 também mobilizam diferentes práticas epistêmicas para formular argumentos em diversos níveis de generalidade, sendo considerados por nós como relatórios de boa qualidade. Entretanto, nós não observamos a presença de sentenças categorizadas no NEIII nos “Cadernos de Laboratório” de G16, G28, G35 e G39 (Figura 24), reforçando que interpretar resultados de natureza indireta não é uma habilidade trivial para os estudantes.

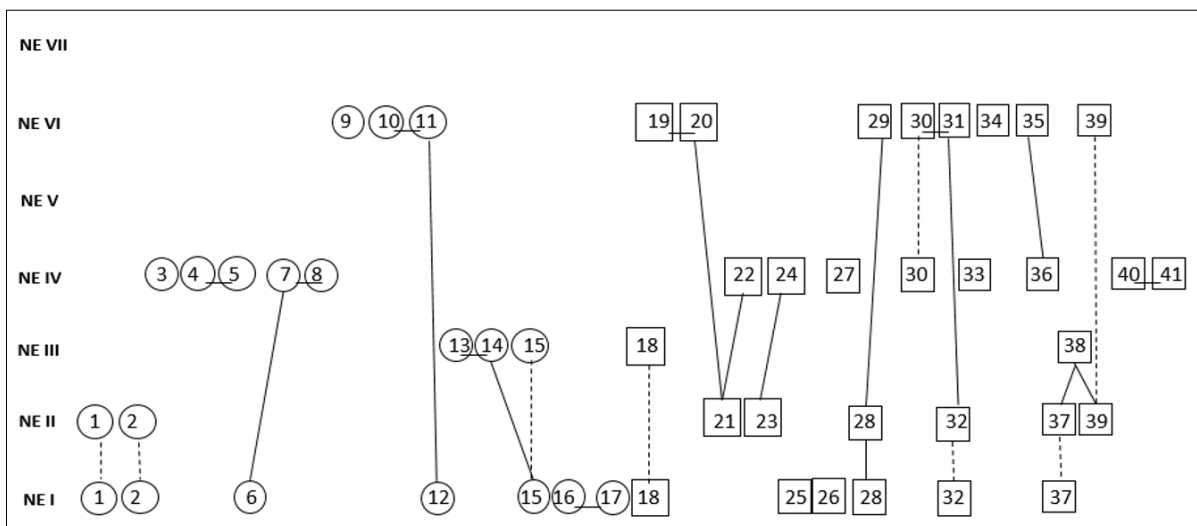


Figura 23: Esquema com a estrutura da argumentação para o grupo G38, em que as afirmações foram posicionadas em seus respectivos níveis epistêmicos. Linhas contínuas representam a presença de conectivos entre as sentenças ao longo dos níveis epistêmicos. Linhas pontilhadas representam a conexão dentro de uma mesma sentença ao longo de diferentes níveis epistêmicos (nesse caso pode haver uso de conectivos ou não). As sentenças obtidas das sessões registre e descreva foram representadas dentro de círculos; aquelas obtidas na sessão justifique e conclua estão representadas dentro de quadrados. Não foram categorizadas afirmações nos NE V e VII nesse grupo.

A figura 24 mostra a relação geral entre os níveis epistêmicos com o total de afirmações produzidas pelos estudantes, para cada uma das quatro turmas. Da mesma forma como ocorreu nas turmas anteriores (Figura 15), houve predomínio de afirmações nos NE IV, NEII e NEI. Dois grupos de T4 formularam argumentos com afirmações no NEIII (Figura 24 A). Cinco, de

seis grupos em T5 (Figura 24 B); três de cinco grupos em T6 (Figura 24 C) e dois de sete grupos em T7 (Figura 24 D), formularam argumentos com afirmações no NEIII.

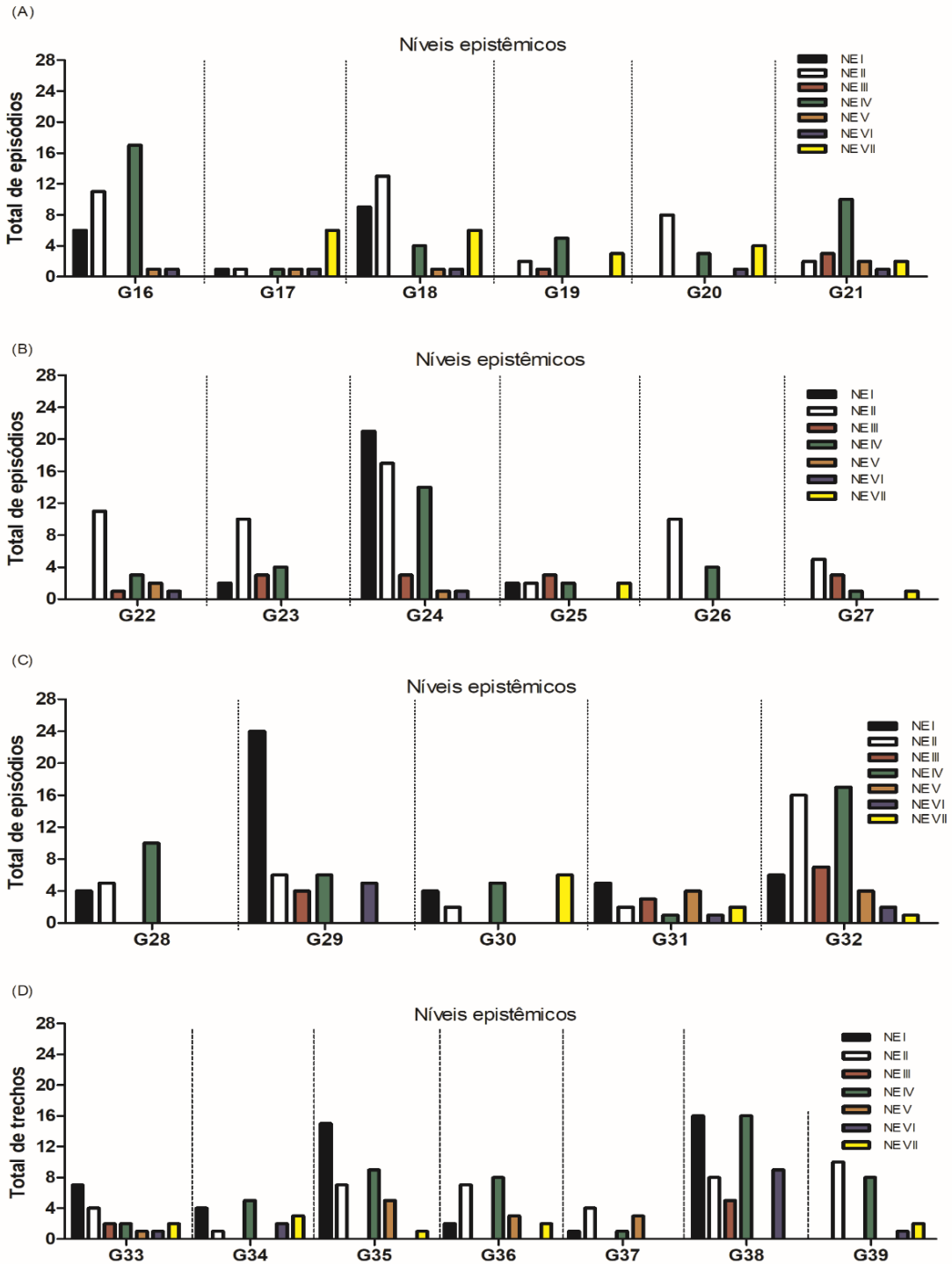


Figura 24: Quantidade de trechos categorizados para cada um dos 7 níveis epistêmicos levantados durante a análise de argumentos nos “Cadernos de Laboratório”. Em (A) a estimativa para a turma T4, em (B) para a turma T5, em (C) para a turma T6 e em (D) para a turma T7.

As análises estatísticas da distribuição geral das sentenças ao longo dos níveis epistêmicos são mostradas na tabela XVI. Nós observamos a predominância de afirmações categorizadas nos níveis epistêmicos referentes às instâncias particulares de descrição de dados, em relação às instâncias gerais das grandes teorias. As afirmações nos NE I e NEII foram predominantes nas sessões registre e descreva, entretanto, o alto desvio padrão revela uma concentração dessas afirmações em alguns grupos, que são: G24, G29, G32, G35 e G38 (Figura 24). A partir do NEIII, é possível observar uma mudança no perfil das estruturas argumentativas, com maior número de afirmações categorizadas nas sessões justifique e conclua. O alto índice de afirmações no NEII (todos os grupos produziram afirmações nesse nível epistêmico) em relação ao NEIII, corrobora nossas observações sobre a complexidade da análise de experimentos de análise indireta. Novamente, o alto desvio-padrão revela alto número de afirmações no NE IV para os grupos G16, G24, G32 e G38, em relação aos demais (Figura 24). Esses grupos produziram argumentos bastante extensos, com alto número de sentenças (chegando a 56 sentenças categorizadas em G24) onde é possível observar, para todos, o desenvolvimento de raciocínio científico a partir de seleção de evidências.

Tabela XVI: Análise estatística da distribuição das proposições dos estudantes nos “Cadernos de Laboratório”. Foram analisados 24 relatórios das turmas T4, T5, T6 e T7.

| NE | Comandas | Total de afirmações | Média | Desvio-Padrão |
|-----|---------------------|---------------------|-------|---------------|
| I | Registre; Descreva | 83 | 3,32 | 4,696807426 |
| | Justifique; Conclua | 50 | 2 | 2,828427125 |
| II | Registre; Descreva | 97 | 3,88 | 3,140063694 |
| | Justifique; Conclua | 75 | 3 | 2,886751346 |
| III | Registre; Descreva | 6 | 0,24 | 0,723417814 |
| | Justifique; Conclua | 34 | 1,36 | 1,84571576 |
| IV | Registre; Descreva | 27 | 1,08 | 1,800925688 |

| | | | | |
|------------|---------------------|-----|------|-------------|
| | Justifique; Conclua | 135 | 5,4 | 4,123105626 |
| V | Registre; Descreva | 1 | 0,04 | 0,2 |
| | Justifique; Conclua | 27 | 1,08 | 1,55241747 |
| VI | Registre; Descreva | 5 | 0,2 | 0,645497224 |
| | Justifique; Conclua | 23 | 0,92 | 1,525341492 |
| VII | Registre; Descreva | 9 | 0,36 | 0,637704216 |
| | Justifique; Conclua | 34 | 1,36 | 1,753092506 |

O grupo G16 é um caso interessante em que o alto número de sentenças categorizadas no NE IV está relacionado à obtenção de valores não-satisfatórios para os controles “0% de lise” e “100% de lise”. Assim, o grupo decide realizar os cálculos utilizando arbitrariamente dois outros grupos (ver “observação” produzida pelos estudantes na figura 20) que não deveriam originalmente compor os cálculos, mas que revelaram valores de absorvância que permitiriam fazer esse manejo. O grupo dedica, então, diversas sentenças para discutir que as explicações só poderiam ser consideradas “dentro dos limites possíveis”, dado que as análises foram feitas após a ocorrência de falhas experimentais.

Também foram observadas afirmações no NEVII e elas foram assim categorizadas quando faziam inferências que pareciam não corresponder às informações que os dados passavam (G17, G18, G19, G20, G30). É possível encontrar trechos onde são produzidas afirmações categóricas sobre a ocorrência ou não de lise baseada exclusivamente em dados qualitativos. O problema é que os valores de absorvância (ou mesmo os cálculos de hemólise) estavam presentes na sessão de registros e, se tivessem sido aproveitados nas formulações das conclusões, informariam sobre a ocorrência de uma faixa com diferentes porcentagens de hemólise. As afirmações que geravam conclusões que iam de encontro à mensagem dos controles do experimento também foram categorizadas nesse nível epistêmico. Outra situação frequentemente observada (G2, G11, G14, G18, G43, G44) foi que para alguns grupos não

ficou clara a diferença de significado entre os valores de absorbância e o cálculo da atividade hemolítica. Os trechos que assumiram os valores de absorbância como evidência da quantidade de hemólise, sem que se tenha feito o cálculo da porcentagem de lise, foram classificados no NEVII (dados não mostrados).

Nos chamou a atenção um grupo (G30) com oito sentenças no NEVII. Esse grupo se engajou no teste da influência do Marevan (um medicamento de ação anticoagulante) na cascata do complemento no soro camundongo. Os estudantes tinham a hipótese de que maiores quantidades de Marevan impediriam a lise e menores quantidades não afetariam a capacidade lítica do soro. Durante as análises o grupo parece ter se perdido em meio a abstração dos dados e a erros de cálculo, produzindo sentenças que afirmavam que os valores dos cálculos corroboraram a hipótese. Entretanto, uma observação criteriosa dos cálculos e a substituição pelos valores correspondentes nos conduz a conclusões diferentes (dados não mostrados). Esse é o ponto que nos levou a classificar o argumento em G16 como um argumento de qualidade em relação à argumentação em G30: o grupo G16 discute as limitações relacionadas à confiabilidade de se substituírem valores para o cálculo e explica o porquê de eles terem executado essa manobra, sendo possível observar uma linha de raciocínio científico que não está evidente em G30.

Interessantemente, todos os grupos parecem ter alguma noção, mesmo que intuitiva, de como escrever no estilo de escrita científica. Todos eles em algum momento fizeram contrapontos, correspondência com expectativas, explicações sobre esquema experimental e, principalmente, discussão dos dados anômalos. Acreditamos que isso esteja relacionado à imersão desses estudantes no universo dos cursos de biomédicas, com leitura e confecção de relatórios durante as aulas de outras disciplinas.

4.4 O engajamento dos estudantes no problema de investigação a partir da análise de dados previamente obtidos

A sequência investigativa aplicada para as turmas T8 e T9 não incluiu a fase de experimentação para teste de hipóteses. Nós desejávamos, dessa forma, verificar quais são as questões epistêmicas que aparecem na escrita dos estudantes engajados na análise de dados que tenham sido previamente obtidos. O que elas têm em comum com aquelas que imergiram na escrita dos sujeitos que realizaram a prática experimental? Em que aspectos elas se diferenciam?

A inserção da sequência didático-investigativa nas turmas do curso de ciências biológicas foi motivada porque tipicamente essas turmas cursam menor carga horária para a disciplina de Imunologia em relação às demais. Pensando na geração de oportunidades para as e os estudantes, nós desejávamos oferecer a possibilidade de experienciar importantes etapas da escrita científica e uma atividade semipresencial poderia se constituir em uma estratégia adequada às limitações de tempo naqueles cronogramas.

A primeira fase foi planejada exatamente como para as turmas T4 a T9, com o primeiro encontro para uma aula de apresentação da teoria do complemento pelo professor. Após esse encontro, a professora-pesquisadora e os estudantes estabeleceram contato virtual pelo *Moodle*, onde foram fornecidas orientações para a apresentação de artigos pelos estudantes. O segundo encontro foi o momento de discussão de artigos científicos apresentados pelos estudantes. O terceiro encontro se deu logo em seguida, com a finalização da discussão e as orientações para que os estudantes realizassem a investigação. As orientações foram feitas com o auxílio de um Datashow e nesse momento foram abordados aspectos teóricos sobre a fixação do complemento e as propriedades do ensaio *in vitro*, sobre os potenciais dos dados macroscópicos e numéricos em fornecer informações nesse contexto e sobre o papel dos grupos controle em uma atividade experimental. Foi combinado que estariam disponíveis no *Moodle* dois diferentes tipos de cadernos de laboratório, nomeados de A e B, sendo que a metade dos grupos de estudantes

resolveria a investigação nos cadernos tipo A e a outra metade engajaria na investigação nos cadernos tipo B.

Os “Cadernos de Laboratório” distribuídos para essas turmas adquiriram configuração diferente da original. A pergunta experimental foi fornecida pronta na primeira página e especulava sobre a capacidade de uma substância específica em interferir na cascata enzimática do complemento. Os cadernos tipo A traziam dados obtidos após a incubação de soro de camundongo com NaOH (Figura 25A), enquanto os cadernos do tipo B traziam dados obtidos da incubação do soro de camundongo com uma solução aquosa de macerado de camarão (ambos os “Cadernos de Laboratório” estão anexados ao final desse texto). Nosso objetivo era verificar se a natureza da substância investigada influenciaria nos resultados obtidos a partir dos dois conjuntos de dados.

Além da pergunta experimental, os alunos encontraram esquematizados nos “Cadernos de Laboratório” os grupos experimentais e controles que haviam sido utilizados no experimento (Figura 25A), o protocolo experimental para consulta (o mesmo que fora utilizado para as turmas T1 à T7), as fotografias com os dados brutos (Figura 25B) e as quatro comandas na parte final para organizar a análise de dados (Figura 25C). Os grupos realizaram a investigação à distância e a professora-pesquisadora estava disponível para auxiliá-los *online* por redes sociais ou presencialmente em horário previamente combinado na universidade. Após 20 dias, “Os cadernos de laboratório” foram reenviados preenchidos pelos alunos via *Moodle*.

(A)

CADERNO DE LABORATÓRIO

VERIFICAÇÃO DE INTERFERÊNCIA NA VIA ALTERNATIVA DO SISTEMA DO COMPLEMENTO:

Existem fatores (substâncias) que, adicionadas ao soro, são capazes de interferir na lise pelo complemento?

DISCIPLINA: Imunologia Ciências Biológicas R DATA:

GRUPO (nome completo dos integrantes):

Pergunta experimental: O hidróxido de sódio (NaOH) interfere na lise de hemácias pelo complemento?

Para a verificação da pergunta experimental foram montados os seguintes grupos:

Grupo experimental 1 = NaOH 10 Mol/L + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo experimental 2 = NaOH 5 Mol/L + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo experimental 3 = NaOH 1 Mol/L + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

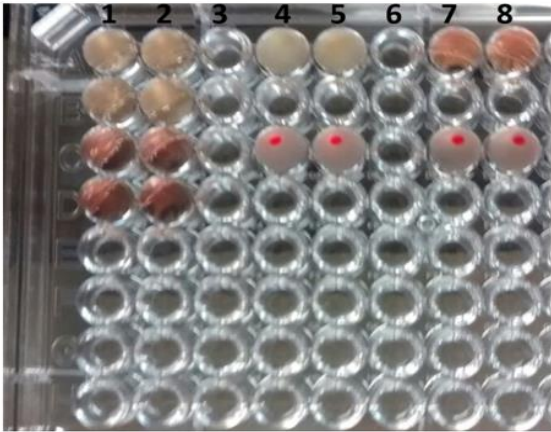
Grupo experimental 4 = NaOH 0,1 Mol/L + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo controle 1 = NaOH 10 Mol/L + eritrócitos de coelho


Grupo controle 2 = Soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo controle 3 = Solução salina + eritrócitos de coelho

Grupo controle 4 = Água destilada + eritrócitos de coelho



Fotografia do fundo da placa após centrifugação



Fotografia dos dados gerados após leitura em espectrofotômetro

(B)

Analise os resultados encontrados durante o experimento

Descreva os resultados encontrados durante o experimento

Baseado nos resultados obtidos e nos seus conhecimentos sobre imunologia e sistema do complemento, justifique os resultados encontrados.

Conclua o experimento

(C)

Figura 25: Estrutura geral dos “Cadernos de Laboratório” distribuídos para as turmas T8 e T9. A questão experimental e a montagem dos grupos experimentais e controles são fornecidos prontos na letra (A). Os dados brutos, que correspondem a fotografia da placa de 96 poços e da tela do computador com os valores da absorbância, foram disponibilizados nas páginas seguintes (B). Na letra (C) as comandas que os alunos deveriam responder. As sessões do caderno de laboratório foram comprimidas para se ajustarem à figura, o modelo original está disponível como anexo.

Após um mês, nós recebemos 12 “Cadernos de Laboratório”, 8 cadernos tipo A e 4 cadernos tipo B. Os grupos que fizeram a investigação nos cadernos tipo B, foram: G40, G41, G44 E G45. A análise realizada por nós mostra que os estudantes realizam inscrições literárias (Figura 26) durante a análise de dados experimentais previamente obtidos e as inscrições literárias foram representadas predominantemente na forma de tabelas e cálculos. Alguns grupos apresentaram o resultado dos cálculos já expresso em tabelas, como é o caso de G41, G48, G50, ou em gráfico, como foi feito por G51. Apenas dois grupos, G44 (camarão) e G49 (NaOH) não realizaram nenhum tipo de inscrição literária (Figura 26). Dos sete grupos que construíram algum tipo de registro não-verbal, cinco elaboraram legendas: G41, G42, G43, G46 E G51 (dados não mostrados).

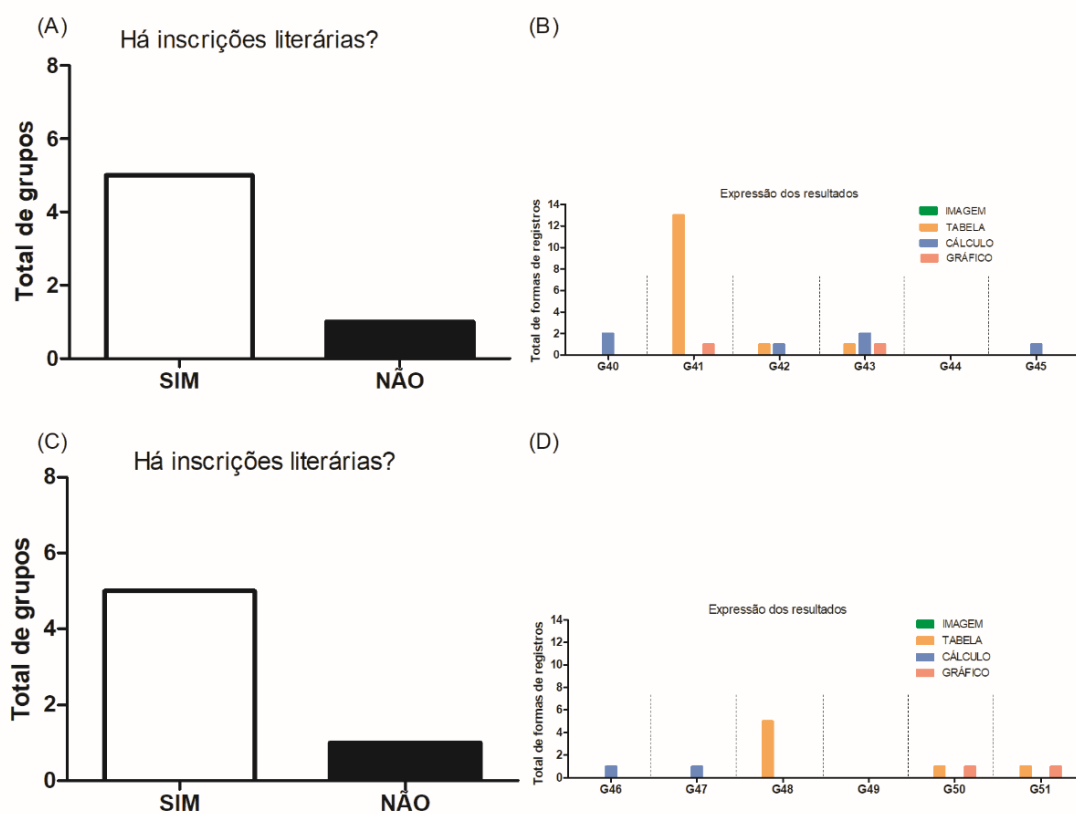


Figura 26: Expressão dos resultados pelos grupos de estudantes das turmas T8 e T9. A presença de inscrições literárias para todos os grupos e os tipos de inscrições realizadas por cada grupo nos “Cadernos de Laboratório” estão representados em, respectivamente, (A) e (B) para T8; (C) e (D), para a turma T9. As turmas realizaram a sequência didático-investigativa de análise de dados no ano de 2018.

Interessantemente, pela figura 27 é possível observar que a maioria dos grupos recorre a dados para apoiar observações. De maneira geral, nós observamos que os grupos tendem a mobilizar mais as evidências das observações macroscópicas da placa e do cálculo da atividade hemolítica. Entretanto, os três grupos que constroem gráficos efetuam algum tipo de descrição ou menção aos dados extraídos das curvas. Mesmo para G49, que não faz inscrições literárias, há a mobilização de dados (Figura 26): esse grupo recorre à descrição bastante minuciosa do estado macroscópico da placa, utilizando a fotografia disponibilizada como dado bruto para fazer inferências sobre a hemólise. Nós apenas não observamos apoio explícito em dados para as afirmações produzidas por G44. No “caderno de laboratório” desse grupo há a presença de conclusões sobre a ocorrência de lise, a qual é associada por eles a “valores” ou “números”, cuja procedência não ficou clara para nós. Como não houve registro do cálculo da atividade hemolítica, nós supomos que esses poderiam ser valores de absorvância (os únicos números disponibilizados como dado bruto na atividade), como no trecho: “Além disso, nos poços mais diluídos, os números observados de lise foram similares aos observados no grupo controle (...)”. O uso de valores de absorvância para aferir sobre a lise também foi realizado por G43 em alguns momentos do texto (dados não mostrados).

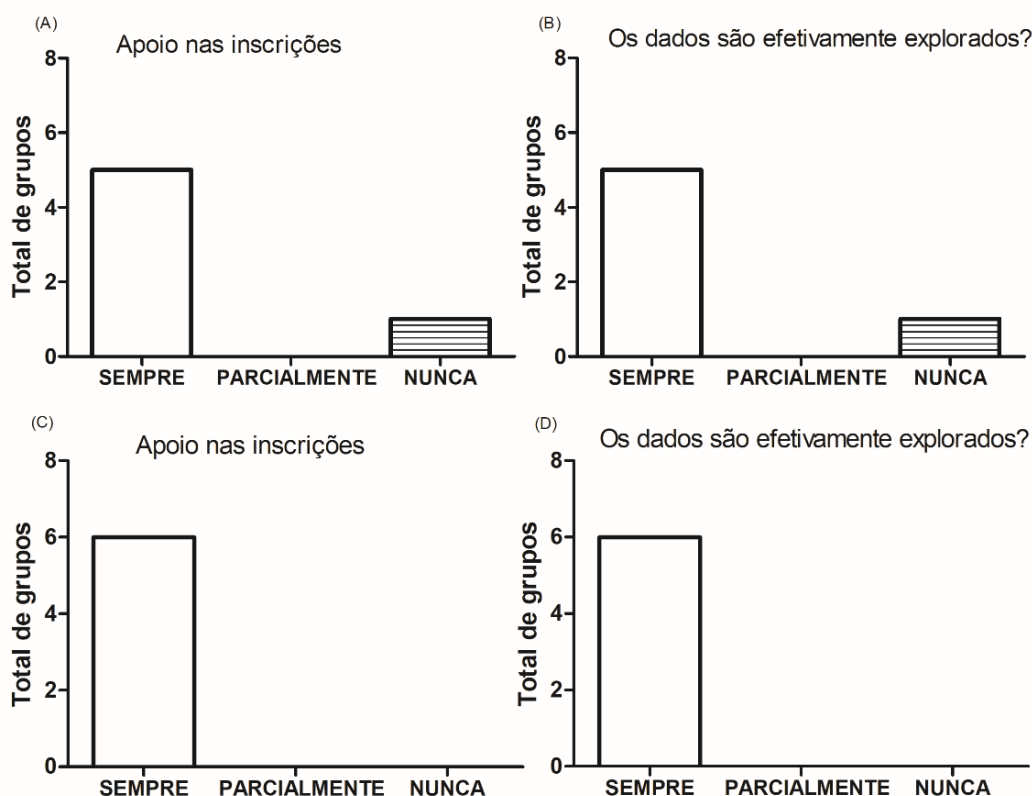


Figura 27: Articulação das inscrições literárias no texto. Estimou-se a o número de vezes em que as afirmações eram apoiadas por evidências nas turmas T8 (A) e T9 (C). A estimativa do aproveitamento das inscrições não verbais no texto escrito, é mostrada para T8 (C) e T9 (D).

A análise de práticas epistêmicas foi realizada nos trechos do texto verbal dos estudantes. Pela figura 28 observa-se que a atividade favorece o desenvolvimento de práticas epistêmicas similares àquelas obtidas nas turmas que realizam a atividade prática, como por exemplo “mencionar figuras no texto”, “comparar”, “descrever”, “interpretar”, “inferir”, “concluir”. Essas práticas epistêmicas estão associadas à descrição de dados e ao tipo de análise, dado que o cálculo da atividade hemolítica é relativo aos controles dos experimentos. Para a turma T8 há um predomínio das práticas epistêmicas “mencionar figuras no texto” e “comparar” (Figura 28 A) em relação à T9 (Figura 28 B). Esse perfil é devido principalmente às análises dos grupos G41 e G42. O grupo G41 constrói 13 tabelas, onde apresenta valores estatísticos (média e erro padrão da média) comparativos entre os grupos experimentais e os

controles um a um, por isso a alta quantidade de comparações (14 sentenças) e menção às inscrições (24 sentenças), que apareceram em um total de 46 sentenças. Já G42 produziu 43 sentenças, onde realiza intensa descrição dos aspectos macroscópicos da placa, associados aos dados do cálculo da atividade hemolítica. Nós observamos para esse grupo 17 sentenças onde há menção direta às inscrições, 13 onde há interpretação dos dados e 12 onde há comparação de dados.

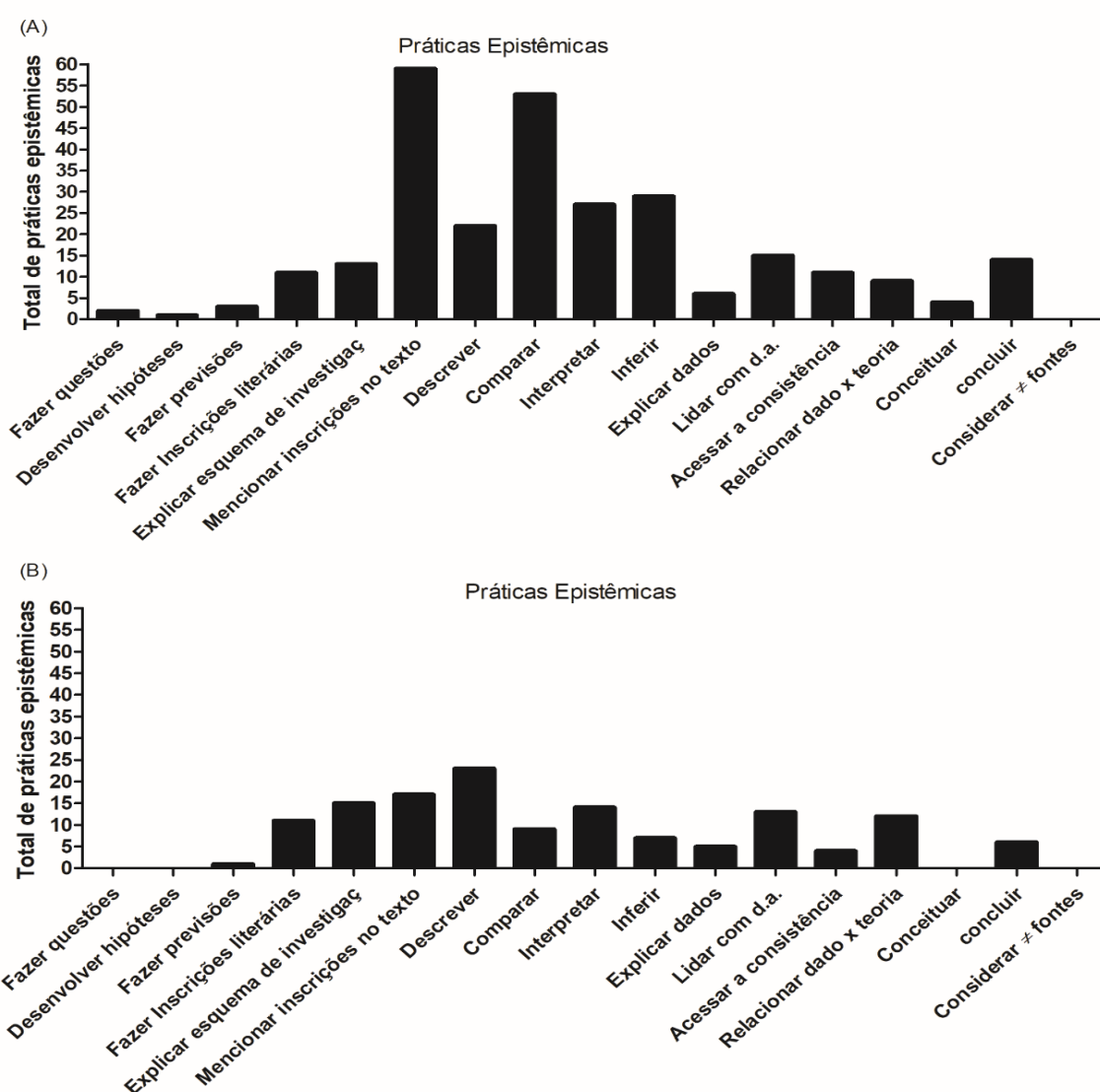


Figura 28: Análise de práticas epistêmicas nos “Cadernos de Laboratório” das turmas T8(A) e T9 (B), utilizando a rubrica descrita na sessão de metodologia. Os grupos de ambas as turmas não realizaram a atividade experimental, mas fizeram a análise de dados brutos para resolver o problema de investigação. Nós analisamos um total de 12 “Cadernos de Laboratório” após a finalização da atividade.

A sequência didático-investigativa aplicada aos 12 grupos não incluía a montagem de uma questão experimental e nem o levantamento de hipóteses/resultados esperados. Entretanto, nós observamos que três grupos tendiam a associar os resultados obtidos às expectativas que eles tinham antes das análises (G42, G45 e G46). Essas expectativas são associadas ao conhecimento teórico e às expectativas relacionadas ao conhecimento sobre os controles dos experimentos. Além disso, em G45 nós identificamos dois trechos onde o grupo problematiza a necessidade de realizar experimentos extras para identificar quais componentes do camarão eram responsáveis por gerar o efeito que eles observaram. Esses dois trechos foram classificados dentro da prática epistêmica “fazer questões” (Figura 28 A). Nós não observamos problematização e correspondência com expectativas para os outros 9 grupos analisados e consideramos que essas observações se correlacionam com a natureza da atividade realizada pelas turmas T8 e T9, que não incluiu a etapa experimental e nem a etapa inicial de planejamento do experimento.

A tabela XVII esquematiza trechos do “caderno de laboratório” do grupo G45, onde aparecem algumas das sentenças supracitadas. Essa tabela evidencia as práticas epistêmicas nesses trechos, articuladas com a categorização em níveis epistêmicos para a análise de argumentos. É possível observar que o grupo faz referência aos cálculos durante a descrição e interpretação de dados, nas sentenças (6), (7), (8). Já na sessão de conclusão o grupo mobiliza diversas práticas epistêmicas para explicar os achados de que o extrato de camarão interfere no complemento, recorrendo, inclusive à elaboração de hipóteses (sentenças [17] e [18]), à mobilização de suporte teórico (sentenças [16] e [20]) e à geração de uma nova dúvida (sentença [21]) sobre qual componente do camarão seria responsável pela conclusão explicitada na sentença [19].

Tabela XVII: Análise de práticas epistêmicas articulada à análise de argumentos em trechos do texto verbal produzido pelo grupo G45, no “caderno de laboratório”. As sentenças na sessão *descreva* estão entre parênteses e as da sessão *conclua* estão entre colchetes. As linhas descontínuas da tabela aparecem quando há mais de uma prática epistêmica ou de um nível epistêmico por sentença. O texto dos estudantes foi transcrito exatamente na forma como foi escrito.

| Unidade de análise Sentença | Trecho do texto dos grupos de estudantes no “caderno de laboratório” | Nível Epistêmico | Prática Epistêmica |
|--------------------------------|---|------------------|--------------------------------|
| (6) | “O grupo com a solução teste não diluída teve 48,7% de lise | I | Interpretar |
| | ou 51,3% de inibição da hemólise pelo sistema complemento.” | III | |
| (7) | “A solução teste 1:2 teve 41,9% de lise.” | I | Descrever |
| (8) | “ <u>É um</u> resultado interessante, pois contém apenas metade do conteúdo de camarão | IV | Interpretar |
| | e ainda inibe uma parcela consideravelmente maior de hemácias do que a solução não-diluída.” | III | |
| [16] | “As proteínas do complemento são muito versáteis e podem interagir com o conteúdo do camarão antes de lisarem as hemácias.” | V | Conceituar |
| [17] | “Nossas hipóteses são que a baixa concentração do camarão é o suficiente para catalisar a ação do sistema complemento sem comprometê-lo.” | IV | Hipotetizar |
| [18] | “Altas concentrações de camarão competem com os eritrócitos pelo sistema complemento.” | IV | Hipotetizar |
| [19] | “Em altas concentrações de camarão há pouca lise, mas em baixas concentrações há muita lise.” | II | Concluir |
| [20] | “Uma solução de camarão macerado em salina tem alta diversidade de conteúdos em termos moleculares.” | VI | Relacionar dado e teoria |
| [21] | “ <u>Por isso</u> , deve-se localizar quais componentes tiveram uma ação considerável no experimento.” | IV | Fazer questões “Problematizar” |

A figura 29 apresenta estrutura da argumentação formulada por esse grupo. É possível notar o predomínio de afirmações no NEIV. Esse nível epistêmico é bastante abrangente (tabela VIII e Figura 4) e, a exemplo dos demais grupos, é o nível no qual as afirmações estão

predominantemente categorizadas, porque se refere às hipóteses, às limitações da técnica, aos erros de execução, etc. Entretanto, nós consideramos que o grupo produziu uma linha de raciocínio que se aproxima do científico, quando deduziu hipóteses baseadas nos resultados (Tabela XVII). Além disso, o grupo construiu afirmações que transitam ao longo de diversos níveis epistêmicos, inclusive no NEIII (sentenças [3], [8]; Tabela XVII). Outros grupos também constroem argumentos de boa qualidade, os quais mobilizam diversas práticas epistêmicas, transitam por diferentes níveis epistêmicos e contemplam o NEIII, são eles: G40, G41, G43 (camarão), G42, G47, G48 (NaOH).

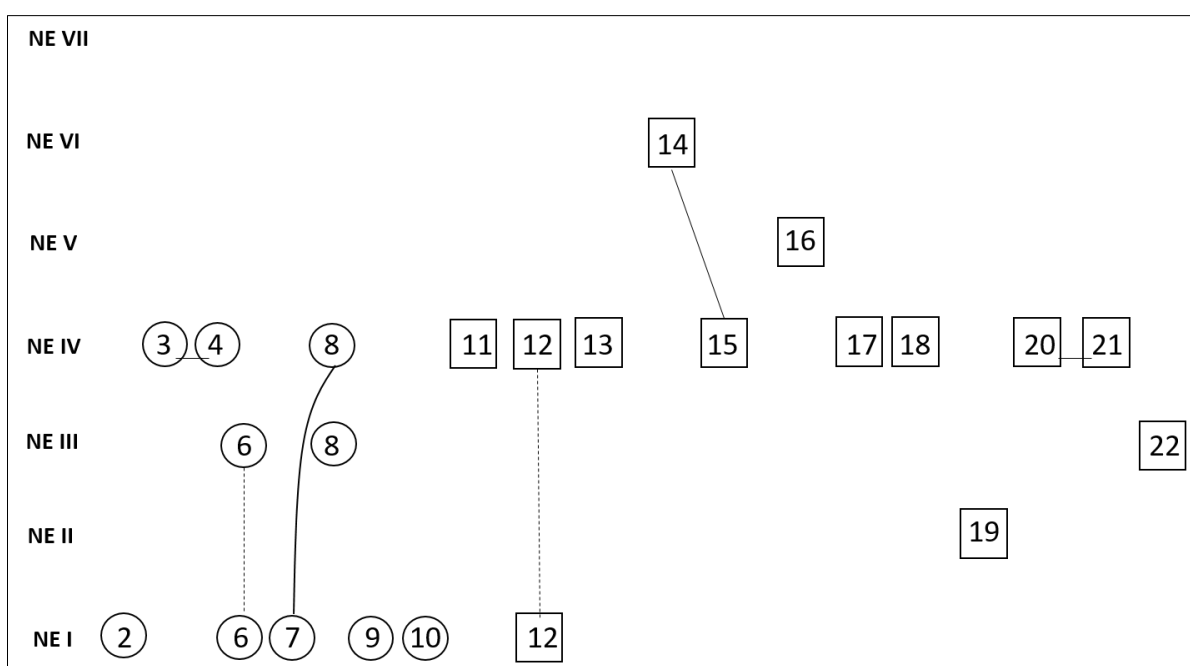


Figura 29: Esquema com a estrutura da argumentação para o grupo G45, em que as afirmações foram posicionadas em seus respectivos níveis epistêmicos. Linhas contínuas representam a presença de conectivos entre as sentenças ao longo dos níveis epistêmicos. Linhas pontilhadas representam a conexão dentro de uma mesma sentença ao longo de diferentes níveis epistêmicos, nesse caso pode haver uso de conectivos ou não. As sentenças obtidas da sessão descreva os dados foram representadas dentro de círculos; aquelas obtidas na sessão conclua a análise estão representadas dentro de quadrados. Não foram categorizadas afirmações nos NEVI e NEVII nesse grupo.

O alto desvio-padrão obtido das análises estatísticas para os 12 relatórios (Tabela XVIII), está associado ao fato de dois grupos, G41 e G42, serem responsáveis pelo maior

número de sentenças categorizadas nos NE I e IV (Figura 30). Por exemplo, os dois grupos construíram 43, das 86 afirmações categorizadas no NEI (sessões registre e descreva). Esses grupos também são responsáveis por 22, das 52 sentenças categorizadas nas sessões registre e descreva, no NEIV. Além disso, pela figura 30 é possível observar uma tendência geral dos grupos da turma T8 em produzir argumentos com maior número de sentenças em relação a turma T7, o que pode estar relacionado ao fato de a primeira ser um curso do turno diurno e a segunda ser do turno noturno. Os estudantes dos cursos noturnos em geral trabalham durante o dia e esse poderia ser um fator influenciador no tempo para engajamento em uma atividade fora do período noturno.

Tabela XVIII: Análise estatística da distribuição das proposições dos estudantes nos “Cadernos de Laboratório”. Foram analisados 12 relatórios das turmas T8 e T9.

| NE | Comandas | Total de afirmações | Média | Desvio-Padrão |
|------------|---------------------|----------------------------|--------------|----------------------|
| I | Registre; Descreva | 86 | 6,615384615 | 7,346407079 |
| | Justifique; Conclua | 24 | 1,846153846 | 2,088931871 |
| II | Registre; Descreva | 39 | 3 | 3,360871 |
| | Justifique; Conclua | 18 | 1,384615385 | 1,243163121 |
| III | Registre; Descreva | 12 | 0,923076923 | 1,348399725 |
| | Justifique; Conclua | 24 | 1,846153846 | 1,906925178 |
| IV | Registre; Descreva | 52 | 4 | 4,313474308 |
| | Justifique; Conclua | 40 | 3,076923077 | 2,229281716 |
| V | Registre; Descreva | 3 | 0,230769231 | 0,621581561 |
| | Justifique; Conclua | 14 | 1,076923077 | 1,403458931 |
| VI | Registre; Descreva | 4 | 0,307692308 | 0,651338947 |
| | Justifique; Conclua | 14 | 1,076923077 | 1,642245322 |
| VII | Registre; Descreva | 4 | 0,307692308 | 0,887625365 |
| | Justifique; Conclua | 14 | 1,076923077 | 2,289634085 |

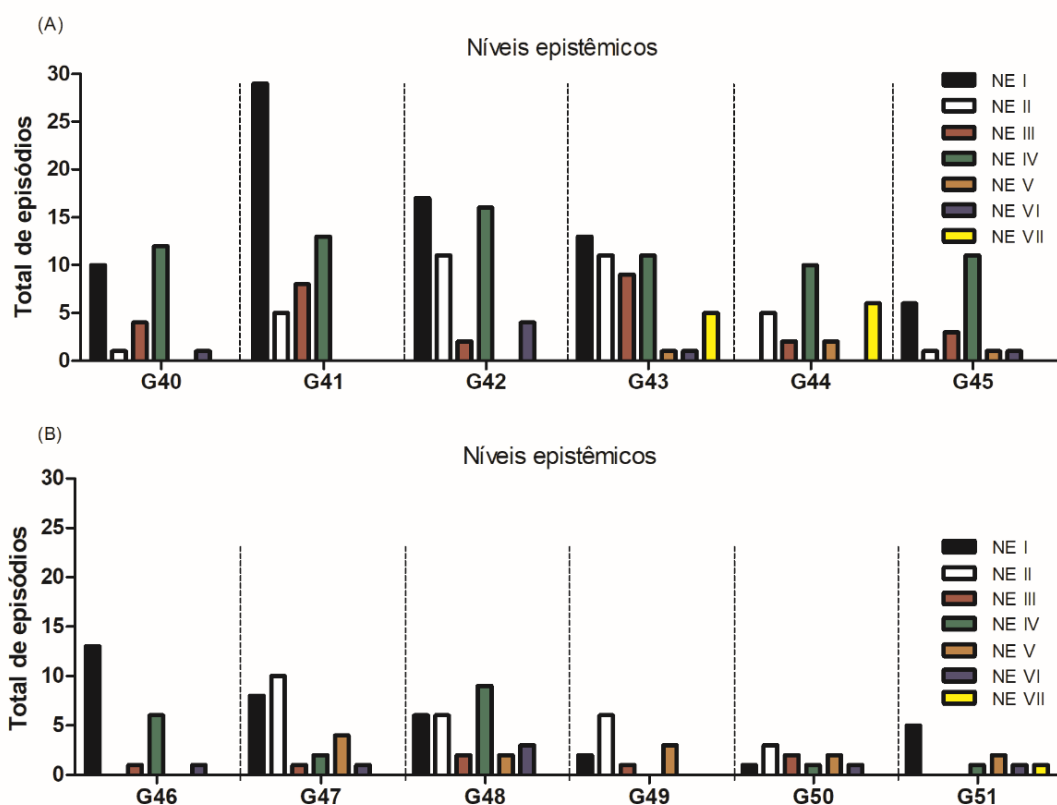


Figura 30: Quantidade de trechos categorizados para cada um dos 7 níveis epistêmicos durante a análise de argumentos nos “Cadernos de Laboratório”. Em (A) a estimativa para a turma T8 e em (B) para a turma T9. Os estudantes realizaram a sequência didático-investigativa sem o experimento no ano de 2018.

Em relação às afirmações no NEVII, elas foram categorizadas nos “Cadernos de Laboratório” dos grupos G43, G44, G51 e a maioria se relaciona à mobilização dos valores brutos de absorvância para realizar relações quantitativas sobre a hemólise nos poços. Esse movimento já havia sido observado em alguns grupos das turmas anteriores e nos evidencia a necessidade de se trabalhar, em específico, termos e definições científicas e seus significados.

Ainda com relação ao emprego de termos científicos, nós observamos a existência de concepções alternativas. Durante a formulação das justificativas no “caderno de laboratório”, G51 mobilizou as práticas epistêmicas “conceituar” e “relacionar dados e teoria” nas sentenças [5], [6], [7] (tabela XVIII) para construir a afirmação geral de que o NaOH era capaz de lisar hemácias por si só, mas também interferia na hemólise pelo complemento. Entretanto, na

sentença [7] é possível identificar um trecho em que o termo *reconhecimento* é empregado em um sentido que se difere daquele empregado na cultura epistêmica da Imunologia: na visão do grupo é justamente o não reconhecimento da molécula estranha (nos eritrócitos de coelho) que dá início ao “ataque” pelos fatores do complemento de camundongo, ao passo que pela Teoria da Seleção Clonal as respostas imunológicas são ativadas mediante reconhecimento entre receptores leucocitários e moléculas estranhas (Tauber, 1999). De maneira similar, o grupo G4 realiza o emprego da palavra *aglutinação*, porém nesse caso o grupo assume que o corpo de fundo formado pelos eritrócitos na placa é resultado de uma “reação de aglutinação”⁶, o que tornou o trecho ambíguo. No momento da categorização da sentença nós não conseguimos distinguir se a intenção do grupo era fazer referência às hemácias concentradas no fundo da placa ou se eles de fato se referiam à reação de aglutinação, um fenômeno que não poderia acontecer especificamente no nosso teste.

⁶ A aglutinação é uma propriedade das respostas imunes mediadas por anticorpos, quando esses estão presentes em altos títulos na circulação sanguínea. A ocorrência de aglutinação leva à formação de agregados com os epitopos antigênicos nas superfícies das células, levando a complicações nos vasos. Essa propriedade dos anticorpos é utilizada dentro de um imunoenensaio chamado “reação de aglutinação”, que é corriqueiramente usado para a tipagem sanguínea e, por isso, foi popularizado.

Tabela XIX: Análise de práticas epistêmicas articulada à análise de argumentos em trechos do texto verbal produzido pelo grupo G51, no “caderno de laboratório”. As sentenças foram retiradas da sessão *justifique* e estão representadas entre colchetes. As linhas descontínuas da tabela aparecem quando há mais de um nível epistêmico por sentença. O texto dos estudantes foi transcrito exatamente na forma como foi escrito.

| Unidade de análise Sentença | Trecho do texto dos grupos de estudantes no “caderno de laboratório” | Nível Epistêmico | Prática Epistêmica |
|--------------------------------|--|------------------|---------------------------|
| [5] | “O soro normal de camundongo possui, em sua composição, proteínas.” | VI | Conceituar |
| [6] | “ <u>Dentre elas</u> , as proteínas do sistema complemento estão presentes e possuem o objetivo de lisar antígenos.” | V | Conceituar |
| [7] | “ <u>Nesse caso</u> , como estamos usando soro de camundongo e hemácias de coelho, | IV | Relacionar dados e teoria |
| | não haverá reconhecimento entre soro e célula, | VII | |
| | o que levará as proteína do complemento a atacarem as hemácias. ” | V | |

De maneira geral, os resultados para as duas turmas sugerem que é possível realizar uma atividade de investigação com mobilização de elementos da Imunologia nos moldes semipresenciais e que essa atividade mobiliza práticas que se aproximam das práticas sociais realizadas por cientistas durante a escrita.

4.5 Considerações finais

O presente trabalho oferece contribuição aos estudos epistemológicos sobre educação científica. Por meio dessa pesquisa, nós evidenciamos a oportunização de um ambiente científico para os estudantes dos cursos de graduação em ciências biológicas e da saúde, engajados na investigação de um problema relacionado a Imunologia. A Imunologia está em pleno desenvolvimento (Barral & Barral-Netto, 2007) e o acúmulo de conhecimento na área

promove alto aporte de informações para os cientistas, o que gera dificuldades de manejar esse aporte nas práticas docentes para ensino específico de uma disciplina científica para a graduação. Além disso, em geral há baixa carga horária destinada para as disciplinas obrigatórias sobre Imunologia nos cursos de graduação das universidades brasileiras. O resultado é um modelo de ensino que apresenta a ciência como produto pronto de um conhecimento e, que, portanto, não estimula o desenvolvimento de raciocínio e o engajamento em práticas da cultura científica.

A proposta didática-investigativa (Mello et al., no prelo) foi construída por nós com o objetivo de superar a limitação do tempo nos currículos, em uma proposta que articula os conceitos e recursos metodológicos mobilizados na investigação dentro da Imunologia. Diversos autores consideram necessária a realização de algum nível de instrução no ensino por investigação para cumprir objetivos educacionais em contextos de ensino e aprendizagem onde haja limitação de tempo e de experiência em realizar investigações (Crujeiras-Perez & Jimenez-Aleixandre, 2017; Geraldi & Scarpa, 2017; Girault & d'Ham, 2014; Marzin & De Vries, 2008; Smithenry, 2010; Trivelato & Tonidandel, 2015); Sendo assim, nós adotamos um modelo de investigação estruturada (Blanchard et al., 2010) para ser aplicado na nossa atividade. Nós desejávamos mobilizar a prática laboratorial como recurso da investigação e, portanto, fornecemos um ensaio *in vitro* como método. Essa escolha foi baseada no nosso principal objetivo de ensino: promover a aproximação dos estudantes com a maneira como os imunologistas constroem conhecimento.

A escolha do tema e do teste experimental veio da observação do questionário aplicado alguns anos antes por Manzoni-de-Almeida e Trivelato (2015), em que os estudantes manifestaram rejeição ao tema de sistema complemento. Nosso percurso pelos artigos científicos relacionados ao tema quase sempre nos conduziu ao teste da atividade hemolítica do complemento (Angioi et al., 2016; Dong & Liu, 2016; Kabat & Mayer, 1961; Pillemer et al.,

1942; Servais et al., 1991), evidenciando a importância desse ensaio na pesquisa básica e na imunologia aplicada, até os dias atuais.

O ensaio de fixação do complemento se mostrou vantajoso pelo potencial de inserção dentro do ensino por investigação. A execução é de baixo dispêndio financeiro, não acarreta maiores implicações éticas (no uso de material humano e animal), requer pouco tempo para finalização. Foi possível concluir toda a sequência investigativa após três ou quatro encontros com os estudantes (nos casos em que um encontro a mais foi necessário para a finalização das apresentações dos artigos, isso só foi possível graças à maleabilidade e gentileza dos professores responsáveis pelas disciplinas). Além disso, o teste de fixação do complemento oferece oportunidade de aproximação com o universo dos estudantes, na medida em que permite que eles elejam substâncias ou condições físicas relacionadas ao próprio interesse, para avaliar a interferência na cascata do complemento. A padronização do protocolo utilizado na prática experimental foi feita por nós previamente à aplicação da sequência, a partir das orientações de Morgan (2000).

Nós realizamos a adaptação dessa atividade para ser aplicada em um contexto mais interdisciplinar, sendo ela inserida dentro das aulas de bioquímica como modelo para estudo do papel imunológico das cascatas enzimáticas e seus mecanismos. A Bioquímica e a Imunologia são duas grandes áreas bastante próximas, sendo inclusive reunidas em um mesmo departamento de pesquisa dentro do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG. As aulas de bioquímica, além disso, possuem carga horária maior que as de imunologia e se constituíram ambientes bastante atrativos para a aplicação da sequência investigativa sem que estivéssemos tão pressionados pelo tempo. Para as turmas que cursavam a disciplina de imunologia com menor carga horária (T8 e T9), nós realizamos uma outra adaptação da atividade, em que a prática experimental foi suprimida e a análise de dados prévios foi realizada majoritariamente à distância. Nesse caso, os alunos receberam aporte conceitual da teoria do complemento e da

natureza da técnica, bem como estabeleceram contato com elementos da escrita científica nas três aulas anteriores à execução das análises. Esse tipo de metodologia de investigação que recorre a análise de dados brutos obtidos em um outro contexto tem sido utilizada dentro do ensino e aprendizagem de Imunologia, em situações em que a prática laboratorial não é favorecida (Manzoni-de-Almeida & Trivelato, 2015; Manzoni-de-Almeida, 2016; Manzoni-de-Almeida et al., 2016; Mello, Marzin & Manzoni-de-Almeida – artigo em preparação) e se mostra vantajoso para o desenvolvimento de algumas habilidades relacionadas ao estilo da escrita científica, a argumentação lógica.

Para caracterizar as interações com os conhecimentos mobilizados durante a realização da atividade, nós associamos duas ferramentas para revisão dos escritos produzidos pelos estudantes: a análise da estrutura dos argumentos segundo Kelly e Takao (2002), articulada com a categorização de práticas epistêmicas em uma rubrica elaborada a partir de Manzoni-de-Almeida et al. (2016) e Silva (2015).

Há evidências na literatura de que a estrutura argumentativa não surge espontaneamente nos estudantes (Geraldi & Scarpa, 2017; Kelly & Takao, 2002; Sá, Kasseboehmer, & Queiroz, 2014), por isso os “Cadernos de Laboratório” foram elaborados como em Manzoni-de-Almeida et al. (2006), com quatro comandas finais para favorecer o aparecimento de argumentos de estrutura similar à do modelo de Toulmin (2003). Além disso, os mesmos “Cadernos de Laboratório” continham na parte inicial a pergunta experimental, as hipóteses e resultados esperados pelos estudantes, para favorecer a recuperação motivações que levaram a realização da investigação.

A mobilização das hipóteses para relacioná-las aos achados é bastante comum no estilo de escrita científica (Silveira, 1996). Alguns grupos não formularam hipóteses na etapa pré-experimental. Entretanto, trechos que faziam associação entre as observações derivadas do experimento e as expectativas prévias à realização desse puderam ser encontrados no argumento

dos estudantes. A formulação de hipóteses após a realização do experimento pode estar relacionada ao fato de termos fornecido a técnica experimental anteriormente à coleta de hipóteses, provocando que eles construíssem o “fazer sentido” ao longo da realização da investigação e não previamente, como desejávamos.

A relação entre a produção de inscrições literárias e a mobilização dessas no texto nos fornece evidências do quanto de visão profissional foi adquirida sobre a escrita científica (Latour, 1987). Inicialmente os estudantes das turmas T1, T2 e T3 formulavam os escritos baseando-se em concepções pessoais, o que gerou análises com pouca referência aos dados no texto escrito (Figura 11). Na tentativa de incrementar a argumentação pelo incentivo à mobilização de dados, nós inserimos uma etapa em que os estudantes deveriam realizar a apresentação de artigos científicos. A utilização de artigos científicos como recurso dentro das metodologias ativas de ensino é bastante comum no ensino científico para a formação de pesquisadores, como em Cicuto, Pazinato e Torres (2019). Esses autores utilizam a abordagem de estudo direcionado e grupo de discussão para trabalhar os artigos e associam essa estratégia à aprendizagem, desde que haja engajamento na tarefa fora da universidade (Cicuto, Pazinato, & Torres, 2019).

No nosso caso, os estudantes receberam instrução prévia sobre o formato e o conteúdo das apresentações. Após cada apresentação, era estabelecido um diálogo entre a professora-pesquisadora e a turma, em que se reforçava a importância de compreender a dúvida experimental por trás da figura; a informação transmitida pela figura e em como as asserções teóricas gerais eram relacionadas aos dados na discussão; e sobre qual era a novidade científica do artigo. Nós observamos que após a inserção dessa etapa os estudantes tendiam, em maior número, a realizar tratamento dos dados brutos e de produzir diversas formas de representações de dados (Figuras 19 e 20). Além disso, as afirmações no texto verbal eram, em maioria, apoiadas por esses dados (Figura 21), inclusive nas turmas T8 e T9, que não realizaram a etapa

de execução do experimento (Figura 27). Esses dados evidenciam a importância de se promover o treinamento no estilo da escrita científica e de se utilizar um modelo prévio para discussão com base em dados de natureza científica.

Entretanto, nós observamos que diversos grupos que diversificaram a representação de dados nem sempre recorriam a todas as inscrições literárias no texto escrito. Isso nos sugere que os estudantes podem ainda reter concepções sobre a representação de dados como um recurso ilustrativo, mobilizado porque houve demanda colocada pelo professor. Jiménez-Aleixandre, Rodríguez e Duschl (2000) consideram que se as tarefas escolares (“doing lesson”) forem realizadas pelos estudantes sem um propósito claro, elas podem representar entrave ao aprendizado científico. Assim, é necessário construir sentido para essas atividades e promover a incorporação dessas dentro de um propósito (“doing science”). Diante da importância que a representação de dados assume dentro das grandes áreas da pesquisa experimental dentro das biomédicas, onde figura a Imunologia, é fundamental que os sujeitos com formação na área desenvolvam habilidades relacionadas à representação e à interpretação de dados. Sendo assim, para favorecer a mobilização de inscrições literárias como um componente essencial da retórica no argumento científico, é necessário trabalhar esse aspecto de uma maneira mais pontual com os estudantes, por meio de metodologia ativa.

Essa observação é corroborada também pelas observações de que alguns textos tendiam a descrever dados não anexados nos “Cadernos de Laboratório” (G3, G5, G6, G15, G21, G27). Textos com essas características se aproximam do estilo dos relatórios didáticos, nos quais os aprendizes são treinados ao longo de toda a trajetória estudantil para fornecer respostas finais assertivas em detrimento da explanação do raciocínio que conduz à geração das conclusões. Possivelmente por isso, os sujeitos em questão não evidenciaram os dados na sessão de registros dos “Cadernos de Laboratório”. Nos chamou também a atenção os trechos onde havia a formulação de conclusões contrárias à mensagem passada pelos dados (G9, G10, G30), mas

que iam ao encontro da autoridade da literatura ou tentavam corroborar as hipóteses coletadas antes da análise. Esses dados evidenciam que é necessário construir maior repertório de investigação e estimular atividades que promovam a prática no gênero literário da escrita científica pelos estudantes.

Nós estamos de acordo com Kelly e Takao (2002) e consideramos o modelo de níveis epistêmicos vantajoso para a análise dos argumentos dos estudantes de graduação que se engajaram na nossa sequência didática-investigativa. Em geral, houve a formação de uma estrutura argumentativa bastante complexa, com a construção de diversas sentenças, categorizadas em diversos níveis, tanto para os grupos de estudantes que realizaram a prática laboratorial, quanto para os grupos que não realizaram. Além disso, a articulação com as práticas epistêmicas mostra que há uma boa correspondência entre o tipo de categoria de prática epistêmica mobilizada em relação ao nível epistêmico. Por exemplo, as asserções no NEI e no NEII apareciam associadas à descrição, à comparação, à interpretação e à referência direta aos dados. Já as asserções nos NEV e NEVI apareciam majoritariamente quando o sujeito desejava conceituar ou relacionar dados e teoria. Nós consideramos, assim, que as informações extraídas de ambas as análises, quando interpretadas em conjunto, sustentam as nossas conclusões. Além disso, essa associação tornou possível identificarmos que tipo de práticas do conhecimento foram recrutadas em quais instâncias de generalidade durante a análise de dados pelos estudantes.

A maioria das sentenças tendiam a se concentrar nos níveis particulares de descrição de dados (NEI e NEII), mesmo para os estudantes que não realizaram o experimento. Esse resultado não foi uma surpresa, considerando que os alunos se engajaram em uma investigação que requereu a análise de dados brutos como pré-requisito para se obter uma resposta ao problema colocado.

Em um estudo anterior, Mello, Marzin e Manzoni-de-Almeida (artigo em preparação) observaram um padrão diferente para a estrutura dos argumentos de estudantes brasileiros e franceses, engajados em duas investigações com análise de dados numéricos. Esses dados foram adaptados de resultados experimentais previamente obtidos a partir de técnicas da Imunologia, como por exemplo ELISA. A análise de argumentos pelo modelo de Toulmin mostra que as formulações dos estudantes foram fundamentadas majoritariamente nos aspectos teóricos relacionados às técnicas e minoritariamente na descrição de dados. Nós acreditamos que essa diferença se deva à estrutura da atividade planejada na pesquisa em questão. Os estudantes não realizaram treinamento na escrita científica e, além disso, receberam anexos contendo modelos e explicações sobre o funcionamento das técnicas em uma linguagem acessível. Essa estrutura pode ter influenciado no tipo de apoio que eles selecionaram, dada a complexidade da informação disponível dentro de um gráfico (Bowen et al., 1999; Roth & Pozzer-Ardenghi, 2013). Já na investigação com o tema de sistema complemento, houve um maior número de encontros com a professora-pesquisadora, o que possibilitou maior intervenção em termos de fornecer orientações sobre o que era esperado para os “Cadernos de Laboratório”.

Outro nível epistêmico que foi bastante contemplado nos argumentos dos alunos engajados na resolução do problema sobre sistema complemento foi o NEIV. O alto número de sentenças no NEIV pode estar relacionado ao enfrentamento de dificuldades pelos estudantes durante a realização dos experimentos, como por exemplo a falta de prática na pipetagem, os erros de manipulação, etc. Esses problemas podem se constituir fonte de dados anômalos (Crujeiras-Pérez & Jiménez-Aleixandre, 2017), cujo monitoramento constitui uma prática epistêmica (Jiménez-Aleixandre et al., 2008) que teve bastante ocorrência nos “Cadernos de Laboratório”.

É necessário, porém, investigar melhor essas sentenças futuramente. Diversas sentenças no NEIV foram categorizadas para os grupos que não realizaram o ensaio de fixação do

complemento, nos levando a questionar se o monitoramento de dados anômalos poderia estar sendo requerido como “porta de escape” por esses estudantes, diante de resultados experimentais complexos. Além disso, alguns grupos tendiam a não utilizar os dados anômalos que apareciam (G6 – Figura 13) ou simplesmente extrair conclusões opostas, como já foi citado. Faz-se necessário, portanto, verificar como os estudantes interpretam e monitoram a presença desses dados, se eles são corretamente identificados, em que momento isso acontece e se eles propõem ações pontuais diante do problema. Um estudo longitudinal evidencia que essas atitudes são refinadas à medida que o estudante se envolve progressivamente em investigação, favorecendo a capacidade de monitorar dados anômalos (Crujeiras-Pérez & Jiménez-Aleixandre, 2017).

A resposta à pergunta experimental é a etapa de maior complexidade da análise realizada pelos estudantes, dado que a obtenção dos valores de hemólise não constitui a meta final da investigação. Em um estudo revisional sobre ensino e aprendizagem de genética, Jiménez-Aleixandre et al. (2000) destacam que reconhecer padrões em dados é bastante difícil e, portanto, recomendam o uso de estratégias que promovam especificamente a interpretação dos dados no ensino disciplinar da área. De maneira similar, a análise dos resultados do teste de fixação do complemento tem seu componente de complexidade situado naquilo que só se vê após uma leitura cautelosa dos dados. Para resolver o problema investigado na nossa sequência, é necessário detectar aquelas evidências que não estão disponíveis à primeira vista. Isso requer a interpretação dos números e do estado macroscópico da placa em um contexto mais abrangente de recuperação da dúvida e das hipóteses. Pesquisas mostram que a recuperação das práticas sociais que levaram à condução da investigação não é tarefa simples (Bowen et al., 1999; Roth & Pozzer-Ardenghi, 2013). Por isso, a presença de afirmações categorizadas no NEIII foi considerada por nós um indicador da qualidade dos argumentos nos escritos dos estudantes.

Na nossa sequência investigativa, os momentos finais do primeiro encontro (*Fase I – aula 1*) foram dedicados pelo professor para a apresentação dialogada do ensaio de fixação do complemento, com referências diretas a essas características das análises. A proposta de investigação foi apresentada logo depois. Ainda, no caso dos grupos que realizaram a apresentação e artigos científicos (G4 à G51), o teste de hemólise pelo complemento e os mecanismos da análise indireta da fixação foram novamente inseridos dentro da discussão entre alunos e professora-pesquisadora, após o fim da apresentação do artigo 3 (Tabela III).

Nossas análises evidenciam que 30, dos 51 grupos construíram afirmações no NEIII. Esse resultado corrobora a interpretação que os outros autores fazem sobre a complexidade da interpretação de dados, tão necessária ao ensino disciplinar científico (Bowen et al., 1999; Jiménez-Aleixandre, 2012; Roth, 2013). A ausência de asserções no NEIII para 21 grupos sugere que alguns importantes elementos motivadores da investigação podem não ter sido recuperados durante as análises, por exemplo, as conclusões não perpassam diretamente uma resposta à questão de investigação. Para esses grupos é suficiente inferir conclusões sobre a presença ou ausência de hemólise, que era o resultado direto obtido da análise qualitativa da placa e do cálculo da atividade hemolítica. Esses resultados evidenciam que se desejamos treinar futuros profissionais para a aquisição de autonomia nos conhecimentos da Imunologia, devemos treiná-los na análise de experimentos de natureza indireta. Esse tipo de dado é corriqueiramente gerado de experimentos típicos da Imunologia, como é o caso do ELISA⁷ e da citometria de fluxo.

⁷ O ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) é um imunoensaio que se fundamenta na especificidade da ligação entre anticorpo e o epítipo antigênico para se determinar com grande acurácia a concentração de uma determinada molécula na solução. Existe mais de um método de ELISA disponível para as pesquisas básica e aplicada, mas em comum todos eles promovem a incubação dessa molécula com anticorpos complementares acoplados a uma enzima que converte um substrato incolor em um produto colorido, fornecendo uma medida indireta da ligação entre os dois. Essa medida é, então, determinada pela absorbância fornecida pela leitura em espectrofotômetro, gerando dados numéricos para análise.

Um ponto importante a ser observado é que dos 30 “Cadernos de Laboratório” com sentenças no NEIII, grande parte foi produzida pelos grupos de estudantes que não realizaram a prática laboratorial. Pela Figura 30, é possível perceber que 11, dos 12 grupos construíram sentenças nesse nível epistêmico, o que não é observado com a mesma intensidade para os grupos que executaram a coleta de dados no laboratório (Figuras 15 e 23). Esse resultado nos leva a especular se o engajamento na atividade laboratorial poderia influenciar o padrão de argumentos de uma maneira diferente daquela esperada por nós. Nossa hipótese é que estudantes em experimento podem direcionar a atenção às percepções adquiridas da experiência prática (presença ou não de hemólise) ao passo que o engajamento em análise de dados prévios favoreceria uma visão mais ampla e, assim, um maior número de sentenças no NEIII.

Esse dado, articulado às observações anteriores de que a inserção do artigo científico previamente ao experimento favorece um maior número de inscrições literárias (Figuras 10 e 19), de perguntas experimentais, de hipóteses e de resultados esperados válidos (Figuras 7 e 18), evidencia que diferentes modelos de investigação podem estimular o aparecimento de diferentes práticas científicas. Essa observação está de acordo com Hodson (2014) e reforça que a estratégia de investigação escolhida deve estar atrelada aos objetivos educacionais: se a intenção é promover engajamento em inscrições literárias e nas práticas relacionadas à compreensão da dimensão social do conhecimento (Kelly & Licona, 2018) dentro da Imunologia, o experimento pode ser um recurso metodológico útil dentro do ensino por investigação. Ao passo que se o objetivo é promover engajamento no argumento científico, uma atividade de análise de dados com treinamento prévio na estrutura do argumento parece ser uma estratégia mais interessante. Essas observações são corroboradas por outros autores, que apontam para a necessidade de treinamento prévio na estrutura do argumento (Jiménez-Aleixandre & Bustamante, 2003; Manzoni-de-Almeida, 2016; Sá et al., 2014).

Em relação à complexidade da técnica experimental executada em nossa atividade, em nossas análises nós observamos que alguns grupos constantemente se referiam à palavra absorvância como sinônimo para porcentagem de hemólise. A validade dessa inferência pode ser questionada se considerarmos que alguns grupos incubaram misturas heterogêneas com sólido em suspensão (aspirina, pó-de-giz, mel), ou mesmo soluções opacas (leite fermentado, leite desnatado), o que interfere na passagem da luz pelo laser na espectrofotometria e, portanto, nas análises de dados. Alguns grupos, entretanto, observam a ocorrência desse fenômeno e chegam até mesmo a sugerir um novo controle experimental onde a substância-teste sozinha é submetida ao laser, para descontar esse valor das análises (G23: leite desnatado).

As sentenças classificadas no NEVII correspondem basicamente àquelas que formularam conclusões em direção oposta às informações dos dados. As afirmações dos estudantes as quais não se encaixam no paradigma nos dizem muito sobre a forma como ensinamos Ciência, como se ela fosse o produto de um conhecimento pronto ou mesmo como uma atividade prática que deva necessariamente conduzir à formulação de respostas certas. A presença dessas sentenças nos “Cadernos de Laboratório” reforça que a educação científica deve introduzir a oportunidade do inédito e promover reflexões diante do aparecimento desse dentro do ambiente de aprendizagem.

Nós também classificamos no NEVII as sentenças que assumiram valores de absorvância e porcentagem de lise como sinônimos. A presença dessas sentenças reforça que o conhecimento dentro da cultura epistêmica com a qual trabalhamos é bastante específico, nos levando, assim, a reforçar a importância de engajar estudantes na investigação em temas típicos do conhecimento disciplinar da Imunologia. O engajamento gradual na investigação gera experiência, bagagem e diferentes momentos de interação que propiciam uma base de conhecimento para ser aproveitado na formulação dos escritos científicos. Além disso, as sentenças no NEVII foram importantes informativos sobre elementos a serem mais

profundamente acessados durante a prática de ensino, como por exemplo a retomada de conceitos, como o princípio da espectrofotometria e a relação desse com o cálculo da porcentagem de lise, bem a promoção de engajamento na natureza da ciência.

Outro aspecto relevante que deve ser investigado com mais cautela se refere ao vocabulário da Imunologia. Rumelhard (1990) realiza uma ampla discussão sobre o significado particular que os termos específicos assumem dentro da episteme da Imunologia, de forma que para nós, Imunologistas, realizar a categorização de termos empregados em um sentido diferente se torna algo difícil. A atribuição de sentido diferente aos termos *absorbância*, *reconhecimento* e *reação de aglutinação* foi observada por nós e evidencia a necessidade de se promover a incorporação do vocabulário da área por meio de atividades que incentivem a apropriação desse no contexto disciplinar da área.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho constituiu um apanhado dos aspectos epistêmicos gerais que aparecem em situações de ensino e aprendizagem de Imunologia. A existência de variabilidade entre essas situações torna impertinente a realização de comparações, mas permite uma ampla análise descritiva que abre caminhos para posteriores empreendimentos dentro da educação científica universitária. Nós apresentamos a criação de uma sequência didática investigativa com ou sem experimento que pode ser utilizada mesmo para currículos com pouca carga horária. A investigação foi concebida baseada em preceitos epistêmicos importantes na área, como a experimentação (execução de uma técnica típica da Imunologia), a abstração (análise de dados de natureza indireta), a argumentação científica (formulação de escritos verbais e não verbais nos “Cadernos de Laboratório”).

A aplicação da sequência foi realizada para nove turmas dos cursos das ciências biológicas e da saúde de uma universidade e incluiu uma adaptação para as turmas que dispõem de carga horária ainda menor, o que nos possibilita responder à nossa primeira questão de pesquisa: a importância da investigação como método de ensino na educação universitária perpassa a geração de oportunidades para as e os estudantes se aproximarem da cultura disciplinar científica em questão. Essa aproximação aconteceu pela mobilização de práticas sociais no planejamento da investigação, pela leitura de artigos científicos, pela manipulação de instrumentos de laboratório, pela mobilização de aspectos da escrita científica dentro dos textos produzidos nos “Cadernos de Laboratório”.

Esse último ponto se relaciona à segunda e terceira questões de pesquisa. A análise das práticas epistêmicas evidencia que os estudantes recorrem a algumas práticas sociais normatizadas, especialmente descrição, interpretação, menção às inscrições não verbais e relação entre dado e teoria. Essas práticas têm correspondência com as práticas mobilizadas pelos pesquisadores durante a análise de dados experimentais. Interessantemente, os estudantes

parecem trazer previamente algum conhecimento sobre estilo de escrita científica, que se traduz no uso corriqueiro de contraposições, correspondências com expectativas, e menção a dados anômalos nos argumentos. A análise da estrutura dos argumentos revela que, nesse caso, também há similaridade com a estrutura de um argumento científico. Os estudantes construíam sentenças em diferentes níveis de generalidade, com predomínio de asserções nos níveis epistêmicos do contexto particular de análise (NEI e NEII) ou dos fatores relacionados ao contexto de obtenção dos dados (NEIV).

Essas análises gerais nos evidenciam o surgimento de alguns aspectos epistêmicos que precisam ser contemplados em futuras estratégias de ensino e aprendizagem ativa, respondendo a nossa quarta questão de pesquisa. Os aspectos revelados pelas nossas análises de relacionam à representação, à interpretação e ao uso de dados das técnicas da Imunologia e à mobilização de vocabulário específico da área.

Com relação aos três grandes objetivos de aprendizagem destacados por Hodson (2014), nos consideramos que aprendizagem por investigação pode conduzir à formação de conceitos (*learning science*). A abordagem conceitual foi realizada durante a apresentação da teoria sobre o complemento, retomada a leitura e apresentação de artigos científicos, e mobilizada pelos estudantes durante a coleta e análise de dados, o que pode ser verificado pelas sentenças nos NEV e NEVI. A leitura e apresentação de artigos pelos estudantes, com a posterior discussão mediada pela professora-pesquisadora se relaciona diretamente com o segundo objetivo de aprendizagem (*learning about science*), em que elementos da natureza do conhecimento científico da Imunologia foram mobilizados para compor o diálogo entre os membros do ambiente de aprendizagem. O terceiro objetivo de aprendizagem (*doing science*) se realizou no conjunto da investigação. Nós compreendemos que o fator tempo é um limitante que impõe a realização de adaptações ao modelo ideal de investigação científica autêntica. Entretanto,

mesmo diante dessas adaptações, os estudantes foram oportunizados a realizar diversas práticas que se aproximam da prática científica.

Essa pesquisa contribui para os estudos epistemológicos sobre educação científica. Ao revelar aspectos epistêmicos que aparecem na linguagem de estudantes engajados na análise de dados para resolução de um problema em Imunologia, abre caminho para a diversificação dos ambientes de aprendizagem desse campo, ao mesmo tempo em que fornece informações sobre importantes questões que devem ser acessadas, para promover uma formação científica mais sólida no ensino disciplinar de Imunologia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, R. D. (2002). Reforming Science Teaching: What Research Says About Inquiry AU - Anderson, Ronald D. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1-12. doi: 10.1023/A:1015171124982
- Andrade, V. A., Araújo-Jorge, T. C., & Coutinho-Silva, R. (2016). Concepções discentes sobre imunologia e sistema imune humano. *Investigações em Ensino de Ciências*, 21(3), 1-22. doi: Investigações em Ensino de Ciências
- Angioi, A., Fervenza, F. C., Sethi, S., Zhang, Y., Smith, R. J., Murray, D., . . . De Vriese, A. S. (2016). Diagnosis of complement alternative pathway disorders. *Kidney Int*, 89(2), 278-288. doi: 10.1016/j.kint.2015.12.003
- Araújo, A. O., & Mortimer, E. F. (2009). *The epistemic practices and their relations with the types of text which circulate in practical work in chemistry classrooms*. Paper presented at the Encontro Nacional de Pesquisa e Educação em Ciências, Florianópolis.
- Barman, S., Kayama, H., Okuzaki, D., Ogino, T., Osawa, H., Matsuno, H., . . . Takeda, K. (2016). Identification of a human intestinal myeloid cell subset that regulates gut homeostasis. *Int Immunol*, 28(11), 533-545. doi: 10.1093/intimm/dxw034
- Barral, A. M. P., & Barral-Netto, M. (2007). Uma breve perspectiva da imunologia no Brasil e na Bahia. *Gazeta Médica da Bahia*. *Gazeta médica da Bahia*, 77(2), 241-244.
- Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: from Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265-278. doi: <https://doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5>
- Belkaid, Y., & Harrison, O. J. (2017). Homeostatic Immunity and the Microbiota. *Immunity*, 46(4), 562-576. doi: 10.1016/j.immuni.2017.04.008
- Blaga, L. (2014). *O experimento e o espírito matemático*. São Paulo: E Realizações.
- Blanchard, M. R., Southerland, S. A., Osborne, J. W., Sampson, V. D., Annetta, L. A., & Granger, E. M. (2010). Is Inquiry Possible in Light of Accountability?: A Quantitative Comparison of the Relative Effectiveness of Guided Inquiry and Verification Laboratory Instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616. doi: 10.1002/sce.20390
- Borges, R. M. R., & Lima, V. M. R. (2007). Tendências contemporâneas do ensino de Biologia no Brasil. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(1), 165-175.
- Bowen, G. M., Roth, W. M., & McGinn, M. K. (1999). Interpretations of graphs by university biology students and practicing scientists: Toward a social practice view of scientific representation practices. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(9), 1020-1043. doi: Doi 10.1002/(Sici)1098-2736(199911)36:9<1020::Aid-Tea4>3.0.Co;2-#
- Cadwell, K. (2016). Crosstalk between autophagy and inflammatory signalling pathways: balancing defence and homeostasis. *Nat Rev Immunol*, 16(11), 661-675. doi: 10.1038/nri.2016.100
- Callenbach, E. (2006). O poder das palavras. In F. Capra (Ed.), *Alfabetização ecológica* (pp. 312). São Paulo: Cultrix.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218. doi: 10.1002/sce.10001
- Cicuto, C., Pazinato, M., & Torres, B. B. (2019). Teaching metabolism with scientific articles: A new approach. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 47(1), 85-92. doi: doi:10.1002/bmb.21187
- Coombes, J. L., & Powrie, F. (2008). Dendritic cells in intestinal immune regulation. *Nat Rev Immunol*, 8(6), 435-446. doi: 10.1038/nri2335
- Crujeiras-Perez, B., & Jimenez-Aleixandre, M. P. (2017). High school students' engagement in planning investigations: findings from a longitudinal study in Spain. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(1), 99-112. doi: 10.1039/c6rp00185h

- Crujeiras-Pérez, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2017). Students' Progression in Monitoring Anomalous Results Obtained in Inquiry-Based Laboratory Tasks. *Research in Science Education*. doi: 10.1007/s11165-017-9641-3
- DeBoer, G. E. (2006). Historical Perspectives On Inquiry Teaching In Schools. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (pp. 17-35). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Dong, R., & Liu, H. (2016). Establishment of a method for measuring total complement activity based on a hemolysis system using own red blood cells. *J Immunol Methods*, 430, 21-27. doi: 10.1016/j.jim.2016.01.010
- Duschl, R. A. (2008). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291. doi: 10.3102/0091732x07309371
- Erduran, S., & Dagher, Z. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education: Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories* (Vol. 43). Netherlands: Springer Netherlands.
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. W. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915-933. doi: doi:10.1002/sce.20012
- Fazenda, I. (1995). *Metodologia da Pesquisa Educacional*. São Paulo: Cortez Editora.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. doi: 10.1073/pnas.1319030111
- Fuller, K. G. (2008). Exploring the Innate Immune System: Using Complement-Mediated Cell Lysis in the Classroom. *The American Biology Teacher*, 70(2), 103-108. doi: 10.2307/30163212
- Furtado, C. A., Davis, C. A., Jr., Goncalves, M. A., & de Almeida, J. M. (2015). A Spatiotemporal Analysis of Brazilian Science from the Perspective of Researchers' Career Trajectories. *PLoS One*, 10(10), e0141528. doi: 10.1371/journal.pone.0141528
- Geraldi, A. M., & Scarpa, D. L. (2017). *Relações entre o grau de abertura de atividades investigativas e a qualidade dos argumentos construídos por estudantes do ensino fundamental*. Paper presented at the XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - XI ENPEC, Florianópolis, SC
- Girault, I., & d'Ham, C. (2014). Scaffolding a Complex Task of Experimental Design in Chemistry with a Computer Environment. *Journal of Science Education and Technology*, 23(4), 514-526. doi: 10.1007/s10956-013-9481-5
- Godoy, A. S. (1995). Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. *Revista de Administração de Empresas*, 35, 20-29.
- Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553. doi: 10.1080/09500693.2014.899722
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (1994). Teaching evolution and natural selection: a look at textbooks and teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 519-535. doi: doi:10.1002/tea.3660310507
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Determinism and Underdetermination in Genetics: Implications for Students' Engagement in Argumentation and Epistemic Practices. *Science & Education*, 23(2), 465-484. doi: 10.1007/s11191-012-9561-6
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo-Rodríguez, A., & Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792. doi: doi:10.1002/1098-237X(200011)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F

- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Bustamante, J. D. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 21(3), 359-370.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Mortimer, E. F., Silva, A. C. T., & Días, J. (2008). *Epistemic Practices: an analytical framework for science classrooms*. Paper presented at the AERA Annual Meeting, New York City.
- Kabat, E. A. K., & Mayer, M. M. (1961). *Kabat and Mayer's Experimental Immunochemistry. Revised and Enlarged. By E.A. Kabat ... With Chapters on Complement and Complement Fixation, and Kjeldahl Nitrogen Determination by M.M. Mayer. (Second Edition.)*: Springfield, Ill.
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity, and epistemic practice. In R. A. e. G. Duschl, R. E. (Ed.), *Teaching scientific inquiry. Recommendations for research and implementation* (pp. 380). Rotterdam: : Sense Publishers.
- Kelly, G. J. (2016). Methodological considerations for interactional perspectives on epistemic cognition. In J. A. Greene, W. A. Sandoval & I. Bråten (Eds.), *Handbook of epistemic cognition* (pp. 16). New York: Routledge.
- Kelly, G. J., & Chen, C. (1999). The sound of music: Constructing science as sociocultural practices through oral and written discourse. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), 883-915. doi: doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199910)36:8<883::AID-TEA1>3.0.CO;2-I
- Kelly, G. J., & Duschl, R. A. (2002). *Toward a research agenda for epistemological studies in science education*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans.
- Kelly, G. J., & Licona, P. (2018). Epistemic Practices and Science Education. In M. Matthews (Ed.), *History, Philosophy and Science Teaching. Science: Philosophy, History and Education* (pp. 139-165). Dordrecht: Springer.
- Kelly, G. J., & Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86(3), 314-342. doi: doi:10.1002/sce.10024
- Krasilchik, M. (2004). *Prática de Ensino de Biologia*: EDUSP.
- Lampert, E. (2008). O ensino com pesquisa: realidade, desafios e perspectivas na Universidade brasileira. *Revista Galego-Portuguesa de Psicología e Educación*, 16, 31-44.
- Latour, B. (1987). *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*: Harvard University Press.
- Latour, B., & Woolgar, S. (1986). *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*: Princeton University Press.
- Lima, K. E. C., & Teixeira, F. M. (2011). *A epistemologia e a história do conceito experimento/experimentação e seu uso em artigos científicos sobre ensino das ciências*. Paper presented at the VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências - VIII ENPEC / I Congresso Iberoamericano de Investigación en Enseñanza de las Ciencias - CIEC, Campinas.
- Longino, H. E. (2000). Toward an epistemology for biological pluralism. In R. Creath & J. Maienschein (Eds.), *Biology and epistemology* (pp. 261-286). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lopes-Scarpa, D., & Frateschi-Trivelato, S. (2013). Movimentos entre a cultura escolar e cultura científica: análise de argumentos em diferentes contextos. *Magis Revista Internacional de Investigación en Educación*, 6(12), 69 -85.
- Louveau, A., Smirnov, I., Keyes, T. J., Eccles, J. D., Rouhani, S. J., Peske, J. D., . . . Kipnis, J. (2016). Corrigendum: Structural and functional features of central nervous system lymphatic vessels. *Nature*, 533(7602), 278. doi: 10.1038/nature16999
- Ludke, M., & André, M. E. D. A. (2013). *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.
- Manzoni-de-Almeida, D. (2016). O desenvolvimento da escrita argumentativa nas aulas de imunologia do ensino superior por metodologias ativas. *Compartilhe Docência*, 1(2), 3-19.

- Manzoni-de-Almeida, D., Marzin-Janvier, P., & Trivelato, S. L. F. (2016). Analysis of epistemic practices in reports of higher education students groups in carrying out the inquiry-based activity of immunology. *Investigações em Ensino de Ciências*, 21(2), 105-120. doi: <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v21n2p105>
- Manzoni-de-Almeida, D., & Trivelato, S. L. F. (2015). *Elaboração de uma atividade de ensino por investigação sobre o desenvolvimento de linfócitos B*. Paper presented at the X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências Águas de Lindóia.
- Marzin, P., & De Vries, E. (2008). *How can we take into account student conceptions of the facial angle in a palaeontology laboratory work?* Paper presented at the International Conference on Learning Science, Utrecht, Netherlands.
- Mayr, E. (2004). *What Makes Biology Unique?: Considerations on the Autonomy of a Scientific Discipline*: Cambridge University Press.
- Mengxiao, Z., Lee, H. S., Wang, T., Liu, O. L., Belur, V., & Pallant, V. (2017). Investigating the impact of automated feedback on students' scientific argumentation. *International Journal of Science Education*, 39(12), 1648-1668. doi: 10.1080/09500693.2017.1347303
- Munford, D., & Lima, M. E. C. C. (2007). Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo? *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 9, 89-111.
- National Research Council (1996). National science education standards. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2000). Inquiry and the national science education standards. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2002). Scientific Research in Education. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2010). Advancing the Science of Climate Change. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington, DC: The National Academies Press.
- Østergaard, E., Dahlin, B., & Hugo, A. (2008). Doing phenomenology in science education: a research review. *Studies in Science Education*, 44(2), 93-121. doi: 10.1080/03057260802264081
- Pereira, M. G., Trivelato, S. L. F., & Manzoni-de-Almeida, D. (2017). A argumentação como prática epistêmica no ensino de Imunologia: Estrutura e uso de uma proposta didática sob uma orientação epistemológica. *Revista de Educación em Biologia*, 20(1), 40-55.
- Pillemer, L., Seifter, S., & Ecker, E. E. (1942). The role of the components of complement in specific immune fixation. *The Journal of Experimental Medicine*, 75(4), 421-435. doi: 10.1084/jem.75.4.421
- Popper, K. R. (1972). *Objective knowledge: an evolutionary approach*: Clarendon Press.
- Roth, W. M. (2013). Undoing decontextualization or how scientists come to understand their own data/graphs. *Science Education*, 97(1), 80-112. doi: 10.1002/sce.21044
- Roth, W. M., & Pozzer-Ardenghi, L. (2013). Pictures in Biology Education. In D. F. Treagust & C.-Y. Tsui (Eds.), *Multiple Representations in Biological Education* (pp. 39-53). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Rumelhard, G. (1990). Le concept de système immunitaire. *Aster*, 2(10), 8-26. doi: <https://doi.org/10.4267/2042/9129>
- Sá, L. P., Kasseboehmer, A. C., & Queiroz, S. L. (2014). Esquema de argumento de toulmin como instrumento de ensino: Explorando possibilidades. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 16, 147-170.
- Sandoval, W. A. (2000). *Designing Knowledge Representations for Learning Epistemic Practices of Science*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, New Orleans.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634-656. doi: doi:10.1002/sce.20065

- Sasseron, L., & Carvalho, A. M. P. (2011). Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(1), 59-77.
- Sasseron, L. H., & Duschl, A. R. (2016). Science Teaching and epistemic practices: teachers' role and students' engagement. *Investigações em Ensino de Ciências*, 21(2), 52-67. doi: <http://dx.doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v21n2p52>
- Scarpa, D. L. (2009). *Cultura escolar e cultura científica: aproximações, distanciamentos e hibridações por meio da análise de argumentos no ensino de biologia e na biologia*. (PhD Thesis), University of São Paulo, São Paulo.
- Schroeder, E., Ferrari, N., & Maestrelli, S. (2010). Construção dos conceitos científicos em aulas de ciências: a teoria histórico-cultural do desenvolvimento como referencial para análise de um processo de ensino sobre sexualidade humana. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 3(1), 21-49. doi: <https://doi.org/10.5007/%x>
- Scott, P., & Mortimer, E. F. (2005). Meaning Making in High School Science Classrooms: A Framework for Analysing Meaning Making Interactions. In K. Boersma, M. Goedhart, O. de Jong & H. Eijkelhof (Eds.), *Research and the Quality of Science Education* (pp. 395-406). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Servais, G., Walmagh, J., & Duchateau, J. (1991). Simple quantitative haemolytic microassay for determination of complement alternative pathway activation (AP50). *J Immunol Methods*, 140(1), 93-100. doi: [https://doi.org/10.1016/0022-1759\(91\)90130-8](https://doi.org/10.1016/0022-1759(91)90130-8)
- Silva, F. A. R. (2011). *O ensino de ciências por investigação na educação superior: um ambiente para o estudo da aprendizagem científica*. (PhD thesis), Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-8R2KQA>
- Silva, F. A. R., & Mortimer, E. F. A. (2013). Contribuição da teoria da atividade na compreensão dos processos de ensino e aprendizagem de uma atividade investigativa no ensino superior. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 1(Extra Issue), 3075-3081.
- Silva, L. R. (2014). *Imunologia no ensino médio: dos PCN às matrizes de referência*. Monografia (Bachelor of Biology), Federal University of Paraíba, João Pessoa.
- Silveira, F. L. (1996). A filosofia da ciência de Karl Popper: o racionalismo. 1996, 13(3), 22. doi: 10.5007/%x
- Siqueira-Batista, R., Gomes, A. P., Albuquerque, V. S., Madalon-Fraga, R., Aleksandrowicz, A. M. C., & Geller, M. (2009). Ensino de imunologia na educação médica: lições de Akira Kurosawa. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 33, 186-190.
- Smithenry, D. W. (2010). Integrating Guided Inquiry into a Traditional Chemistry Curricular Framework AU - Smithenry, Dennis William. *International Journal of Science Education*, 32(13), 1689-1714. doi: 10.1080/09500690903150617
- Stavitsky, A. B., Stavitsky, R., & Ecker, E. E. (1949). Loss of Hemolytic-Complement Activity and of Granulocytes Following Reinjection of an Antigen into the Rabbit. *The Journal of Immunology*, 63(4), 389-407.
- Tauber, A. I. (1999). The Elusive Self: A Case of Category Errors. *Perspectives in Biology and Medicine*, 42(4), 459-474. doi: 10.1353/pbm.1999.0008
- Tauber, A. I. (2000). Moving beyond the immune self? *Seminars in Immunology*, 12(3), 241-248. doi: <https://doi.org/10.1006/smim.2000.0237>
- Toulmin, S. E. (2003). *The Uses of Argument*: Cambridge University Press.
- Trivelato, S. L. F., & Tonidandel, S. M. R. (2015). Ensino por investigação: Eixos organizadores para sequências de ensino de biologia. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 17, 97-114.
- Varol, C., Zigmund, E., & Jung, S. (2010). Securing the immune tightrope: mononuclear phagocytes in the intestinal lamina propria. *Nature Reviews Immunology*, 10, 415. doi: 10.1038/nri2778 <https://www.nature.com/articles/nri2778#supplementary-information>

- Vieira, Q., Nicoli, J. R., Prado, V. F., Santoro, M. M., & Teixeira, S. M. R. (2001). Abordagem Prática Para o Ensino de Bioquímica. *2001*, *1*(1), 7. doi: 10.16923/reb.v1i1.6
- Weber, K. S., Bridgewater, L. C., Jensen, J. L., Breakwell, D. P., Nielsen, B. L., & Johnson, S. M. (2018). Personal microbiome analysis improves student engagement and interest in Immunology, Molecular Biology, and Genomics undergraduate courses. *PLoS One*, *13*(4), e0193696. doi: 10.1371/journal.pone.0193696
- Yarmolinsky, M., & Hoess, R. (2015). The Legacy of Nat Sternberg: The Genesis of Cre-lox Technology. *Annu Rev Virol*, *2*(1), 25-40. doi: 10.1146/annurev-virology-100114-054930

7. ANEXOS

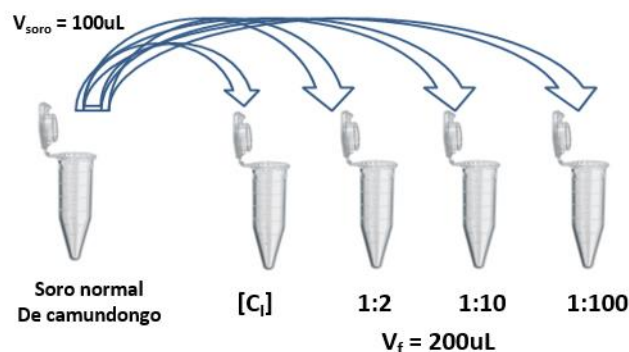
7.1 Protocolo experimental para fixação do sistema complemento

PROTOCOLO EXPERIMENTAL PARA FIXAÇÃO DO SISTEMA COMPLEMENTO

Objetivo: Avaliação da interação de uma substância-teste com a via alternativa do sistema do complemento

PARTE I: Tratamento das amostras

- Em cada um dos tubos eppendorf adicionar 100 uL de soro normal de camundongo;
- Para a curva de concentração da substância teste você deve preparar 4 soluções com diferentes concentrações em um volume de solução-teste de 100 uL:
 1. Solução teste na concentração inicial
 2. Solução teste na concentração de 1:2 em solução salina
 3. Solução teste na concentração de 1:10 em solução salina
 4. Solução teste na concentração de 1:100 em solução salina
- Após a adição de soro e de substância teste, você terá um volume final de 200 uL segundo o esquema abaixo:



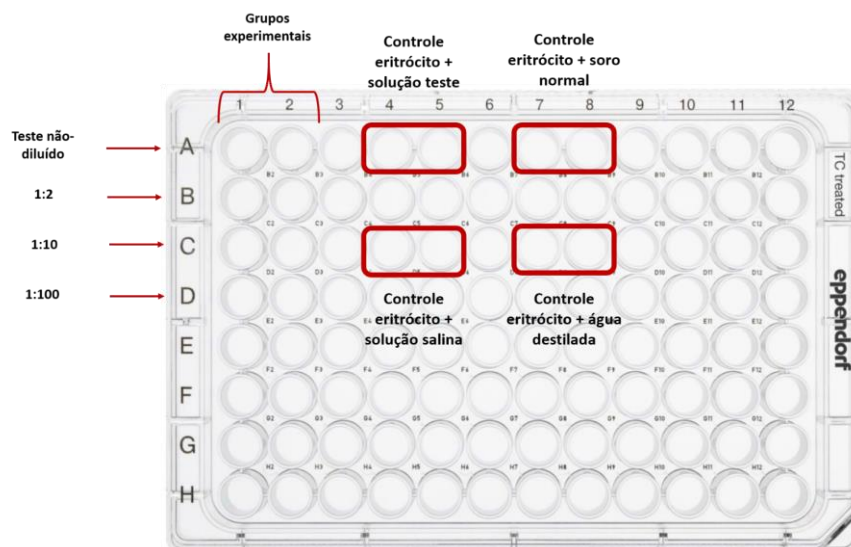
- Incubar por 15 minutos a 37 graus;

PARTE II: O EXPERIMENTO

- Você receberá os eritrócitos de coelho diluídos em tampão AP buffered salina (5 mM Na-barbital, 10 mM EGTA, 7 mM MgCl_2 ; 150 mM NaCl, pH 7.4) na concentração final 2%.

- Na placa de 96 poços de fundo redondo plaquear 150 µL de tampão AP buffered salina por poço segundo o desenho da placa. Adicionar mais 50 µL, em todos os poços, da solução contendo os eritrócitos de coelho.
- Adicionar 50 µL das diluições do teste nos poços correspondentes;
- Adicionar 50 µL de solução teste não diluída nos poços do controle eritrócitos + solução teste
- Adicionar 50 µL do soro normal nos poços do controle eritrócitos + soro
- Adicionar 50 µL de solução salina nos poços do controle eritrócitos + salina
- Adicionar 50 µL de água destilada nos poços do controle eritrócitos + água
- Incubar a placa de 96 poços a 37°C, por 30 minutos.

DESENHO DA PLACA



PARTE III: A LEITURA DO EXPERIMENTO

- Centrifugar a placa a 1300 rpm, 5 minutos
- Em outra placa de fundo reto adicionar 150 µL de água + 50 µL do sobrenadante
- Fazer a leitura 414 nm em espectrofotômetro.

PARTE IV: ANÁLISE

Cálculo da atividade hemolítica : A partir das médias dos valores de absorbância (Abs), as porcentagens de hemólise (y) serão calculadas utilizando a seguinte fórmula:

$$y = \left[\frac{(Abs_{SÇ\ TESTE} - Abs_{SÇ\ SEM\ LISE})}{(Abs_{SÇ\ 100\%LISE} - Abs_{SÇ\ SEM\ LISE})} \right] \times 100\%$$

7.2 Cadernos de laboratório

7.2.1. Cadernos de laboratório das turmas T1 a T7

CADERNO DE LABORATÓRIO

VERIFICAÇÃO DE INTERFERÊNCIA NA VIA ALTERNATIVA DO SISTEMA DO COMPLEMENTO:

Existem fatores (substâncias) que, adicionadas ao soro, são capazes de interferir na lise pelo complemento?

DISCIPLINA:

DATA:

GRUPO:

Qual é a pergunta (dúvida experimental) para avaliação da interação com a cascata do sistema do complemento?

Por que você escolheu testar o reagente em questão?

Qual hipótese foi formulada sobre interação com a cascata do sistema do complemento?

Quais são os reagentes/produtos/meios físicos serão usados na experimentação? Defina as condições, como a concentração em que esse material será utilizado.

Quais são resultados esperados no experimento? Esquematize.

Há algum dado que ajudou a formulação a hipótese?

Houve alguma literatura consultada para formular a hipótese e a pergunta? Qual?

Descreva a metodologia utilizada no o seu experimento

Registre os dados obtidos durante o seu experimento

Descreva os resultados encontrados durante o seu experimento

Baseado nos seus resultados e nos seus conhecimentos sobre imunologia e sistema do complemento, justifique os resultados encontrados.

Conclua o seu experimento

7.2.2 Cadernos de laboratório das turmas T8 e T9

CADERNO DE LABORATÓRIO TIPO A
VERIFICAÇÃO DE INTERFERÊNCIA NA VIA ALTERNATIVA DO SISTEMA DO
COMPLEMENTO:

Existem fatores (substâncias) que, adicionadas ao soro, são capazes de interferir na lise pelo complemento?

DISCIPLINA: Imunologia Ciências Biológicas R

DATA:

GRUPO (nome completo dos integrantes):

Pergunta experimental: O hidróxido de sódio (NaOH) interfere na lise de hemácias pelo complemento?

Para a verificação da pergunta experimental foram montados os seguintes grupos:

Grupo experimental 1 = NaOH 10 Mol/L + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo experimental 2 = NaOH 5 Mol/L + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo experimental 3 = NaOH 1 Mol/L + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

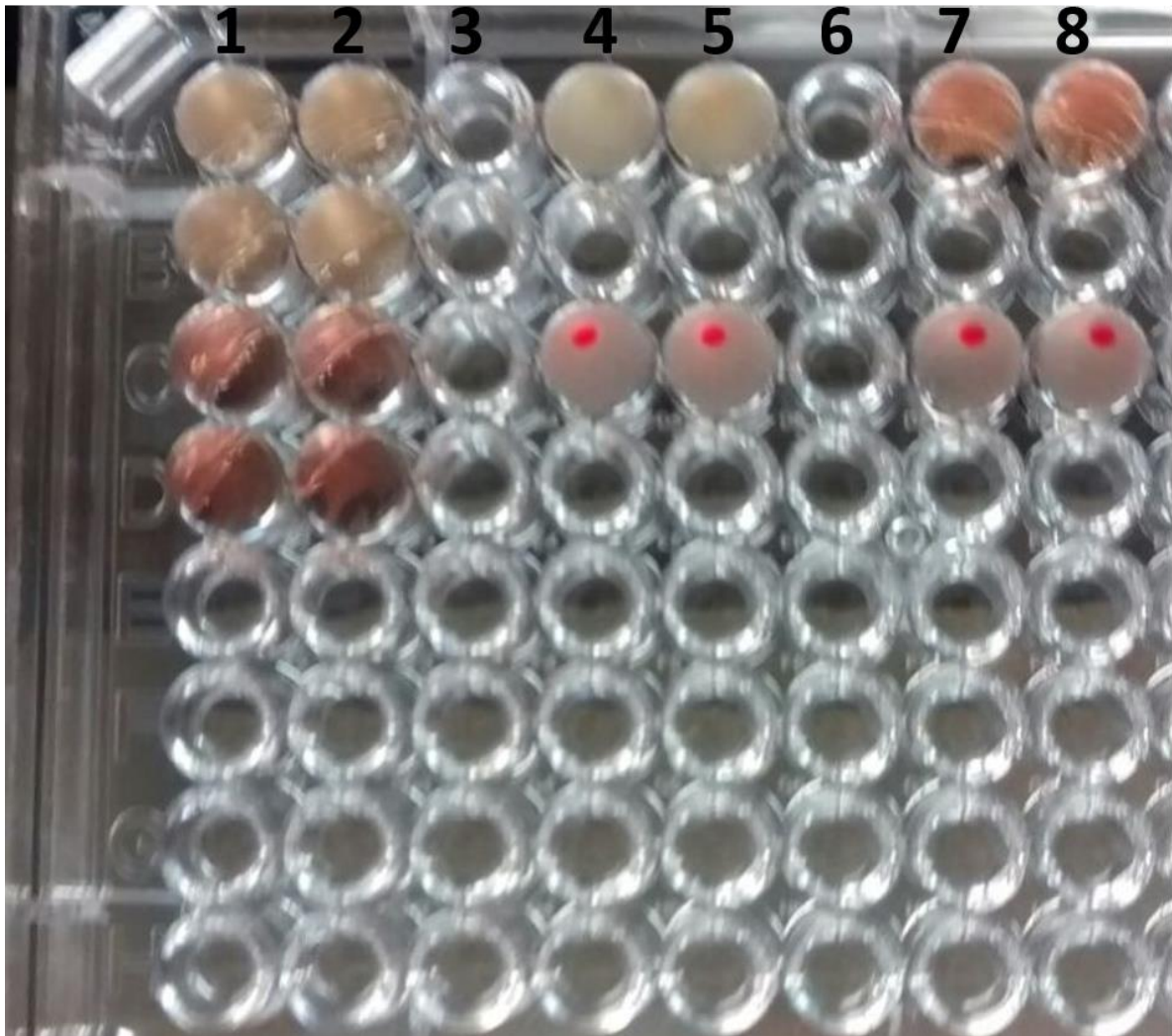
Grupo experimental 4 = NaOH 0,1 Mol/L + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo controle 1 = NaOH 10 Mol/L + eritrócitos de coelho

Grupo controle 2 = Soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo controle 3 = Solução salina + eritrócitos de coelho

Grupo controle 4 = Água destilada + eritrócitos de coelho



Fotografia do fundo da placa após centrifugação

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A | 0.137 | 0.229 | 0.044 | 0.515 | 0.602 | 0.041 | 0.474 | 0.523 | 0.039 | 0.043 | 0.041 | 0.040 |
| B | 0.309 | 0.557 | 0.049 | 0.047 | 0.046 | 0.046 | 0.047 | 0.045 | 0.046 | 0.047 | 0.045 | 0.043 |
| C | 0.148 | 0.238 | 0.043 | 0.057 | 0.057 | 0.044 | 0.036 | 0.069 | 0.043 | 0.044 | 0.041 | 0.039 |
| D | 0.593 | 0.578 | 0.042 | 0.042 | 0.043 | 0.042 | 0.041 | 0.041 | 0.040 | 0.041 | 0.040 | 0.039 |
| E | 0.040 | 0.041 | 0.041 | 0.043 | 0.043 | 0.043 | 0.042 | 0.041 | 0.040 | 0.042 | 0.041 | 0.041 |
| F | 0.042 | 0.043 | 0.044 | 0.044 | 0.044 | 0.044 | 0.043 | 0.043 | 0.043 | 0.044 | 0.043 | 0.041 |
| G | 0.042 | 0.043 | 0.043 | 0.044 | 0.042 | 0.043 | 0.043 | 0.043 | 0.044 | 0.043 | 0.042 | 0.042 |
| H | 0.040 | 0.041 | 0.042 | 0.042 | 0.041 | 0.040 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.039 |

Fotografia dos dados gerados após leitura em espectrofotômetro

Registre suas análises para os resultados encontrados durante o seu experimento.

Descreva os resultados encontrados durante o seu experimento.

Baseado nos resultados e nos seus conhecimentos sobre imunologia e sistema do complemento, justifique os resultados encontrados.

Conclua o experimento.

CADERNO DE LABORATÓRIO TIPO B
VERIFICAÇÃO DE INTERFERÊNCIA NA VIA ALTERNATIVA DO SISTEMA DO
COMPLEMENTO:

Existem fatores (substâncias) que, adicionadas ao soro, são capazes de interferir na lise pelo complemento?

DISCIPLINA: Imunologia Ciências Biológicas R

DATA:

GRUPO (nome completo dos integrantes):

Pergunta experimental: Componentes do camarão são capazes de interferir na lise de hemácias pelo complemento?

Para a verificação da pergunta experimental, um camarão de 2,40 g foi macerado sem casca em 5,00 mL de água destilada. Então foram montados os seguintes grupos:

Grupo experimental 1 = Solução de camarão na concentração inicial + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo experimental 2 = Solução de camarão 1:2 + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo experimental 3 = Solução de camarão 1:10 + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

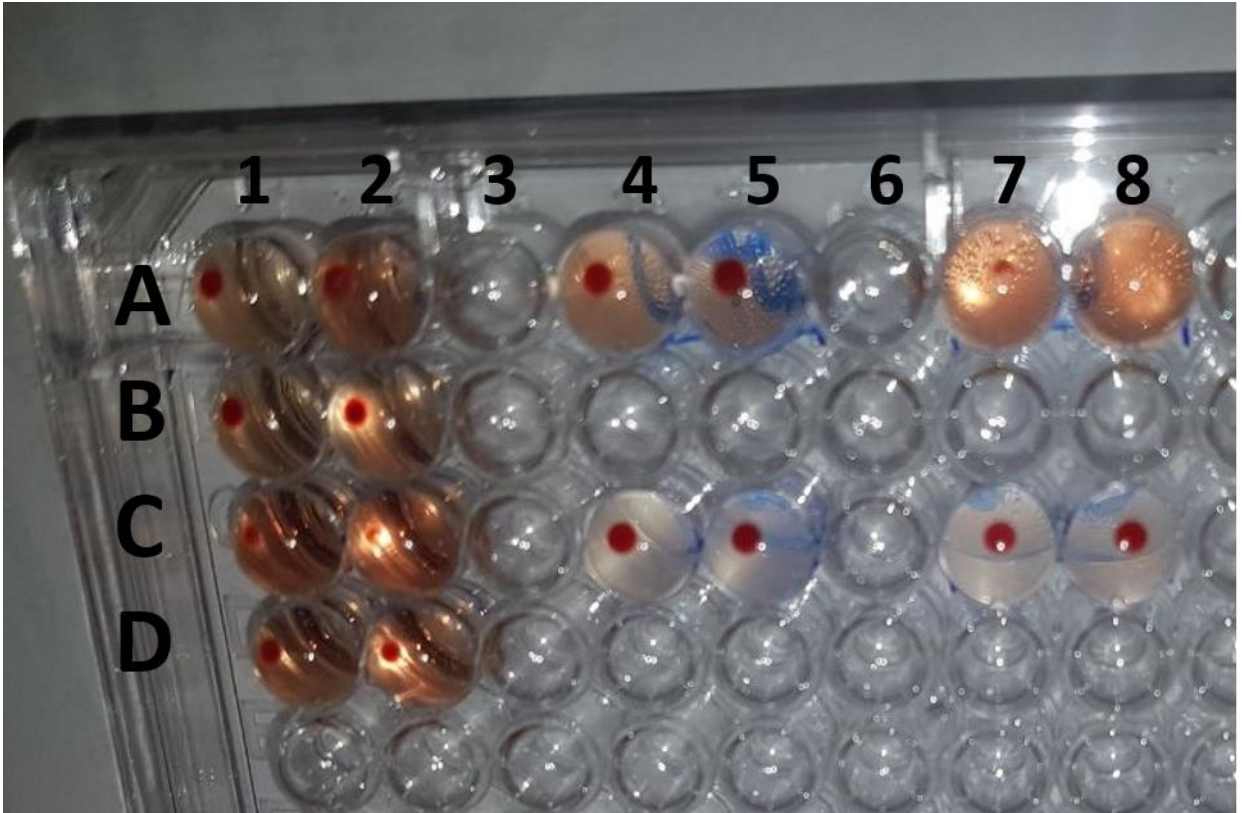
Grupo experimental 4 = Solução de camarão 1:100 + soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo controle 1 = Solução de camarão na concentração inicial + eritrócitos de coelho

Grupo controle 2 = Soro normal de camundongo + eritrócitos de coelho

Grupo controle 3 = Solução salina + eritrócitos de coelho

Grupo controle 4 = Água destilada + eritrócitos de coelho



Fotografia do fundo da placa após centrifugação

| Plate#1 | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| A | 0.217 | 0.355 | 0.042 | 0.298 | 0.133 | 0.042 | 0.530 | 0.524 | 0.042 | 0.042 | 0.043 | 0.047 |
| B | 0.254 | 0.254 | 0.044 | 0.048 | 0.045 | 0.046 | 0.045 | 0.044 | 0.045 | 0.046 | 0.045 | 0.044 |
| C | 0.523 | 0.474 | 0.043 | 0.055 | 0.058 | 0.040 | 0.094 | 0.067 | 0.043 | 0.044 | 0.042 | 0.041 |
| D | 0.585 | 0.676 | 0.042 | 0.044 | 0.045 | 0.044 | 0.044 | 0.040 | 0.042 | 0.041 | 0.042 | 0.042 |
| E | 0.043 | 0.041 | 0.044 | 0.045 | 0.045 | 0.043 | 0.043 | 0.043 | 0.046 | 0.041 | 0.041 | 0.043 |
| F | 0.043 | 0.043 | 0.042 | 0.045 | 0.053 | 0.043 | 0.044 | 0.046 | 0.044 | 0.043 | 0.042 | 0.042 |
| G | 0.042 | 0.042 | 0.042 | 0.044 | 0.043 | 0.043 | 0.046 | 0.045 | 0.043 | 0.044 | 0.042 | 0.044 |
| H | 0.044 | 0.041 | 0.044 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.041 | 0.040 | 0.042 | 0.043 | 0.043 | 0.041 |

Fotografia dos dados gerados após leitura em espectrofotômetro

Registre as suas análises para os resultados encontrados durante o experimento

Descreva os resultados encontrados durante o seu experimento

Baseado nos resultados e nos seus conhecimentos sobre imunologia e sistema do complemento, justifique os resultados encontrados.

Conclua o experimento