

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO
DEPARTAMENTO DE DESIGN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN**

Felipe de Brito Lima

**A epistemologia de um experimento multimétodo de design e avaliação de
funcionalidades de um artefato digital educacional**

**Recife
2020**

Felipe de Brito Lima

A epistemologia de um experimento multimétodo de design e avaliação de funcionalidades de um artefato digital educacional

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Design.

Área de concentração: planejamento e contextualização de artefatos

Orientador: prof. doutor Silvio Romero Botelho Barreto Campello

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecária Jéssica Pereira de Oliveira, CRB-4/2223

L732e Lima, Felipe de Brito
 A epistemologia de um experimento multimétodo de design e avaliação
 de funcionalidades de um artefato digital educacional / Felipe de Brito Lima.
 – Recife, 2020.
 211f.: il.

 Orientador: Silvio Romero Botelho Barreto Campello.
 Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de
 Artes e Comunicação. Programa de Pós-Graduação em Design, 2020.

 Inclui referências e apêndices.

 1. Design. 2. Técnicas de pesquisa. 3. Justificação epistêmica.
 4. Experimento multimétodo. 5. Artefatos digitais educacionais. I. Campello,
 Silvio Romero Botelho Barreto (Orientador). II. Título.

745.2 CDD (22. ed.)

UFPE (CAC 2020-146)

Felipe de Brito Lima

A epistemologia de um experimento multimétodo de design e avaliação de funcionalidades de um artefato digital educacional

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Design.

Aprovada em 27/06/2020

Banca Examinadora

Prof. Dra. Eva Rolim Miranda (examinadora interna)
Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Walter Franklin Marques Correia (examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dra. Solange Galvão Coutinho (examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Alex Sandro Gomes (examinador externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dra. Taciana Pontual da Rocha Falcão (examinadora externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo analisar o emprego de duas perspectivas epistemologicamente distintas de obtenção de dados de usuários enquanto subsídios para o design e avaliação de funcionalidades de um artefato digital educacional. O referencial teórico contempla reflexões acerca da natureza do conhecimento e sua justificação epistêmica na perspectiva das técnicas de pesquisa de sujeitos utilizadas em processos de design, e discute ainda a concepção de requisitos funcionais de artefatos educacionais a partir de dados obtidos acerca dos usuários. Os procedimentos metodológicos foram executados no âmbito de um experimento multimétodo de design de funcionalidades de uma aplicação educacional de auxílio à resolução de problemas de Física para estudantes do Ensino Médio, realizado com discentes de uma Escola de Referência da rede pública do estado de Pernambuco. Técnicas de viés epistemológico objetivista e subjetivista de pesquisa de sujeitos foram empregadas em duas frentes de ações distintas visando a obtenção de dados para a composição de dois índices de requisitos funcionais e o desenvolvimento de um protótipo correspondente a cada índice. A abordagem objetivista fez uso de amostragem estatística, análise estruturada de itens lexicais de transcrições de entrevistas, e aplicação de questionário seguida de mapeamento fatorial exploratório dos dados. A frente subjetivista consistiu em imersão etnográfica associada a observações participantes e entrevistas narrativas. O emprego das duas frentes resultou em dados convergentes, distintos com potencial de complementaridade, e também divergentes de caráter contraditório, refletidos nas semelhanças e dissensos entre os índices de requisitos. A avaliação dos artefatos resultantes se deu em blocos de teste separados por um intervalo de 2 meses, contemplando dezoito seções de resolução de problemas por diferentes grupos de estudantes, mediadas pelo uso de cada protótipo e também sem auxílio de nenhum artefato. Por fim, foi realizada uma avaliação pós-uso das percepções dos participantes através de entrevistas episódicas de orientação narrativa e questionários que compuseram uma matriz de dados quantitativa analisada através de estatísticas descritivas. Os testes indicaram desempenhos significativamente superiores nas resoluções mediadas por artefatos em comparação às executadas sem auxílio dos protótipos. Apontaram também para a ausência de diferenças estatisticamente significativas entre os desempenhos

obtidos pelos dois artefatos, e para um maior potencial do artefato informado pela perspectiva subjetivista de promover melhorias de desempenho entre os estudantes com maiores dificuldades de aprendizagem. Os questionários pós-uso revelaram índices de adesão mais elevados por parte da maioria da população às funcionalidades do artefato informado pela perspectiva objetivista. As entrevistas detectaram ênfases discursivas distintas subjacentes aos relatos de uso, legitimando narrativas associadas ao uso das duas aplicações. Os resultados são discutidos na perspectiva da natureza epistêmica de cada abordagem e desvelam facetas e potencialidades do emprego de delineamentos multimétodo em projetos de design de artefatos digitais, considerando particularidades dos produtos educacionais.

Palavras-chave: Design. Técnicas de pesquisa. Justificação epistêmica. Experimento multimétodo. Artefatos digitais educacionais.

ABSTRACT

This study has the aim of analyzing the use of two epistemologically distinct perspectives for obtaining user data as basis for the design and evaluation of a digital educational artifact's function requirements. The theoretical framework comprises reflections about the nature of knowledge and its epistemic justification in the perspective of social research techniques used in design processes, and also discusses the conception of educational artifacts' function requirements based on data obtained from users. Procedures were carried out within a mixed-methods experiment of design of function requirements for an educational artifact aimed at supporting secondary school students in solving physics problems, which took place at a state school in the northeast of Brazil. Social research techniques of objectivist and subjectivist epistemological orientation were used as part of two distinct approaches focused on obtaining data for the creation of two function requirements' indexes and development of a prototype respective to each index. The objectivist approach featured statistic sampling, structured analysis of lexical items from transcriptions of interviews, and the application of a survey followed by exploratory factor analysis. Subjectivist approach consisted in ethnographic immersion combined with participant observation and narrative interviews. Approaches resulted in convergent, complementarily distinct as well as divergent contradictory data, reflected on similarities and differences between the indexes of requirements. The evaluation of these artifacts took place in two blocs of tests separated by a two-month period, comprising 18 slots of problem-solving sections mediated by the use of the prototypes as well as without prototype mediation. Post-use evaluation of participant perceptions was also implemented through episodic narrative interviews and surveys analyzed through descriptive statistics. Data indicates significantly superior performance results in sessions mediated by the use of artifacts in comparison to those carried out without the use of a prototype. It also indicates no statistically significant differences between performance from the artifacts, as well as a greater potential from the artifact informed by subjectivist approach to improve performance of students who present aggravated learning difficulties. Post-use surveys revealed higher levels of acceptance from the majority of the population of function requirements informed by objectivist approach. Interviews detected distinct discursive emphases underlying user reports, constituting narratives associated to

the use of each application. Results are discussed in the perspective of the epistemic nature of each approach and unveil facets and potentialities of mixed-methods approaches for the design of digital artifacts considering particularities of educational products.

Keywords: Design. Research techniques. Epistemic justification. Mixed-method experiment. Digital educational artifacts.

LISTA DE DIAGRAMAS

Diagrama 1 – Modelo metodológico	70
Diagrama 2 – Procedimentos de frentes de ação	75
Diagrama 3 – Seções de teste	92
Diagrama 4 – Plano de comparações inferenciais	97
Diagrama 5 – Representação de itens lexicais em nuvem de palavras	105

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Escores médios do questionário exploratório	110
Gráfico 2 – Desempenho por turma na Questão 1.....	146
Gráfico 3 – Desempenho por turma na Questão 2.....	148
Gráfico 4 – Comparações de desempenhos gerais por questão.....	150
Gráfico 5 – Escores médios do questionário pós-uso	154
Gráfico 6 – Graus de receptividade às funcionalidades	156
Gráfico 7 – Escores médios atribuídos aos requisitos dos artefatos	157

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Proposições básicas para design do artefato	68
Quadro 2 – Síntese de objetivos	69
Quadro 3 – Critérios de leitura de subjetividades.....	87
Quadro 4 – Critérios de leitura de subjetividades adaptados para pós-uso	99
Quadro 5 – Transcrição em destaque A.....	106
Quadro 6 – Transcrição em destaque B.....	107
Quadro 7 – Transcrição em destaque C	108
Quadro 8 – Transcrição em destaque D	108
Quadro 9 – Transcrição em destaque E.....	109
Quadro 10 – Transcrição em destaque F.....	109
Quadro 11 – Transcrição em destaque G	110
Quadro 12 – Síntese de itens e componentes fatoriais.....	111
Quadro 13 – Proposição de requisitos para o artefato ‘A’	114
Quadro 14 – Transcrição em destaque H	120
Quadro 15 – Transcrição em destaque I.....	126
Quadro 16 – Transcrição em destaque J	129
Quadro 17 – Proposição de requisitos para o artefato ‘A’	135
Quadro 18 – Contraste de funcionalidades	137
Quadro 19 – Transcrição em destaque K.....	165
Quadro 20 – Transcrição em destaque L	166
Quadro 21 – Transcrição em destaque M	170
Quadro 22 – Transcrição em destaque N	170
Quadro 23 – Transcrição em destaque O	172
Quadro 24 – Resultados desdobrados em encaminhamentos projetuais	174

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	BASES EPISTEMOLÓGICAS PARA A PESQUISA DE SUJEITOS	19
2.1	Recorte da problemática do conhecimento	20
2.2	Conhecimento pautado pela noção de objetividade	22
2.3	Incorporação da subjetividade como posicionamento crítico	25
2.4	O eixo objetivização-subjetivação em perspectiva	28
2.5	Métodos como desdobramentos de posições epistêmicas	33
2.6	A materialização da problemática no Design.....	35
3	FUNDAMENTOS PARA O DESIGN DE REQUISITOS FUNCIONAIS	38
3.1	Perspectivas dos processos de design de artefatos digitais	38
3.2	Delineamento de requisitos funcionais	40
3.3	Especificidades das aplicações educacionais	46
3.4	Avaliação das funcionalidades do artefato	49
4	O CONTEXTO DA PESQUISA	52
4.1	Uma conjuntura demandante de soluções educacionais	53
4.2	Local de realização da pesquisa	55
4.3	Participantes	57
4.4	A regência do componente curricular enfocado	59
4.5	O Conteúdo-alvo da solução tecnológica	61
4.6	A proposta da solução tecnológica	66
5	O PLANO DE AÇÃO	69
5.1	Delineamento metodológico.....	70
5.2	Abordagens de obtenção de dados dos usuários.....	72
5.2.1	<i>Marco zero procedimental</i>	<i>72</i>
5.2.2	<i>Implementação de frente objetivista</i>	<i>73</i>
5.2.2.1	<i>Aplicação de testes diagnósticos de desempenho</i>	<i>74</i>
5.2.2.2	<i>Aplicação de entrevistas semiestruturadas</i>	<i>78</i>

5.2.2.3	Aplicação de questionário.....	79
5.2.3	<i>Implementação de frente subjetivista</i>	82
5.2.3.1	Condução de observações participantes.....	84
5.2.3.2	Condução de entrevistas narrativas	85
5.2.3.3	Leitura da subjetividade na definição de requisitos	86
5.3	Definição dos requisitos funcionais	88
5.4	Desenvolvimento dos protótipos	89
5.5	Avaliação das funcionalidades.....	91
5.6	Análise dos dados da avaliação.....	95
6	O DESIGN DAS FUNCIONALIDADES	101
6.1	Dados obtidos na abordagem objetivista.....	102
6.1.1	<i>Resultados dos pré-testes e cálculos amostrais.....</i>	102
6.1.2	<i>Aspectos do fenômeno identificados nas entrevistas</i>	104
6.1.3	<i>Dimensões do artefato delineadas através do questionário</i>	110
6.2	Requisitos funcionais do protótipo 'A'	112
6.3	Dados obtidos na perspectiva subjetivista	115
6.3.1	<i>Da desacomodação à vivência em uma frequência compartilhada.....</i>	116
6.3.2	<i>Descrença e defasagem enquanto traços e alegações</i>	119
6.3.3	<i>Crenças sobre si aconselhadas por condições limitantes</i>	124
6.3.4	<i>Processos e interações mediados por impulsos e insegurança</i>	128
6.4	Requisitos funcionais do protótipo 'B'	134
6.5	Os índices de requisitos em suas convergências e dissensos	136
6.6	Os artefatos em funcionamento	138
6.7	Demais encaminhamentos dependentes dos requisitos	142
7	A AVALIAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES.....	144
7.1	Resultados de desempenho	145
7.1.1	<i>Execução dos cálculos matemáticos.....</i>	145
7.1.2	<i>Explicação das resoluções.....</i>	148

7.1.3	<i>Performance dos artefatos em perspectiva</i>	149
7.2	Percepções dos usuários pelo prisma objetivista.....	153
7.2.1	<i>Contraste de requisitos na percepção discente</i>	155
7.2.2	<i>Nuances da adesão e rejeição às funcionalidades.....</i>	159
7.3	Percepções dos usuários pelo prisma subjetivista.....	162
7.3.1	<i>Primeira ordem de percepções.....</i>	162
7.3.2	<i>Segunda ordem de percepções.....</i>	168
7.4	Recomendações para o design das funcionalidades.....	173
7.5	Reflexões sobre um processo multimétodo e suas contribuições para o campo do Design	176
8	CONCLUSÃO.....	183
	REFERÊNCIAS	190
	APÊNDICE A – TESTE DE DESEMPENHO.....	203
	APÊNDICE B – ROTEIRO DE ENTREVISTA.....	204
	APÊNDICE C – GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO	205
	APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO EXPLORATÓRIO	206
	APÊNDICE E – ARTEFATO ‘A’	207
	APÊNDICE F – ARTEFATO ‘B’	209
	APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO PÓS-USO	210
	APÊNDICE H – MATRIZ DE DADOS	211

1 INTRODUÇÃO

A tomada de decisões projetuais em processos de design dos mais variados produtos ocorre em grande medida com base no que se conhece acerca dos potenciais usuários. Este princípio é evidenciado em manuais e obras de referência das mais diversas esferas de atuação profissional e de pesquisa voltadas para a criação de artefatos digitais, desde a Engenharia de Software (PRESSMAN; MAXIM, 2016; SOMMERVILLE, 2011), que preconiza a negociação e validação das especificações do produto junto aos usuários, à Interação Humano-Computador (BARBOSA; SILVA, 2010; BENYON, 2011), que enfatiza o recurso a modelos cognitivos buscando facilitar a aprendizagem do público dos artefatos desenvolvidos.

Esta constatação também se aplica a denominações que se apresentam como ramificações distintas do Design, embora em essência constituam-se como repaginações dos estudos de usabilidade: é o caso Design de Interação (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013) e do Design da Experiência do Usuário (LEVY, 2015): ambos aderem de modo unânime à noção de centralidade do usuário, apesar das ênfases terminologicamente direcionadas, respectivamente, à concepção de dinâmicas de interação e aos sentidos a serem atribuídos pelos indivíduos à vivência do uso dos produtos.

Os dados são a matéria prima do Design na perspectiva informacional (BAER; VACARRA, 2008), a ser interpretada e apresentada em termos de funcionalidades e interfaces. Todavia, trata-se de uma disciplina caracteristicamente plural, que se entrecruza intimamente com áreas como a Ciência da Computação e as Artes, adotando práticas e entendimentos originários das engenharias, da semiótica e mesmo da hermenêutica (BÜRDEK, 2005). Neste sentido, a existência de técnicas de pesquisa de usuários baseadas em diferentes princípios não surpreende e não pode ser tratada como novidade. Entretanto, a execução integrada destas técnicas em um mesmo projeto coloca-se como uma problemática que demanda discussão, dadas suas naturezas distintas, manifestas em concorrência buscando preencher as lacunas associadas ao uso de uma única abordagem.

Tem recebido destaque neste sentido a ideia de que concepções pautadas pelas perspectivas tradicionais de conhecimento científico, que

informam os métodos duros da engenharia, podem limitar a compreensão da natureza do usuário e do contexto de uso enquanto delineadores de sua experiência com o produto (LUND, 2006; STILL; ALBERS, 2010). O mercado, guiado pelo pragmatismo e por resultados tangíveis, adota um repertório técnico plural que expressa a relevância de dados objetivamente quantificáveis e da compreensão voltada para a dimensão subjetiva da experiência do usuário (ROTO; OBRIST; VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATTILA, 2009). Assim, impõe-se a necessidade de discussão contínua dos métodos de pesquisa de sujeitos em termos de adequação, impacto e interoperabilidade, visando aprimorar a obtenção de dados que subsidiarão o desenvolvimento dos produtos.

Esta problemática adquire nuances específicas quando se trata de aplicações educacionais. Artefatos com este direcionamento emergem como objeto de interesse em um contexto de demanda social por políticas educacionais eficientes na medida em que as tecnologias digitais são reconhecidas como elementos importantes em práticas pedagógicas inovadoras e como potenciais catalisadoras da aprendizagem autônoma (HORN; STAKER, 2015; FILATRO; CAVALCANTI, 2018). Além das dimensões tecnológica, comunicacional e organizacional, contempladas nos processos de design dos demais produtos, os artefatos educacionais possuem dois outros componentes: um pedagógico, relacionado à concepção de aprendizagem subjacente ao produto, e outro relativo ao conteúdo específico trabalhado no mesmo (FILATRO; CAIRO, 2015; BATES, 2016).

É patente que o design de artefatos educacionais precisa considerar diversos elementos, incluindo teorias e práticas de ensino, avaliações e ponderações de professores, e até mesmo demandas da gestão escolar. O protagonismo discente neste processo, conforme defendido por Cheng & Leong (2017) e Li *et al.* (2019) justifica a ampliação de horizontes da aplicação de técnicas de pesquisa de sujeitos também com a finalidade de assegurar que a voz dos estudantes, enquanto público-alvo da solução tecnológica, não se perca em meio aos demais atores fundamentais ao processo. Compreender diferentes perspectivas de obtenção de dados sobre os usuários, aprimorando as estratégias existentes, mostra-se particularmente pertinente tendo em vista eventuais limitações por parte de indivíduos em idade escolar para explicitar

suas demandas de aprendizagem em termos de requisitos funcionais de uma aplicação a ser desenvolvida.

Em face do exposto, esta pesquisa tem como objetivo analisar o emprego de perspectivas epistemologicamente distintas de obtenção de dados de usuários enquanto subsídios para o design e avaliação de funcionalidades de um artefato digital educacional. Realizando um exercício linguístico de transposição desta intenção para o plano das perguntas de pesquisa, obtem-se o questionamento, emulador desta investigação, acerca de como se dá o emprego de diferentes estratégias de construção do conhecimento a respeito do usuário em um contexto de design de uma ferramenta educacional.

A partir destas colocações, depreende-se como objeto de estudo o emprego das técnicas de pesquisa à luz de sua natureza epistemológica, e consequentemente a investigação das mesmas como finalidade deste trabalho. É possível então conceber meios, na qualidade de objetivos específicos, para a consecução do objetivo geral elencado no parágrafo anterior. O primeiro deles é uma discussão dos princípios subjacentes à adoção de técnicas de pesquisa de sujeitos e obtenção de requisitos funcionais aplicáveis ao desenvolvimento de artefatos educacionais. Em seguida, são empregadas abordagens distintas de obtenção dados de usuários à definição de dois índices de requisitos funcionais em um processo de design de artefato educacional. E por fim, são identificados mediante testes controlados os impactos de uso das funcionalidades da aplicação propostas a partir do emprego de cada abordagem.

O argumento defendido a partir destas diligências é o de que tal delineamento metodológico potencializa a compreensão da amplitude e da complexidade dos fenômenos, dos grupos e dos indivíduos em sua subjetividade, na perspectiva da produção de conhecimento aplicável à concepção de funcionalidades de um artefato digital educacional. A relevância desta reflexão reside no potencial ainda por ser explorado do emprego de abordagens não oriundas das engenharias, conforme discutido anteriormente, assim como na também pontuada constante necessidade de ampliar a compreensão das estratégias de produção de conhecimento sobre os usuários. Cabe ponderar que a problemática epistemológica não se restringe à aplicação de técnicas de pesquisa de sujeitos no âmbito do design de artefatos

exclusivamente educacionais. Trata-se, entretanto, de um contexto de estudo particularmente pertinente por dialogar com o já mencionado clamor social que permeia um momento de profusão de tecnologias de apoio à aprendizagem.

Seguindo-se a esta seção introdutória, o Capítulo 2 corresponde às ‘Bases epistemológicas para a pesquisa de sujeitos’: traz um recorte da problemática do conhecimento no âmbito da busca pela compreensão de indivíduos e fenômenos sociais e humanos; demarca as noções de objetivismo e subjetivismo como perspectivas existentes neste sentido, e discute em seu caráter epistêmico os métodos de obtenção de dados de usuários que informam processos de design. O Capítulo 3 direciona o enfoque analítico para a ‘Obtenção de requisitos funcionais em processos de design’, partindo de uma visão global de processos para delinear a concepção de requisitos funcionais enquanto recorte de interesse do design de artefatos digitais. Destaca ainda as especificidades das aplicações educacionais. Estes capítulos visam contemplar o objetivo específico, apresentado acima, de discutir os princípios subjacentes à adoção de técnicas de pesquisa de sujeitos e obtenção de requisitos funcionais.

O Capítulo 4, intitulado ‘O contexto da pesquisa’, trata do loco onde foi executado o experimento de design, dos sujeitos envolvidos e das práticas pedagógicas vigentes, incluindo um delineamento dos conteúdos curriculares abordados na proposta da solução tecnológica. O Capítulo 5 apresenta em detalhes o ‘plano de ação’ metodológico concebido para atingir os objetivos da pesquisa. Descreve a adoção do modelo experimental que compreende a execução de duas frentes de ação caracterizadas por conjuntos de técnicas de pesquisa social de orientações epistemológicas distintas, visando obtenção de dados acerca dos usuários. São indicados em seguida os critérios adotados para análise destes dados e definição dos índices de requisitos, assim como o sistema de avaliação dos artefatos resultantes.

O Capítulo 6, denominado ‘O design das funcionalidades’ traz a apresentação e análise dos dados obtidos acerca dos usuários no âmbito das duas abordagens empregadas no experimento à luz da literatura. São também apresentados os dois índices de requisitos funcionais concebidos enquanto desdobramentos diretos dos dados analisados, e os artefatos resultantes. Os capítulos 5 e 6 dialogam com o objetivo de empregar abordagens distintas de

obtenção dados de usuários à definição de dois índices de requisitos funcionais em um processo de design de artefato educacional. Já o Capítulo 7, intitulado 'A avaliação das funcionalidades' apresenta e traz uma análise dos dados relativos à performance de cada artefato nas seções de teste e às percepções pós-uso expressas pelos estudantes acerca das funcionalidades. Este capítulo corresponde à manifestação do objetivo de identificar os impactos de uso das funcionalidades da aplicação propostas a partir do emprego de cada abordagem.

Na Conclusão, discute-se em que medida os objetivos da pesquisa foram efetivamente atingidos, ressaltando-se os principais destaques em termos de constatações e contribuições para o design de artefatos digitais educacionais enquanto campo de pesquisa e atuação profissional. São também apontadas questões correlatas detectadas como pertinentes à problemática estudada, porém circunstancialmente não respondidas, que poderão ser abordadas em trabalhos futuros. Espera-se que esta pesquisa contribua para a promoção de uma reflexão crítica acerca do emprego de técnicas de pesquisa de sujeitos em processos de design. E que represente também um movimento em direção ao amadurecimento da discussão de práticas na busca por robustez conceitual e rigor técnico, com sólida fundamentação na literatura.

2 BASES EPISTEMOLÓGICAS PARA A PESQUISA DE SUJEITOS

Este capítulo traz uma discussão dos aspectos epistemológicos subjacentes à adoção de técnicas de pesquisa de sujeitos, conforme concebido no primeiro objetivo específico elencado na seção anterior como meio para a concretização da presente investigação. As subseções a seguir tem como ponto de partida um recorte acerca da problemática do conhecimento e tratam da sua produção pautada pelas noções de objetivismo e subjetivismo. Por fim, são trazidas reflexões acerca dos métodos de pesquisa enquanto desdobramentos de posições epistêmicas, com destaque a exemplos e ponderações específicas pertinentes ao campo do Design.

A busca pelo aprimoramento de uma compreensão acerca dos potenciais usuários de um produto em seu processo de design, considerando desejos, necessidades e motivações, passa inevitavelmente por uma discussão metodológica. Requer um olhar estratégico sobre técnicas e procedimentos de aproximação e abertura efetiva de um canal de comunicação, assegurando cooperação genuína, e consequentemente dados ricos e fidedignos. É crucial também o planejamento das estratégias para a materialização destes dados, que guiará o ato de fornecimento dos mesmos pelos usuários, assim como seu registro para análise posterior, viabilizando uma tomada de decisões eficiente. A literatura sobre técnicas e instrumentos de pesquisa de sujeitos fundamenta desde a realização do convite para participação em um processo de design até a interpretação adequada dos dados obtidos.

O emprego de técnicas e instrumentos reflete concepções acerca do problema que o design busca solucionar enquanto fenômeno humano, assim como dos usuários e demais partes interessadas enquanto atores sociais. Neste sentido, a natureza do conhecimento que se deseja obter acerca do usuário em sua relação com o problema de interesse transcende a discussão metodológica rumo ao plano filosófico. O referencial teórico adequado ao delineamento de uma compreensão de tais questões reside na epistemologia: “disciplina filosófica que estuda, primeiro, o conhecimento em geral e, segundo, o conhecimento científico em particular” (PAVIANI, 2013, p. 11).

2.1 Recorte da problemática do conhecimento

Uma definição de conhecimento gestada na Filosofia e amplamente propagada ao longo da história é a de ‘crença verdadeira justificada’: “uma convicção verdadeira ligada a uma razão suficientemente boa que a sustenta” (FUMERTON, 2014, p. 30). Todavia, esta asserção é facilmente reconhecida como problemática porque uma razão considerada adequada em termos de sustentação de uma crença pode na realidade ser falha, e não atestar sua veracidade – embora esta continue sendo verdadeira. Tentativas de aprimorar o conceito buscaram então incorporar condições como a de que o fundamento que atesta a veracidade da crença deveria resultar de um encadeamento lógico sem contaminação por quaisquer premissas falsas.

Dentre as propostas de aperfeiçoamento da noção de conhecimento tem destaque a chamada teoria causal, que demanda “appropriate causal connection between the fact that makes a belief true and the person’s having that belief” (FOLEY, 2008, p. 59). Foi proposta por Alvin Goldman (GOLDMAN, 1967), que posteriormente reformulou seu entendimento retirando a ênfase da relação entre o que se crê ser verdadeiro e o que faz a crença ser verdadeira: “it is necessary that the processes, faculties, and methods that produced or sustain the belief be highly reliable” (FOLEY, 2008, p. 60). A análise de proposições desta natureza, destinadas ao eterno escrutínio filosófico, serve menos ao esgotamento improvável de um debate secular do que à constatação fundamental de que a problemática do conhecimento está em grande medida relacionada à sua justificação.

A justificação epistêmica diz respeito ao conjunto de “razões epistêmicas apropriadas, ou [...] evidências que tornam provável aquilo que cremos” (FUMERTON, 2014, p. 53) acerca de um objeto de interesse. Emerge então como questão importante a deliberação sobre a robustez de determinada evidência ou justificativa. René Descartes defendia o rigor máximo neste sentido, pregando a necessidade de eliminação de qualquer possibilidade de erro para atingir a verdade imaculada.

[Ele] considerava que qualquer conhecimento deve ser rigorosamente demonstrado e inferido de um princípio único e fidedigno. Toda ciência deveria ter o rigor da matemática, e o critério para que o

conhecimento seja verdadeiro é a clareza e a evidência (RICHARDSON *et al.*, 2015, p. 23).

Na perspectiva cartesiana, parte-se de certezas axiomáticas para inferir a veracidade de outras proposições em uma camada secundária: estas proveriam a justificação para novas proposições em novas camadas. A existência destas proposições primárias, não justificadas com base em nenhuma outra proposição, é defendida por uma corrente epistemológica chamada fundacionalismo. Além dela, é possível destacar duas outras perspectivas acerca da ideia de justificação:

A primeira chama-se infinitismo epistêmico, isto é, embora a regressão das justificativas pela inferência seja infinita, isso não anula o caráter justificativo das proposições. A segunda solução é a do coerentismo epistêmico, isto é, a justificação depende do sistema, das relações de coerência com o sistema de proposições (PAVIANI, 2013, p. 120).

A circularidade inerente à noção de infinitismo embasa a alegação da corrente ceticista radical de que nenhuma crença seria verdadeiramente passível de justificação. Já a teoria coerencialista, segundo Fumerton (2014), desdobra-se em duas dimensões pertinentes ao estudo da produção de conhecimento: a comunitária e a hipotética. Segundo elas, a justificação jaz no sistema, legitimado por uma comunidade, no qual a proposição se insere ou poderia hipoteticamente inserir-se por afinidade. A ideia de justificação no contexto de um sistema, dependente do mesmo, distingue o coerencialismo do relativismo epistêmico de caráter pluralista, que afirma que diferentes proposições, independente de sistemas de crenças, podem ser justificadas de acordo com o critério aplicado a elas (LUPER, 2004).

O coerencialismo permite conceber diferentes tipos de conhecimento, justificados com base em sistemas de crenças distintos, como o conhecimento popular e o religioso. No escopo de um campo de pesquisa e atuação profissional, o interesse recai notadamente sobre o tipo de conhecimento específico que tais esferas compreendem como apto a orientar suas atividades, associado a atributos como 'científico', 'técnico' ou 'acadêmico'. Neste domínio, a distinção entre justificação epistêmica e verdade na perspectiva coerencialista (BURDZINSKI, 2005) viabiliza o reconhecimento da consistência e robustez de proposições epistemicamente justificadas oriundas de diferentes sistemas de produção de conhecimento, independente de adesão a uma visão

de mundo que as perceba como verdades filosóficas. Este entendimento é pertinente ao caráter plural do Design descrito no capítulo introdutório.

2.2 Conhecimento pautado pela noção de objetividade

O sistema de crenças que predominou nos últimos séculos regendo entendimentos acerca da justificação do conhecimento dito científico foi significativamente influenciado por duas correntes filosóficas. A primeira delas é o racionalismo, ao qual se filiava o pensamento cartesiano tratado na subseção anterior: prevaleciam a raciocínio lógico e a dúvida enquanto método, rejeitando através de questionamentos as proposições maculadas por incertezas. A segunda é o empirismo, contraria à noção racionalista de justificação com base em ideias inatas, e segundo a qual "o conhecimento parte da realidade como os sentidos a percebem" (LAVILLE; DIONNE, 2007, p. 27), sendo viável produzir conhecimento apenas acerca dos aspectos observáveis da realidade, alcançáveis por meio dos sentidos. Nesta perspectiva, "o fato existe independentemente de qualquer atribuição de valor ou posicionamento teórico, e possui um conteúdo evidente, livre de pressupostos subjetivos" (MARTINS; THEÓPHILO, 2009, p. 39). Caberia assim, à ciência, buscar captar o fato.

As diferentes perspectivas epistemológicas que emergiram sob influência racionalista e empirista compartilharam princípios como objetividade, investigação empírica, experimentação e, em diferentes graus, preconização da convergência entre os métodos de investigação dos fenômenos naturais e sociais. Dentre elas, é notória a epistemologia positivista, historicamente circunscrita ao período da revolução industrial e colonização dos países africanos pela Europa, tendo a produção de conhecimento e riqueza defendida como solução para os problemas sociais e caminho para o progresso. Além dos princípios supracitados, entendia também que todos os fenômenos da existência são regidos por leis, sendo a verdade definitiva acerca destas atingível por meio da ciência e do fato.

Martins e Theóphilo (2009) destacam a importância no imaginário positivista da ideia de neutralidade e imparcialidade da ciência. Defendido em um ápice de euforia, este idealismo perdeu ênfase no discurso dos herdeiros

desta perspectiva epistemológica mediante confronto com o inexorável: “mesmo o conhecimento objetivo não está imune a distorções como aquelas provenientes das situações artificiais [...] nos experimentos, e dos instrumentos utilizados para a coleta de dados” (PERUZZO, 2015, p. 129). Há também propensões subjetivas por parte do observador, como as hipóteses *ad hoc*: “introduzidas para salvar a teoria de uma evidência contrária” (MATALLO JÚNIOR, 2009, p. 34). A proposta dos adeptos da investigação empírica é atacar os vícios externos através de delineamentos metodológicos rigorosos e os vieses subjetivos através da replicação de procedimentos em diferentes situações por diferentes observadores: “para que haja conhecimento objetivo, os enunciados que compõem o sistema teórico devem poder ser [...] suscetíveis ao teste intersubjetivo” (SCHORN, 2011, p. 256).

Outro movimento evolucionário na perspectiva da produção de conhecimento objetivo, que também pode ser compreendido como um dissenso em relação à ótica vigente, surgiu no sistema de crenças do positivismo a partir do “problema de demarcação entre ciência e metafísica” (RICHARDSON *et al.*, 2015, p. 34). A corrente que ficou conhecida como neopositivismo, ou positivismo lógico, adotou uma postura mais rígida de rejeição a quaisquer aspectos da realidade não concretamente verificáveis através de fatos, como essências ou dimensões internas dos fenômenos: “a crítica a este traço do positivismo é ilustrada com o exemplo do behaviorismo - a pretensão positivista de estudo da personalidade a partir do comportamento externo” (MARTINS; THEÓPHILO, 2009, p. 41).

O declínio do prestígio da epistemologia positivista se deu, ainda na perspectiva de uma visão de mundo objetiva, pelo movimento que veio a ser denominado racionalismo crítico (POPPER, 1972). Trata-se de um paradigma baseado no conceito de falseamento, entendendo a produção de conhecimento científico não como instrumento de busca de uma verdade definitiva acerca dos fenômenos da existência conforme concebido no positivismo, mas como um mecanismo de refutação de verdades provisórias: “o método científico parte de um problema [P1], ao qual se oferece uma espécie de solução provisória, uma teoria-tentativa [TT], passando-se depois a criticar a solução, com vista à eliminação do erro [EE]” (MARCONI; LAKATOS, 2003, p. 95).

Um aspecto distintivo desta perspectiva epistemológica, em relação às aquelas vigentes até então, foi à rejeição à ideia de justificação epistêmica com base no princípio da indução, herdado do empirismo: “o objetivo do método indutivo conhecido é a generalização probabilística de um caso particular. No caso do positivismo lógico, é chegar a uma proposição universal” (RICHARDSON *et al.*, 2015, p. 35). O contraponto à indução, dada sua importância no racionalismo crítico, demarcou nominalmente sua proposta de mecanismo de construção do conhecimento, denominada método hipotético-dedutivo.

É importante destacar que a proposta de produzir conhecimento a partir de hipóteses e do princípio dedutivo representou uma ruptura epistemológica em relação ao sistema vigente (SILVINO, 2007; MAGEE, 2013). No paradigma positivista, o conhecimento parte de observação e experimentação, na busca por hipóteses através da generalização indutiva. Este sairá cada vez mais validado e fortalecido por provas e contraprovas voltadas para a verificação das hipóteses. Já na perspectiva hipotético-dedutiva, o conhecimento parte de uma solução proposta dedutivamente para um problema mediante constatação de limitação ou ausência da explicação disponível para um fenômeno. A solução proposta é sujeita a testes e tentativas de refutação, e se mantém como conhecimento perfectível até que uma nova se revele mais adequada, dando continuidade ao ciclo de proposições.

Assim como ocorreu com o positivismo, a lógica do falseacionismo também passou por reformulações. Imre Lakatos (1989) defendeu sua evolução rumo a uma posição que descreveu como mais sofisticada e menos dogmática: passava a conceber a investigação científica também para fins de aperfeiçoamento de teorias, abrandando a ideia de que nada poderia ser confirmado, e caberia à ciência apenas refutar. Esta existência de reformulações, dissensos e até rupturas com determinados princípios epistemológicos, mostra que a atribuição apressada do rótulo de positivismo à pluralidade da perspectiva contemporânea de produção de conhecimento científico pautada pela objetividade é filosoficamente reducionista.

O principal argumento [...] para considerar a epistemologia contemporânea como positivismo está embasado nas semelhanças encontradas em princípios como: a busca pela objetividade, que pressupõe uma neutralidade por parte do pesquisador em relação ao

objeto; a utilização de instrumentos voltados à quantificação, que, ao fornecer informações objetivas, leva à pretensão de centrar no fato/dado o papel principal na construção do conhecimento. Contudo, apesar de o positivismo e de a epistemologia contemporânea possuírem traços comuns, eles têm diferenças importantes e marcantes [...]. Ao buscar as similitudes e reduzi-las a um mesmo sistema, disciplinas que compartilham alguns desses traços podem ser vistas como positivistas, embora divirjam desde a forma de compreender o objeto até o delineamento de pesquisa e construção do saber (SILVINO, 2007, p. 283).

Demonstra-se desta forma a necessidade de considerar a pluralidade das epistemologias caracterizadas pela visão objetiva de conhecimento tanto no que tange suas diferentes vozes quanto em relação às transformações de caráter evolutivo das mesmas.

2.3 Incorporação da subjetividade como posicionamento crítico

Os princípios básicos para uma produção de conhecimento pautada pela objetividade, compartilhados pelo positivismo, neopositivismo, falseacionismo e seus desdobramentos, também foram sistematicamente questionados, sobretudo no âmbito das ciências humanas e sociais. Estas críticas voltaram-se para a preconização da convergência entre os métodos de investigação dos fenômenos sociais e naturais (LAVILLE; DIONNE, 2007): radicalmente distintos em suas complexidades, manifestações e possibilidades de observação e mapeamento de causas, efeitos e elementos subjacentes. Dá-se assim uma ruptura epistemológica reflexo da insurgência de uma visão de mundo, caracterizada pela "repulsa em aceitar que a realidade social se reduza à [sua] face empírica" (DEMO, 2016, p. 12).

Neste contexto, emerge como questão central a subjetividade, no que concerne não apenas os sujeitos enquanto atores sociais que se deseja conhecer, mas o próprio investigador que produz o conhecimento acerca deles. Conforme tratado na subseção anterior, os adeptos da objetividade propuseram mecanismos para lidar com vieses subjetivos, reconhecendo sua ocorrência no estudo de quaisquer fenômenos. Porém, críticos desta perspectiva consideram que a problemática da subjetividade adquire contornos particulares na produção de conhecimento acerca dos fenômenos sociais e humanos. Estes são forte e caracteristicamente perpassados por questões

morais, ideológicas e políticas; e “nenhum pesquisador está imune a valores, ideologias e posições políticas” (PERUZZO, 2015, p. 129).

Ganha força neste cenário o entendimento de que a subjetivação do fenômeno estudado pelo observador deve ser reconhecida não apenas como inevitável, mas como natural e passível de direcionamentos benéficos, favorecendo a produção de conhecimento. Possibilitaria atingir níveis de compreensão em profundidade acerca dos objetos pesquisados, inacessíveis através da lógica da objetividade: “a realidade social não é evidente, nem se dá a luz com facilidade, sendo muito diferente o que aparece à primeira vista e o que encontramos na profundidade” (DEMO, 2016, p. 11-12). Cabe destacar que a ruptura epistemológica em direção ao polo da subjetividade não busca extinguir a produção de conhecimento acerca de fenômenos humanos com base em dados objetivos, mas conhecer aquilo que a estes escapa (MARTINS; THEÓPHILO, 2009).

Dentre as tradições epistemológicas que surgiram em meio a esta tendência, destaca-se o interpretativismo como sistema de crenças que se contrapõe categoricamente ao positivismo, compreendendo o conhecimento como conjunto de interpretações das ações humanas enquanto fenômenos sociais. Esta visão é subjacente à proposta de Max Weber de interpretação dos fenômenos sociais, amplamente utilizada nas humanidades, denominada *Verstehen*, traduzida por Gil (2006) como ‘compreensão’: “uma reconstrução no sentido subjetivo original da ação e o reconhecimento da parcialidade da visão do observador” (p. 21). Schwandt (1998) e Bryman (2008) destacam ainda como desdobramentos do interpretativismo propostas de construção do conhecimento como a hermenêutico-fenomenológica e o interacionismo simbólico. Estas adotavam como premissas direcionamentos dos esforços interpretativos, respectivamente, para a experiência consciente dos sujeitos acerca dos fenômenos investigados e para os símbolos que permeiam a atribuição de sentido aos fenômenos no processo de comunicação humana.

Outra visão pautada por um olhar crítico acerca da ideia de produção objetiva do conhecimento é o construtivismo ou construcionismo social, segundo a qual o conhecimento e a verdade são criações, e não descobertas da mente humana: “a formação do conhecimento sobre o mundo não deve ser compreendida como mero retrato dos fatos, mas que os conteúdos são

construídos em um processo de produção ativa" (FLICK, 2009, p. 80). Bryman (2008) pontua que interpretativismo e construtivismo não pertencem a uma mesma categoria analítica: o primeiro consiste em uma perspectiva acerca do conhecimento, enquanto o segundo abrange e vai além desta esfera, colocando-se como posicionamento acerca da própria existência. Schwandt (1998) destaca que embora sejam distintos em ênfases e interesses, interpretativismo e construtivismo convergem em um propósito: "clarify what and how meanings are embodied in the language and actions of social actors. To prepare an interpretation is itself to construct a reading of these meanings" (p. 222).

Porém, este autor ressalta que uma noção genérica de mundo construído resultou em associações do termo 'construtivismo' a visões de mundo acentuadamente apartadas no espectro epistemológico. De um lado, a ideia é incorporada pelo ceticismo: ao considerar que tudo que pode ser tido como verdade é produto da mente, "we cannot speak of knowledge as somehow corresponding to, mirroring, or representing that world" (p. 239). Em outro polo, adotou-se o entendimento de que as verdades são construções, porém mantém alguma relação com a realidade enquanto propostas de retratá-la, reconhecendo que a mesma em plenitude será inatingível. Esta formulação, destaca, é perfeitamente consistente com o objetivismo na perspectiva do conhecimento eternamente imperfeito, porém perfectível, inerente ao falseacionismo.

Críticos adeptos do objetivismo entendem que a concepção de interpretações e construções perpassadas por subjetividade, enquanto proposições epistemicamente justificadas, depõe contra o valor dos conhecimentos produzidos nestas perspectivas. Entretanto, com base na corrente coerencialista tratada anteriormente, esta alegação é rebatida na medida em que julga uma visão de mundo e conhecimento embasada na ideia de subjetivação sob o prisma de outra, pautada pela ideia de objetivação. Neste sentido, o que é apontado por estes críticos como relativismo não configura aceitação apressada de quaisquer proposições, visto que a justificação demanda consistência com um sistema de crenças construído mediante embates e escrutínio de membros de uma comunidade reconhecida em uma dada esfera social como referência acadêmica.

Na perspectiva objetivista, a não constatação de uma busca pela esterilização do processo que viabiliza a obtenção de conhecimento, passando pela materialização do fornecimento, registro e análise dos dados, é entendida como ausência de rigor metodológico. Entretanto, deliberações desta natureza podem não ser pertinentes ou sequer fazer sentido para uma proposta metodológica que visa a implicação subjetiva de um observador como forma de aprofundar compreensão acerca de um fenômeno. O rigor procedimental da produção de conhecimento pautada pela subjetividade está na consistência quanto as concepções epistemológicas e teleológicas que fundamentam a compreensão inicial do fenômeno, o método de investigação adotado e os critérios norteadores da leitura dos dados obtidos (FLICK, 2009; YIN, 2015).

Esta consistência desconstrói eventuais alegações de que a adoção da subjetivação enquanto elemento constitutivo fundamental resulta em delineamentos estratégicos, julgamentos ou conclusões desprovidas de sentido, que não se sustentariam fora da subjetividade de quem as propõe. Laville e Dionne (2007) pontuam que diligência, transparência e inteligibilidade em relação aos processos e deliberações precedentes possibilitam a formação de um juízo acerca da consistência do conhecimento proposto a partir de escolhas e ponderações de natureza subjetiva de um indivíduo ou grupo. Eles utilizam o termo objetivação da subjetividade para tratar desta questão, destacando que subjetividade não implica em ausência de racionalidade.

2.4 O eixo objetivação-subjetivação em perspectiva

É possível designar os posicionamentos epistemológicos refletidos nos princípios, crenças e formas de produção de conhecimento acadêmico apresentadas nas duas subseções anteriores, respectivamente, como objetivismo e subjetivismo: amplamente compreendidos como polos opostos de visão do conhecimento e da existência. Porém, Crotty (2003) critica a percepção rasa dos mesmos como entidades simetricamente dicotômicas caracterizadas exclusivamente por atributos opostos, e de essência passível de representação ideal em diagramas exibindo suas tradições epistemológicas descendentes e relações diametrais de oposição, filiação e parentesco indicadas por setas. Já Bernstein (2011) reconhece a relação de antagonismo

que pauta discussões epistemológicas e metodológicas, mas entende o objetivismo como polo filosófico oposto ao relativismo, tratado no início deste capítulo.

Fica evidenciado que a escolha de referenciais epistemológicos a serem observados em conjunto demanda a projeção de relações multidimensionais complexas e varia de acordo com os princípios e propósitos do observador. Esta constatação é relevante dado que a compreensão do observador dos referenciais de sua escolha poderá ser ampliada mediante reflexão acerca destes em relação aos referenciais adotados por outrem. Assim, a compreensão da oposição entre objetivação e subjetivação enquanto referencial analítico, legitimado ante o interesse por sujeitos na qualidade usuários de artefatos digitais, pode ser aprimorada considerando outros polos de classificação da produção do conhecimento.

Um eixo fundamental a ser considerado para ampliar a compreensão das noções de subjetivação e objetivação enquanto polos opostos diz respeito à natureza e às formas de representação dos dados subjacentes ao conhecimento produzido, designadas pelos atributos 'quantitativo' e 'qualitativo'. Enquanto a quantificação possibilita e otimiza a obtenção de conhecimento de grandes massas de dados, o recurso a dados qualitativos demarca posição acerca das limitações dos números enquanto substrato para a identificação, representação e viabilização de uma compreensão adequada de fenômenos sociais e humanos (FLICK, 2009; YIN, 2016). Abordagens quantitativas e qualitativas são vistas, respectivamente, como desdobramentos das visões objetivista e subjetivista de produção do conhecimento. Porém, a fluidez polissêmica destes termos, discutida anteriormente sobretudo em termos de seus percursos evolutivos, permite questionar a existência de relações de correspondência unívoca.

Berkovich (2018) pontua que qualquer juízo neste sentido dependerá de premissas assumidas acerca das posições epistemológicas e de delineamentos conceituais dos termos 'quantitativo' e 'qualitativo'. No entanto, ela observa que a existência de uma realidade objetiva independente do observador, a ser descrita por uma ciência incumbida de testar hipóteses acerca dos fenômenos, entendimento basilar do positivismo e derivados, não são incompatíveis com abordagens qualitativas, se estas forem entendidas

como o enfoque em dados não numéricos. Holtz (2018) afirma não ver impedimentos para o uso de dados qualitativos na perspectiva do falseacionismo. Lin (1998) toma como exemplos as diferenças entre positivismo e interpretativismo, e defende que o enfoque qualitativo não está atrelado a uma perspectiva epistemológica, sendo empregado à pesquisa de sujeitos de acordo os propósitos e entendimentos acerca do fenômeno estudo:

Both forms of qualitative work look for details about preferences, motivations, and actions that are no easily made numeric. Positivist work, however, seeks to identify those details with propositions that then can be tested or identified in other cases, while interpretive work seeks to combine those details into systems of belief whose manifestations are specific to a case (p. 163).

Richardson (2015) menciona a possibilidade de aproximar dados qualitativos do polo da quantificação, utilizando "como parâmetros o emprego de critérios, categorias, escalas de atitudes" (p. 80): é possível conceber neste sentido diferentes graus de objetivação, desde estruturas de representação e análise que mantêm o aspecto qualitativo até a atribuição de valores numéricos ou ordinais a elementos presentes no material. Cozby (2006) também ressalta a possibilidade de categorizar, ordenar e quantificar atitudes e comportamentos para prover objetividade aos processos de obtenção e análise e dados, e consequentemente ao conhecimento produzido acerca dos sujeitos.

Outra proposta analítica frequentemente referenciada na esfera da epistemologia adota como critério a abrangência do conhecimento produzido, de um polo individual, em que pesa a unicidade do ente no que tange o fenômeno ou aspecto a ser compreendido, a um polo geral, no qual a compreensão dos fenômenos é generalizável à totalidade dos entes. Ao destacar a relevância deste referencial analítico para a reflexão acerca de processos que envolvam criação, Gardner (1994) pontua que a perspectiva denominada idiográfica concebe a produção de conhecimento como estudos de caso individuais, considerando as peculiaridades do fenômeno investigado. No outro extremo, a perspectiva nomotética trabalha a identificação de leis gerais, buscando padrões que se aplicam a todos ou à vasta maioria dos casos.

A tese da escola idiográfica é a velha doutrina segundo a qual 'tudo é fluxo'. Se tudo está sempre mudando, qualquer generalização que se proponha aplicar, então, a dois ou mais fenômenos supostamente

comparáveis nunca é verdadeira. Tudo o que se pode fazer é compreender empaticamente uma sequência de acontecimentos. Inversamente, a tese da escola nomotética diz se evidente que o mundo real (incluindo o mundo social) não é um conjunto de acontecimentos aleatórios. Se assim for, deve haver regras que descrevam 'regularidades' (WALLERSTEIN, p. 454).

A compreensão destes polos enquanto antíteses epistêmicas é subestimada quando o objetivismo e a quantificação são associados de modo simplista ao eixo nomotético, e o subjetivismo e a abordagem qualitativa ao idiográfico. Este referencial analítico é considerado extremamente complexo, tendo sido objeto de debates epistemológicos acirrados na perspectiva dos mais diversos campos de produção do conhecimento, por demandar um delineamento conceitual de noções acerca das quais a formação de consensos se mostra difícil. Uma problemática levantada neste sentido é a da impossibilidade filosófica de denominar um fenômeno, ou aspecto de um fenômeno, como plena e indubitavelmente individual: "caracterizar o 'individual' é correr o risco de incoerência, já que o 'único' e o 'concreto' são inerentemente indescritíveis" (RINGER, 2006 p. 169). O mesmo questionamento pode ser feito a respeito da obtenção de conhecimentos ou premissas verdadeiramente gerais:

Some [researchers] challenge the possibility of generalizability in any type of research, be it qualitative or quantitative. In this view, generalization requires extrapolation that can never be fully justified because findings are always embedded within a context. According to this way of thinking, knowledge is [always] idiographic (POLIT; BECK, 2010, p. 1452).

É possível ponderar desta forma que este referencial serve mais à reflexão acerca das perspectivas sobre a natureza e a abrangência do conhecimento no âmbito de diferentes campos do saber do que propriamente a uma classificação intransigentemente objetiva de técnicas e procedimentos de pesquisa, assim como dos dados obtidos em decorrência de sua aplicação. Além das problemáticas quali-quantitativa e idiográfica-nomotética, merece destaque também, como perspectiva que não se pautou pelo eixo da subjetivação e objetivação, a teoria da incomensurabilidade paradigmática (KUHN, 1998). Esta adota como referencial analítico a normalização da produção de conhecimento científico, concebendo como polos a estabilidade e a instabilidade paradigmática. A produção de conhecimento científico parte de

uma fase pré-paradigmática, instável e palco de disputas acerca de seus fundamentos, nas quais os princípios básicos são constantemente colocados em discussão. A formação de consensos adquire um caráter normalizante, caracterizando uma fase de estabilidade paradigmática. Um reflexo da solidez adquirida pelos princípios, nesta visão, seria um enfoque na produção de artigos científicos curtos voltados para a aplicação de fundamentos pacificados a fenômenos específicos, em detrimento da escrita de livros que se propõe a teorizar.

Nesta perspectiva, o paradigma consiste no repertório epistêmico da comunidade para a compreensão e explicação dos fenômenos, correspondendo ao sistema de crenças a partir do qual proposições são justificadas. Seu declínio se dá pelo surgimento e acúmulo de inconsistências entre as explicações que provê e os fenômenos estudados, quando as proposições obtidas a partir da análise dos mesmos passam a ser percebidas como incompatíveis com o sistema de crenças. O modelo em crise produz uma revolução científica, que tende a ocorrer de forma gradual, e resulta na emergência de um novo paradigma predominante, cuja normalização representa o início de um novo ciclo.

Diferentes teóricos das humanidades passaram a pensar seus campos de atuação com base em uma ponderação de Kuhn (1998): "debates recorrentes sobre a cientificidade de uma ou outra ciência social contemporânea [...] apresentam paralelos com os períodos pré-paradigmáticos" (p. 202). Porém, Nehmy *et. al.* (1996) lembram que Kuhn (1998) analisou a ciência enquanto estudo dos fenômenos naturais, e não se colocou categoricamente acerca da cientificidade dos estudos dos fenômenos sociais. Sobre isto, Assis (1993) acrescenta que a constatação de um percurso evolutivo por um sistema de crenças que detinha atributos pré-paradigmáticos não implica que quaisquer outros sistemas com características análogas trilharão o mesmo caminho.

Cabe pontuar ainda que a presunção de um mesmo tipo de cadeia evolutiva pode colocar as ciências naturais e sociais em uma situação de representação diagramática reducionista, como a descrita por Crotty (2003) anteriormente. Se a guinada subjetivista rejeitou a transposição de padrões de estudo dos fenômenos naturais para os sociais, é pertinente questionar

analogias entre os transcurso dos sistemas de crenças. Nesta ótica, a contribuição *kuhniana* para uma reflexão sobre o conhecimento acerca de seres e fenômenos sociais se dá não nas proposições originalmente circunscritas às ciências naturais, mas pela perspectiva adotada em sua investigação – identificada com o coerencialismo (KUUKKANEN, 2007; ŠEŠELJA; STRAßER, 2009), cuja relevância para o Design enquanto campo de atuação foi destacada anteriormente. O legado de Kuhn para os campos da sociologia e historiografia da ciência reflete esta perspectiva, sobretudo na defesa de que a produção de conhecimento científico e seus produtos ao longo do tempo sejam compreendidos no contexto do sistema de crenças vigentes à época de sua emergência (BRUSH, 2000).

2.5 Métodos como desdobramentos de posições epistêmicas

Enquanto tradições epistemológicas como positivismo e falseacionismo preconizam um ideal a ser adotado, a concepção da oposição entre instabilidade e normalidade paradigmática busca descrever a ciência a partir da compreensão de como ela se dá, concebendo o reconhecimento de diferentes entendimentos como adequados em diferentes épocas ou contextos. A abrangência da noção de paradigma empregada por Kuhn permite compreender a dimensão metodológica da produção de conhecimento como materialização de princípios epistemológicos cuja sustentação se dá pela existência de comunidades que deles compartilham (DENSCOMBE, 2008).

Assim, perspectivas epistemológicas podem ser pensadas não apenas como visões delimitadoras das posições assumidas por seus adeptos, mas como substrato de diferentes propostas metodológicas de produção de conhecimento acerca de fenômenos sociais e humanos, passíveis de emprego no âmbito de uma mesma esfera de atuação. Neste sentido, Kuhn viabiliza epistemicamente as abordagens pragmáticas de pesquisa que incorporam diferentes métodos, aplicando técnicas de investigação associadas a perspectivas epistemológicas distintas (DENSCOMBE, 2008; FEILZER, 2010).

Fazendo jus ao pragmatismo que lhes é amplamente atribuído, estas abordagens tendem a fomentar mais discussões acerca do emprego das técnicas de investigação e de seus produtos na forma dos dados obtidos, do

que propriamente sobre suas raízes filosóficas. Desta forma, ganha ênfase enquanto referencial o já discutido eixo da quantificação-qualificação, embora o deslocamento no mesmo não configure exigência para que haja variabilidade de perspectivas com diferentes desdobramentos metodológicos: Hall (2013) destaca possibilidades de circunscrição, identificadas na literatura, de diferentes perspectivas epistemológicas ao polo qualitativo, como o pós-positivismo, interpretativismo e construcionismo social. O autor lembra ainda, em sintonia com o argumento de Lin (1998), que a fundação epistêmica não dialoga apenas com a concepção original dos métodos, mas com o encaminhamento reservado a seu produto, diferenciando as técnicas também em suas formas de análise e critérios de leitura de dados.

Diferentes abordagens metodológicas podem ser empregadas em conjunto tendo uma delas como predominante ou com um peso equivalente atribuído a ambas. No primeiro caso, a não predominante tenderá a um papel auxiliar, sendo utilizada como forma de aprofundar a compreensão ou investigar aspectos específicos do fenômeno que será majoritariamente explicado através da frente metodológica principal (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006; CRESWELL, 2010). Já o emprego das duas abordagens com intensidade semelhante e em blocos independentes costuma se dar com a intenção de comparar os resultados obtidos. Creswell (2010) pontua que nestes casos é possível adotar uma teoria específica como referencial para a análise ou utilizar uma lente teórica ampla com base em um delineamento voltado para um ou mais pontos de interesse acerca do grupo ou fenômeno investigado: “p. ex. gênero; raça; classe, [...]” (p. 244).

O emprego de uma abordagem como bloco independente de uma proposta multimétodo não difere de seu emprego como abordagem única no que tange as técnicas e procedimentos de obtenção e análise de dados. As particularidades surgem, entretanto, na leitura realizada acerca de um conjunto de dados em relação ao outro, em particular quando há divergências entre eles. Campbell *et al.* (2018) classificam a divergência em termos de dados ausentes em uma das abordagens – e consequentemente exclusivos à outra – e dados conflitantes. Kelle (2001) adota uma perspectiva semelhante, destacando a possibilidade dos dados exclusivos de uma abordagem

dialogarem com a outra, de modo que as duas frentes de ação assumam um caráter de complementaridade.

Este autor destaca dois possíveis encaminhamentos para os dados contraditórios identificados na literatura: o descarte dos dados divergentes, considerando a validação mútua das convergências pelas abordagens; ou ainda a invalidação de todo o material obtido por meio da iniciativa multimétodo. Ele propõe, entretanto, que as divergências tem origem no plano sociológico e se devem ao viés discursivo das abordagens, perpassadas por visões de mundo que impactam, conforme já pontuado, as leituras e interpretações dos fenômenos: "the divergence [...] results of divided societal realms of discourse" (KELLE, 2001, p. 13). Este entendimento é consistente com a ideia de que as divergências não necessariamente indicam problemas com os dados: refletem a complexidade ou pluralidade de valores acerca do fenômeno, mediante a captação por uma abordagem de aspectos ignorados pela outra (YOSHIKAWA *et al.*, 2008).

2.6 A materialização da problemática no Design

A existência no campo do Design de um componente multimetodológico e de diversas perspectivas analíticas divergentes, conforme tratado até aqui, é uma premissa de partida desta pesquisa. A diversidade epistemológica globalmente associada ao campo na seção introdutória com base em Burdek (2005) se faz notadamente presente também no âmbito dos estudos especificamente voltados para o desenvolvimento de artefatos e sistemas digitais (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Baskerville, Kaul e Storey (2015) discutem a epistemologia do Design de artefatos digitais na perspectiva dos polos nomotético e idiográfico, destacando que a problemática da produção de conhecimento que se manifesta na área, em orbita deste eixo analítico, advém dos ramos das Ciências Humanas e Sociais que proveem das bases adotadas para a pesquisa de sujeitos, como a Psicologia e a Sociologia.

O Design, enquanto disciplina e campo de atuação, permite constatar o quanto uma problemática de natureza epistemológica, que caracteriza discussões essencialmente acadêmicas, adquire relevância em seus desdobramentos metodológicos concernentes à prática profissional.

Weichbroth (2019) destaca raízes positivistas, interpretativistas e construtivistas de diferentes estratégias tradicionalmente utilizadas para a obtenção de dados de usuários, e ressalta que discussões sobre seu caráter multiparadigmático ampliam um repertório técnico que poderá ser adaptado e incorporado pelo mercado. Embora a indústria molde seus procedimentos com foco na praticidade e não se paute pelo rigor científico da academia, seus profissionais reconhecem a importância e fazem uso de diferentes perspectivas de obtenção e análise de dados (ROTO; OBRIST; VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATTILA, 2009).

Cabe neste sentido uma reflexão voltada não para a facilmente constatável existência de diferentes visões de mundo, mas para as formas e benefícios de transitar entre seus legados metodológicos em processos de design de artefatos digitais. O'Brien e Lebow (2013) contribuem para esta discussão a partir da análise da experiência dos usuários em uma plataforma interativa de notícias. Elas destacam o caráter complementar do emprego de perspectivas metodológicas distintas e o potencial destas, a ser explorado, de atingir diferentes camadas de um mesmo fenômeno. Já Van Engen-Verheul *et al.* (2016) aplicam uma proposta multimétodo à avaliação da usabilidade de um sistema de informações adotado na área médica, no qual são inseridas informações acerca dos pacientes permitindo a tomada de decisões clínicas: os resultados apontam para melhorias percentuais de desempenho significativas no uso do equipamento, o que permite conceber melhorias de performance matematicamente verificáveis como critério de avaliação de efetividade da pluralidade de abordagens metodológicas.

Além destas perspectivas, mostra-se promissora também a discussão do tratamento reservado ao material resultante do emprego das técnicas de obtenção de dados fundamentadas em diferentes visões sobre o conhecimento. Almeida e Tidal (2017) propuseram uma análise de dados fornecidos por estudantes universitários a respeito da plataforma online de uma biblioteca: segundo os autores, o emprego de diferentes métodos foi crucial para a compreensão de um grupo que apresentava preferências distintas. Este estudo enfatiza a necessidade de traduzir preferências expressas pelos usuários, captadas pelos diferentes métodos utilizados, em aspectos concretos

do design do artefato, dialogando com o princípio básico do Design da Informação expresso no capítulo introdutório.

Verifica-se desta forma que as bases epistemológicas das técnicas de pesquisa de sujeitos, refletidas nos métodos empregados na busca pelo aprimoramento de conhecimentos acerca de fenômenos de natureza social e humana, impactam substancialmente a prática do design. A revisão bibliográfica apresentada mostra o potencial do emprego conjunto destas diferentes abordagens à obtenção de dados acerca dos usuários: isto reforça a pertinência de sua investigação conforme defendido no capítulo introdutório a partir da revelação de algumas questões de pesquisa promissoras acerca da temática, passíveis de discussão.

O presente capítulo mostrou a existência de perspectivas distintas a respeito da produção de conhecimentos acerca de indivíduos, assim como o elo entre as dimensões filosófica e metodológica destas perspectivas. Fica também destacada a manifestação desta discussão no âmbito do design mediante a apresentação de alguns estudos. Desta forma, as reflexões trazidas contribuem para a compreensão da natureza das particularidades das técnicas que serão implementadas e analisadas no decorrer deste trabalho. A fim de consolidar o referencial necessário às reflexões propostas a partir destas considerações, serão tratados no próximo capítulo os aspectos de processos de design informados pelas técnicas de pesquisa, com foco nos requisitos funcionais dos artefatos e nas especificidades das aplicações educacionais.

3 FUNDAMENTOS PARA O DESIGN DE REQUISITOS FUNCIONAIS

Este capítulo propõe uma discussão das perspectivas acerca da obtenção de requisitos funcionais de produtos digitais aplicáveis a processos de design de artefatos educacionais, compondo juntamente com capítulo anterior o referencial concernente ao alcance do primeiro objetivo específico desta pesquisa, elencado na seção introdutória. Parte de uma reflexão sobre os diferentes olhares inerentes aos processos de desenvolvimento de artefatos digitais, seguindo para um delineamento da noção de requisitos e dos procedimentos de avaliação de funcionalidades de um artefato. Contempla também especificidades dos produtos de natureza educacional.

O design de artefatos digitais, informado pelo conhecimento obtido acerca dos usuários nas perspectivas tratadas no capítulo anterior, envolve mais do que o emprego de técnicas de pesquisa de sujeitos e análise de dados. Para além das etapas relativas às consultas aos usuários, há uma cadeia processual desde a identificação ou recebimento da uma demanda até a disponibilização do produto final.

O interesse em dar voz aos estudantes na definição das funcionalidades dos artefatos educacionais aponta para a concepção dos requisitos funcionais do sistema como recorte de interesse dos processos de design. Ao mesmo tempo em que se faz necessário um olhar especialmente voltado para este aspecto do design de uma aplicação educacional, é fundamental também compreendê-lo em um contexto mais amplo, como parte sujeita a impactos provocados pelos demais componentes do todo. A clareza neste sentido é o elemento-chave na concepção de um delineamento metodológico que permita capturar adequadamente o objeto de interesse.

3.1 Perspectivas dos processos de design de artefatos digitais

O processo de criação de um artefato intangível de natureza digital pode ser concebido em diferentes perspectivas, com foco em aspectos distintos de seu desenvolvimento (PRESSMAN; MAXIM, 2016). Verifica-se, desta forma, que tal processo poderá ser do interesse de diferentes disciplinas, a depender da perspectiva adotada. O termo 'design' assume neste sentido um caráter

polissêmico, considerando os contextos nos quais é empregado, que compreendem desde os padrões de projeto aplicados à estruturação das linhas de código da aplicação ao esboço e produção das interfaces gráficas.

O arcabouço da Gestão de Desenvolvimento de Produtos (ROZENFELD *et al.*, 2006) oriundo da Engenharia de Produção, vê a criação de artefatos na perspectiva do planejamento estratégico, que define os objetivos do produto, papel que pretende exercer e posição que pretende ocupar no mercado. Este processo envolve também a elaboração de um projeto detalhado que contempla desde a obtenção dos recursos e tecnologias necessários à sua produção, até o processo de vendas, atendimento e suporte ao cliente, e a descontinuação do produto.

A concepção de processo de desenvolvimento de artefatos digitais da Engenharia de Software volta-se em grande medida para a modelagem dos sistemas visando sua implementação em termos de linhas de código: partindo de abstrações de suas delimitações contextuais considerando demandas de trocas de dados com outros sistemas, e contemplando também a definição e o detalhamento de seus componentes e como estes se relacionarão. Ganha força nesta disciplina a ideia de decompor o processo de desenvolvimento em diferentes perspectivas, a serem mais ou menos adotadas de acordo com as necessidades do projeto: desde a perspectiva do usuário na realização de suas tarefas ao mapeamento do fluxo de dados, caracterizado por cada "entrada sendo processada até a saída correspondente, que é a resposta do sistema" (SOMMERVILLE, 2011, p. 94).

Nielsen e Budiu (2014) mostram, através de um recorte na esfera do desenvolvimento de aplicativos móveis, um olhar sobre o design de artefatos digitais centrado na concepção da interação do usuário com telas, botões, textos e imagens. Nesta perspectiva os planos de negócios e a estruturação do *back-end* dão lugar a problemáticas como responsividade e escolha de estratégias de manutenção de fluxos de interação – como rolagem contínua ou navegação por diferentes telas.

Estes autores destacam a importância de simplificar a interação, incluir apenas a informação necessária, não abusar de imagens e considerar as especificidades dos navegadores ou dispositivos nos quais a aplicação desenvolvida será executada, a fim de melhorar sua performance. Neste

sentido, o desempenho, enquanto aspecto do produto mais comumente associado ao escopo da Engenharia de Software, mostra-se também como uma incumbência do design da interação: esta constatação é importante para uma reflexão acerca da criação de artefatos sob diferentes óticas porque ressalta uma convergência na finalidade dos diferentes enfoques.

É possível identificar ainda outra perspectiva, interessada nos elementos visuais do artefato que serão apresentados aos usuários através das interfaces gráficas. Esta diz respeito à aparência das telas, botões, textos e imagens concebidos para a interação com o usuário. Nesta esfera de atuação, o processo de criação recorre aos conceitos de percepção, memória, signo, cor, e à tipografia e critérios da ergonomia visual (SOBRAL, 2019). Como os demais campos do saber afeitos ao desenvolvimento de aplicações digitais, o Design Gráfico também busca a melhoria do produto a partir de uma aproximação das partes interessadas, em particular os usuários.

Analizando os escopos destas perspectivas, ficam evidenciadas sobreposições mútuas, expressas nas interseções entre disciplinas como Gestão de Projetos, Engenharia de Software, Interação Humano-Computador e Projeto Gráfico. Embora uma visão informada pelos princípios básicos da engenharia e da gestão seja benéfica ao desenvolvimento de artefatos de quaisquer naturezas, as diferentes estratégias preconizadas de concatenação de processos em fases e camadas tem como objetivo gerir a complexidade inerente aos projetos. Assim, o recurso a estes expedientes deve ser pautado pela existência de incomensurabilidades a serem atacadas pelos mesmos, buscando simplificações pertinentes ao escopo do produto, que não intrinquem outras atividades do projeto e não negligenciem aspectos importantes do mesmo: "todo processo deve ser o mais simples possível, mas não simplista" (PRESSMAN; MAXIM, 2016, p. 21).

3.2 Delineamento de requisitos funcionais

Todas estas perspectivas discutidas tem o comum a concepção do processo de criação de um artefato em função de seus requisitos, aspecto central a qualquer projeto conforme pontuam Rogers, Sharp e Preece (2013):

Existem muitas áreas em design, por exemplo, design gráfico, design de arquitetura, design industrial e de software, e embora cada disciplina tenha sua própria interpretação sobre como fazer o 'design', existem três atividades fundamentais que são reconhecidas por todas as áreas: compreender os requisitos, produzir um design que satisfaça estes requisitos e avaliá-lo (p. 320).

A compreensão adequada destes requisitos, imprescindível ao processo de design, demanda o reconhecimento de que os mesmos possuem naturezas distintas, sendo pensados com base em diferentes critérios. Os mais conhecidos são oriundos da Engenharia de Software, que concebe "os requisitos funcionais, que dizem o que o sistema deve fazer, e os requisitos não funcionais, que dizem que restrições existem sobre o sistema e o seu desenvolvimento" (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013, p. 355). Ballejos & Montagna (2011) e Li, Grundy & Hosking (2014) destacam a importância, no âmbito das especificações do projeto, do emprego de linguagens e notações acessíveis não apenas aos técnicos envolvidos no projeto, de modo a facilitar a compreensão dos requisitos por todas as partes envolvidas. Neste sentido, outra classificação presente na literatura diz respeito à adoção da perspectiva do usuário na descrição das funcionalidades: "um requisito de usuário refere-se ao que o usuário necessita; um requisito funcional refere-se ao que o aplicativo necessita" (LOWDERMILK, p. 60, 2013). Desta forma, um requisito do usuário pode corresponder tanto a um requisito funcional quanto a um não funcional, diferenciando-se destes apenas no uso da linguagem:

Os requisitos do usuário se referem tanto aos objetivos do usuário que o projeto deve apoiar, como características e atributos que o produto deve ter ou de que maneira deve se comportar, do ponto de vista do usuário [...]. Tais requisitos incluem desde as funcionalidades de que os usuários precisam até critérios de qualidade de IHC que devem ser satisfeitos para que o produto de design seja considerado bem-sucedido (BARBOSA; SILVA, 2010, p. 132).

Uma classificação oriunda da Engenharia da Produção concebe os requisitos enquanto funções do produto a ser desenvolvido, sendo estas definidas como técnicas, de caráter interno ao produto, ou interativas – que se subdividem em funções ergonômicas e comunicativas: "as funções comunicativas estão relacionadas com a transmissão de sinais/informações do produto para o consumidor" (ROZENFELD *et al.*, 2006, p. 238). Para além da variação terminológica, Sommerville (2011) pontua que "a distinção entre diferentes tipos de requisitos não é tão clara quanto sugerem essas definições

simples" (p. 95). Isto pode ser verificado comparando diferentes tipologias: Rozenfeld *et al.* (2006) colocam os requisitos ergonômicos como subtipo dos interativos, que se aproximam da noção de requisitos funcionais. Benyon (2011), por outro lado, vê a usabilidade de um produto na esfera dos requisitos não funcionais:

Requisitos não funcionais são uma qualidade que o sistema deve ter: eles se referem à maneira como a funcionalidade opera. Esses podem ser os fatores cruciais na aceitabilidade, venda ou no uso de um produto. Eles cobrem uma série de aspectos de design, inclusive imagem e estética, usabilidade, desempenho e sustentabilidade, segurança, aceitabilidade cultural e restrições legais (p. 98).

Neste sentido, os serviços que o sistema se propõe a oferecer diretamente ao usuário, correspondentes às funcionalidades a serem utilizadas, podem ser compreendidos enquanto seus requisitos funcionais ou funções interativas comunicativas, a depender da classificação adotada. Estas definições convergem no recorte do conjunto de funcionalidades abstraindo os atributos técnicos ou computacionais que o sistema deve apresentar para que as mesmas operem, e os atributos estéticos e de usabilidade necessários à otimização da experiência de uso.

O objetivo geral de um sistema, relacionado à execução de uma tarefa e que pode ser entendido como sua função principal, pode ser designado e influenciado por diferentes atores, desde um cliente com uma demanda até as demais partes interessadas de um projeto de produto a ser lançado no mercado. Cabe ao processo de design a definição das funcionalidades específicas que deverão ser incorporadas ao produto: estas podem ter um caráter acessório, voltado para a melhoria da experiência de uso ou representar propostas de operacionalização do objetivo geral da aplicação: "Achar uma solução diretamente para a função total é em geral difícil [...], razão pela qual se procede a uma decomposição da função total em funções com nível de complexidade menor" (ROZENFELD *et al.*, 2006, p. 242).

Cabe pontuar que a reflexão acerca dos requisitos funcionais de uma aplicação não se restringe à problemática da interação usuário-artefato: dimensões correlatas e interseccionais, como a gráfico-interfacial e a informacional em uma perspectiva mais ampla, são fundamentais para esta discussão, conforme constatado em Miller *et al.* (2017). O Design de

Informação visa a criação de soluções que envolvem ordenação de conteúdos, simplificação de complexidade e facilitação da compreensão dos artefatos de forma ampla (SHEN, 2019): "making [...] accurate information design requires more than a computer drafting software or cut-and-paste template. The aesthetic concerns are as important as how the narrative is clearly and efficiently portrayed" (p. 4). Em consonância, Moys (2017) destaca o componente informacional do design de um artefato como responsável pela construção de sua retórica, destacando suas relações com a dimensão funcional do mesmo. Nesta perspectiva, o conteúdo do artefato é comunicado através dos recursos e funcionalidades que oferece, sendo os requisitos funcionais um plano manifesto de apresentação desta informação.

É amplamente preconizada na literatura a proposição dos requisitos funcionais correspondentes a estas funcionalidades com base em informações obtidas acerca dos usuários. Todas as obras de referência utilizadas neste trabalho citam entrevistas, questionários e grupos focais como técnicas de pesquisa efetivas na identificação de necessidades e preferências dos indivíduos que poderão informar efetivamente a definição dos requisitos.

O domínio e emprego efetivo de uma ampla variedade de técnicas e uso de notação acessível se colocam com importantes aliados mediante a dificuldade dos usuários de expressar objetivamente suas necessidades: "Empirical studies (...) reveal challenges faced within (...) requirements identification, which refers to the ability of users to express their needs explicitly and concisely" (KHANOM; HEIMBÜRGER; KÄRKKÄINEN, 2015, p. 147). É possível ponderar tratar-se de uma problemática ainda mais sensível quando os usuários em questão são crianças ou adolescentes em idade escolar.

Sobre a análise dos dados obtidos a partir destas técnicas, Rogers, Sharp e Preece (2013) afirmam que as estratégias de análise e interpretação e dados quantitativos e qualitativos utilizadas na pesquisa social são "aplicáveis durante a atividade de requisitos para estruturar e registrar as descrições dos requisitos" (p. 370). Cabe entretanto uma ponderação acerca da transposição dos dados devidamente analisados e interpretados para o plano dos requisitos formalmente declarados em um projeto:

Os designers estudam as atividades atuais, reúnem histórias de uso e em pouco tempo geram uma grande quantidade de informações

sobre a situação atual e sobre as metas e aspirações das pessoas. A tarefa agora é como transformar isso em requisitos para um novo produto, sistema ou serviço. Às vezes isso é evidente, mas às vezes é preciso dar um salto criativo (BENYON, 2011, p. 96).

Percebe-se assim que a definição de requisitos funcionais de uma aplicação encontra sustentação em dois domínios. O primeiro diz respeito às técnicas de pesquisa e análise de dados, acerca do qual este trabalho se propõe a discutir graus de objetivação e subjetivação; e que fornece subsídios para as decisões de projeto. O outro domínio corresponde a estas decisões projetuais, perpassadas pelo componente criativo, o que ressalta a importância da competência e da experiência do profissional do design. Fica sobrelevada também a pertinência da ampliação do conhecimento acerca das possibilidades de uso das técnicas de pesquisa, visto que fornecem o material a partir do qual soluções serão propostas.

Lowdermilk (2013) afirma que a definição dos requisitos demanda que o designer "tome as solicitações abstratas dos usuários e as converta em necessidades significativas" (p. 59). O autor ressalta a necessidade de documentar e estruturar objetivamente estas informações, de modo viabilizar sua compreensão pelas partes interessadas: "ao mostrar os requisitos a seus usuários, você poderá garantir que entendeu corretamente suas necessidades" (p. 59). Assim, apesar do papel atribuído à sensibilidade ou à criatividade na tomada de decisões, a declaração dos requisitos deve pautar-se pela diligência, transparência e inteligibilidade no que tange as deliberações precedentes, de modo consistente com a noção de objetivação da subjetividade apresentada no capítulo anterior: "um dos objetivos da atividade de requisitos é fazer com que sejam tão específicos, não ambíguos e claros o quanto possível" (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013, p. 355).

Um importante princípio preconizado na literatura é a busca por associações claras e consistentes entre os dados fornecidos pelos usuários e os requisitos propostos. Lowdermilk (2013) propõe definir requisitos do usuário a partir dos dados obtidos e então expressá-los formalmente como requisitos funcionais, ressaltando a cadeia associação: "em seu *template*, considere associar cada requisito funcional ao requisito do usuário que estiver sendo atendido" (p. 61). É fundamental manter um registro da origem e da evolução

de cada requisito a partir dos ajustes propostos pelas partes interessadas (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013; PRESSMAN; MAXIM, 2016).

Sommerville (2011) recomenda a declaração dos requisitos em linguagem natural, através de sentenças estruturadas e numeradas com possibilidade de recurso a notações gráficas e matemáticas. O autor destaca a ainda a importância de sua classificação e organização: "esta atividade toma a coleção de requisitos não estruturados, agrupa requisitos relacionados e os organiza em grupos coerentes" (p. 70). Han, Jung & Dieck (2019) vão na mesma direção ao exemplificar um processo de obtenção estruturada de requisitos a partir de dados de entrevistas com usuários e questionários: o material é categorizado e atribuído a ele graus identificados de resistência por parte dos sujeitos. O sentido emergente dos agrupamentos acomodados em cada categoria, como a hierarquia observada a partir dos níveis de adesão e rejeição, direcionam a definição dos requisitos.

Já Lin et al. (2019) defendem uma abordagem precisa de transposição desde os dados até a implementação das decisões na fase de desenvolvimento do produto. Estes autores propõe a construção de uma matriz bidimensional relacionando de forma inequívoca os requisitos funcionais às diretrizes adotadas para o design do artefato, assegurando um mapeamento robusto. Os requisitos podem ser levantados de acordo com o que se denomina método ágil, envolvendo apenas uma descrição de cada funcionalidade, ou com base em artefatos como declaração de necessidade e viabilidade, e relação com o ambiente técnico do sistema e eventuais restrições associadas (PRESSMAN; MAXIM, 2016). Porém, as formas de documentação percebidas como necessárias dependerão da complexidade e do escopo do projeto.

Benyon (2011) e Rogers, Sharp e Preece (2013) chamam atenção para a natureza epistêmica dos requisitos, refletida no entendimento acerca da ação que resulta na obtenção dos mesmos: o uso do termo 'coleta' de requisitos implica na existência prévia destes, sendo o design a atividade responsável pela sua captação adequada. Já a ideia de 'extração' de requisitos destaca a leitura feita pelo designer das preferências e necessidades das partes envolvidas, enquanto o termo 'geração' enfatiza o componente criativo. Benyon (2011) destaca ainda a existência de termos que não denotam um

compromisso explícito com perspectivas epistemológicas, como ‘entendimento’ de requisitos. Porém, independentemente da premissa adotada pelo designer, estes autores propõe a combinação, nas atividades de requisitos, de dados obtidos através de diferentes técnicas de pesquisa.

3.3 Especificidades das aplicações educacionais

Os processos de design de artefatos digitais levam em consideração as noções de meio e mensagem e o tratamento dado à informação que será apresentada pelo produto, considerando sobretudo a acessibilidade dos conteúdos. Estes aspectos estão presentes no conceito de funções interativas ergonômicas de Rozenfeld *et al.* (2006) e de requisitos não funcionais de Benyon (2011), apresentados na subseção anterior. O desenvolvimento do artefato também contempla uma reflexão acerca de suas potencialidades e características computacionais, relacionadas aos requisitos não funcionais conforme descritos por Sommerville (2011) e Pressman & Maxim (2016) no que concerne o escopo e as restrições do sistema.

Estes aspectos, que devem ser observados pelo design de quaisquer aplicações digitais, estão relacionados às dimensões comunicacional e tecnológica do artefato. Entretanto, as aplicações educacionais possuem outros aspectos a serem levados em consideração, que impactam significativamente a definição de suas funcionalidades. Filatro e Cairo (2015) apresentam neste sentido a dimensão tecnocientífica do artefato, que compreende os conteúdos trabalhados no mesmo enquanto metas de aprendizagem. Estes podem ter um enfoque conceitual, prático/procedimental, ou ainda atitudinal, “quando referem-se a aspectos sociais e afetivos” (p. 20). Neste domínio, o design deve levar em conta particularidades dos conteúdos e diretrizes curriculares, com especial atenção aos objetivos de aprendizagem e competências a serem desenvolvidas.

As autoras destacam ainda a dimensão pedagógica do artefato, relativa às teorias e premissas epistemológicas acerca da aprendizagem subjacentes à abordagem do conteúdo. Dentre as perspectivas discutidas, está a ideia de aprendizagem como mudança de comportamentos, que enfatiza a prática e a repetição como o caminho para a aquisição de novas habilidades: sua raiz é

notadamente behaviorista, assentada no positivismo e numa visão de mundo objetivista, conforme tratado no capítulo anterior. Outra perspectiva à qual cabe destaque é a do construtivismo *piagetiano*, segundo a qual “a aprendizagem é uma experiência pessoal e idiossincrática, que ocorre quando o sujeito desenvolve conhecimento e compreensão por meio da formação e do refinamento de conceitos” (p. 47).

Gil (2008) associa o pensamento *piagetiano* à epistemologia construtivista, também abordada no capítulo anterior no âmbito do subjetivismo. Porém, ele alerta que “a rigor, existem vários construtivismos” (p. 24), o que corrobora a plasticidade adquirida pelo termo, que pode tanto assumir características do interpretativismo como deslocar-se na direção do realismo crítico, conforme também discutido anteriormente. Lam (2019) delinea uma teoria da aprendizagem pautada pelo interpretativismo como norte para o estabelecimento dos princípios-guia do design de aplicações educacionais. O autor destaca a importância, entretanto, do direcionamento do referencial teórico às especificidades do conteúdo específico a ser trabalhado no artefato, considerando aspectos como sua natureza e dificuldades comuns encontradas pelos estudantes.

Cabe ressaltar que não há uma tipologia única das abordagens de ensino e aprendizagem, sujeitas a grande variação terminológica a depender de autores ou contextos em que são descritas: é possível perceber, por exemplo, uma classificação mais abrangente e menos detalhada em Filatro (2009) do que a trazida por Filatro e Cairo (2015). Faz-se necessária neste sentido a compreensão dos princípios que se manifestam na proposta da aplicação, para além do reconhecimento superficial de rótulos associados aos mesmos na literatura. É pertinente pontuar, inclusive, que as perspectivas acerca da aprendizagem subjacentes à proposta da aplicação, expressas em suas funcionalidades, estarão presentes independente de serem reconhecidas ou nomeadas pelas partes envolvidas.

A terceira dimensão a ser considerada é a organizacional, que corresponde a um aspecto amplamente discutido e levado em conta no desenvolvimento de aplicações de apoio à atividades de natureza corporativa ou profissional. Os contornos dados a esta dimensão pelas especificidades do âmbito educacional demandam o reconhecimento de diferentes tipos de

instituições de ensino como contextos de uso, em suas particularidades funcionais, legais e culturais. Outra problemática incorporada a esta dimensão é a da produção do artefato enquanto atividade profissional multidisciplinar, envolvendo pedagogos, designers, editoras, entre outros (FILATRO; CAIRO, 2015).

Este aspecto multidisciplinar remete à pluralidade de vozes inerente ao design de artefatos educacionais, apontada no capítulo introdutório. Explicita também o grau de complexidade que o processo de design de um artefato desta natureza poderá atingir no que tange a gestão de equipes de profissionais envolvidos. É possível constatar em Behar e Torrezzan (2009) a demanda, a depender do produto, por profissionais aptos a: programar sistemas; criar interfaces gráficas; conceber arquiteturas informacionais; desenvolver uma proposta para abordagem de um dado conteúdo-alvo; modelar a apresentação dos elementos presentes de acordo com critérios ergonômicos, entre outros. As equipes podem ser compostas por um número reduzido de indivíduos que atuem efetivamente em diferentes frentes, ou requerer um número maior de profissionais para cobrir todas as competências necessárias à criação do produto.

Além das dimensões, enquanto aspectos a partir dos quais os artefatos podem ser pensados, as aplicações educacionais são singulares também no que tange a natureza da interação com o usuário. Diferenciam-se dos jogos e softwares de produtividade, mas ao mesmo tempo podem assumir características de suas propostas:

Educational software constitutes a third type of software, distinct from either productivity software or game software. While some principles of design overlap with principles from these domains, others remain distinct. These distinctions are driven by the different context of educational software. Like productivity software, educational software emphasizes clarity, at least with respect to educational content. However, like game software, educational software is not overly focused on reaching the goal with a minimum amount of effort. In fact, imposing effort is often part of the educational pedagogy (RITTER; MURRAY; HAUSMANN, 2018, p. 36)

A demanda cognitiva pedagogicamente concebida para um artefato digital educacional é tratada também por Leinonen *et al.* (2016), que destacam a importância de um design que contribua para a compreensão e reflexão acerca dos conteúdos. Além de preconizar que a proposta de interação da

aplicação expressa em suas funcionalidades seja centrada na figura discente enquanto protagonista do próprio processo de aprendizagem, estes autores enfatizam também a distinção entre os softwares educacionais voltados para o uso individual e os que permitem algum tipo de colaboração entre os aprendizes.

Castillo *et al.* (2019) ressaltam o potencial dos artefatos educacionais auxiliarem estudantes na resolução de exercícios, em particular em disciplinas tidas como mais difíceis, como a matemática. Os autores destacam ainda o apoio a aprendizes mediante conteúdos complexos que podem acarretar ansiedade e dificuldades de compreensão como aspectos a serem considerados na fundamentação de uma proposta de design de aplicação. A importância do apoio também é reconhecida por Churchill, Fox & King (2016), que destacam os recursos, a atividade, o suporte e a avaliação como sendo os quatro componentes básicos de um artefato digital que provê efetivamente um ambiente adequado para a ocorrência da aprendizagem. Estes autores defendem ser fundamental considerar estes elementos no design do sistema.

Estas reflexões compõe um conjunto de fundamentos indispensáveis ao design de artefatos educacionais não apenas no que tange o desenvolvimento de uma compreensão global e sistêmica dos processos, mas também no que concerne concretamente a proposta do artefato, expressa em suas funcionalidades. Fica evidenciado que a definição dos requisitos funcionais de uma aplicação eficiente não poderá prescindir das diretrizes curriculares acerca do conteúdo a ser trabalhado; de uma proposta de aprendizagem consistente com as mesmas; das especificidades do contexto institucional onde será utilizada, e dos demais elementos tratados nesta subseção.

3.4 Avaliação das funcionalidades do artefato

Os princípios do design discutidos até o momento permitem presumir que a avaliação dos requisitos funcionais de uma aplicação se dará em grande medida através do diálogo com as partes envolvidas, em especial os usuários. Porém, uma consulta descuidada aos mesmos pode resultar em uma leitura equivocada da adequação dos requisitos, causando decisões mal informadas e acarretando prejuízos irremediáveis ao projeto. Para assegurar uma avaliação

efetiva é necessário “saber quando ouvir e quando não ouvir os usuários. Só porque [...] devemos ouvir os usuários, isso não significa que devemos ouvir tudo que eles nos dizem” (LOWDERMILK, p. 40, 2013).

Esta abordagem criteriosa adquire ainda mais importância no contexto de um artefato educacional que tem como usuários sujeitos em idade escolar. Uma estratégia para avaliar a efetividade dos requisitos sem depender inteiramente de opiniões emitidas pelos usuários é através de testes de desempenho com protótipos ou versões beta da aplicação, apresentando apenas as funcionalidades que se deseja avaliar: “O teste beta ocorre quando um release antecipado, por vezes inacabado, de um sistema de software, é disponibilizado aos clientes e usuários para avaliação” (SOMMERVILLE, 2011, p. 160). Pressman e Maxim (2016) ressaltam que este expediente, que definem como teste de aceitação, é crucial para a validação de requisitos.

Outra maneira de realizar uma avaliação com participantes é montar um experimento controlado. Experimentos controlados são apropriados quando o designer está interessado em determinadas características de um design, talvez comparando um design com outro para ver qual é melhor. Para fazer isso com algum grau de segurança, o experimento precisa ser cuidadosamente projetado e executado (BENYON, 2011, p. 155).

É importante buscar aproximar o ambiente onde os usuários serão apresentados ao artefato para realização dos testes daquele onde os mesmos farão uso da aplicação rotineiramente. O ambiente “deve ser representativo do contexto de uso do sistema” (CYBIS; BETIOL; FAUST, 2007, p. 267), embora saiba-se que é “praticamente impossível para um desenvolvedor de sistemas replicar o ambiente de trabalho do sistema” (SOMMERVILLE, 2011, p. 159). Cybis, Betiol e Faust (2007) ressaltam ainda a importância da clareza das instruções fornecidas aos usuários nos testes: “os roteiros, com a descrição das tarefas solicitadas ao usuário, devem trazer termos objetivos que sejam familiares aos participantes” (p. 269).

Benyon (2011) destaca, como aspectos passíveis de apreensão em um teste voltado para a efetividade de uma aplicação, os percentuais de tarefas básicas e avançadas completadas, e de funções utilizadas pelos usuários. O autor destaca também os tempos de execução como medida de eficiência. Preece, Rogers e Sharp (2015) mencionam mensuração de desempenho e observações de cunho estritamente qualitativo. Cabe ressaltar, entretanto, que

técnicas qualitativas não estruturadas podem trazer problemas quanto ao registro dos dados: “anotações em tempo real requerem prática e habilidade por parte do observador e dificilmente podem ser empregadas sem o apoio de outra técnica de registro” (CYBIS; BETIOL; FAUST, 2007, p. 267).

As opiniões expressas pelos usuários serão avaliadas com mais segurança à luz dos resultados obtidos nos testes. A literatura recomenda a realização de pesquisas de opinião pós-uso como atividade de encerramento das seções de avaliação. As mesmas técnicas de pesquisa social citadas anteriormente como meios de obtenção dos requisitos poderão ser adotadas para validá-los posteriormente junto aos usuários. O rigor metodológico na avaliação viabiliza uma leitura adequada dos depoimentos, assegurando também a adequação dos encaminhamentos projetuais decorrentes.

Terminada a seção de interação, os avaliadores devem conduzir a entrevista pós-teste. Essa entrevista é uma oportunidade para coletar a opinião do participante sobre a experiência de uso que acabou de vivenciar e esclarecer eventuais dúvidas sobre seu comportamento e suas intenções, percepções e interpretações durante a execução das tarefas (BARBOSA; SILVA, 2010, p. 310).

Os impactos de uso em termos de desempenho e satisfação são dados cruciais na avaliação de um artefato educacional, sobretudo no contexto de uma discussão acerca do emprego de diferentes técnicas de pesquisa de sujeitos para obtenção dos requisitos funcionais.

O conteúdo abordado nesta e nas subseções anteriores viabiliza um entendimento preciso e embasado da noção de requisitos funcionais, essencial para este trabalho, destacando sua relevância no âmbito de linhas de pesquisa como o Design da Interação e o Design da Informação. Fundamenta também a operacionalização de técnicas de obtenção de dados de usuários, a transposição destes dados para o domínio dos requisitos e a avaliação das funcionalidades resultantes – procedimentos estes necessários à condução do presente estudo. É pertinente ressaltar também o destaque dado às especificidades dos produtos educacionais, buscando possibilitar encaminhamentos e análise posteriores adequados ao experimento concebido para atingir os resultados discutidos nos capítulos finais. O trabalho procede, no capítulo seguinte, à apresentação do contexto de sua execução e da proposta geral da aplicação concebida e submetida à avaliação.

4 O CONTEXTO DA PESQUISA

As reflexões construídas neste capítulo tiveram o intuito de viabilizar os procedimentos e a tomada de decisões de pesquisa apropriadas à realidade de seu contexto de execução, informando as ações adotadas na concretização do objetivo específico relativo à aplicação das abordagens de obtenção de dados pautadas por vieses epistemológicos distintos. Uma análise *in loco* de aspectos metodológicos do design requer absoluta clareza quanto ao processo de desenvolvimento adotado como esfera da investigação, seu problema de partida, e a solução pretendida.

Conhecer cenários, práticas e sujeitos envolvidos é fundamental tanto para a produção do artefato enquanto finalidade (BARBOSA; SILVA, 2010; ROGERS; SHARP; PREECE, 2013; PRESSMAN; MAXIM, 2016) quanto para a investigação científica dos métodos de desenvolvimento adotados e seus impactos – que corresponde ao propósito deste trabalho. A compreensão adequada do objeto de interesse passa impreterivelmente por um delineamento efetivo do contexto, que permite “conscientizar-se de um problema [...], torná-lo significativo e delimitá-lo” (LAVILLE, C.; DIONNE, 2007, p. 47).

Na perspectiva objetivista, a contextualização de atores e elementos envolvidos em uma pesquisa é indispensável à projeção minuciosa do alcance e das possibilidades de generalização de resultados, além da reprodutibilidade de condições para eventual repetição de procedimentos buscando validar ou aprofundar os conhecimentos obtidos. Para este propósito, o mapeamento do contexto deve buscar descrições e registros “sensíveis, mensuráveis e passíveis de repetição, para que possam ser observadas por outras pessoas” (RICHARDSON *et al.*, 2015, p. 26).

Para o viés subjetivista, a realidade estudada é percebida com base na “premissa de que o mundo social é ‘relativo’ e somente pode ser compreendido a partir do ponto de vista dos atores estudados” (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006, p. 36). Nesta ótica, as descrições do contexto devem compreender suas peculiaridades, complexidades e contradições, sendo produto de uma construção colaborativa. Nas subseções a seguir, são apresentados os elementos componentes do contexto pesquisado, considerando estes diferentes sentidos e propósitos atribuídos à sua descrição.

4.1 Uma conjuntura demandante de soluções educacionais

A aprendizagem de conteúdos de Física trabalhados no Ensino Médio é o contexto pedagógico no qual o desenvolvimento das aplicações tecnológicas propostas neste estudo se insere. É importante ressaltar que o objeto deste estudo *per se*, em sua circunscrição ao emprego de técnicas de pesquisa, é indiferente à escolha de quaisquer conteúdos a serem contemplados por uma eventual solução tecnológica resultante. Por outro lado, a decisão de um designer ou pesquisador de se dedicar ao desenvolvimento de ferramentas de facilitação da aprendizagem de um conteúdo curricular específico pode ser perpassada por considerações que vão desde uma demanda externa à afinidade ou interesse pelo campo do conhecimento em questão.

Cabe destacar também que a perspectiva de concepção de um artefato educacional, passível de eventuais aplicações pedagógicas concretas, para além da discussão acerca das técnicas obtenção de dados prevista por esta pesquisa, denota a pertinência de uma justificativa fundamentada para a escolha do conteúdo. Neste sentido, a opção pelo componente curricular referido se deu por este corresponder a uma área sensivelmente estratégica, porém extremamente vulnerável no Brasil. A Física está intimamente ligada, e coloca-se como componente fundamental para o desenvolvimento de diversos campos do conhecimento, como as ciências, a engenharia e a tecnologia, cuja relevância do ensino tem sido globalmente defendida ao longo da última década em meio à propagação de uma tendência educacional denominada STEM:

The term “STEM education” refers to teaching and learning in the fields of science, technology, engineering, and mathematics [...] today the economic and social benefits of scientific thinking and STEM education are widely believed to have broad application for workers in both STEM and non-STEM occupations. As such, many contemporary policymakers consider widespread STEM literacy, as well as specific STEM expertise, to be critical human capital competencies for a 21st century economy (GONZALEZ; KUENZI, 2012, p. 1).

O desenvolvimento destas áreas é ponto focal de políticas públicas educacionais de diferentes nações que compartilham desta visão estratégica (BELL, 2016; TANENBAUM, 2016). Cabe ressaltar que projetos e políticas pautadas por tal enfoque pedagógico não são imunes a dissensões: Zeidler

(2016) discute a propagação descuidada desta proposta através de sistemas de ensino que tendem a privilegiar uma concepção utilitarista em detrimento de uma compreensão holística da natureza da ciência pelos estudantes. Já Bell (2016) aponta desigualdades em políticas educacionais de países europeus na promoção do ensino e estímulo à docência de cada um dos componentes curriculares escolares considerados relevantes dentre estas disciplinas. Ainda assim, as críticas direcionadas às formas de implementação destas políticas ressaltam as importâncias das mesmas em seu mérito, ao promover campos do saber fundamentais para o desenvolvimento das sociedades.

No Brasil, a trajetória da educação em ciência ao longo do século XX esteve intimamente ligada ao ensino de Física como campo de pesquisa (NARDI, 2005). A importância estratégica globalmente atribuída a esta área é também reconhecida no âmbito nacional, conforme expresso em demanda destacada na Base Nacional Curricular Comum (BNCC) da Educação, referencial normativo a ser implementado ao longo dos próximos anos que elenca o conjunto de saberes a serem desenvolvidos pelos estudantes da Educação Básica:

poucas pessoas aplicam os conhecimentos e procedimentos científicos na resolução de seus problemas cotidianos [...]. Tal constatação corrobora a necessidade de a Educação Básica – em especial, a área de Ciências da Natureza – comprometer-se com o letramento científico da população (BRASIL, 2018a, p. 547).

Esta falta de familiaridade dos estudantes com as ciências exatas e da natureza é refletida em um desempenho escolar baixo. Os dados do PISA 2015 apontam que a nota média dos estudantes brasileiros em ciência foi de 401 pontos: o resultado está significativamente abaixo dos demais países da OCDE, o que tem se repetido ao longo da série histórica. A situação é similarmente dramática no que diz respeito à matemática: "No Brasil, 70,3% dos estudantes estão abaixo do [...] patamar que a OCDE estabelece como necessário para que os jovens possam exercer plenamente sua cidadania" (BRASIL, 2016, p. 81). Os dados iniciais da versão 2018 do PISA, não integralmente disponibilizados para análise até a conclusão deste trabalho, confirmam a manutenção do cenário detectado nas edições anteriores do exame (OECD, 2019).

Pernambuco tem se mantido próximo à baixa média nacional do PISA no quesito matemática. No que tange as ciências, a situação local é ainda mais grave: o estado se encontra entre os dez entes federativos que obtiveram desempenho inferior à média nacional, com 383 pontos (BRASIL, 2016). No Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB), o estado obteve média 4,0 no Ensino Médio e encontra-se 0,5 ponto acima da média nacional, porém ainda na faixa das "escolas brasileiras em desempenho intermediário, entre 3,2 a 4,1" (BRASIL, 2018b, p. 57). Na mesma avaliação em relação ao Ensino Fundamental, figurou entre os dez desempenhos mais fracos do país, apesar de ter progredido sucessivamente na série histórica desde 2007 e atingido todas as metas estipuladas a cada ano – o que só foi alcançado por quatro outros entes federativos¹.

4.2 Local de realização da pesquisa

O loco deste estudo foi uma Escola de Referência em Ensino Médio da rede pública estadual de Pernambuco localizada em um bairro da zona oeste do Recife. No período de realização desta pesquisa, possuía 42 funcionários, sendo 17 deles docentes, e atendia 273 estudantes do Ensino Médio no turno integral nos horários da manhã e da tarde, e 115 da Educação de Jovens e Adultos no turno noturno. Pode neste sentido ser considerada uma escola de pequeno porte. No que diz respeito às instalações, a instituição dispõe de 13 salas de aula, 1 biblioteca, 1 sala de exibição de vídeos e 1 laboratório de informática com internet banda larga e capacidade para 18 estudantes.

As salas equipadas essencialmente com carteiras e lousa e a média de 31 discentes por turma impõem o modelo de aulas expositivas, predominando a abordagem dialogada: explanação docente caracterizada pela conversação a partir de intervenções por parte dos estudantes, com intuito de atribuir vitalidade e dinamismo à exposição do conteúdo (SILVA, 2015). É prática comum na instituição a realização de projetos no âmbito das mais diversas disciplinas que culminam em apresentações para a comunidade escolar em eventos alusivos a datas comemorativas. Recebe com frequência solicitações

¹ Dados relativos ao Ensino Fundamental disponíveis no sistema de consulta IDEB – Resultados e Metas em <<http://ideb.inep.gov.br/resultado/>>. Acesso em 14 Jun. 2019.

de docentes e estudantes de pós-graduação para realização de pesquisas educacionais no local.

Em relação a seu desempenho acadêmico, a taxa de aprovação é de 97%, em consonância com o decréscimo progressivo dos índices de abandono observado no estado nos últimos anos (PERNAMBUCO, 2019). A escola atingiu nota 5,3 na avaliação de 2017 do IDEB, o que a coloca mais de um ponto a frente da média do estado e consequentemente também do país, conforme apresentado anteriormente. O dado é positivo em comparação aos cenários local e nacional, caracterizados pela precariedade. Porém, atesta também uma realidade ainda distante da desejada excelência educacional, quando é constatada através da mesma base dados, a oito quilômetros, ou cerca de 20 minutos de distância, a existência de uma escola privada cuja nota na mesma avaliação é 7,4².

A análise dos microdados das provas objetivas do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), realizado em 2018, evidencia uma média de 535,95 pontos obtida pelos discentes da escola: este resultado a aproxima do quarto (1/4) de instituições de ensino com melhor desempenho em Pernambuco, na posição 232 em um universo de 958 escolas. Entretanto, revela também que seu desempenho é muito próximo dos 528,54 pontos da média nacional, notadamente considerada baixa³. Neste sentido, é possível descrever o loco da pesquisa como uma instituição que possui méritos e chega a diferenciar-se positivamente de outras da rede pública em alguns indicadores. Ainda assim, apresenta níveis de desempenho semelhantes aos predominantes na realidade deficitária do país, e enfrenta dificuldades estruturais na missão de entregar uma educação de qualidade, como inúmeras outras escolas da rede pública.

Um fato ocorrido na escola meses antes do início desta pesquisa ilustra este caráter deficitário do cenário nacional da Educação: verificou-se que parte do mobiliário e alguns equipamentos da sala de informática apresentavam avarias que impossibilitavam seu uso em virtude da ausência de recursos para manutenção da infraestrutura. Este registro se faz pertinente porque o fato em questão estabeleceu que quaisquer propostas de implementação e uso de

² Dados relativos às instituições de ensino em questão disponíveis no sistema de consulta IDEB por Escola <<http://idebescola.inep.gov.br/ideb/consulta-publica>>. Acesso em 14 Jun. 2019.

³ Microdados relativos ao ENEM disponíveis em <<http://portal.inep.gov.br/web/guest/microdados>>. Acesso em 14 Jun. 2019.

soluções tecnológicas precisariam adaptar-se a esta realidade. Sobre estas dificuldades, cabe ponderar que o objeto desta pesquisa não demanda a priori um loco específico para a realização da investigação, viabilizando o trabalho com outros universos de estudantes, inclusive em escolas privadas. Entretanto, considerando os cenários local e nacional da educação discutidos anteriormente, sobreleva-se a já pontuada perspectiva do estudo contribuir para a concepção de uma ferramenta com potencial de beneficiar educacionalmente seus usuários. Assim, uma vez contornados os problemas infraestruturais de modo a assegurar que estes não prejudiquem o objetivo da pesquisa, é pertinente que o perfil discente considerado, destinatário nato da solução desenhada, corresponda ao de uma instituição pública.

4.3 Participantes

De modo abrangente, é possível pensar cada integrante da comunidade escolar como sujeito com algum grau de envolvimento na pesquisa, considerando eventuais impactos de suas existências na construção de percepções e procedimentos que permearam o estudo, levando à obtenção dos dados. Cabe menção neste sentido ao papel do gestor da instituição, que autorizou a realização da pesquisa, e à coordenadora pedagógica no apoio e supervisão do agendamento das atividades considerando a grade de horários da instituição, de modo a assegurar que a execução do trabalho não acarretaria prejuízos à carga-horária e regência dos conteúdos curriculares das disciplinas. Destacam-se também as participações do professor de Física e da funcionária responsável pelo laboratório de informática, que se prontificou a prover suporte logístico e operacional à execução destas atividades. Os sujeitos que tiveram maior impacto sobre as decisões metodológicas da pesquisa e os dados obtidos são apresentados a seguir.

O público-alvo da solução tecnológica concebida no âmbito deste estudo foram os estudantes do 1º ano do Ensino Médio. O grupo é composto por 114 discentes (♀ = 63 / ♂ = 51) divididos nas turmas A, B e C, e com idades entre 14 e 17 anos (μ = 15,7 anos). A definição deste grupo como universo da pesquisa se deu porque dentre as três séries existentes na escola, o 1º ano foi a que possuía o maior número de turmas e estudantes, significando maior

disponibilidade de sujeitos de pesquisa e de momentos para agendamento de visitas e realização de atividades.

O Indicador de Nível Socioeconômico das Escolas de Educação Básica (Inse) atribui aos estudantes da instituição pesquisada o Nível 2 em uma escala crescente de 1 a 6. Neste sentido, o perfil traçado acerca do participante típico desta pesquisa indica que:

[...] há em sua casa bens elementares, como uma televisão, uma geladeira, um ou dois telefones celulares, um banheiro e até dois quartos para dormir. Não possui máquina de lavar roupa ou computador entre seus bens. A renda familiar mensal é de até 1 salário mínimo; e seu pai e sua mãe (ou responsáveis) sabem ler e escrever tendo ingressado no ensino fundamental, completando ou não o 5º ano de estudo (BRASIL, 2015, p. 8)

Dentre os hábitos tecnológicos do grupo, é notadamente preponderante o uso de *smartphones* para navegar na internet, acessar redes sociais, aplicativos e ouvir música durante os intervalos das aulas. A prevalência destas atividades também é percebida por Silva & Pereira (2015) em pesquisa realizada com estudantes de camadas populares do Rio Grande do Sul, que destaca a relação dos jovens secundaristas com a música como um indicativo do potencial de uso coletivo de dispositivos móveis:

no intervalo da escola muitos alunos escutam música sozinhos, com seus fones de ouvido [...] Todavia há jovens que escutam música juntos, em duplas, dividindo os fones de ouvido, conversando e interagindo. O uso do celular nesses casos passa de individual para uso coletivo, ele vira uma ferramenta de sociabilidade, onde a tecnologia pode ser compartilhada. E ainda há aqueles que não utilizam os fones de ouvido [...] (p. 3).

O diálogo com pares no âmbito de uma atividade tradicionalmente individual como ouvir música é indicativa do perfil de uma geração caracterizada pela busca constante por interação, imersa na vivência dos mais diversos recursos comunicacionais de tecnologias digitais (BATES, 2016). As semelhanças entre os sujeitos da presente pesquisa e estudantes de idade e nível socioeconômico semelhante, porém oriundos de localidade diversa, reforçam o perfil dos estudantes participantes de um grupo habitual. De modo congruente, os discentes são descritos pelos professores e coordenação da instituição como típicos, havendo naturalmente indivíduos que se destacam pelo bom desempenho acadêmico e outros que apresentam problemas de disciplina ou dificuldades de aprendizagem.

O grupo que se destaca academicamente é caracterizado pela participação assídua nas atividades e projetos escolares e pelo interesse declarado em vivenciar experiências de intercâmbio internacional através do projeto Ganhe o Mundo. Trata-se de um programa da rede estadual que tem como objetivo promover a aprendizagem de línguas estrangeiras e envolve oferta de cursos de idioma nas escolas no contraturno. É também “ofertada aos mil melhores alunos participantes uma oportunidade de intercâmbio internacional em escolas públicas ou privadas dos países parceiros” (PERNAMBUCO, 2019, p. 45). O histórico de estudantes da escola selecionados em anos anteriores reforça a perspectiva de vivências internacionais mediante a obtenção de boas notas.

Na outra ponta, as dificuldades de aprendizagem e convivência estão associadas à falta de interesse e motivação para os estudos e aos problemas de disciplina. Os episódios relacionados à indisciplina vivenciados no loco são parte da rotina de qualquer instituição de ensino: conversas paralelas e barulhentas nas aulas, arremessos de bolas de papel, tentativas de evadir-se das salas durante as aulas, entre outros. Há uma correlação, que tem chamado atenção desde o PISA 2012 (OECD, 2013), entre indisciplina ou outras perturbações que reduzem a atenção às aulas e as dificuldades de aprendizagem expressas em baixo desempenho. Santos, Nascimento & Menezes (2012), em estudo realizado junto a estudantes da rede pública de Recife, detectaram os episódios de indisciplina como desdobramento da falta de estrutura da escola e do sistema educacional. Momentos de desordem nas aulas escancaram as fragilidades do ensino público e impactam a percepção que os estudantes tem da escola, de si e de seu potencial enquanto sujeitos formados naquele ambiente.

4.4 A regência do componente curricular enfocado

Apoiou também o professor da escola responsável por ministrar aulas de Física para estes estudantes. Ele é servidor da rede estadual de ensino desde 2006, licenciado na área de atuação, e egresso de um programa de mestrado profissional voltado para docentes da rede pública. Este perfil o coloca em um grupo notadamente minoritário de acordo com Censo da Educação Básica

2018 realizado pelo Inep, que aponta que 56,7% dos professores que dão aulas de Física não possuem formação adequada para atuar no ensino deste componente curricular, e indica também que apenas 37,2% dos docentes com atuação na Educação Básica possui algum tipo de pós-graduação (BRASIL, 2019). A disponibilidade de programas de mestrado profissional como o que formou o professor em questão pode ser compreendida como parte de um conjunto de políticas públicas que buscam modificar este cenário.

outra meta que se destaca do Plano Nacional de Educação (PNE) diz respeito à pós-graduação e à formação continuada dos docentes da educação básica. A meta 16 busca formar, em nível de pós-graduação, 50% dos professores da educação básica até o último ano de vigência do plano e garantir a eles formação continuada em sua área de atuação, considerando as necessidades, demandas e contextualizações dos sistemas de ensino [...] verifica-se um aumento de 31,4% para 37,2% de professores com pós-graduação de 2014 a 2018 (BRASIL, 2019, p. 44).

No que tange as práticas pedagógicas, é possível descrever o perfil do docente como produto de dois vetores de sentidos opostos: de um lado, abertura e propensão à incorporação de novas práticas e ferramentas tecnológicas, característicos de um profissional qualificado e de concepções embasadas em uma formação sólida; de outro, limitações estruturais relativas ao quantitativo de estudantes por turma, e ao espaço e recursos disponíveis nas salas, que podem influenciar em alguma medida o tipo de aula ministrada conforme tratado na subseção anterior. Conteúdos extensos e uma quantidade reduzida de aulas à disposição do docente também são um problema, que é comumente verificado entre professores de Física (ROSA; ROSA, 2005; RICARDO, 2010).

Estas condições se colocam como um grande entrave para uma prática pedagógica adequada por parte deste educador. Oliveira, Araújo e Veit (2016) retratam as aulas expositivas, centradas no professor e voltadas para resolução de listas de exercícios como um fator de desestímulo ao aprendizado da Física e descrevem a abordagem da sala de aula invertida como estratégia para estimular o engajamento discente: nesta proposta, a apresentação de noções básicas e o componente repetitivo presente na resolução de alguns exercícios ocorreriam em casa enquanto o tempo de aula seria melhor aproveitado com foco em discussões, proposições de resoluções de problemas em grupos e esclarecimento de dúvidas. Nesta perspectiva, a designação de

tempo de aula – variável crítica na prática do docente em questão – para participação ativa dos aprendizes é um fator fundamental para melhoria de desempenho na disciplina (RUDOLPH *et al.*, 2014; BEICHNER *et al.*, 2007).

4.5 O Conteúdo-alvo da solução tecnológica

O conteúdo focado na solução tecnológica concebida na pesquisa foi definido com base nas necessidades curriculares dos participantes, à luz dos tópicos e da proposta pedagógica concebida para seu nível de ensino. Neste sentido, é possível destacar as recém-atualizadas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para o Ensino Médio, que preveem para a disciplina de Física:

aprofundamento de conhecimentos estruturantes para aplicação de diferentes conceitos em contextos sociais e de trabalho, organizando arranjos curriculares que permitam estudos em astronomia, metrologia, física geral, clássica, molecular, quântica e mecânica, instrumentação, ótica, acústica [...] (BRASIL, 2018c, p. 7).

É possível ponderar que a regência de quaisquer destes conteúdos nas condições impostas pela realidade, conforme descrito anteriormente, é um desafio. No caso específico das turmas de 1º ano, a meta é o aprendizado da mecânica.

O estudo do movimento e os conceitos relacionados de força e massa é chamado de mecânica. Começamos nossa investigação sobre o movimento examinando a cinemática, o ramo da mecânica que lida com as características do movimento. Você precisará compreender a cinemática para compreender [...] a dinâmica, que relaciona movimento, força e massa (TIPLER; MOSCA, 2009 p. 27).

Este conteúdo já tinha sua importância para os estudantes do Ensino Médio evidenciada desde o final da década de 1990 na Parte III dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), que versa sobre Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (BRASIL, 1998). Hoje, o mesmo é destacado na BNCC em uma perspectiva interdisciplinar na área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, no âmbito da competência relativa à análise das dinâmicas do planeta, da vida e do cosmo, no que tange a habilidade de “elaborar explicações, previsões e cálculos a respeito dos movimentos de

objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais” (BRASIL, 2018a, p. 557).

Hewitt (2002) ressalta a importância da mecânica enfatizando especificamente a cinemática como um ponto crítico no desenvolvimento de uma compreensão da Física. A importância de um enfoque adequado neste conteúdo específico também é percebida em Tipler e Mosca (2009), que o apresentam como um ponto de partida fundamental para o aprendizado dos demais conteúdos da disciplina. Para abordar as características dos movimentos dos corpos, o conteúdo introdutório relativo à cinemática ministrado no 1º ano do Ensino Médio parte de quatro conceitos, polissêmicos em uma perspectiva mais ampla, porém de uso contextualmente delimitado:

- **espaço:** variável que caracteriza um corpo tendo como parâmetro sua posição em relação a outro corpo ou ponto adotado como referencial; medida em centímetros, quilômetros ou convencionalmente em metros, é designada pelo símbolo S . Tem sua variação expressa por ΔS , que corresponde à subtração de um valor inicialmente assumido de um valor final assumido, indicando uma distância percorrida. Esta variação é representada pela expressão $\Delta S = S - S_0$

- **tempo:** variável que caracteriza um corpo em relação a ele mesmo, adotando como parâmetro a passagem de minutos, horas ou segundos, designada pelo símbolo t . Tem sua variação expressa por Δt , que corresponde à subtração de um valor inicialmente assumido de um valor final assumido, indicando um intervalo transcorrido. Esta variação é representada pela expressão $\Delta t = t - t_0$

- **velocidade:** representa a variação de um ponto no espaço ocupado por um corpo em relação ao tempo; convencionalmente medida em metros por segundo (m/s), é designada pelo símbolo V , cujo valor é obtido pela razão entre as variáveis ΔS e Δt . Tem sua variação representada pelo símbolo ΔV , que corresponde à subtração de um valor inicialmente assumido de um

valor final assumido. A velocidade é dada pela expressão $V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ e sua variação por $\Delta V = V - V_0$

- **aceleração:** representa a variação de velocidade de um corpo em relação ao tempo, convencionalmente medida em metros por segundo ao quadrado (m/s²), é designada pelo símbolo a , cujo valor é obtido pela razão entre as variáveis ΔV e Δt . Sua ausência implica em valor de velocidade constante e caracteriza o movimento retilíneo de um corpo como uniforme (MRU), enquanto sua presença o caracteriza como uniformemente variado (MRUV). A aceleração é dada pela expressão $a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$

A compreensão deste conteúdo requer a constatação de que a partir de algumas informações dadas acerca de um objeto em movimento, como sua velocidade e o tempo de deslocamento, é possível obter outras informações não fornecidas, como sua aceleração. Estas relações são matematicamente expressas em formulas como as indicadas acima. Também é possível substituir a expressão que designa certa variável pelo símbolo correspondente a esta mesma variável em outra fórmula, obtendo-se novas expressões. Através de manipulação algébrica, considerando o tipo de movimento em questão, são identificadas novas relações expressas por novas fórmulas:

- função horária da posição no MRU: $S = S_0 + Vt$
- função horária da velocidade: $V = V_0 + at$
- função horária da posição: $S = S_0 + V_0t + \frac{at^2}{2}$
- equação de Torricelli: $V^2 = V_0^2 + 2a\Delta S$

A reflexão acerca destes conceitos permite ao estudante perceber a relação de proporcionalidade direta entre o valor atribuído à variável tempo e os valores de deslocamento e velocidade finais nas equações horárias. Tal constatação fundamenta-se em uma dedução lógica: quanto mais tempo um

corpo passa em movimento retilíneo, maior serão o espaço percorrido e a velocidade desenvolvida, caso possua aceleração. Matematicamente, verifica-se nestas equações que $t = 0$ anula os demais termos implicando na igualdade entre os valores iniciais e finais de deslocamento e velocidade. Esta ponderação acerca das representações matemáticas remete à conclusão lógica que se não houve um intervalo de tempo para que o movimento ocorra, não pode ter havido variação de espaço e velocidade. O desenvolvimento da capacidade de explanar e dominar em profundidade estes conceitos, preconizada nas DCN apresentadas anteriormente, requer uma compreensão para além do emprego mecânico de fórmulas e cálculos matemáticos.

A construção de uma base sólida de domínio destes conhecimentos se mostra um desafio, sobretudo concebendo-se uma abordagem curricular contextualizada com enfoque interdisciplinar em problemas do mundo real, voltada para o desenvolvimento de competências conforme propõe a BNCC. Ficam evidentes, quando analisados os resultados do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) em diferentes anos ao longo desta e da última década, dificuldades relacionadas aos conceitos básicos da Física, suas aplicações a diferentes contextos, e também ao raciocínio matemático (GONÇALVES JÚNIOR; BARROSO, 2014; CARLOS, 2016). É importante ressaltar que as dificuldades com cálculos matemáticos e fórmulas, considerados por muitos estudantes como grandes entraves ao aprendizado dos conteúdos da disciplina, estão na realidade intimamente ligadas a dificuldades de compreensão de conceitos e interpretação de problemas e situações.

Muitas vezes as dificuldades matemáticas surgem no contexto da Física no momento em que os estudantes têm que lidar com o entendimento dos significados das equações matemáticas que surgem a partir da análise e interpretação dos fenômenos físicos estudados (SANTAROSA, 2013, p.227).

Feynman (2008) descreve o método de memorização de fórmulas como pouco efetivo e defende que a melhor estratégia para resolução de problemas é compreender as relações entre as variáveis envolvidas. A falta de clareza acerca de conceitos, fenômenos e padrões, aliada a uma ênfase em cálculos matemáticos desprovida de reflexão, dificulta a aprendizagem de conteúdos da Física. Esta problemática está diretamente relacionada à prática pedagógica no que tange o papel atribuído à matemática nas aulas (ANGELL et al., 2008;

SANTAROSA, 2013), porém reflete uma conjuntura mais complexa discutida há muitos anos, conforme é possível verificar nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) para o Ensino Médio:

O ensino de Física tem-se realizado freqüentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. [...] Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. [...] Esse quadro não decorre unicamente do despreparo dos professores, nem de limitações impostas pelas condições escolares deficientes. Expressa, ao contrário, uma deformação estrutural, que veio sendo gradualmente introjetada pelos participantes do sistema escolar e que passou a ser tomada como coisa natural (BRASIL, 1998, p. 22).

Deve-se ressaltar que a crítica ao enfoque em cálculos repetitivos desprovidos de um contexto convidativo à reflexão não deve ser compreendida como uma rejeição intransigente aos números e operações matemáticas. Os mesmos parâmetros curriculares que trazem esta visão crítica também colocam categoricamente a importância do estudante secundarista saber "Utilizar e compreender tabelas, gráficos e relações matemáticas gráficas para a expressão do saber físico. Ser capaz de discriminar e traduzir as linguagens matemática e discursiva entre si" (p. 29). Décadas mais tarde, a BNCC reforça este entendimento ao citar a elaboração de cálculos como uma importante habilidade a ser desenvolvida pelos estudantes tanto na área da matemática quanto das ciências da natureza.

Assim, mesmo que a Física não se restrinja aos cálculos e seus problemas não tenham a matemática como componente obrigatório, é crucial reconhecer o seu papel, inclusive na perspectiva do raciocínio lógico para além das operações numéricas. Karam e Pietrocola (2009) assinalam a distinção entre problemas quantitativos e qualitativos, chamando atenção para a importância dos quantitativos, considerando a linguagem matemática como fundamental à estruturação do pensamento Físico e do próprio pensamento científico. Peduzzi e Peduzzi (2006) destacam a relevância da resolução literal de problemas matemáticos, como alternativa à estritamente numérica, na instrumentalização para uma resolução significativa de problemas. Assim, a

questão que se coloca não diz respeito a em que medida privilegiar discussões contextualizadas e questões interdisciplinares em detrimento dos problemas matemáticos, e sim como otimizar as práticas de ensino e estudo de modo a assegurar todos os aspectos fundamentais ao aprendizado da Física.

Cabe pontuar que há também obstáculos à aprendizagem da Física que não decorrem unicamente de limitações do sistema – estrutura das escolas, formação docente e delineamento curricular, entre outros – frente às peculiaridades dos conteúdos e demandas de mediação pedagógica adequada ao perfil discente. É o caso da ansiedade matemática, que consiste em graus de aversão a situações envolvendo o emprego da matemática, incluindo reações fisiológicas ou atribuição de sentimentos negativos à disciplina ou a si. É documentada na Educação Básica tanto no Ensino Fundamental (FEIO; BORGES; SILVA, 2018) quanto entre estudantes secundaristas (FERREIRA, 2018). Embora pouco estudado no Brasil, é possível identificar na literatura uma dimensão cultural do problema, assim como uma maior propensão no gênero feminino, consistente com a menor adesão, em comparação ao masculino, a cursos e carreiras nas ciências exatas (CARMO; FERRAZ, 2012). Assim, os entraves à aprendizagem a serem atacados por uma solução tecnológica podem decorrer de fatores estruturais, pedagógicos, psicossociais ou mesmo culturais.

4.6 A proposta da solução tecnológica

Os dados e reflexões trazidos nas subseções anteriores permitiram a incorporação de um viés pedagógico à definição das premissas básicas da solução tecnológica cujo processo de design será objeto de análise neste estudo, respeitando as especificidades dos artefatos educacionais discutidas no capítulo anterior. A importância substancialmente demonstrada da Cinemática dentre os conteúdos do Ensino Médio reforça a pertinência de sua abordagem pelo artefato. O enfoque nos Movimentos Retilíneo Uniforme (MRU) e Uniformemente Variado (MRUV), tratados no início do estudo da cinemática, é estrategicamente apropriado porque as análises e reflexões aplicadas a eles subsidiam a compreensão do restante do conteúdo, conforme previamente pontuado. Possibilita também um cronograma mais amplo e

conveniente de uso e avaliação do artefato desenvolvido, visto que sua implantação não poderia ocorrer antes do conteúdo-alvo ser trabalhado nas aulas.

Mostrou-se conveniente também contemplar os cálculos matemáticos necessários à aplicação das fórmulas utilizadas, em sua relação direta com a compreensão dos conceitos abordados nos problemas. É possível ainda associar esta deliberação, de forma indireta, à demanda por uma prática pedagógica caracterizada por projetos, discussões interdisciplinares e um olhar contextualizado sobre questões da sociedade: uma ferramenta que otimiza a resolução de exercícios contribui para minimizar o tempo e os esforços devotados aos cálculos repetitivos na prática pedagógica. Cabe destacar neste sentido a convergência entre esta proposta que contempla a resolução de problemas e a potencialidade dos artefatos educacionais tratada no capítulo anterior com base em Castillo *et al.* (2019).

A implantação de um artefato que demanda formação, engajamento e reformulação de práticas docentes é significativamente complexa (HORA; HOLDEN, 2013), estando sujeita a variáveis de difícil controle. Também exige um maior envolvimento dos professores, como potenciais impactados, no processo de design. Assim, além de inadequada operacionalmente, esta direção também seria inviável no contexto de um enfoque nos discentes enquanto participantes do processo de design de uma ferramenta educacional. Assim, mostrou-se mais apropriada a concepção de uma aplicação essencialmente voltada para o uso autônomo pelo estudante sem a presunção de incorporação a aulas e atividades específicas de aprendizagem, ou de qualquer acompanhamento docente.

A indisponibilidade dos terminais no laboratório de informática, tratada anteriormente, e o receio de eventual instabilidade na conexão de banda larga prejudicar as atividades da pesquisa, determinaram a opção por uma aplicação para dispositivos móveis passível de uso *offline*. Esta decisão limitou o escopo de possíveis contratempos à capacidade de processamento dos *smartphones* dos estudantes, passível de ser contornada através do uso compartilhado dos dispositivos, conforme descrito anteriormente por Silva & Pereira (2015).

A partir destas ponderações adotou-se para o artefato desenvolvido o propósito, norteador dos processos de design investigados nesta pesquisa, de

auxiliar o usuário na resolução de problemas da cinemática: concebe-se desta forma uma proposta de aplicativo móvel cujos recursos e funcionalidades contribuam para que um estudante do Ensino Médio, de posse de um problema numérico, desenvolva-o e atinja efetivamente sua solução. Esta diretriz pode ser compreendida como a função total da aplicação, conforme discutido no capítulo anterior com base em Rozenfeld *et al.*, (2006): neste sentido, cabe ao design a proposição das funcionalidades específicas que viabilizarão este objetivo geral. O contexto de uso projetado foi a realização de tarefas e exercícios definidos pelo professor ou por estudo autodirecionado; em aulas regulares ou revisões para provas; na escola, em casa ou quaisquer outros locais e circunstâncias: o estudante poderá ativar o aplicativo em seu telefone celular para que este auxilie na resolução. O Quadro 1 sintetiza as premissas básicas, apresentadas nesta subseção, que guiaram o desenvolvimento da aplicação.

Quadro 1 – Proposições básicas para design do artefato

Propósito	auxiliar o usuário na resolução de problemas da cinemática.
Delineamento de conteúdo	Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) e Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV) nos termos do desenho curricular do Ensino Médio.
Dimensão de abordagem	conceitos; fórmulas; cálculos matemáticos necessários à aplicação das fórmulas, em sua relação direta com a compreensão dos conceitos abordados nos problemas.
Contexto de uso	aplicação voltada para o uso autônomo pelo estudante, em quaisquer locais ou circunstâncias, sem a presunção de supervisão docente.
Especificações técnicas	sistema para dispositivos móveis; passível de uso <i>offline</i> .

Fonte: elaboração do autor

Este capítulo buscou abranger uma compreensão do contexto – englobando locais, práticas e sujeitos envolvidos – de deliberação a respeito da aplicação das abordagens de obtenção de dados acerca de usuários e também da identificação dos impactos de uso dos artefatos resultantes. Neste sentido, o movimento que sucedeu o mapeamento de conjuntura e a definição das premissas básicas do artefato foi a determinação dos procedimentos para execução do experimento proposto, da concepção de um modelo metodológico de consulta aos usuários à sistemática de avaliação do produto final, apresentados e minuciosamente discutidos no próximo capítulo.

5 O PLANO DE AÇÃO

As descrições e procedimentos elencados neste capítulo buscaram essencialmente obter e viabilizar uma leitura de dados que permitisse chegar a conclusões acerca da adoção de duas perspectivas distintas em processos de design de aplicações educacionais no que diz respeito à definição de requisitos funcionais. Entretanto, um entendimento adequado de um conjunto de ações de natureza metodológica requer um exame dos objetivos a partir dos quais estas foram definidas. Neste sentido, faz-se pertinente retomar separadamente, no Quadro 2, os objetivos da presente pesquisa previamente apresentados no capítulo introdutório. Cabe destaque ao segundo e terceiro e objetivos específicos, cuja consecução é o propósito das decisões procedimentais apresentadas nas próximas subseções.

Quadro 2 – Síntese de objetivos

Objetivo geral: ANALISAR o emprego de perspectivas epistemologicamente distintas de obtenção de dados de usuários enquanto subsídios para o design e avaliação de funcionalidades de um artefato digital educacional.

Objetivos específicos: DISCUTIR princípios subjacentes à adoção de técnicas de pesquisa de sujeitos e obtenção de requisitos funcionais aplicáveis ao desenvolvimento de artefatos educacionais.

APLICAR abordagens de viés objetivista e subjetivista de obtenção de dados de usuários à definição de requisitos funcionais de um processo de design de artefato educacional.

IDENTIFICAR impactos de uso das funcionalidades da aplicação propostas a partir do emprego de cada abordagem.

Fonte: elaboração do autor

Depreende-se destes objetivos um propósito investigativo circunscrito à dimensão funcional de um artefato em processo de design, tendo as funcionalidades como expressões das informações obtidas acerca dos usuários. Desta forma, as técnicas de pesquisa de sujeitos, e seus produtos no contexto de processos de design emergem como o objeto de interesse deste estudo. Tais técnicas correspondem a manifestações tangíveis da aplicação de procedimentos e critérios analíticos amplamente documentados na literatura que trata da produção de conhecimento acerca de seres de fenômenos sociais no escopo de diferentes orientações epistemológicas.

Conforme tratado no Capítulo 2, embora procedimentos metodológicos sejam invariavelmente originários de premissas de natureza epistemológica,

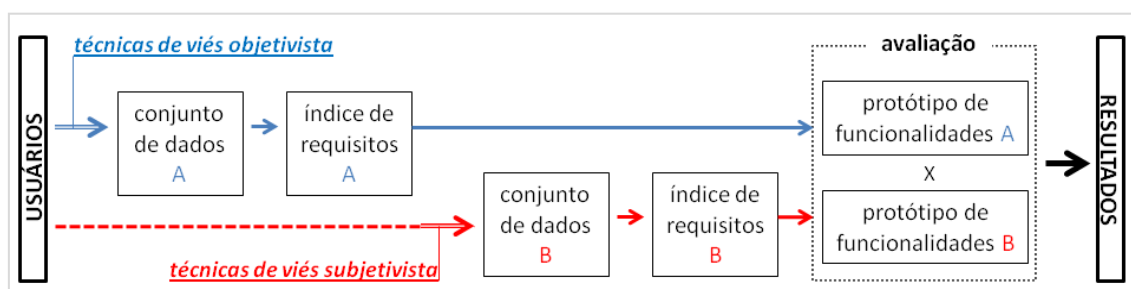
sua aplicação não demanda adesão a concepções de mundo. Assim, as ações descritas nas subseções a seguir partem da premissa de que a validação de uma abordagem multimétodo não se dá pela pretensão de isenção ou equidistância por parte do pesquisador em relação às perspectivas subjacentes à concepção das diferentes técnicas empregadas. O fator de legitimação é a implementação de ações rigorosamente documentadas e fundamentadas na literatura de referência, sujeitas a escrutínio e juízos diversos acerca de sua efetividade.

5.1 Delineamento metodológico

A estratégia metodológica adotada para consecução dos objetivos elencados acima consistiu na aplicação, a um universo de usuários de um artefato educacional a ser desenvolvido, de um repertório de técnicas de pesquisa de viés objetivista e outro de viés subjetivista, gerando dois conjuntos de dados utilizados como subsídios para definição de dois índices distintos de requisitos funcionais. Cada índice resultou na elaboração de um protótipo contendo as funcionalidades concebidas a partir de um dos vieses, e os protótipos foram então submetidos a testes com usuários voltados para avaliação de seu desempenho e de suas percepções.

Este modelo metodológico é sintetizado no Diagrama 1, com a indicação através da letra 'A', com destaque em cor azul, do conjunto de dados, índice de requisitos e protótipo obtidos através do emprego de técnicas de pesquisa de viés objetivista; e através da letra 'B', com destaque em cor vermelha, do que foi proposto através do emprego de técnicas de pesquisa de viés subjetivista.

Diagrama 1 – Modelo metodológico



Fonte: elaboração do autor

É possível compreender, com base na figura, a separação entre as frentes objetivista e subjetivista de obtenção de dados no plano procedimental como um importante aspecto do modelo metodológico proposto, visando uma distinção, para fins de análise, entre os produtos resultantes do emprego de cada repertório de técnicas. Esta concepção de um estratagema visando criar condições de observação adequadas para que se chegue a conclusões consistentes acerca de um fenômeno ou processo investigado remete ao conceito de método experimental:

De orientação marcadamente positivista, o experimento é uma estratégia de pesquisa que busca a construção de conhecimentos através da rigorosa verificação e garantia de resultados cientificamente comprovados – conhecimentos passíveis de apreensão em condições de controle, legitimados pela experimentação e comprovados pelos níveis de significância das mensurações [...] A experimentação é, primeiramente, um processo de observação feita em uma situação planejada de tal forma a atender a finalidade proposta (MARTINS; THEÓPHILO, 2009, p. 56).

A partir de Oliveira (2014), é possível compreender esta ideia em seu rigor metodológico quanto à descrição precisa de procedimentos, variáveis e elementos contextuais. A autora destaca que cada pesquisa é executada por um pesquisador, em um dado momento, com determinados participantes, e sujeita á variações procedimentais: são justamente estes fatores que influenciarão e deverão ser referenciados para compreender e interpretar os resultados obtidos. Tem-se desta forma, acerca das práticas preconizadas pela pesquisa experimental, uma perspectiva pautada não por uma noção de neutralidade visando a reprodutibilidade imparcial de uma investigação, mas pela precisão e transparência de procedimentos buscando clareza quanto aos resultados obtidos.

Um experimento, segundo Sampieri, Collado & Lucio (2006), é caracterizado pela manipulação intencional de uma ou mais variáveis, chamadas de independentes, para verificação de eventuais efeitos a um segundo conjunto de variáveis, denominadas dependentes. Tanto a manipulação quanto os eventuais efeitos obtidos são mensurados, e isto deve ocorrer em um contexto controlado a fim de assegurar validade aos dados. Creswell (2010) destaca também como fator fundamental da experimentação a definição aleatória de sujeitos quando da aplicação de ações para fins de comparação de efeitos entre grupos no universo de participantes. Porém, o

autor ressalta que há graus diferentes de experimentação, visto que pesquisas e pesquisadores podem adotar de acordo com seus princípios e objetivos apenas parte do que caracteriza um estudo como experimental na literatura.

Pensando o modelo proposto no Diagrama 1 a partir destas considerações, tem-se o uso dos protótipos pelos participantes na fase de avaliação como variáveis independentes, e o desempenho e percepções dos usuários como variáveis dependentes sujeitas a eventuais efeitos. A aleatoriedade na definição de participantes para cada teste com cada protótipo, assim como a mensuração cuidadosa para assegurar resultados válidos, também estão relacionadas a esta fase, que será discutida detalhadamente ainda neste capítulo. Esta reflexão sobre os cuidados adotados na implantação dos protótipos para assegurar dados consistentes requer clareza acerca da natureza destes artefatos – o que demanda um olhar cauteloso sobre os processos de design no que tange a obtenção de dados dos usuários.

5.2 Abordagens de obtenção de dados dos usuários

A ideia de aplicar a um universo de sujeitos técnicas de obtenção de dados em duas frentes distintas é inteligível no plano macro de um delineamento metodológico. Entretanto, a operacionalização do emprego de cada técnica de pesquisa requer reflexão acerca das práticas e procedimentos preconizados na literatura no que diz respeito à obtenção, análise e interpretação dos dados. É imprescindível também que sejam consideradas compatibilidade e interoperabilidade, nos planos metodológico e epistemológico, das técnicas componentes de cada frente, de modo a viabilizar duas abordagens robustas, distintas entre si, porém caracterizadas por consistência e coerência interna.

5.2.1 Marco zero procedimental

Na perspectiva dos estudantes envolvidos, esta pesquisa teve início a partir da apresentação de sua proposta e convite para que eles participassem voluntariamente. Porém, as ações de investigação tiveram início imediatamente após autorização da gestão e coordenação pedagógica da instituição para

realização do trabalho no local, com o levantamento de informações sobre o loco, os sujeitos e o contexto pedagógico, conforme exposto no capítulo anterior.

Este levantamento sobre o contexto informou o início das atividades de cada frente de ação de obtenção de dados, que serão descritas nos próximos subitens. Trata-se assim do ponto de partida comum das duas abordagens destacadas no Diagrama 1. É possível constatar, na mesma figura, que o processo de obtenção de dados teve início com a abordagem objetivista, e as duas frentes de ação não foram executadas simultaneamente. Esta decisão foi tomada visando a simplificação operacional, a fim de evitar a gestão concorrente de técnicas e procedimentos das duas abordagens.

Quanto à possibilidade de influência subjetiva da vivência das ações de uma das frentes em decisões tomadas no âmbito da outra, trata-se de uma inevitabilidade filosófica circunscrita a discussões de natureza ontológica. Dado o interesse manifesto da pesquisa no plano das práticas, o uso ao qual o modelo metodológico se propõe é a viabilização da aplicação precisa de ações e informações no âmbito de conjuntos de procedimentos fundamentados, conforme pontuado no início deste capítulo. Com base neste entendimento, adotou-se como critério de validação do modelo metodológico a explicitação dos dados que informaram a definição e execução de cada procedimento, assim como dos princípios e práticas que informaram o processamento e a leitura de cada dado.

5.2.2 Implementação de frente objetivista

Em síntese, a abordagem objetivista partiu da aplicação a todos os participantes de um teste de desempenho abordando o conteúdo curricular apresentado no Capítulo 4. Os escores foram utilizados na definição de uma amostra de participantes, estatisticamente representativa do universo, junto aos quais foram conduzidas entrevistas semiestruturadas. As transcrições destas entrevistas foram analisadas computacionalmente e os dados obtidos utilizados na confecção de um questionário aplicado a toda a população. As dimensões identificadas através da análise multivariada destes dados foram expressas como possíveis funcionalidades de um aplicativo móvel, compondo assim o

primeiro índice de requisitos funcionais pretendido. Uma representação destes procedimentos pode ser observada na porção esquerdo do Diagrama 2.

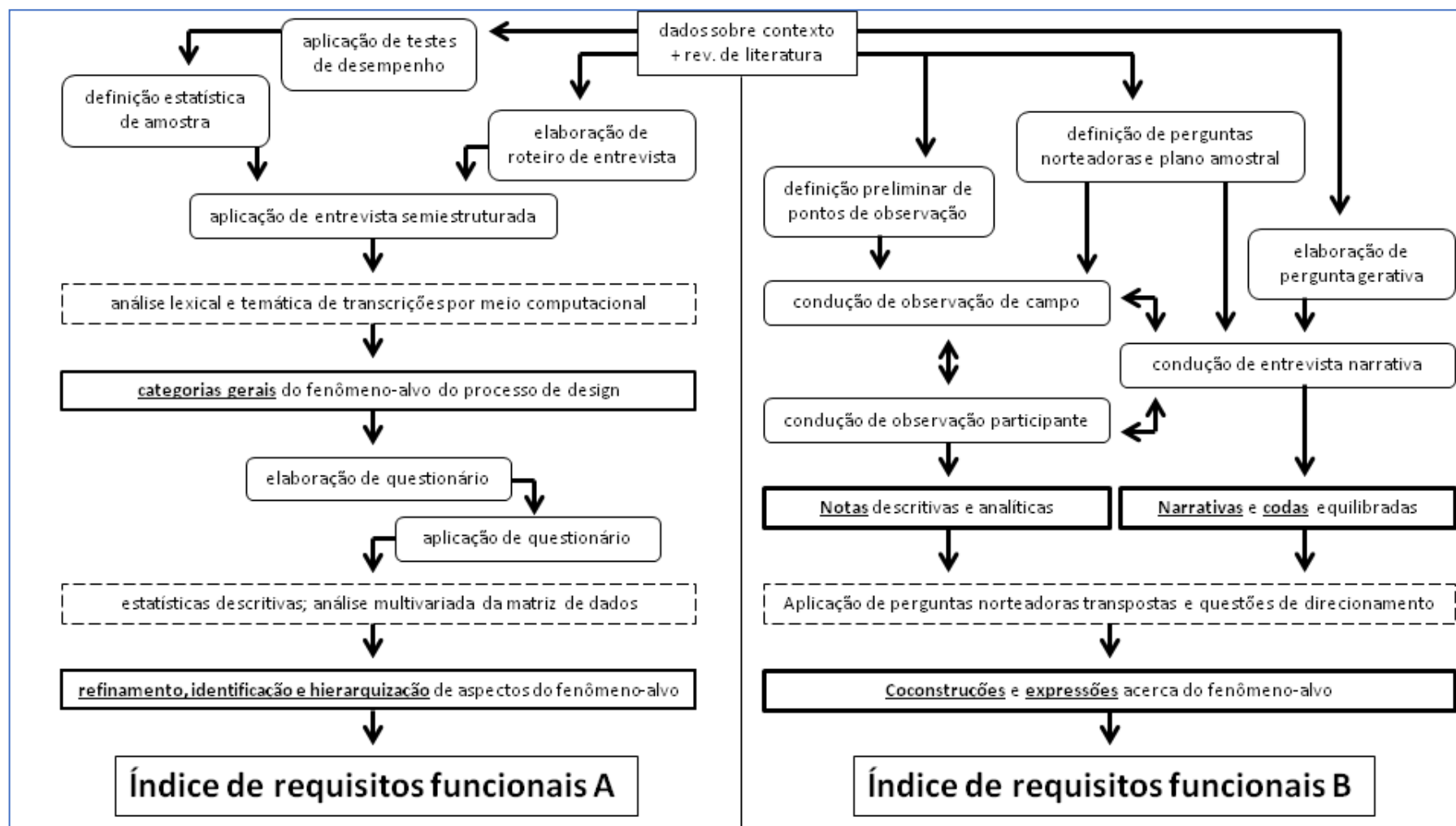
5.2.2.1 Aplicação de testes diagnósticos de desempenho

A aplicação do teste de desempenho a todos os estudantes teve como propósito a obtenção de dados desta população que viabilizassem a definição estatística de pequenas amostras representativas especificamente no que tange à problemática pedagógica de interesse. Este teste foi composto por três questões elaboradas em torno de um problema [a] abordando o conteúdo-alvo apresentado no capítulo anterior; [b] demandando a explicitação do conhecimento dos conceitos básicos da cinemática necessários à resolução, e [c] passível de solução através da aplicação direta de fórmulas e cálculos matemáticos de baixa complexidade.

A primeira questão teve como objetivo avaliar a compreensão do problema, e consistiu na identificação de três proposições contendo interpretações acerca do enunciado como verdadeiras ou falsas. A segunda questão teve como foco a compreensão das fórmulas como desdobramentos dos conceitos trabalhados e sua aplicação à resolução do problema: demandava a identificação de duas entre uma lista de cinco expressões que poderiam efetivamente levar à solução do exercício. Os estudantes deveriam então efetuar os cálculos e indicar a resposta. A terceira questão solicitava a explicitação do raciocínio empregado para a obtenção da resposta.

A aplicação do teste se deu nas três turmas, pelo pesquisador, em horários de aulas-estudo, que consistem em horários, no âmbito de uma grade integral, reservados a realização de projetos, elaboração de trabalhos, revisão para provas ou ainda ocorrência de palestras e oficinas, sob supervisão de um docente da instituição. Os valores numéricos envolvidos nas questões foram modificados para a aplicação em cada turma, mantendo-se a estrutura algorítmica de resolução, assim como a quantidade e complexidade de operações matemáticas demandadas (APÊNDICE A). Foi considerada também na decisão de aplicação deste teste a possibilidade de comparação dos resultados com o desempenho dos estudantes posteriormente ao utilizar os artefatos desenvolvidos na pesquisa.

Diagrama 2 – Procedimentos de frentes de ação



Fonte: elaboração do autor

A primeira questão teve como objetivo avaliar a compreensão do problema, e consistiu na identificação de três proposições contendo interpretações acerca do enunciado como verdadeiras ou falsas. A segunda questão teve como foco a compreensão das fórmulas como desdobramentos dos conceitos trabalhados e sua aplicação à resolução do problema: demandava a identificação de duas entre uma lista de cinco expressões que poderiam efetivamente levar à solução do exercício. Os estudantes deveriam então efetuar os cálculos e indicar a resposta. A terceira questão solicitava a explicitação do raciocínio empregado para a obtenção da resposta.

A aplicação do teste se deu nas três turmas, pelo pesquisador, em horários de aulas-estudo, que consistem em horários, no âmbito de uma grade integral, reservados a realização de projetos, elaboração de trabalhos, revisão para provas ou ainda ocorrência de palestras e oficinas, sob supervisão de um docente da instituição. Os valores numéricos envolvidos nas questões foram modificados para a aplicação em cada turma, mantendo-se a estrutura algorítmica de resolução, assim como a quantidade e complexidade de operações matemáticas demandadas (APÊNDICE A). Foi considerada também na decisão de aplicação deste teste a possibilidade de comparação dos resultados com o desempenho dos estudantes posteriormente ao utilizar os artefatos desenvolvidos na pesquisa.

Após a correção dos testes e obtenção dos escores, as pontuações foram inseridas na matriz de dados quantitativos da pesquisa. A esta, foram designados: um campo para uma variável numérica de identificação do estudante; variáveis categóricas para identificação da turma e gênero, e uma variável sequencial especificando sua idade; e campos para variáveis discretas relativas às pontuações nas questões do pré-teste, conforme sua descrição anterior. Nas próximas subseções, ao longo da discussão dos procedimentos, as demais variáveis incorporadas a esta matriz serão indicadas, e por fim, a mesma será apresentada como um todo. Especificamente para os escores do pré-testes, foi utilizado o procedimento de amostragem aleatória simples buscando a definição de tamanho de amostra de uma população finita, dada pela fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{d^2(N - 1) + Z^2 * \sigma^2}$$

Onde “Z = abscissa normal padrão [...]; σ = desvio-padrão da população [...]; N = tamanho da população; d = erro amostral; n = tamanho da amostra aleatória simples a ser selecionada da população” (MARTINS, THEÓPHILO, 2009, p. 97). Foram adotados como parâmetros de cálculo o intervalo de confiança de 95%, com Z = 1,96, e a margem de erro de 1,5 pontos, com base nas práticas consolidadas no campo da estatística aplicada à pesquisa social.

a distribuição, no universo, de qualquer informação coletada por amostra, ajusta-se, geralmente, à lei normal da probabilidade, com valores centrais elevados (repetem-se frequentemente) e valores extremos reduzidos (não se repetem frequentemente). A distribuição apresenta, portanto, a forma de uma curva [...] Normalmente, nas pesquisas sociais, trabalha-se com o nível de confiança equivalente a 95%. Isso significa que existe uma probabilidade de 95%, em 100%, de que qualquer resultado obtido na amostra seja válido para o universo [...]. Os resultados da amostra não podem ser rigorosamente exatos em relação ao universo que pretendem representar; supõe erros de medição [...]. Quanto maior a exatidão desejada, menor o erro e maior o tamanho de tal amostra (RICHARDSON et al., 2015, p. 168).

O nível global do teste aplicado ao grupo emerge como um problemática relevante em contextos de delineamento experimental: problemas excessivamente fáceis ou difíceis resultariam respectivamente em pontuações elevadas ou baixas por parte da grande maioria dos estudantes, impossibilitando a identificação das diferenças de conhecimento e desempenho por parte dos mesmos. A estratégia de elaboração para evitar este problema foi a submissão das questões ao professor dos estudantes para que verificasse sua adequação. A validação se deu pela adoção da curva normal como critério de análise da distribuição dos dados obtidos através de histogramas:

um gráfico com os valores observados no eixo horizontal, com barras mostrando quantas vezes cada valor ocorreu no conjunto de dados [...]. Em um mundo ideal, nossos dados estariam distribuídos simetricamente em volta do centro de todos os escores [...]. Isso é conhecido como distribuição normal (FIELD, 2009, p. 279).

Complementarmente, foi utilizado também o teste de Shapiro-Wilk, que atesta através de seu coeficiente a normalidade da amostra em associação ao gráfico QQ de probabilidade:

El gráfico probabilístico normal nos permite comparar la distribución empírica de un conjunto de datos con la distribución Normal. Por tanto, dicho gráfico se puede considerar como una técnica gráfica para la prueba de normalidad de un conjunto de datos. La construcción del gráfico de probabilidad normal se realizará a través de los cuantiles de la normal estándar, de forma que aceptaremos la hipótesis de normalidad de los datos, siempre que los puntos en el gráfico tengan un comportamiento 'suficientemente rectilíneo' (GUTIÉRREZ, S. C.; AGUILERA, 2007, p. 1).

5.2.2.2 Aplicação de entrevistas semiestruturadas

O roteiro de entrevista (APÊNDICE B) foi tematicamente concebido a partir de dados, e reflexões embasadas na literatura, trazidos acerca do contexto no capítulo anterior. A formulação das perguntas pautou-se pelo propósito discursivo de gerar transcrições computacionalmente analisáveis de modo a prover dados para elaboração de um questionário. As entrevistas foram realizadas com os estudantes individualmente em horários de intervalo ou de aulas-estudo, e registradas em arquivos digitais de áudio para posterior transcrição. Foi utilizada uma aplicação computacional para análise qualitativa de *corpus* de natureza gráfica e textual, com recurso à análise lexical e temática baseada no arcabouço teórico-metodológico da Análise de Conteúdo (BARDIN, 2011).

O tratamento reservado aos dados neste sentido consistiu no processamento das palavras de conteúdo, referentes "àquilo que denominamos tecnicamente 'significado lexical'. Os nomes, os adjetivos, os verbos e os advérbios" (ROSA, 2003, p. 100). Assim, artigos, preposições, verbos auxiliares e demais itens de significado estritamente gramatical – as chamadas 'palavras funcionais' – foram retiradas da análise. Este procedimento buscou identificar objetivamente vivências, posicionamentos e anseios, dentre outras expressões presentes na fala dos estudantes, com interesse qualitativo e restrito à existência destes elementos, sem quaisquer compromissos com significância, preponderância ou relevância hierárquica matematicamente verificável em relação aos outros elementos identificados na amostra.

É possível afirmar que tanto o recurso à entrevista como forma de produzir *input* para confecção de itens de questionários, quanto os procedimentos analíticos descritos nesta subseção, são consistentes com as práticas preconizadas na literatura para construção destes instrumentos:

[...] organize questões abertas para um pré-questionário. 3. Submeta esse pré-questionário a um grupo de respondentes, para um teste. 4. Faça uma análise do conteúdo das respostas. Resuma e reorganize as respostas iguais em uma só frase. Depois, construa uma lista de frases afirmativas. 5. Agrupe as frases por assunto [...]. 7. Escolha as melhores frases e reescreva como perguntas. (VIEIRA, 2009, p. 114).

5.2.2.3 Aplicação de questionário

Os dados obtidos através das entrevistas, assim como os itens do questionário escritos a partir destes, serão apresentados no próximo capítulo. Cabe a esta subseção, entretanto, a descrição da elaboração e aplicação deste instrumento na perspectiva do planejamento metodológico executado. Os aspectos identificados através da análise lexical das transcrições das entrevistas foram expressos como asserções relacionadas à problemática pedagógica investigada, para que os respondentes expressassem seus posicionamentos de concordância ou discordância. Cada frase foi estruturada como um item de likert, sendo adotada a escala de cinco pontos devido à possibilidade de uma resposta neutra: dado o componente qualitativo do processo de desenvolvimento dos itens sem enfoque na significância, é pertinente facultar ao respondente declarar-se 'indiferente' às asserções.

Comumente, quando a afirmação é positiva (favorável), utilizam-se os seguintes valores (pesos): 5 para a alternativa 'concordo totalmente'; 4 para a alternativa 'concordo'; 3 para a alternativa 'não concordo, nem discordo'; 2 para a alternativa 'discordo' e 1 para a alternativa 'discordo totalmente' [...]. Há casos em que pesquisadores utilizam valores de 0 a 4 [...] de -2 a 2 [...], observando, é claro, o sentido das afirmações (MARTINS, THEÓPHILO, 2009, p. 97)

A ordem de apresentação dos itens foi randomizada e o instrumento foi previamente submetido a um exame pelo docente da disciplina e pela professora de Língua Portuguesa, no que tange a acessibilidade comunicacional da linguagem utilizada nos itens para os estudantes. A aplicação se deu em cada turma durante aulas de Física, sempre utilizando os minutos iniciais. As instruções foram apresentadas através da leitura do enunciado visando a padronização procedimental. Porém, foi facultada aos estudantes a possibilidade de solicitação de esclarecimentos ao pesquisador em caso de dúvida acerca de termos ou frases contidas no texto.

As pontuações atribuídas ao questionário foram inseridas na matriz de dados quantitativos da pesquisa, em campos correspondentes às variáveis associadas a cada item. O tratamento dos dados se deu através de métodos da estatística multivariada no escopo do arcabouço da análise fatorial. Definiu-se neste sentido a aplicação padrão dos testes KMO e de esfericidade de Bartlett. O primeiro avalia a adequação da amostra à investigação fatorial dos dados, levando em consideração o tamanho da amostra e os dados propriamente ditos: são recomendados “valores maiores do que 0,5 como sendo apenas aceitáveis [valores abaixo disso deveriam levar você a coletar mais dados ou repensar quais variáveis incluir]” (FIELD, 2009, p. 571). Já em relação ao teste de Bartlett, um valor “significativo nos informa que [...] existem relacionamentos entre variáveis” (p. 581), apontando para a existência de agrupamentos das mesmas em fatores.

Para facilitar a extração destes fatores, faz-se necessária a escolha de um método de rotação dos valores numéricos da matriz de dados, a fim de identificar com maior precisão “em que grau as variáveis se adaptam a estes fatores” (p. 166). As rotações podem ser ortogonais ou oblíquas, sendo este segundo tipo recomendado quando há na literatura indícios de que os fatores pesquisados se correlacionam. Porém, “Em geral, as duas formas de rotação produzem resultados bastante semelhantes” (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2010, p. 169). Foi adotada neste sentido a rotação *varimax*, de natureza ortogonal, que segundo os autores referenciados nesta subseção destaca-se também por facilitar a identificação e interpretação dos fatores.

Definida a rotação a ser empregada, resta a especificação da técnica de extração utilizada na matriz de dados. Tabachnick e Fidell (2007) destacam a análise de componentes principais – *PCA: Principal Components Analysis* – e a análise de fatores propriamente ditos como as principais técnicas de extração usadas em análise fatorial. Segundo estas autoras, para a proposição de teorias sem contaminação por variabilidade de erro e atreladas a expectativas acerca de construtos subjacentes e os escores que deverão produzir, a análise dos fatores é mais indicada: “If, on the other hand, you simply want an empirical summary of the data set, PCA is the better choice” (p. 635). Fica demonstrada assim, a adequação da técnica de análise de componentes.

Field (2009) afirma que estatísticos puristas costumam reforçar no arcabouço da análise fatorial a distinção entre a análise de fatores principais e a análise de componentes principais, considerando esta matematicamente menos robusta. O autor pontua, entretanto, que “os dois procedimentos, geralmente, conduzem a resultados semelhantes” (p. 574) e que a natureza conceitual da análise de componentes é consistente com a proposta investigativa de áreas voltadas para fenômenos humanos, como a Psicometria. Nestes termos, a análise multivariada dos dados buscou o delineamento estatístico dos fatores – ou componentes – enquanto dimensões de vivências, valores e anseios, dentre outras expressões do usuário, acerca da problemática pedagógica investigada. Estas dimensões foram expressas em termos de possíveis funcionalidades de um aplicativo móvel, compondo assim o índice de requisitos funcionais pretendido.

É pertinente ressaltar o amplo reconhecimento, presente na literatura de referência (BARBOSA; SILVA, 2010; BENYON, 2011; ROGERS; SHARP; PREECE, 2013), da adequação e efetividade das técnicas trazidas nesta e nas subseções anteriores para a obtenção de dados de sujeitos com intuito de gerar requisitos de usuários em processos de design de artefatos digitais. Fica patente também a filiação do arranjo procedimental componente desta primeira frente de ações à tradição epistemológica objetivista discutida no Capítulo 2. A concepção de Dresch, Lacerda & Antunes Júnior (2015) de pesquisa científica realizada no campo do Design posiciona estas técnicas no polo epistemológico nomotético, cuja relação com objetivismo foi também abordada no segundo capítulo desta pesquisa.

Outra ponderação trazida no referencial teórico que se materializa nos procedimentos apresentados é a demarcação dos polos da objetivação e quantificação enquanto domínios distintos, embora notadamente interseccionais. O recurso às entrevistas semiestruturadas envolve dados não numéricos e tende a abranger porções reduzidas da população. Pode-se argumentar neste sentido que objetivismo inerente à proposição desta técnica está na definição estatística da amostra e no tratamento reservado aos dados, e não na busca por contingentes elevados de entrevistados e dados estritamente numéricos. Feitas estas considerações acerca da consistência

epistêmica da primeira frente de ações executada, é possível proceder ao delineamento de uma compreensão do segundo arranjo procedimental.

5.2.3 Implementação de frente subjetivista

Em síntese, a abordagem subjetivista consistiu na condução de observações de campo e observações de natureza participante, aliadas à condução de entrevistas narrativas executadas a partir de um plano de amostragem teórico. As narrativas, coconstruções e expressões dos sujeitos acerca da problemática pedagógica investigada foram expressas em termos de possíveis funcionalidades de um aplicativo móvel, compondo assim o índice de requisitos funcionais pretendido. Diferente do que se deu na outra frente de ações, estes procedimentos não ocorreram de forma linear, com cada ação caracterizada como *input* da seguinte. Na porção direita do Diagrama 2 apresentado anteriormente, consta uma representação esquemática desta abordagem para obtenção de dados.

Partindo da perspectiva subjetivista delineada no Capítulo 2, esta frente de investigação foi pensada visando a “descrição de um sistema de significados culturais [...] do grupo investigado” (MARTINS; THEÓPHILO, 2009, p. 75), o que corresponde à proposta das pesquisas de natureza etnográfica. Neste sentido, e considerando o interesse restrito às vivências educacionais dos sujeitos no que tange um campo específico do conhecimento, as ações propostas foram concebidas à luz dos chamados desenhos microetnográficos: “eles se centram em um aspecto da cultura” (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006, p. 508). Assim, definiu-se como procedimento a pesquisa de campo com adoção de suas duas ferramentas preponderantes no contexto etnográfico: “já dentro de ‘campo’, há dois instrumentos de coleta de dados. São eles as entrevistas abertas e em profundidade e a ‘observação participante” (TRAVANCAS, 2015, p. 102).

Acerca da aplicação destes instrumentos ao grupo de estudantes, é importante destacar que a natureza desta frente de ações não visa a obtenção de dados de cada sujeito individualmente como ocorreu na aplicação do questionário. Considerando que a riqueza dos dados varia a cada observação ou entrevista e a quantidade não é proporcional à qualidade do material, Beaud

e Weber (2014) descrevem a problemática do tamanho das amostras nas pesquisas de orientação etnográfica como uma 'falsa questão': "coloca num mesmo nível entrevistas que tem status bem diferentes [...]. As entrevistas aprofundadas não visam produzir dados quantificados e, portanto, não precisam ser numerosas" (BEAUD; WEBER, 2014, p. 119). Nesta perspectiva foram adotadas estratégias de amostragem apropriadas para desenhos qualitativos, sem uma definição prévia de quantos sujeitos ou pequenos grupos seriam observados e entrevistados:

o tamanho da amostra não é fixado a priori (antes da coleta dos dados), mas estabelecemos um tipo de unidade de análise e às vezes esboçamos um número relativamente aproximado de casos, porém, a amostra final somente será conhecida quando as unidades que vão sendo adicionadas não nos fornecem informação ou dados novos ('saturação de categorias') (SAMPLIERI; COLLADO; LUCIO, 2006, p. 403-404).

Becker (2007) destaca a impossibilidade filosófica de obter uma amostra ideal que remeta perfeitamente ao todo, na essência do que busca conhecer a pesquisa qualitativa. Assim, o autor destaca a pertinência do foco em dados que correspondam não à totalidade do que existe acerca de um determinado grupo, mas àquilo que está presente no momento da captação. Assim, é ressaltada a importância da composição da amostra no sentido de possibilitar ao pesquisador a obtenção de dados que respondam efetivamente suas perguntas. Com base nesta premissa, foi adotado o critério da amostragem em cadeia, buscando contemplar a variação e a confirmação dos dados obtidos mediante saturação de acordo com algumas propostas de amostragem preconizadas pela literatura:

1. Amostras diversas ou de máxima variação: são utilizadas quando o que queremos é mostrar diferentes perspectivas e representar a complexidade do fenômeno [...] 3. Amostras em cadeia ou por redes ("bola de neve"): os participantes-chave são identificados e adicionados à amostra, perguntamos a eles se conhecem outras pessoas que possam proporcionar dados mais amplos [...] 7. Amostras confirmatórias: a finalidade é adicionar novos casos quando nos já analisados provamos alguma controvérsia ou surge informação que aponta para diferentes direções (SAMPLIERI; COLLADO; LUCIO, 2006, p. 406-409).

Flick (2009) também menciona possíveis estratégias de amostragem. Porém, o autor adota como distinção entre os critérios para inclusão de participantes em pesquisas a definição a priori ou durante o processo de

investigação em campo. Ele utiliza como guarda-chuva o termo amostragem teórica para contextos de pesquisa nos quais "As decisões relativas à seleção e à reunião de material empírico (casos, grupos, instituições) são tomadas no processo de coleta e interpretação de dados" (p. 120).

5.2.3.1 Condução de observações participantes

Em sintonia com as práticas presentes na literatura, conforme pontuam Martins e Theóphilo (2009) e Travancas (2015), o trabalho de observação partiu de um marco teórico, definido a partir da pesquisa bibliográfica e das reflexões trazidas no Capítulo 4. É possível destacar assim, no contexto da presente pesquisa, um interesse inicial por situações de resolução de exercícios; realização de tarefas e trabalhos no laboratório de informática; conversas espontâneas em intervalos sobre provas, entre outras. Sequencialmente, conforme proposto por Flick (2009), o trabalho partiu de observações descritivas buscando um panorama geral do campo. Estas foram seguidas de observações focalizadas e seletivas, com um direcionamento do olhar para os processos identificados como pertinentes à compreensão do fenômeno investigado.

Também com fundamentação nas práticas discutidas na literatura, os registros das observações se deram por dois meios: notas descritivas, consistindo em breves registros durante a ação em campo, acrescidos de relatos mais densos elaborados posteriormente; e notas analíticas, contemplando reflexões de natureza pessoal (LAVILLE; DIONNE, 2007). Na definição inicial dos pontos de observação, foi adotado um espectro abrangente, englobando recreios, intervalos entre aulas e entre turnos, e as aulas de estudo. Os momentos que se revelaram mais propícios e produtivos, assim como os registros destas observações, serão trados no próximo capítulo.

Foi também a partir das observações que se deu a identificação de sujeitos em potencial para a realização das entrevistas. O uso coordenado e integrado das duas técnicas mostrou ser pertinente a concepção de um norte comum para a frente de ações subjetivista, em termos de perguntas concretas a serem respondidas. Esta orientação metodológica, assim como os princípios e critérios adotados para leitura do material obtido visando a obtenção de

requisitos funcionais de uma aplicação educacional, serão abordados nas próximas subseções.

5.2.3.2 Condução de entrevistas narrativas

A abordagem narrativa foi empregada nas entrevistas em profundidade, utilizadas em associação às observações de campo, devido ao seu potencial de revelar aspectos dos sujeitos não alcançados em outros formatos de entrevistas abertas ou semiestruturadas, conforme pontuam Elliott (2005) e Flick (2009). A perspectiva teórica adotada, fundamental nos desenhos narrativos (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006) conforme também colocado anteriormente correspondeu à reflexão bibliográfica trazida no Capítulo 4.

o ponto de partida metodológico para a propagação do uso de narrativas é um ceticismo básico quanto até que ponto possa ser possível a obtenção de experiências subjetivas no esquema de perguntas e respostas das entrevistas tradicionais (FLICK, 2009, p. 165).

O início de cada entrevista, conforme preconizado por Elliott (2005) se deu com uma pergunta gerativa, buscando permitir ao sujeito a construção de uma narrativa: 'como foram as experiências mais antigas, de que você tem lembrança, com o aprendizado de ciências e matemática?'. Este direcionamento visou o relato das vivências, partindo das mais antigas até as mais recentes, contemplando as experiências com a disciplina de Física ao longo do ano em curso, com ênfase especial à resolução de problemas no contexto do processo de aprendizagem. Neste sentido, fica explicitada também a esquematização de percurso episódico para as conversas, cara às abordagens narrativas: "os desenhos narrativos podem se referir a: a) toda a história de vida de um indivíduo ou grupo, b) uma passagem ou época dessa história de vida ou c) um ou vários episódios" (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006, p. 510).

Ainda na perspectiva do marco teórico adotado, os elementos presentes nos relatos obtidos a partir da pergunta gerativa foram desenvolvidos através de novos questionamentos no âmbito de cada entrevista até uma fase de equilíbrio na qual a narrativa foi consolidada com auxílio dos sujeitos. O relato final de cada narrativa final se deu com base no que denomina Elliott (2005)

modelo estrutural e Gee (2001) descreve como macroestrutura, partindo de uma contextualização até a definição de uma coda narrativa.

SETTING, CATALYST, CRISIS, EVALUATION, RESOLUTION, and CODA [...] These larger “body parts” of the story as a whole can be called its “macrostructure,” as opposed to its lines and stanzas which constitute its “microstructure.” (p. 110)

As conversas foram gravadas para facilitar a análise e leitura dos dados. O conteúdo, as durações das conversas e as dinâmicas de interação com os sujeitos que resultaram destes procedimentos são apresentados no próximo capítulo. Os princípios e critérios adotados para leitura do produto final das entrevistas, em associação àquele obtido através das observações, serão abordados na próxima subseção.

5.2.3.3 Leitura da subjetividade na definição de requisitos

A elaboração dos relatos das observações e das narrativas construídas a partir das entrevistas em profundidade foi tratada nos subitens anteriores. Porém, faz-se necessário também um detalhamento acerca da leitura deste material no sentido obter os requisitos funcionais de interesse desta pesquisa. Recorreu-se neste sentido a perguntas norteadoras comumente adotadas em desenhos etnográficos, por este tipo de delineamento contemplar a proposta investigativa da frente subjetista concebida e por acomodar de modo harmônico e consistente experiências narrativas e observações participantes.

Nos desenhos etnográficos, o pesquisador pensa em pontos como os seguintes: O que esse grupo ou essa comunidade tem para que seja diferente de outros(as)? Como é sua estrutura? Quais são as regras que orientam seu funcionamento? Quais crenças compartilham? Quais padrões de conduta demonstram ter? Como as interações acontecem? Quais são suas condições de vida, costumes, mitos e ritos? Quais são os processos fundamentais para o grupo ou a comunidade? Quais seus produtos culturais? Etc. (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006, p. 508).

Estas perguntas foram transpostas para a vivência dos participantes e pensadas em associação a questionamentos voltados para a relação entre o perfil dos indivíduos do grupo, suas necessidades de aprendizagem e eventuais dificuldades vivenciadas por eles no âmbito da problemática

investigada na pesquisa. As perguntas adaptadas e os questionamentos de direcionamento estão indicados no Quadro 3.

Quadro 3 – Critérios de leitura de subjetividades

Perguntas norteadoras transpostas	Questões de direcionamento
O que os estudantes tem de característico em sua relação com os estudos e aprendizagem dos conteúdos de interesse da pesquisa?	Quais são as necessidades de aprendizagem, de um grupo de sujeitos com este perfil, no que diz respeito à resolução de problemas físico-cinemáticos? Que tipos de dificuldades sujeitos com este perfil podem encontrar na resolução de problemas físico-cinemáticos? De que forma(s) uma aplicação educacional voltada para o auxílio na resolução de problemas pode contemplar estas necessidades e se contrapor a estas dificuldades?
Como o grupo se apresenta/declara no que diz respeito aos estudos e aprendizagem dos conteúdos de interesse da pesquisa?	
Que crenças e padrões de conduta demonstram ter em relação aos estudos e aprendizagem dos conteúdos de interesse da pesquisa?	
Como suas condições de vida se relacionam às suas formas de vivenciar os estudos e aprendizagem dos conteúdos de interesse da pesquisa?	
Como interagem entre si em relação aos estudos e aprendizagem dos conteúdos de interesse da pesquisa?	
Quais são os processos fundamentais para os estudantes no que tange aos estudos e aprendizagem dos conteúdos de interesse da pesquisa?	
Há aspectos do grupo relacionados aos estudos e aprendizagem dos conteúdos de interesse da pesquisa que não foram contemplados pelas perguntas? Quais?	

Fonte: elaboração do autor

O conteúdo do quadro reforça a relevância de uma escolha adequada dos locais e momentos de observação para que se obtenham dados pertinentes ao que se deseja investigar, conforme tratado anteriormente. Esta estratégia de leitura das experiências subjetivas dos indivíduos na definição de requisitos está também intimamente relacionada à condução das entrevistas narrativas conforme abordado no subitem anterior: a construção de um fio narrativo que rumo ao presente dos estudantes, suas experiências na disciplina de Física, é fundamental para que as perguntas listadas no quadro sejam efetivamente respondidas. Os dados obtidos, trabalhados a partir destes critérios, assim como os requisitos funcionais resultantes, serão apresentados no próximo capítulo.

Assim como em relação à frente objetivista, é pertinente ressaltar o amplo reconhecimento, presente na literatura de referência (BARBOSA; SILVA, 2010; BENYON, 2011; ROGERS; SHARP; PREECE, 2013), da adequação e efetividade das técnicas incluídas nesta frente de ações para a obtenção de dados de sujeitos com intuito de gerar requisitos de usuários em processos de design de artefatos digitais. Fica patente também a filiação do arranjo

procedimental descrito nesta seção terciária à tradição epistemológica subjetivista discutida no Capítulo 2. É possível destacar neste sentido as influências do construtivismo e interpretativismo, e particularmente do interacionismo simbólico, no arcabouço metodológico da Etnografia, conforme pontuam Rock (2001) e Crotty (2003). A concepção de Dresch, Lacerda & Antunes Júnior (2015) de pesquisa científica realizada no campo do Design posiciona as técnicas apresentadas aqui no polo epistemológico idiográfico, cuja relação com subjetivismo foi também abordada no segundo capítulo deste trabalho.

Cabe destacar por fim a solidez estrutural do plano de execução dos procedimentos propostos no escopo desta frente de ações. A subjetividade se faz presente nas concepções epistemológicas que fundamentam as técnicas adotadas, as interações com os sujeitos e os critérios norteadores da leitura dos dados, conforme exposto nas subseções anteriores e consonantemente à reflexão trazida no Capítulo 2 com base em Flick (2009) e Yin (2015). O conceito de objetivação da subjetividade (LAVILLE & DIONNE, 2007) também discutido no referencial teórico caracteriza, no que concerne esta frente de ações, uma inclinação não ao objetivismo, mas ao rigor metodológico na busca por diligência, transparência, e inteligibilidade: reforça-se assim o argumento então delineado de que a recusa ao objetivismo não deve implicar em recusa à racionalidade.

5.3 Definição dos requisitos funcionais

Os resultados do emprego de técnicas e procedimentos de pesquisa de sujeitos limitam-se aos dados acerca do grupo de indivíduos investigado. Os encaminhamentos projetuais decorrentes do sentido atribuído a estes dados são essencial e inevitavelmente decisões de design, perpassadas por variáveis de natureza eminentemente subjetiva como a criatividade, conforme discutido no Capítulo 3 com base em Benyon (2011). Neste sentido, o delineamento metodológico da proposição das funcionalidades requer em primeiro lugar a compreensão do enfoque sobre objetivação e subjetivação pretendido pela pesquisa: este concerne a esfera da obtenção e análise de dados que subsidiarão as decisões de design, sem pretensão de inquirir a dimensão

discrecional dos encaminhamentos projetuais em suas relações com cada polo epistemológico.

Esclarecida esta questão, é fundamental lembrar, também no escopo da discussão trazida no Capítulo 3, que a subjetividade inerente à tomada de decisão acerca dos dados obtidos não implica em deliberações de natureza aleatória ou desprovidas de clareza e transparência acerca de seus argumentos. Com base nesta premissa, foi adotado como procedimento para proposição de requisitos o emprego da arquitetura de caráter documental e informacional discutida anteriormente com base em Lowdermilk (2013): parte-se de uma síntese objetiva dos dados na perspectiva dos usuários, submetida a ajustes textuais para que adquiram a estrutura discursiva de requisitos funcionais conforme tratado no Capítulo 3 com base em Sommerville (2011).

O eixo central desta estratégia é conceber cada requisito tendo como princípios norteadores a correspondência objetiva às manifestações dos usuários e a transparência quanto ao histórico e evolução da demanda originária que nortearam a proposição (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013; PRESSMAN; MAXIM, 2016). Este instrumental metodológico permite demonstrar a relação entre os dados obtidos e os requisitos funcionais propostos: embora não sejam os únicos concebíveis, enquanto proposições de um designer, podem seguramente ser considerados desdobramentos legítimos das abordagens metodológicas implementadas. Os requisitos definidos, em sua relação explícita com os dados obtidos em cada frente de ação nos termos colocados nesta subseção, serão apresentados no próximo capítulo.

5.4 Desenvolvimento dos protótipos

A decisão de conceber os artefatos desenvolvidos no âmbito deste trabalho como ‘protótipos representando funcionalidades’ decorreu do objeto de interesse da investigação, que corresponde à proposição de requisitos funcionais a partir de diferentes perspectivas epistêmicas. Este objeto reflete um compromisso com a resposta a uma determinada pergunta de pesquisa, e não com o lançamento de um produto. Assim, processualmente, a proposição destes artefatos pauta-se pelo princípio da abstração, preconizado tanto pela Engenharia de Software (PRESSMAN; MAXIM, 2016; SOMMERVILLE, 2011)

quando pelo Design de Interação (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013) e denominações correlatas, com um enfoque estrategicamente direcionado a um aspecto de interesse em detrimento programático e momentâneo dos demais. Adotando esta perspectiva, o desenvolvimento dos artefatos teve como meta viabilizar e apresentar efetivamente funcionalidades a serem avaliadas, restringindo-se a uma versão incompleta, de testes, de um eventual produto final – conforme prática consolidada nas áreas de atuação supracitadas e em sintonia com as diretrizes gerais apresentadas no Capítulo 3.

Computacionalmente, o desenvolvimento dos protótipos se deu com base na linguagem *JavaScript* a partir da biblioteca *Blockly*, cujo editor de código se propõe a facilitar a compreensão do mesmo ao viabilizar sua escrita em blocos. A plataforma adotada para o desenvolvimento nesta perspectiva foi o *App Inventor*. Trata-se de um ambiente de desenvolvimento online que permite a criação de aplicativos para dispositivos móveis, originalmente para sistemas Android e mais recentemente também para iOS, de interface lúdica e intuitiva, acessível inclusive para usuários em idade escolar. Foi disponibilizado em 2010 a partir de uma iniciativa do Google voltada para propagação do ensino de programação e posteriormente transmita aos cuidados do MIT, que lançou o App Inventor 2 em 2013 (MORRIS; UPPAL; WELLS, 2017).

The MIT App Inventor (<http://appinventor.mit.edu/>) interface includes two main screens, a Designer Screen, which is a graphical user interface (GUI) where you can create the look and feel of the app (choosing the components you want the app to include), and the Blocks Editor, where you can add behavior to the app by coding it with colorful blocks. Users build apps by dragging components and blocks from the menu bars onto workspaces (called Viewers) and a connected Android device (or emulator) displays the progress in real time. All the apps are saved on the MIT server; once completed, they can be [...] uploaded to the Google Play Store (KAMRIANI; ROY, 2016, p. 2).

O *App Inventor* é uma aplicação de código aberto, sob a licença *Creative Commons*, atribuição *Compartilhual* (CC BY-SA). A definição desta ferramenta se deu pela mesma reunir a possibilidade de desenvolvimento de aplicações com grau de complexidade elevado e aspecto atrativo, e a facilidade de compreensão do processo de desenvolvimento. Tratando-se de um artefato educacional, um possível encaminhamento futuro para além desta pesquisa seria a possibilidade dos estudantes contribuírem para o aprimoramento das

funcionalidades da aplicação como desenvolvedores, manipulando diretamente o código. Os dois protótipos, desenvolvidos a partir das frentes de ação descritas nas subseções anteriores, são apresentados no próximo capítulo.

5.5 Avaliação das funcionalidades

Tendo os requisitos funcionais, obtidos com o emprego dos procedimentos descritos nos subitens anteriores, resultado efetivamente no desenvolvimento dos protótipos, procedeu-se então à avaliação dos mesmos mediante testes com os estudantes. Esta fase foi caracterizada pela necessidade de um controle estratégico dos procedimentos, conforme pontuado na apresentação do delineamento metodológico na perspectiva da pesquisa experimental, a fim de assegurar validade aos dados obtidos, e consequentemente às conclusões apresentadas.

Martins e Theóphilo (2009) colocam como fundamental numa avaliação na perspectiva experimental a realização de pré e pós-testes, para caracterizar a variável dependente antes e depois da exposição à variável independente, identificando assim eventuais mudanças. Sampieri, Collado & Lucio (2006) destacam também a importância de fazer uso de ao menos [a] um grupo experimental, submetido à ação da variável independente, e [b] um grupo controle que não receberá nenhum tratamento. Caso eventuais mudanças detectadas entre o pré e o pós-teste no grupo experimental tenham ocorrido também no grupo controle, não será possível atribuir estas mudanças à manipulação da variável independente à qual o grupo esteve sujeito.

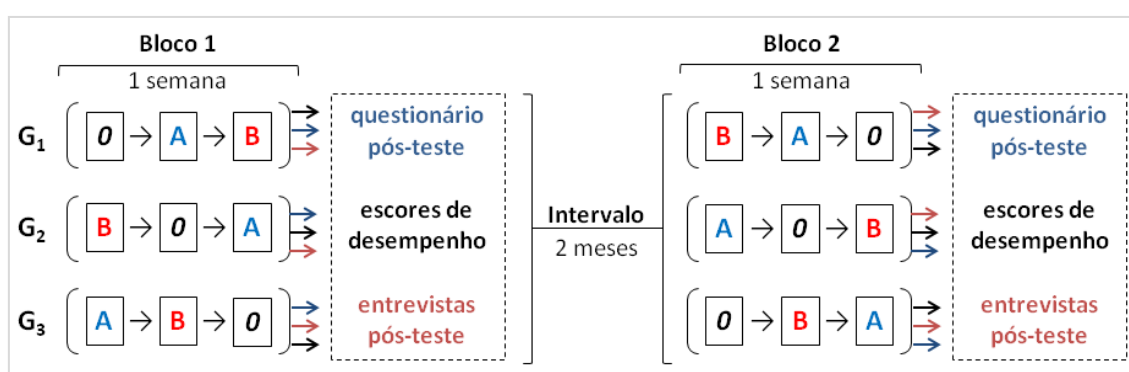
Conforme observado anteriormente em Creswell (2010), a forma de aplicar estes princípios, assim como grau de adesão aos mesmos, tende a variar de acordo com os objetivos e a natureza da investigação. Considerando a proposta da solução tecnológica concebida, de auxílio aos estudantes na resolução de problemas, mostrou-se pertinente utilizar estes mesmos problemas como testes de efetividade e desempenho. Assim, os problemas que compuseram o pré-teste empregado na frente objetivista, apresentados anteriormente, foram adotados como um modelo norteador para os testes de desempenho. A definição exata das tarefas propostas, entretanto, deu-se

apenas a partir da obtenção dos índices que requisitos funcionais, e será especificada no próximo capítulo a partir da declaração das funcionalidades.

Dado o uso de dois protótipos distintos como variáveis de teste independentes, a população foi dividida em três grupos, sendo dois submetidos ao uso de um protótipo e o terceiro grupo convidado a responder os problemas sem auxílio de qualquer artefato, remetendo à ideia de grupo controle. A avaliação dos protótipos se deu em seções de testes conduzidas junto a cada grupo em períodos de uma semana, e os procedimentos foram aplicados novamente após um intervalo de dois meses conforme indicado no Diagrama 3.

Os retestes são um procedimento comum na análise de intervenções de cunho educacional (SPINILLO; LAUTERT, 2008), tendo como objetivo verificar a estabilidade da aprendizagem. Servem também ao propósito de atribuir confiabilidade, mediante confirmação, a resultados de testes de uso dos mais variados produtos no âmbito do Marketing e dos estudos do consumo (BRECHT *et al.*, 2017; ALFNES; RICKERTSEN; SHOGREN, 2018). Quando a ideia é confirmar a capacidade de mensuração de um instrumento, faz-se pertinente um curto intervalo entre teste e reteste, a fim de reduzir a exposição dos sujeitos a quaisquer elementos que influenciem sua segunda performance.

Diagrama 3 – Seções de teste



Fonte: elaboração do autor

Nesta pesquisa, com foco na confirmação dos resultados de desempenho, mostrou-se adequado um intervalo mais longo para evitar o viés do efeito de memória – quando os participantes apresentam um dado desempenho não pela manipulação das variáveis, mas por lembrar da intervenção anterior (ALBERS; BOEVÉ; MEIJER, 2015).

Geralmente, o tempo a transcorrer entre as duas aplicações do instrumento está determinado pela natureza do instrumento [...] os sujeitos podem responder de forma diferente em ambas as ocasiões. Uns escores podem ser mais altos por intervenção da aprendizagem e outros podem ser mais baixos por esquecimento do sujeito (RICHARDSON *et al.*, 2015, p. 177).

Já a alternância de papéis nos grupos, de modo que todos os estudantes vivenciem todas as experiências propostas, busca evitar o que Creswell (2010) chama de rivalidade compensatória, quando os participantes de um grupo se sentem preteridos, recebendo um tratamento inferior, em relação aos do outro grupo. Considerando a randomização como mecanismo para lidar com eventuais diferenças entre grupos que pudessem interferir nos resultados, definiu-se como estratégia o sorteio para composição dos grupos de teste em caso de indicação pelos pré-testes de diferenças significativas entre grupos estabelecidos. As seções de teste ocorreram no laboratório de informática da instituição em horários de aulas de Física cedidos pelo professor e durante aulas-estudo. Tiveram como ponto de partida a apresentação dos protótipos a designação de ao menos dez minutos para que os participantes pudessem explorar e se familiarizar com os mesmos. A padronização cuidadosa das instruções e do local teve como objetivo evitar o que Sampieri, Collado & Lucio (2006) chamam de instabilidade do ambiente, quando as condições do loco de realização do experimento não são as mesmas para todos os participantes.

É possível constatar com base neste relato que a fase de avaliação das funcionalidades almejou essencialmente a verificação de todos cenários envolvendo as possibilidades de uso dos protótipos no apoio à resolução de problemas, com todos os participantes, em diferentes ordens e repetidas vezes. Este delineamento metodológico busca verificar, demonstrar e validar mediante sucessivas constatações, a associação entre determinados comportamentos e a presença ou ausência de uma variável. No âmbito dos modelos de pesquisa experimental, esta ideia é consistente com o delineamento denominado projeto N de 1, sendo a população de estudantes o grupo em questão.

Os tipos disponíveis nos experimentos são projetos pré-experimentais, experimentos reais, quase-experimentos e projetos de indivíduo único [...] Um projeto de indivíduo único ou projeto N de 1 envolve a observação do comportamento de um único indivíduo (ou

de um pequeno grupo de indivíduos) ao longo do tempo [...] O comportamento-alvo de um único indivíduo é estabelecido no decorrer do tempo e é referido como um comportamento básico. O comportamento básico é avaliado, o tratamento é proporcionado e depois o tratamento é retirado (CRESWELL, 2010, p. 193).

Após a realização dos testes, foram adotados procedimentos de consulta de usuários no contexto pós-uso do artefato, visando verificar eventuais impactos da manipulação das variáveis independentes, expressa na exposição dos estudantes a cada protótipo: "quando experimentamos com pessoas, existem varias formas de verificar se a manipulação realmente funcionou. A primeira é entrevistar os participantes" (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006, p. 146). As estratégias de consulta consistiram na aplicação de questionário e entrevistas, em sintonia com as práticas de avaliação de requisitos funcionais apresentadas no Capítulo 3. O questionário foi aplicado a toda a população ao final de cada bloco de testes, eventualmente seguido por entrevistas interessadas na dimensão subjetiva do uso dos artefatos.

O princípio adotado para as duas formas de consulta pós-uso foi o do questionamento sobre cada requisito específico na forma de itens de likert, cuidadosamente expressos na linguagem do usuário; ou de perguntas abertas a serem respondidas em situação de diálogo, de modo que os participantes pudessem emitir suas percepções acerca de todas as funcionalidades propostas. Comunicativamente, buscou-se arquitetar a condução das entrevistas pós-uso de modo análogo às entrevistas da frente subjetivista: um questionamento geral, 'como foi sua experiência de uso com cada artefato?', foi adotado como provocação gerativa dos relatos dos usuários, a serem direcionados por perguntas sobre funcionalidades específicas mediante verificação da pertinência de seu enfoque no âmbito de cada fala.

A meta discursiva destas entrevistas, também filiadas ao princípio da amostragem teórica, foi identificar nos relatos de uso dos artefatos significados atribuídos pelos usuários às funcionalidades, à luz de suas vivências e trajetórias educacionais. Este direcionamento buscou delinear a percepção subjetiva expressa pelos estudantes acerca dos requisitos funcionais, em termos de limitações ou benefícios apreendidos. Com base nestas ponderações, é possível afirmar que o formato adotado para a condução das entrevistas corresponde ao episódico, dada sua adesão epistemológica aos

procedimentos já fundamentados na frente subjetivista, e seu potencial de exploração de arcos narrativos em relatos mais breves e entrecortados, emulados pelas perguntas do entrevistador.

Na entrevista, dá-se uma atenção especial a situações ou a episódios nos quais o entrevistado tenha tido experiências que pareçam ser relevantes à questão do estudo. Ambas as formas de apresentação (descrição ou narração) da situação e a seleção de outras situações podem ser escolhidas pelo entrevistado de acordo com aspectos de relevância subjetiva [...]. A competência narrativa do entrevistado é utilizada sem contar com *zugzwangs*⁴ e sem forçá-lo a concluir uma narrativa, caso não seja esta sua intenção (FLICK, 2009, p. 172).

Orientado por este plano de execução, o conteúdo das entrevistas foi pautado por uma estreita relação com o elenco de requisitos concebidos. O mesmo pode ser dito acerca dos itens do questionário, que buscaram estrita correspondência ao produto final resultante das duas frentes de ação – em razão desta relação de dependência, este instrumento de consulta pós-teste é efetivamente apresentado apenas no próximo capítulo, após a descrição das funcionalidades expressas em seu conteúdo. Cabe observar que a aplicação das duas técnicas de consulta ao final de cada bloco de teste se deu de forma independente, conforme tratado no Capítulo 2 com base em Sampieri, Collado e Lucio (2006) e Creswell (2010), e em sintonia com cada perspectiva epistemológica de obtenção de dados de sujeitos enfocada neste estudo. Não houve neste sentido um caráter auxiliar, ou de inferioridade hierárquica, atribuído a quaisquer das abordagens.

5.6 Análise dos dados da avaliação

A análise do material obtido através dos procedimentos avaliativos descritos no subitem anterior centrou-se em três conjuntos de dados: [a] dos testes de desempenho aplicados em cada cenário considerando o uso dos protótipos e sua ausência, buscando também comparações aos testes aplicados em caráter diagnóstico no início das ações da pesquisa; [b] dos questionários pós-uso, aplicados após cada seção de testes de modo

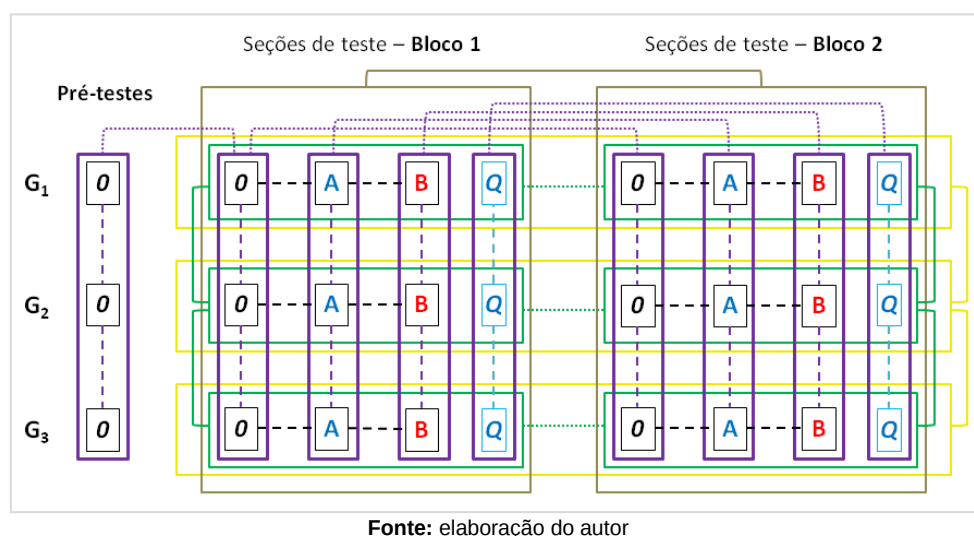
⁴ termo utilizado no xadrez em referência a uma situação em que o jogador precisa fazer um movimento que lhe será estrategicamente prejudicial.

congruente com a frente objetivista; [c] das entrevistas pós-uso, conduzidas após cada seção de testes de modo congruente com a frente subjetivista.

Os dados relativos aos resultados dos testes de desempenho, aos itens de likert nas duas aplicações do questionário pós-uso, e às médias destas aplicações, foram expressos como variáveis discretas e contínuas, compondo as últimas colunas incorporadas à matriz de dados quantitativos da pesquisa. Como alguns dos elementos desta matriz dizem respeito a dados que ainda não foram apresentados e discutidos, este capítulo se restringirá à descrição geral já apresentada de seus componentes, suficiente para a compreensão do planejamento dos procedimentos analíticos. Já a especificação individual de dos itens da matriz, que agrega à leitura dos resultados finais, se dá no desenlace do próximo capítulo, após a discussão de todos os dados que impactaram sua composição, resultantes de alguns dos procedimentos tratados nas subseções anteriores.

Os procedimentos aplicados a esta matriz estão circunscritos [a] à estatística descritiva, com foco na obtenção de escores de pontuação, frequências expressas em valores modais, e percentuais para fins de comparação da performance de cada grupo e em cada cenário; e [b] à estatística inferencial, destacando-se em particular dois recursos. O primeiro deles são os testes de correlação, voltados para a identificação de covariâncias entre os elementos: trata-se de “uma boa maneira de avaliar se duas variáveis estão relacionadas entre si” (FIELD, 2009, p. 127), permitindo a busca pela compreensão de uma variável em função dos valores assumidos por outra. Esta estratégia é útil no provimento de explicações para o fenômeno, sobretudo, quando os dados disponíveis não viabilizam o mapeamento de uma estrutura relacional mais ampla por meio da análise fatorial, discutida anteriormente. O segundo recurso estatístico corresponde aos testes de hipótese de comparação de médias de grupos, buscando identificar diferenças significativas indicativas de como os estudantes reagiram a cada cenário e conjunto de funcionalidades apresentado. Tais comparações inferenciais estão identificadas nos traços e regiões delimitadas no Diagrama 4.

Diagrama 4 – Plano de comparações inferenciais



A definição dos procedimentos adequados para operacionalização destas análises demandou consideração acerca da natureza – paramétrica ou não paramétrica – dos dados trabalhados: "Para realizar análises paramétricas, devemos partir das seguintes suposições: 1. A distribuição populacional da variável dependente é normal: o universo tem uma distribuição normal. 2. O nível de mensuração das variáveis é intervalar ou razão [...]" (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006, p. 326). O interesse específico na presença ou ausência de erros e acertos nas questões dos testes de desempenho significou a inclusão de variáveis categóricas na matriz de dados, indicando a necessidade de testes não paramétricos. No caso das variáveis discretas e contínuas, como as médias das aplicações do questionário pós-uso, a verificação de normalidade da distribuição se fez através da construção de histogramas e do uso do gráfico QQ de probabilidade, cujo funcionamento foi descrito previamente neste capítulo.

Para as análises correlacionais, foi empregada a díade composta pelos testes de Pearson Spearman, respectivamente, para amostras paramétricas e não paramétricas (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006; FIELD, 2009; MARTINS; THEÓPHILO, 2009). Já para as hipóteses de comparação de médias, recorreu-se a diferentes testes em cada cenário, a depender da distribuição de dados verificada. As linhas contínuas e delimitações em marrom e as conexões indicadas pelas linhas pontilhadas em verde no Diagrama 4, expressam comparações gerais entre os dois blocos de seções de teste e entre

os três grupos no âmbito global do experimento. Trata-se de uma análise de diferentes dados produzidos pelos mesmos grupos em momentos distintos: "If there are more than two related groups [...] repeated-measures analysis of variance [ANOVA] is used if the parametric assumptions are satisfied [...] The non-parametric alternative is Friedman's test" (MCCRUM-GARDNER, 2008, p. 40).

As linhas contínuas em roxo delimitam espaços de comparação entre os três grupos na esfera de um cenário específico de testes. Mostrou-se adequada neste sentido, para dados paramétricos, a análise de variância unidirecional, ou o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis "para decidir se K amostras ($K > 2$) independentes provêm de populações com médias iguais. [...] São enunciadas as hipóteses - H_0 : as médias dos K grupos são iguais, e H_1 : há pelo menos um par diferente" (MARTINS; THEÓPHILO, 2009, p. 128). As linhas tracejadas verticais também fazem referência a comparações na esfera de cenários de teste específicos, porém entre pares de grupos. Tem-se assim, duas opções a depender da parametrização dos dados:

O teste de Mann-Whitney: é usado para testar se duas amostras independentes foram retiradas de populações com médias iguais. Trata-se de uma interessante alternativa ao teste paramétrico para igualdade de médias [teste t] (MARTINS; THEÓPHILO, 2009, p. 127).

As linhas pontilhadas em roxo, assim como as linhas tracejadas horizontais, expressam comparações entre os pares de desempenhos de um mesmo conjunto de indivíduos obtidos em diferentes cenários de testes ou blocos. É possível constatar como adequados a esta análise, considerando o grau de parametrização dos dados:

O teste dos postos com sinais de Wilcoxon [...] utilizado em situações em que existe dois conjuntos de escores a serem comparados, mas esses escores são provenientes dos mesmos participantes [...] como um equivalente não paramétrico ao teste t dependente (FIELD, 2009, p. 484).

Fora do escopo da análise quantitativa, a análise dos relatos obtidos através das entrevistas pós-uso pautou-se pelo mesmo arcabouço teórico e metodológico adotado pela frente subjetivista para a concepção de requisitos. O Quadro 4 explicita as questões fundamentais que guiaram a interpretação das falas dos estudantes acerca das funcionalidades dos artefatos, quando

foram perguntados sobre as mesmas após seu uso. Estes parâmetros foram adaptados dos critérios de leitura de subjetividades, apresentados anteriormente, aplicados aos relatos dos estudantes nas entrevistas narrativas e observações participantes da frente subjetivista. As adaptações visaram a adequação à nova situação comunicacional, após a interação com os artefatos, e a ênfase episódica das entrevistas pós-uso, conforme tratado na subseção anterior. O resultado desta análise foi formatado como uma apresentação teórica narrativa e argumentativa, conforme preconizando por Flick (2009) para o tratamento de dados de entrevistas episódicas.

Quadro 4 – Critérios de leitura de subjetividades adaptados para pós-uso

Questões de direcionamento da análise das falas discentes sobre os requisitos
Quais são as necessidades de aprendizagem específicas, de um grupo de sujeitos com este perfil, contempladas ou negligenciadas por cada artefato no que diz respeito à resolução de problemas físico-cinemáticos?
Que tipos de dificuldades apresentadas por sujeitos com este perfil na resolução de problemas físico-cinemáticos foram contempladas ou negligenciadas por cada artefato?
De que forma(s) cada artefato pode ser aprimorado para contemplar estas necessidades e se contrapor a estas dificuldades?

Fonte: elaboração do autor

Os dados logrados na avaliação dos protótipos por meio dos testes estatísticos e desta análise de cunho episódico-narrativo serão apresentados no Capítulo 7, consolidando os resultados da implementação do modelo experimental concebido nesta pesquisa. Antes disso, o trabalho procede, no próximo capítulo, à apresentação dos dados obtidos nas duas frentes de ação voltadas para a declaração dos requisitos funcionais, e de todos os artefatos elaborados a partir destes.

Este capítulo apresentou o modelo metodológico adotado na presente pesquisa, compreendendo [a] as frentes de ações empregadas em diálogo com as perspectivas epistêmicas discutidas; [b] o tratamento reservado aos dados obtidos e sua transposição para o domínio dos requisitos funcionais dos artefatos desenvolvidos, assim como [c] os testes aplicados aos artefatos e os critérios para a análise dos resultados. Este delineamento procedimental viabiliza a consecução dos objetivos específicos relativos à aplicação das duas abordagens e à identificação dos impactos de uso das aplicações.

Cabe pontuar também que, por si, o presente capítulo compõe parte substancial do objetivo geral do trabalho, visto que a análise do emprego das perspectivas epistemologicamente distintas tida como sua finalidade máxima parte inevitavelmente da descrição dos atos do emprego em questão. Neste sentido, é possível ponderar que os métodos são parte integrante dos resultados e inferir a conclusão de que o modelo descrito e sua fundamentação demonstram a aderência do Design a uma variedade de técnicas de pesquisa e entendimentos acerca da natureza da produção de conhecimento sobre os usuários de um produto.

6 O DESIGN DAS FUNCIONALIDADES

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos através das duas frentes de ações descritas no capítulo anterior, e também os protótipos que resultaram do emprego destes dados à concepção dos índices de requisitos funcionais objeto de investigação na presente pesquisa. O conteúdo remete, juntamente com o capítulo anterior, ao objetivo específico de aplicar as abordagens de viés objetivista e subjetivista à definição de requisitos funcionais de artefatos. No escopo desta meta, a discussão proposta aqui tem como foco a aplicação da informação obtida acerca dos usuários ao processo de design das funcionalidades. Constitui-se como componente fundamental deste processo de design o exercício de transposição de conteúdo do domínio dos ‘dados’ para o das ‘informações’, que pode ser melhor compreendido mediante a colocação destes conceitos em perspectiva:

Despite various attempts to produce a 'unified theory of information' [...] or to define it as single overarching philosophical concept [...], this cacophony can hardly be said to have constituted itself as a single field [...]. There 'is' also information as opposed to knowledge, as opposed to wisdom, as opposed to data [...] information more or less 'raw' and more or less 'processed' (HAYOT; PAO, 2018, p. 1-2).

Viabiliza-se neste amplo espectro conceitual uma compreensão do processo de design das funcionalidades na perspectiva da ‘informação’ como entidade que se define em contraposição à noção de ‘dados’, sendo essencialmente caracterizada por algo de que estes que seriam desprovidos: o sentido. Esta leitura merece destaque enquanto reflexão, por situar de forma inequívoca o fazer metodológico do presente estudo no âmbito da concepção de Design da Informação trazida no capítulo introdutório por Baer e Vacarra (2008): “the translating of complex, unorganized, or unstructured data into valuable, meaningful information” (p. 12). É a apresentação destes dados e de sua ‘tradução’ que se dá nas subseções a seguir.

Cabe destacar neste processo o papel da revisão de literatura trazida no Capítulo 4, que se revela a lente teórica voltada para o grupo investigado viabilizando uma compreensão acerca deste em uma abordagem multimétodo, conforme tratado no Capítulo 2 com base em Creswell (2010). O referencial permite uma leitura e interpretação dos dados à luz do conhecimento científico

existente, contribuindo para a tomada de decisões consistente com o rigor demandado por campo de pesquisa acadêmica e atuação profissional.

6.1 Dados obtidos na abordagem objetivista

As ações desta frente consistiram majoritariamente na aplicação direta de procedimentos roteirizados compreendendo as variáveis relacionadas a sua execução. Não há mobilizações significativas para a obtenção dos dados além do planejamento descrito no capítulo anterior, seguido de forma meticulosa. Assim, o relato da abordagem objetivista tende à enumeração dos dados obtidos acrescida da discussão dos mesmos, e distancia-se de narrações acerca do transcurso dos procedimentos enquanto um processo do qual as nuances emergem como base para atribuição de sentidos. Esta constatação que remete à natureza das abordagens, discutidas no Capítulo 2, é pertinente à análise do emprego de perspectivas epistemologicamente distintas a processos de design, sobretudo considerando que esta configuração da apresentação e discussão dos dados se modificará na abordagem subjetivista, tratada mais à frente.

6.1.1 Resultados dos pré-testes e cálculos amostrais

Após a aplicação e atribuição de pontuações dos testes de desempenho, nos termos apresentados no capítulo anterior, foram obtidos os valores de médias e desvios-padrão dos estudantes das turmas A ($\mu = 5,19 / \sigma = 2,32$), B ($\mu = 4,43 / \sigma = 2,14$), C ($\mu = 4,89 / \sigma = 2,02$), e da população como um todo ($\mu = 4,84 / \sigma = 2,15$). Adotando o critério de distribuição dos participantes nas três turmas, a ANOVA unidirecional revelou não haver diferenças significativas entre grupos considerando o desempenho ($Z = 1,23 / p = 0,295$) e o teste t para amostras independentes não detectou diferenças de desempenho entre os gêneros feminino e masculino ($p = 0,656$). O gráfico QQ (APÊNDICE C), gerado em conjunto com a realização do teste de Shapiro-Wilk ($p = 0,063$), indicou a normalidade da distribuição dos dados, o que mostra que o desempenho do grupo é consistente com o da população fora do universo pesquisado.

Apenas 25 estudantes, o que corresponde a menos de um quarto, ou 21,9% do universo de 114 sujeitos, obtiveram escores iguais ou superiores a 7. Prevaleram os escores entre 4 e 5, sendo estes valores as modas no conjunto de frequências. A ausência de diferenças significativas no desempenho global remete à descrição do perfil dos participantes, apresentados no Capítulo 4 como membros de um grupo heterogêneo no que diz respeito à existência de indivíduos com níveis de interesse e engajamento distintos, porém típico enquanto retrato do estudante secundarista da rede pública.

Duas problemáticas discutidas acerca do perfil do grupo se mostraram pertinentes aos dados obtidos: a dificuldade com cálculos matemáticos e a falta de clareza acerca da aplicação de conceitos à resolução dos problemas. Isoladamente, os itens relativos à resolução propriamente dita e à explicitação do raciocínio utilizado apresentaram um índice de acerto de apenas 23,3%. Este percentual também engloba os cálculos de conversão de sistemas de medidas: embora a percepção da necessidade de transpor os valores do domínio dos quilômetros/hora para o dos metros/segundo tenha sido identificada em 47,36% das respostas, sua concretização não foi efetiva.

Já os itens relativos à identificação de conceitos no enunciado tiveram 76,61% de acerto e aqueles voltados para escolha das fórmulas 67,98%. Apesar dos percentuais próximos, o teste t para amostras pareadas indicou diferenças significativas entre a ampla maioria destes itens ($p \leq 0,04$): dentro de categorias que tiveram globalmente um bom resultado, há itens com baixas pontuações divergindo da tendência. Isto permite afirmar que mesmo na identificação dos conceitos, relativamente bem efetuada, há dificuldades por parte dos estudantes.

É perceptível que os itens restritos ao reconhecimento de termos e fórmulas apresentaram melhores índices do que as questões abertas. Cabe ressaltar, entretanto, que a aplicação do pré-teste diferiu substancialmente das provas às quais os participantes estão habituados devido ao elemento surpresa. Antes das avaliações escolares, os estudantes são informados dos conteúdos abordados, estudam os conceitos e fórmulas de modo direcionado e tem aulas de revisão com resolução de exercícios similares aos que serão

cobrados. Assim, pondera-se que o rendimento do grupo na disciplina em questão seja diferente do obtido nestas circunstâncias da pesquisa.

O uso do valor de desvio padrão da população investigada ($\sigma = 2,16$), nos cálculos de composição de amostra discutidos no capítulo anterior, indicou o quantitativo de 8 participantes a serem escolhidos aleatoriamente para representar o grupo na condução das entrevistas semiestruturadas. Estatisticamente, a necessidade de poucos indivíduos se deve a baixa variação no grupo no que concerne o fenômeno investigado, e pode também ser compreendida na perspectiva da ausência de diferenças significativas entre os subgrupos correspondentes às três turmas, conforme tratado acima.

6.1.2 Aspectos do fenômeno identificados nas entrevistas

O quantitativo de oito sujeitos necessário à composição da amostra foi obtido ($\text{♀} = 4 / \text{♂} = 4$) após doze convites a estudantes escolhidos randomicamente dentre a população. As recusas se deram mediante alegação de indisponibilidade devido a tarefas e trabalhos escolares. Um estudante afirmou não se considerar apto a participar por desconhecer os conteúdos trabalhados nas aulas que assistia. Disse ainda que alguns de seus colegas certamente declinariam o convite pela mesma razão, embora não admitissem o real motivo. As conversas com os que se dispuseram a participar tiveram entre 6 e 10 minutos de duração e ocorreram, por solicitação dos mesmos, nas aulas de estudo ou nos intervalos para o almoço. A sala de informática foi o local escolhido para entrevistas. O roteiro da conversa foi integralmente seguido e não foi necessária a inserção de perguntas diversas das inicialmente programadas, tendo havido apenas eventuais solicitações de esclarecimento ou fornecimento de maiores detalhes acerca de algumas respostas providas. O registro das falas e os procedimentos analíticos aplicados ao material ocorreram estritamente nos termos especificados no capítulo anterior.

Houve registro de respostas vagas ou monossilábicas, pobres no que concerne o fornecimento de material para análise. Porém, de modo geral, os estudantes direcionaram bem sua participação, com foco na informação solicitada e possibilitando a identificação de itens lexicais predominantemente pertinentes ao fenômeno investigado. É possível ponderar que a comunicação

efetiva do propósito das entrevistas aos participantes, assim como a objetividade das perguntas, contribuiu neste sentido. Não obstante, houve também enunciados cujo conteúdo extrapolava a esfera de ação de uma solução educacional concebida nos termos propostos: referenciavam aspectos como infraestrutura da escola ou grau de afinidade com docentes. Fora do escopo das funcionalidades a serem delineadas, os itens lexicais relativos a tais asserções não foram mapeados como aspectos pertinentes ao fenômeno endereçado.

Os itens válidos foram agrupados no Diagrama 5, com as dimensões de suas representações tipográficas proporcionalmente correspondentes às suas ocorrências nas entrevistas.

Diagrama 5 – Representação de itens lexicais em nuvem de palavras



Fonte: elaboração do autor

É necessário ressaltar, entretanto, que os graus de preponderância constatados na imagem não se prestam a inferências estatísticas: não é possível concluir que o termo ‘resultado’ seja significativamente mais relevante do que o termo ‘cálculo’ por ter sido mencionado circunstancialmente mais vezes em um diálogo coconstruído por dois interlocutores. O tratamento dado às respostas, ainda que por meio de recursos computacionais em uma

perspectiva objetivista, compõe uma análise estritamente qualitativa. Neste sentido, manteve-se como norte a pretensão de fazer afirmações acerca da natureza de elementos existentes nas dinâmicas do fenômeno, e não mensurações acerca do quanto cada elemento seria mais presente ou relevante do que os demais (BECKER, 2007; FLICK, 2009).

Os dados das entrevistas revelam aspectos de interesse para uma discussão de enfoque pedagógico ou mesmo psicológico no que tange mobilizações de ordem cognitiva relacionadas ao aprendizado dos conteúdos em questão. Porém, as falas dos estudantes são discutidas neste momento considerando o propósito das entrevistas de fornecer insumos para a elaboração do questionário (APÊNDICE D). Através da primeira pergunta, voltada para a descrição dos problemas resolvidos pelos estudantes nas aulas, foram identificados nas respostas os itens lexicais ‘resultado’, ‘número’, ‘fórmula’ e ‘manha’ – sendo os dois primeiros utilizados como sinônimos e o último empregado com a conotação de ‘macete’. Mediante análise dos contextos de uso destes termos, foram propostos os itens *g* e *p* do questionário. O trecho transcrito a seguir, da resposta dada à esta pergunta pelo participante A. L., de 14 anos, realça a ocorrência destes termos:

Quadro 5 – Transcrição em destaque A

A. L.: é... tu tem que achar o resultado... tem que... tem vez que tem mais de um caminho, tá ligado? Pode fazer de mais de um jeito... tanto faz, só tem que ser o resultado, se o cara tiver a manha, é até mais rápido o resultado... porque tem umas manhas, dependendo. Sendo que tem que usar uma fórmula, tu bota os número na fórmula, aí o cara pode até decorar a fórmula, sendo que o negócio é saber qual fórmula tem que usar [grifos nossos].

Pesquisador: às vezes tu não sabe qual usar?

A. L.: tem vez que o cara fica confuso.

Fonte: elaboração do autor

Este fragmento destaca o emprego de fórmulas como um aspecto relevante dos problemas na perspectiva discente, em consonância com a discussão trazida no Capítulo 4 com base em Hewitt (2002), Feynman (2008) e Santarosa (2013). Fica evidenciado o conhecimento por parte dos estudantes de que há em alguns problemas possibilidades distintas de resolução, através da aplicação de diferentes fórmulas da cinemática. Porém, conforme será demonstrado ainda nesta subseção, a menção a ‘diferentes modos de

resolução' por alguns participantes referencia também variações nas formas de manipulação e representação algébrica, ou mesmo na ordem de execução dos cálculos realizados: o momento da passagem de termos de um lado para o outro da equação, a representação detalhada de termos de mesma variável, como ' $2t + 3t$ ', ou sua omissão na resolução saltando para o termo resultante ' $5t$ ', são exemplos de variações percebidas pelos estudantes.

A pergunta seguinte, concernente aos aspectos mais desafiadores dos problemas percebidos pelos participantes, apontou através das respostas obtidas, para três elementos também contemplados no levantamento bibliográfico trazido no Capítulo 4: [a] os procedimentos matemáticos, expressos nas falas dos participantes por meio dos itens lexicais 'cálculos', 'conta' e 'perder-se'; [b] a interpretação do problema no que tange a demanda trazida no enunciado, identificada nos itens lexicais 'pedir' e 'querer'; e [c] o próprio grau de preparo dos estudantes, referenciado no contexto de ocorrência dos itens 'saber', 'base', 'explicação' e 'definição' – estes dois últimos utilizados como sinônimos neste contexto.

A partir da análise do emprego destes itens lexicais pelos participantes, foram propostos os itens do questionário *a*, *b*, *f*, *k*, e *l*. O trecho da conversa com o estudante H. G., de 15 anos, transcrito a seguir, permite verificar a presença destes termos na resposta dada à segunda questão:

Quadro 6 – Transcrição em destaque B

H. G.: mais difícil é as conta, né [risos]? Quem gosta? Sempre os cálculo é a pior parte, já se ligue que a galera vai logo dizer: “fazer conta” [risos].

Pesquisador: por que?

H. G.: porque é fácil o cara se perder. Agora, sério, também, acho também que não é só... não. Porque o negócio, se for ver mesmo... é o que a questão ta pedindo, tem que entender o que ele ta pedindo, aí tem que saber a explicação de cada coisa, e como descobre uma coisa sabendo a outra, é... como se fosse uma relação. Então o mais difícil também é entender o que ele quer, porque se tu não sabe, não tem uma base... entendeu? Aí tu não sabe, não sabe entender. Aí, vai fazer o que? [grifos nossos].

Fonte: elaboração do autor

O terceiro questionamento colocado para os entrevistados, relativo ao que pode atrapalhar ou dificultar a resolução dos problemas, desvelou o estado psicológico e a convicção discente acerca do próprio potencial enquanto

aspectos do fenômeno investigado: foram expressos através dos termos ‘nervoso’, ‘segurança’, ‘confiança’, e ‘superar’. A identificação destes itens lexicais também dialoga com a revisão de literatura acerca das questões pedagógicas tratadas na pesquisa, no que tange, por exemplo, o aspecto “ameaçador” das fórmulas e cálculos inerentes aos conteúdos da Mecânica (HEWITT, 2002). Derivaram desta pergunta os itens *h*, *j*, e *m* do questionário, proposto a partir do conteúdo das falas dos discentes, conforme sublinhado no trecho:

Quadro 7 – Transcrição em destaque C

Nervoso, né? Com certeza! As fórmula é meio complicada. Até estudando eu já fico logo nervosa: “ai, não vou conseguir” [risos]. Já dá nervoso [risos]. Mas assim, também, né? Acho que quando a pessoa estudou, né? Ou sabe bem porque sempre foi estudiosa, né? Aí tem mais segurança, eu acho. Acho que tem mais segurança. Ainda fica meio assim, né? Dá nervoso [risos], porque essas dificuldade é ruim, né? Você superar... mas melhora um pouco a confiança. Pra mim, assim, o que ajuda mais a ter mais confiança é saber que eu sei, só que aí eu sei que eu não sei muito bem, então isso atrapalha [risos] (R. L., 15 anos – grifos nossos).

Fonte: elaboração do autor

Já em relação às estratégias adotadas para minimizar as dificuldades, tema da quarta pergunta, emergem os itens lexicais ‘grupo’, ‘conversar’, ‘amigo’, ‘conseguir’, ‘incentivo’, ‘empolgar’ e ‘feliz’, com este último relativo à percepção do êxito nos problemas, e os demais referenciando a colaboração entre pares. Os benefícios do trabalho conjunto foram tratados no Capítulo 4 na perspectiva da interação e colaboração enquanto traços geracionais destes sujeitos (SILVA; PEREIRA, 2015; BATES, 2016). Destaca-se também o item lexical ‘fácil’, cuja análise do contexto de uso apontou para uma estratégia na escolha da ordem dos problemas a serem respondidos. Os itens *e*, *i*, *n*, *o* e *q* do questionário tiveram origem nos dados obtidos a partir desta questão. A fala a seguir destaca alguns destes itens lexicais identificados:

Quadro 8 – Transcrição em destaque D

G. F.: o primeiro é estudar, né? Com certeza. Pra resolver qualquer dificuldade, tem que ser. Agora depois, se não resolveu, aí pode pedir ajuda ao professor, ou senão, pros amigos... faz tipo uma revisão.

Pesquisador: tu faz como?

G. F.: eu gosto de fazer em grupo os exercícios, em grupo... dupla ou trio. Mas tem gente que não. Eu gosto de grupo porque quando tu não sai do lugar, aí conversar já ajuda. Aí eu não sei fazer um, mas meu amigo sabe, e ele não sabe um que eu

consegui. Aí a gente conversa, entendeu? Pode ser que nenhum da gente saiba, mas se conversar junto, aí os dois tem a ideia, os dois dá o incentivo [grifos nossos].

Fonte: elaboração do autor

O excerto abaixo, pertencente ao diálogo com a estudante N. C., de 15 anos, ainda no escopo da questão 4, realça a escolha de problemas mais fáceis como estratégia. Traz também uma perspectiva crítica acerca do recurso a colegas considerados mais estudiosos para apoio na resolução de problemas mais complexos.

Quadro 9 – Transcrição em destaque E

N. C.: eu faço logo as que eu sei, me livro logo das mais fácil. Quando não consigo vejo com alguém... fazer em grupo é bom, agora também depende do grupo. Eu pedi a um menino, que todo mundo diz que é muito inteligente, ele. Fui conversar, pedi ajuda... assim, não é meu amigo. Ele tira nota muito alta e ele já fica dizendo que vai fazer direito, medicina, até os professores... fica falando, tudinho. Sendo que ele deu um arroteio, que, senhor!

Pesquisador: como assim? Ele falou o que?

N. C.: falou tudo mais complicado, tudo! Que era duas fórmulas... sendo que depois eu vi que só precisava uma, na hora saí desesperada, fiquei mal mesmo. Tô falando sério... sério mesmo, na moral. Fiquei *bad*. Aí fui conversar com minha amiga que sabe, assim... sabe igual a mim: é igual, as duas. As duas tinha dúvida, mas a gente tentou junta, aí conseguiu. Fiquei tão feliz [risos]. Foi muito melhor [grifos nossos].

Fonte: elaboração do autor

A última pergunta colocada, acerca do que poderia ajudar a diminuir as dificuldades dos estudantes, permitiu a identificação de itens lexicais contextualmente relacionados a um importante aspecto do fenômeno investigado: a compreensão dos percursos algorítmicos de resolução dos problemas, expressa nos termos ‘caminho’, ‘atalho’ e ‘rápido’. Os itens *c* e *d* do questionário resultaram destes índices, destacados no fragmento a seguir:

Quadro 10 – Transcrição em destaque F

la ser arretado o cara saber toda vez quando pode um atalho, porque tu entende os caminho tudo, aí tu escolhe o melhor, o mais rápido. Se for o caminho certo, é melhor mais rápido. É melhor porque tu ganha tempo, é mais rápido! (**H. G.**, 15 anos – grifos nossos).

Fonte: elaboração do autor

A problemática algorítmica, também exposta nas discussões teóricas do Capítulo 4, se fez presente ainda em depoimentos refratários à busca por atalhos que permitam a obtenção das respostas dos problemas mais

rapidamente, conforme verificado na fala do estudante M. C., de 17 anos. O trecho destaca também a compreensão dos estudantes, tratada anteriormente nesta subseção, das variações nas formas de manipulação e representação algébrica em um problema como diferentes modos de resolução do mesmo.

Quadro 11 – Transcrição em destaque G

M. C.: rapaz, eu acho melhor não. Vê, eu não sei bem esse assunto. Mas eu vejo, eu tô ligado que alguns pode fazer de mais de um jeito, pra ser rápido. Tem os caminhos... tem os... e pode fazer de cabeça, o cara já sabe, e não escreve a conta toda, que agiliza.

Pesquisador: mas por que tu acha melhor não?

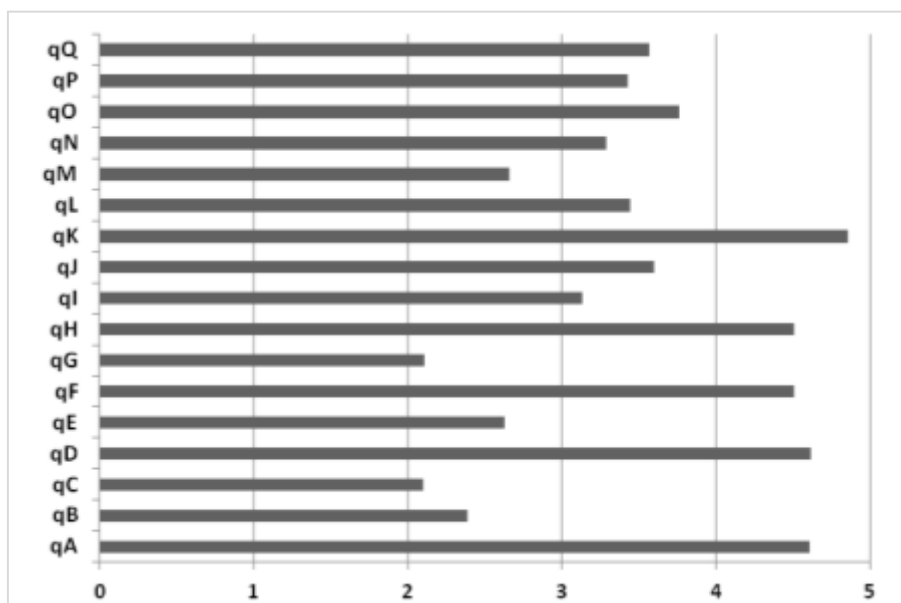
M. C.: porque é melhor não inventar, esse negócio de ficar... melhor fazer sempre o passo a passo de um jeito que tu sabe que dá certo. É minha opinião. E também tem outra coisa que eu acho que é você praticar, né? Quando tu corta caminho, vai mais rápido, então tu estuda menos e aprende menos.

Fonte: elaboração do autor

6.1.3 Dimensões do artefato delineadas através do questionário

Após terem ocorrido escrita e revisão, seguidas da aplicação do instrumento, tabulação e análise de dados nos termos descritos no capítulo anterior, foram obtidas a média geral das pontuações atribuídas pelos estudantes aos itens ($\mu = 3,48$) e o valor de desvio padrão ($\sigma = 1,09$). As médias atribuídas a cada item individualmente são indicadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Escores médios do questionário exploratório



Fonte: elaboração do autor

O item que atingiu a pontuação média mais elevada ($\mu = 4,86$) foi o *K* – ‘O que complica são os cálculos matemáticos’, de modo consistente com o levantamento bibliográfico realizado. Isto pode ser lido como um indicativo concreto da necessidade de contemplar de alguma forma a problemática dos cálculos em uma solução tecnológica voltada para auxiliar estudantes na resolução de problemas da cinemática. Diferente dos dados qualitativos obtidos nas entrevistas, quando não havia intenção de mensurar alcance e relevância em termos populacionais, tem-se desta vez uma afirmação corroborada pela ampla maioria da população.

No outro extremo da escala de pontuações, o item que logrou a menor média ($\mu = 2,10$) foi o *C* – ‘É importante seguir o passo a passo de resolução sem tentar atalhos’. Tanto a adesão quanto a rejeição aos chamados atalhos de resolução foram detectadas nas entrevistas como fenômenos existentes, porém os dados do questionário revelam que a ampla maioria dos estudantes tem um posicionamento favorável ao emprego de soluções mais rápidas. Já o item cujas pontuações atribuídas se aproximaram mais da média geral do questionário foi o *L* – ‘É difícil entender o que os problemas pedem’ ($\mu = 3,44$): isto permite afirmar que a dificuldade de compreensão, detectada nas entrevistas, é reconhecida em alguma medida como problema pelo grupo, porém não de modo amplamente majoritário.

Através do teste KMO de adequação de dados a um modelo fatorial, foi obtido o quociente 0,61. Considerando este resultado juntamente com o do teste de esfericidade de Bartlett ($p = 0,00$), fica caracterizada, com elevado grau de significância, uma matriz de dados moderadamente apropriada ao delineamento de fatores. Após a aplicação do método de extração explicitado no capítulo anterior, verificou-se o agrupamento dos itens em torno de seis fatores, aos quais foram atribuídas designações mediante exame do conteúdo, sentido, temática, e comunalidades de cada grupo de itens. O Quadro 5 sintetiza os dados referentes à composição dos agrupamentos e à designação dos fatores.

Quadro 12 – Síntese de itens e componentes fatoriais

Grupo	Itens e dados da matriz de componentes	Fator projetado
1	<i>F</i> (0,97); <i>H</i> (0,96); <i>J</i> (0,95); <i>M</i> (0,92)	Potencial de resolução
2	<i>B</i> (0,97); <i>L</i> (0,94); <i>P</i> (0,97);	Compreensão contextual-conceitual

3	<i>E</i> (0,96); <i>I</i> (0,96); <i>Q</i> (0,89)	Estímulo à resolução
4	<i>A</i> (0,91); <i>D</i> (0,95); <i>K</i> (0,76)	Contingências de operacionalização
5	<i>C</i> (0,97); <i>G</i> (0,98)	Processos algorítmicos
6	<i>O</i> (0,97); <i>N</i> (0,97)	Táticas de facilitação

Fonte: elaboração do autor

O agrupamento dos itens *O* e *N* – envolvendo respectivamente a colaboração entre pares e a escolha da ordem das questões a serem respondidas – foi designado ‘Táticas de facilitação’, por tratar de ações adotadas pelos discentes com o intuito de minimizar dificuldades, contribuindo para seu êxito. Os itens *C* e *G* – passo a passo e processo de resolução em relação ao resultado, respectivamente – enquanto componentes de um fator, foram denominados ‘Processos algorítmicos’, considerando a sequência de ações adotada para atingir uma solução na perspectiva processual, contemplando inclusive erros no percurso e novas tentativas. Já os itens *E*, *I*, *Q* foram agrupados no fator nomeado ‘Estímulo à resolução’, enquanto *B*, *L* e *P* que envolvem conceitos, interpretação de enunciados e escolha de fórmulas a serem aplicadas, tiveram o fator de agrupamento denominado ‘Compreensão contextual-conceitual’.

Os itens *A*, *D* e *K* – perder-se ao longo do problema, ter dúvidas acerca do trajeto de resolução adotado, e deparar-se com cálculos que complicam o processo – representam contingências de decurso na colocação em prática de uma solução concebida. Assim, o fator projetado foi intitulado ‘Contingências de operacionalização’. Por outro lado, os itens *F*, *H*, *M* e *J* – base deficitária em matemática, nervosismo, insegurança e dificuldades de aprendizagem difíceis de superar – não remetem a intercorrências inerentes a ações de uma resolução em curso, e sim à percepção discente de sua aptidão ou potencial de execução efetiva de uma resolução. Assim, o fator correspondente foi designado ‘Potencial de resolução’.

6.2 Requisitos funcionais do protótipo 'A'

O ponto de partida para a proposição dos requisitos funcionais foi o já apresentado propósito norteador do artefato, de contribuir para a resolução de problemas da cinemática por discentes do Ensino Médio. A função total da aplicação, apresentada no Capítulo 4, já apontava para a implementação de

funcionalidades que permitam ao estudante usuário inserir dados relativos a um problema numérico e desenvolvê-lo mediante orientações fornecidas pelo sistema. Neste sentido, o ponto de partida, denominado requisito RF01, é a inserção dos dados do enunciado do problema, que será processado pelo sistema e fornecerá um conjunto de orientações, sem revelar seu resultado, para que o estudante tenha apoio na busca pela solução e possa atingi-la com autonomia.

A natureza do apoio fornecido, concretizada nos requisitos, remete aos dados obtidos na frente de ações, discutidos nas subseções anteriores. A análise fatorial exploratória possibilitou o refinamento desta proposta geral, direcionado pelas dimensões projetadas – (1) potencial; (2) conceitual-contextual; (3) motivacional; (4) contingencial-operacional; (5) processual, e (6) tática – da resolução dos problemas pelos estudantes. A declaração de cada requisito deu-se então na forma de soluções específicas com base nas pontuações atribuídas, e consequentes graus de rejeição ou adesão, aos itens no âmbito de cada dimensão.

Foram adotadas as estratégias de declaração de requisitos com base nos dados obtidos conforme planejamento expresso no capítulo anterior. O Quadro 6 discrimina a leitura dos dados subjacente à proposição de cada requisito. Também explicita a demarcação tratada no início deste capítulo [a] do domínio dos dados, representado pelos itens agrupados em fatores e suas médias; e do [b] domínio da informação, relativo ao sentido atribuído aos fatores e às médias dos itens, permitindo a tomada de decisão.

No âmbito da compreensão contextual-conceitual, foram detectadas nas pontuações dos itens *L* e *B* a dificuldade de percepção do que está sendo pedido e das relações entre os conceitos envolvidos em cada problema. Considerando estas demandas, pondera-se pertinente direcionar o foco do usuário para cada conceito e variável abordados na questão, explicitando as de valor fornecido no enunciado e aquela cujo valor deve ser identificado. Assim, emergem os requisitos RF01 e RF03, respectivamente: solicitar inserção de dados relativos ao enunciado e confirmar os dados explicitando os conceitos e variáveis envolvidos na resolução.

Já na esfera dos processos algorítmicos, as baixas pontuações atribuídas aos itens *G* e *C* revelam rejeição à ideia de adoção irrestrita de

Quadro 13 – Proposição de requisitos para o artefato 'A'

FATOR	ITENS E MÉDIAS		DECISÕES DE DESIGN: DOMÍNIO DA INFORMAÇÃO	REQUISITOS PROPOSTOS
2	B	2,39	- Visando contemplar a eventual dificuldade de compreensão do que é solicitado pelos problemas (<i>L</i>) e das relações entre os conceitos trabalhados (<i>B</i>), é pertinente que sejam inseridas e destacadas categoricamente para os usuários as variáveis envolvidas e suas unidades de medida, especificando-se as de valor conhecido e aquela cujo valor deve ser identificado. - Para contribuir com a tomada de decisão quanto à fórmula (<i>P</i>), é pertinente que solução seja calculada e as fórmulas exibidas para escolha da que leva ao resultado, a partir da associação entre suas variáveis componentes e aquelas presentes no enunciado.	[RF01] solicitar inserção de dados do enunciado do problema ao inicializar. [RF02] mapear operações necessárias à obtenção do resultado do problema. [RF03] confirmar dados inseridos pelo usuário explicitando conceitos e variáveis envolvidos no problema. [RF04] permitir identificação direta dentre opções da fórmula associada ao menor percurso de resolução.
	L	3,44		
	P	3,43		
4	A	4,61	- A fim de minimizar possibilidade do usuário se perder (<i>A</i>) ou apresentar dificuldades relacionadas aos cálculos (<i>K</i>), mostra-se adequado indicar o percurso de resolução menos complexo em termos de operações matemáticas. - Com intuito de evitar dúvidas quanto à correteza do percurso de resolução (<i>D</i>), é importante evidenciar categoricamente a adequação da fórmula indicada para resolução do problema, explicitando que o percurso a ser seguido leva ao resultado desejado.	[RF05] reinicializar aplicação exibindo declaração de incompatibilidade com dados mediante problema que requer mais de uma fórmula ou é incompatível com equações da cinemática. [RF06] limitar apresentação de resolução à identificação de fórmulas, exibição de equação armada e inserção de resultado final.
	D	4,62		
	K	4,86		
5	C	2,10	- Para contemplar a demanda por uma resolução rápida, direta e orientada ao resultado expressa na rejeição à adoção de percursos fixos (<i>C</i>) e ao enfoque nos processos (<i>G</i>), é apropriado limitar a definição de possibilidade de resolução proposta àquelas que envolvem o emprego de uma única fórmula: problemas de maior nível de complexidade, demandantes do emprego de diversas fórmulas serão declarados incompatíveis com a resolução, assim como problemas cujos dados não são consistentes com a estrutura das equações da cinemática. - Também endereçando esta demanda (<i>C</i>, <i>G</i>), é pertinente limitar a apresentação de resolução à identificação de fórmulas, definição de percursos e inserção de resultados, sem demandar do usuário a inserção, passo a passo, de cada número relativo às operações matemáticas envolvidas no problema.	[RF07] indicar grau de complexidade matemática do problema.
	G	2,11		
6	N	3,29	- Buscando dialogar com a estratégia discente de estabelecer uma ordem de resolução com base no grau de dificuldade das questões (<i>O</i>), pondera-se adequado que este grau de dificuldade seja informado quando os dados do problema forem inseridos. - Para contemplar uma dinâmica de uso caracterizada por contribuições de usuários diversos através de diferentes tentativas de resolução (<i>N</i>), é pertinente que seja disponibilizada a possibilidade de retornar ao passo anterior, em caso de inserção de resposta incorreta, para reinserção de resposta em nova tentativa.	[RF08] informar se cada resposta fornecida está correta com acréscimo de informe de conclusão e reinicialização da aplicação ao término da resolução. [RF09] permitir novas tentativas após respostas e escolhas incorretas.
	O	3,76		
1	F	4,51	- Dificuldades decorrentes de base matemática (<i>F</i>), associadas ao receio de não superação de dificuldades (<i>J</i>) podem ser minimizadas informando o usuário se valores ou escolhas inseridas estão corretos e permitindo novas tentativas em caso de erros. - A falta de segurança ao resolver as questões (<i>H</i>), associada a um eventual receio de não superação de dificuldades (<i>J</i>), pode ser minimizada informando o usuário, de modo ininterrupto ao longo da resolução de um problema, se o procedimento em execução está no caminho da solução. - O nervosismo (<i>M</i>) suscitou requisito(s) específico(s) por não ser majoritariamente apontado como aspecto prejudicial à resolução de problemas. Porém, está contemplado, enquanto aspecto eventualmente insurgente, na segurança quanto à garantia de uma resolução correta conforme demais requisitos deste fator.	[RF10] informar se percurso algorítmico permite o alcance do resultado correto
	H	4,51		
	J	3,60		
	M	2,66		
3	E	2,63	- A apreciação por incentivo (<i>Q</i>) e euforia resultantes do êxito na resolução (<i>I</i>) podem ser contempladas na exibição de mensagens de estímulo/congratulações mediante a inserção de respostas corretas e mensagens de motivação mediante escolhas incorretas. - O entusiasmo para estudar mediante o êxito acadêmico (<i>E</i>) não produziu requisito(s) específico(s) por não ser majoritariamente apontado como aspecto pertinente. Todavia, está contemplado, enquanto aspecto eventualmente insurgente, nos demais requisitos listados, ao visarem o êxito acadêmico na resolução dos problemas.	[RF11] exibir mensagens de congratulações mediante escolhas corretas. [RF12] exibir mensagens motivacionais mediante escolhas incorretas.
	I	3,13		
	Q	3,57		

Fonte: elaboração do autor

percursos fixos e preferência pela busca por atalhos que simplifiquem a resolução. Também denotam desinteresse na explicitação de processos. Buscando contemplar estas demandas por resoluções consistentes, porém rápidas, diretas e orientadas ao resultado, mostra-se pertinente limitar a definição de possibilidades de resolução sugeridas pelo artefato às que envolvem o emprego de uma única fórmula. É também consistente com esta demanda a limitação da apresentação da resolução de cada problema à identificação de fórmulas, definição de percursos e fornecimento do resultado final: sem exigir do usuário a inserção, passo a passo, de cada número relativo às operações matemáticas envolvidas no problema. Tem-se desta forma os requisitos RF05 e RF06: declarar incompatibilidade com dados mediante problema demandante de mais de uma fórmula ou inconsistente com equações da cinemática, e limitar a apresentação de resolução à identificação de fórmulas, exibição de equação armada e inserção de resultado final calculado.

A constatação de requisitos que contemplam individualmente mais de um item do questionário destaca o papel basilar e decisivo da análise fatorial na frente de ações objetivista. O agrupamento em fatores proveu os contextos, compostos por proposições inter-relacionadas, que permitiram a identificação de possíveis soluções direcionadas a conjuntos de itens coletivamente. Sem esta análise multivariada, a declaração de requisitos com base no exame dos itens isolados, ou agregados aleatoriamente, seria mais complexa e passível de resultados incongruentes com as dimensões que nortearam o design do artefato concebido.

6.3 Dados obtidos na perspectiva subjetivista

A segunda abordagem teve como ponto de partida declarado o término das ações da frente objetivista. Este encadeamento sequencial, descrito no Capítulo 5, ocorreu no que tange o início das observações participantes e entrevistas narrativas. Porém, a imersão e a implicação no ambiente, imprescindíveis à frente de ações enquanto abordagem metodológica, datam do contato inicial para apresentação da pesquisa aos participantes: momento de emergência das interações, percepções e apreensões que não apenas

habitaram, mas sobretudo nortearam o ímpeto inquisitivo da investigação cujos resultados tornam-se agora objeto de discussão.

O convite ao grupo para participação na pesquisa foi recebido com demonstrações de curiosidade – “tu tem quantos anos?” – e descrença – “impossível fazer eu aprender isso”. Houve também manifestações audaciosamente honestas de entusiasmo – “melhor do que ter aula” – a despeito de explanações acerca da não interferência das atividades do projeto na carga-horária e na regência do conteúdo trabalhado nas aulas, conforme pontuado no Capítulo 4. Mediante o contato com a realidade da pesquisa, esta euforia arrefeceu, assim como a curiosidade inicial dos estudantes, desconstruída pela convivência ao longo das semanas seguintes.

Já a descrença, em contraponto à curiosidade e ao entusiasmo, manteve-se significativamente presente. É possível afirmar que esteve implicitamente demarcada nas falas dos estudantes nas entrevistas semiestruturadas da frente objetivista, em pontuações pouco otimistas como a da estudante R. L. – “essas dificuldade é ruim você superar” – cujo contexto de ocorrência foi transcrito e discutido na subseção anterior. O ceticismo no êxito acadêmico, decorrente de visão crítica acerca da própria base educacional, figurou ainda na fala de H. G., também previamente discutida: “porque se tu não sabe, não tem uma base [...]. Aí, vai fazer o que?”. Esta problemática se mostraria fundamental para compreender o grupo, conforme ficará demonstrado nas próximas subseções.

6.3.1 Da desacomodação à vivência em uma frequência compartilhada

Conforme planejado, as observações participantes e entrevistas narrativas ocorreram apenas a partir da efetivação da imersão; do pertencimento, em alguma medida, àquele contexto. Uma mudança gradual de postura por parte dos estudantes contribuiu para a formação deste juízo: o uso de linguagem informal ou mesmo chula no âmbito de situações corriqueiras em meio a rodas de conversa caracterizadas por comentários politicamente incorretos, ou críticos a outros colegas e membros da comunidade escolar, foram tomados como indícios sólidos de que os sujeitos encontravam-se ‘à vontade’ com a presença de uma pesquisa em andamento.

Este deslocamento dialoga com Groes-Green (2014) no que tange a explicitação de posicionamentos percebidos como íntimos ou sensíveis por sujeitos de pesquisa: recusada no campo discursivo da relação formal ou institucional com um interlocutor-pesquisador; e viabilizada na imersão que propicia, pela relação entre 'iguais', a emergência do campo discursivo das vivências cotidianas. É possível compreender este fenômeno através do prisma epistemológico da pesquisa subjetivista, que adere à ideia de implicação do pesquisador, preconizando-a como constitutiva de um instrumental de construção de conhecimento acerca de aspectos inerentes às relações humanas e sociais indetectáveis por meio da lógica de isenção, neutralidade e impessoalidade comumente vinculada à tradição científica positivista e seus desdobramentos (LAVILLE; DIONNE, 2007). Assim, a experiência de abertura progressiva por parte dos participantes desta pesquisa permite argumentar em favor de abordagens de investigação imersivas em contextos educacionais quando o objeto estudado se mostra mais acessível pela via da sensibilidade às vivências cotidianas.

A primeira aproximação visando uma observação participante nesta perspectiva se deu em um intervalo que antecederia uma aula de Física. O grupo abordado era composto por quatro rapazes, todos sentados em carteiras em torno da mesa reservada ao docente perante o quadro. Havia um caderno aberto sobre a mesa e um dos estudantes retirava pequenos pedaços de papel que costumam ficar presos ao espiral quando folhas são arrancadas da estrutura. Todos olhavam para o conteúdo estampado nas folhas. Estes estudantes foram escolhidos porque dois deles haviam declarado espontaneamente nas fases anteriores da pesquisa ter interesse pela disciplina, e o contexto parecia propício à ocorrência de trocas pertinentes à investigação.

Porém, as expectativas de presenciar interações acerca do componente curricular, do conteúdo que seria discutido na aula, ou mesmo uma tentativa de resolução de exercício naquele caderno aberto, foram frustradas. O tópico em discussão era a campanha do Santa Cruz Futebol clube no campeonato pernambucano, e no caderno despontavam letras desenhadas que remetiam à estética do grafite. “E aí? Beleza? Vocês vão ter aula de que agora?”: a esta pergunta se seguiram respostas divergentes, até que um dos jovens decidiu

verificar o quadro de horário em seu caderno e constatou que nenhum deles respondera corretamente, o que resultou em gargalhadas por parte de todos antes de retornarem à discussão futebolística. Nenhum deles sabia que aula estava prestes a ter. Antevia-se assim o desafio de obter reflexões, sobre aprendizagem e em profundidade, de participantes eventualmente desinteressados ou pouco afeitos a tal exercício.

A leitura desta experiência inicial foi de que os fenômenos não se manifestariam espontaneamente com a nitidez e o grau de explicitação almejados: “nem todos os fenômenos podem ser observados nas situações” (FLICK, 2009, p. 213) da forma que deseja o investigador. Por outro lado, a imersão nas vivências cotidianas de um grupo permite identificar e dialogar com a linguagem e demais formas de expressão das quais são signatários. Assim, a Etnografia contempla a emergência de cenários não idealizados – como estudantes que não estudam, e cadernos que não contém anotações de aulas – através da supressão de preconceitos e incorporação à condução da pesquisa de premissas que se revelam no campo, mesmo que improváveis ou não previstas (BECKER, 2008).

Além de conceber que a pesquisa se adapte ao que os participantes tem a expressar, e não o inverso, esta situação demonstrou também a necessidade de ‘negociar’ com os mesmos as observações e entrevistas (FLICK, 2009; BEAUD; WEBER, 2014): visando não a construção de roteiros, mas a indicação das ocasiões mais oportunas à aproximação, e propícias à ocorrência de fenômenos de interesse. Esta estratégia contribui para a obtenção de dados mais significativos e é consistente com o que Yin (2016) denomina a “conduta pessoal” (p. 106) do pesquisador. Esta deve ser caracterizada por uma atuação não intrusiva de respeito às rotinas, atividades e atenção ao feedback fornecido pelos sujeitos.

Assim, a primeira interação significativa em profundidade no âmbito da frente subjetivista foi com o estudante J. S., de 16 anos. Foi um dos presentes à discussão futebolística narrada acima, e que já havia declarado interesse pela Física. Após alguma ‘negociação’, ele concordou em submeter-se a uma entrevista narrativa. Revelou que tinha a intenção de resolver um exercício designado por seu professor durante um dos horários de aulas-estudo, e que

poderia convidar um colega com quem costuma estudar, para que pudessem demonstrar como costumam trabalhar a resolução de problemas.

6.3.2 Descrença e defasagem enquanto traços e alegações

A entrevista em questão ocorreu, conforme agendamento, no laboratório de informática. Questionado sobre como gostaria de iniciar a conversa, J. falou seu nome completo e afirmou ser aluno da escola, como que se dirigindo a uma audiência televisiva. Perguntou então por onde começar, e mediante a sugestão de falar sobre um sentimento que considerasse pertencente ao escopo da temática da conversa, revelou: “eu tenho o sonho de ser engenheiro. Tem a ver com Física, né? Eu queria ser engenheiro, sendo que eu sou de escola pública e minhas nota são mais ou menos”.

Antes mesmo de uma pergunta gerativa remetendo a experiências passadas conforme proposto por Flick (2009), a solicitação despreocupada feita ao discente, para iniciar a conversa como julgasse adequado, desvelou uma perspectiva pessimista caracterizada pelo ceticismo no próprio sucesso acadêmico. Para a abordagem de pesquisa narrativa, esta manifestação inicial qualificada como contextualização (ELLIOTT, 2005) tem potencial de definir em grande medida os rumos e a natureza da construção da história de vida que se segue. Uma premissa básica da teoria narrativa é que o tempo inerente à narração, denominado *diegético*, comumente não corresponde ao tempo cronológico no que tange a duração e a sequência de apresentação dos fatos (GENETTE, 2005; STANZEL, 1998). A fala discente, indomada em sua não conformação ao ponto de partida discursivo planejado – descrito no capítulo anterior – revelou-se decisiva na proposição de um direcionamento temático incorporado ao diálogo na perspectiva de uma abordagem subjetivista.

[quando] você se julga obrigado a seguir e respeitar (mesmo de forma frouxa) uma ordem de questões. Não está inteiramente atento aos propósitos do pesquisado, não pode seguir de perto seu olhar, sua atitude, seus gestos. Ao invés de estar de verdade à escuta de seu interlocutor, está sempre preocupado com seu roteiro, inquieto por ver a ordem das questões perturbada pelas digressões do entrevistado que infringem o protocolo a seguir [...]. Nessas condições, nenhuma hipótese nova sairá de suas entrevistas. Terá esterilizado por antecipação a fecundidade do instrumento de pesquisa (BEAUD; WEBER, 2014, p. 135).

Confrontado com o fato de que teria tempo para melhorar seu desempenho até o final do Ensino Médio e que há estudantes de escolas públicas aprovados em faculdades de engenharia, o estudante concordou. Porém, após alguns segundos de silêncio, observou que “isso quando tu vê, é pessoa que sempre estudou muito, conseguiu ter uma base, ou senão, teve sorte... também tem isso... sorte, mesmo: quando as coisa acontece e, as coisa dá certo”. J. foi aluno da rede pública ao longo de toda sua vida. Afirma ter tido um desempenho razoável em matemática e ciências até meados do Ensino Fundamental – “não era um aluno 10, mas bora botar assim: 7,5; 8,0... tranquilo”. Em algum momento, não sabe exatamente quando, passou a enfrentar dificuldades para compreender os conteúdos, que considera não terem sido sanadas pela estrutura de professores, aulas, materiais didáticos e apoio pedagógico de um modo geral, disponibilizada a ele.

Quadro 14 – Transcrição em destaque H

J. S.: o livro não tem tudo, dá uma explicação mais geral, mas o caso específico que o cara tem dúvida, aí, nêgo, pode ir ver, não tem. Na internet a mesma coisa. Aí tem palestra, pra ensinar a estudar pela internet, fala um monte de coisa, um monte de coisa... que lá tem, tem muito conhecimento. Mas quando tu vê, tem um monte de conversa... um monte de conversa, mas a questão mesmo que o cara tem dúvida, que o cara quer, aí não tem. Aí, [alguém] vem [dizer] 'ah, esses menino quer é nada', mas tu acha que o cara não quer porque ele quer? Tu acha que ele não tentou [querer]? Falar umas conversa, 'pega o livro, chama os amigos, estuda na internet', aí é fácil... por isso a galera desiste. Nem tentar, tenta.

Fonte: elaboração do autor

Este relato se aproxima de diversas questões tratadas na revisão bibliográfica apresentada no Capítulo 4, abordadas inclusive nas subseções anteriores no contexto da discussão dos dados obtidos na frente objetivista, com os quais também dialogam. O baixo rendimento, a dificuldade com os conteúdos da disciplina, assim como certa sensação de impotência decorrente do aspecto complexo dos cálculos e fórmulas: todas estas problemáticas, referendadas na literatura, foram detectadas também pelo questionário. Porém, a natureza angustiada da animosidade de quem se considera desassistido por uma estrutura, a qual não julga ser capaz resgatá-lo, é acessível apenas por meio de um olhar voltado para a dimensão subjetiva dos fenômenos humanos.

A dificuldade de beneficiar-se de recursos de apoio ao aprendizado como livros e sites da internet aponta para um problema de acessibilidade

pedagógica considerando este perfil de estudante. Está relacionada às já discutidas deficiências matemáticas de base, que tenderão a acompanhar os discentes em sua trajetória após a Educação Básica (SANTAROSA, 2013) e resultam nos baixos índices de desempenho dos estudantes secundaristas, discutidos por Gonçalves Júnior & Barroso (2014) e Carlos (2016). Cabe destacar também uma possível associação entre a inabilidade de usufruto dos recursos da web enquanto ferramentas de aprendizagem e uma lacuna no desenvolvimento de competências informacionais: a capacidade de usufruto efetivo de ferramentas das Tecnologias da Informação e Comunicação no contexto de práticas sociais que as demandam consiste em um letramento que, assim como o tradicional letramento alfabético, está profundamente atrelado à vivência educacional dos indivíduos (NUNES, 2018).

Tal cenário se reflete em uma indisposição por parte do estudante para com o provimento de soluções genéricas frente a uma aparente dificuldade em transpô-las para os exercícios específicos que deseja resolver. Este dado permite conceber uma abordagem de enfoque aplicado à resolução de problemas específicos, de modo a contribuir para uma melhoria de desempenho tangível. Faz-se pertinente também, nesta ótica, o emprego de estratégias de facilitação visando tornar os conteúdos e soluções dos problemas mais acessíveis, dialogando com uma proposta usualmente adotada por livros didáticos: simplificar os exercícios propostos em um primeiro momento a fim de prover a prática e a base necessárias ao desenvolvimento posterior de soluções mais complexas.

A entrevista com J. progrediu para a observação de uma resolução de exercício com a chegada de seu colega W. F., de 15 anos, conforme negociado. De mesma idade, a dupla era contrastantemente diferente em foco e maturidade. W. aceitou um convite para ser entrevistado dias depois. Sonhava ser programador de jogos digitais, o que pressuporia certa disposição em relação às ciências exatas. Porém, o diálogo se revelaria pouco produtivo dada a ausência de desenvoltura argumentativa – ou interesse – por parte do estudante, para colocar-se, reflexivamente, acerca do fenômeno investigado. Perguntado acerca de sua trajetória escolar, sobre o que achava, ou como se sentia, W. fornecia respostas evasivas, monossilábicas ou alegava não saber:

um transcurso reconhecidamente adverso à obtenção de dados em uma entrevista em profundidade, conforme pontua Yin (2016).

A circunscrição de episódios desta natureza à frente subjetivista permitiu relacionar sua não ocorrência anteriormente, nas entrevistas semiestruturadas, ao caráter objetivo das perguntas então colocadas. É importante destacar, a partir desta experiência, que a aplicação de abordagens em profundidade a sujeitos participantes em processos de design deve levar em consideração a demanda por alguma capacidade de autorrelato voltada para a própria subjetividade. Isto pode reduzir o número de participantes – a depender de fatores como idade, maturidade ou mesmo desejo de interagir – propensos a prover os dados buscados: “todos os pesquisados não são entrevistáveis. Há condições sociais para esta tomada de palavra que é a entrevista aprofundada” (BEAUD; WEBER, 2014, p. 127). Assim, mesmo a postura de abertura às formas de expressão dos sujeitos para além de expectativas e idealizações, conforme discutido anteriormente, pode não assegurar uma entrevista rica em material para análise. Todavia, a inexistência de sintonia com a natureza comunicacional das entrevistas não implica na incompatibilidade com situações de observação direta ou participante, conforme demonstrado por W. ao resolver o problema proposto com o colega J.

O exercício em questão tratava de um veículo em movimento, com aceleração constante, fornecida juntamente com valor do deslocamento e a informação de que partira do repouso. A indagação acerca da velocidade atingida apontava claramente para a resolução pela equação de Torricelli, apresentada no Capítulo 4. A dupla deu início à tentativa com a leitura do enunciado. “Eita, acho que esse eu tô ligado”, irrompeu W. passando rapidamente as páginas de seu caderno à procura da equação que acreditava ser a chave para a solução – até ser interrompido por J., que apontava para a contracapa de seu caderno: “eu botei aqui”. Concluíram, aparentemente de modo aleatório, que a equação da função horária do deslocamento do Movimento Retilíneo Uniforme, que sequer contempla aceleração, seria adequada à resolução.

Dada a natureza participante da observação, tendo como constitutiva a implicação do pesquisador, coube intervir: “Calma, primeiro vamo organizar. Coloca as fórmulas aqui nesse papel pra gente visualizar tudo, né? Escreve

tudo. Aí fica mais fácil olhar pra elas e pro problema, pra vocês decidirem qual vão querer usar”. Após alguns minutos de pesquisas nos próprios cadernos, a solicitação fora atendida. “Agora o mais importante, que vocês vão me dizer: ele tá pedindo o quê?”. W. então limitou-se a reler o enunciado em voz alta. Informado que não havia respondido devidamente a pergunta, e confrontado novamente com o mesmo questionamento, tornou a reler o enunciado e declarou: “Sim, tá aí o que ele tá pedindo”.

Diante do impasse, os estudantes foram orientados a escrever em separado as variáveis identificadas no problema e seus valores, para facilitar a visualização da informação. Devido a uma aparente relutância por parte deles, deu-se nova intervenção: “vê, que valor é esse? Esse número é o quê?”. J. então respondeu corretamente tratar-se do valor relativo à aceleração, e seguiu indicando, provocado por sucessivas perguntas, os demais valores e variáveis citadas no enunciado, incluindo a que deveria ser calculada para chegar à solução. “Eu não tinha entendido o que tu tava perguntando, o que a pergunta tava pedindo”. Indagado se achou esta parte preliminar da resolução difícil, afirmou que não, e atribuiu a demora em compreender à defasagem educacional alegada anteriormente na entrevista narrativa: “sem base, o cara já começa lá atrás”.

Após a identificação das variáveis e seus valores, um novo obstáculo se apresentou: perguntados qual das fórmulas seria a mais adequada à resolução, pareciam emitir palpites aleatoriamente, sem reflexão acerca das relações entre os conceitos expressas nas equações. No entanto, quando provocados a identificar as variáveis trabalhadas em cada fórmula, em comparação àquelas presentes no enunciado, previamente anotadas em separado, responderam corretamente. Os cálculos fluíram sem entraves, porém as dificuldades com a matemática se fizeram presentes, caracterizadas pela insegurança expressa em sucessivas solicitações de verificação de erros a cada operação numérica realizada: “tá certo essa parte?”, perguntavam.

Esta observação registrou uma manifestação inequívoca dos problemas tratados na literatura, que se colocam como demandas de aprendizagem: análise de dados de enunciados (BRASIL, 2018a), e também na identificação das fórmulas e compreensão das relações entre os conceitos (FEYNMAN, 2008). Cabe destaque também à leitura expressa pelo participante J. acerca da

experiência vivenciada na observação, que fortalecia sua narrativa sobre a defasagem resultante de uma estrutura que acreditava ser incapaz de resgatá-lo: o exercício resolvido, como os livros e sites da internet, foram pensados para estudantes minimamente nivelados. Aos demais, caberia uma largada nas últimas posições, conforme pontuara.

6.3.3 Crenças sobre si aconselhadas por condições limitantes

Da conversa com W., pouco produtiva do ponto de vista narrativo-discursivo conforme relato acima, partiu a indicação de A. C., colega de outra turma, para uma entrevista: elogiado por sua habilidade escrita e interessado nas humanidades, apresentava um perfil distinto dos protagonistas da subseção anterior. Este encaminhamento reflete a adesão à proposta de amostragem teórica em amplitude e cadeia (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006; FLICK, 2009), trazida no Capítulo 5 na perspectiva da concepção epistemológica de uma amostra qualitativa (BECKER, 2007). A busca por A., frustrada em um primeiro momento, levou ao corredor de acesso às salas de aulas, onde ocorria uma discussão acalorada envolvendo dois rapazes e duas moças.

“A gente não tá brigando, não”, disse uma das meninas, questionada sobre o volume das vozes na conversa, complementada pela amiga, aos risos: “isso é a gente conversando normal”. Elas tentavam convencer os colegas a planejar e dividir atribuições na elaboração de um trabalho de História. Um dos estudantes pretendia fazer uma atividade de matemática e tratar do trabalho em questão em outra ocasião. O quarto sujeito mantinha-se em silêncio. Pareceu estrategicamente adequado a um observador participante estimular a conversa durante alguns minutos, perguntando sobre os conteúdos trabalhados naquelas disciplinas, para então sugerir: “E Física? Tem algum trabalho ou exercício pra resolver?”. As respostas vieram em forma de caretas e risadas.

“Em Física, a gente só perturba! A gente é burra!”, disse aos risos elevando novamente a voz e sendo mais uma vez complementada pela amiga: “em Matemática também”. “Mas Física é pior”, observou. O convite para uma entrevista ou resolução de exercício acompanhada fez com que as garotas trocassem olhares seguidos de risadas, deixando clara a total ausência de

apelo, para elas, da proposta. A falta de interesse nos estudos associada à indisciplina e a baixos desempenhos foi uma tratada no Capítulo 4 com base em Santos, Nascimento & Menezes (2012) e em dados do PISA (OECD, 2013). Porém, o desejo de fazer o trabalho de outra disciplina revelava um desinteresse localizado, relacionado a dificuldades de aprendizagem expressas no uso do termo 'burra' pelas estudantes ao se descreverem. A relação entre desempenho, disciplina e autopercepção é documentada na literatura: há uma tendência do espaço escolar de marginalizar estudantes por meio de "seleção, concentração e segregação da população escolar, sendo a indisciplina um dos critérios utilizados nesses processos" (MATOS; FERRÃO, 2016, p. 618). O que emerge como dado peculiar na fala das discentes é a aparente fluidez destes grupos, que aponta para a possibilidade de ser 'marginal' em uma disciplina e aplicada em outra.

Após as meninas se afastarem, o colega que declarara interesse em resolver problemas matemáticos anunciou que procederia a esta tarefa, restando o jovem L. S., que até então permanecera calado. Indagado por que não opinou durante a conversa, L. também declarou-se 'burro', ressaltando que não por sua própria culpa. Sua voz e semblante não denunciavam qualquer incômodo com o traço negativo atribuído a si. Completou, enigmaticamente, que havia diferentes tipos de 'burrice'. A possibilidade de um mergulho reflexivo nesta percepção rendeu ao estudante o convite para uma conversa, ao qual reagiu: "só conversa ou resolver exercício?". Após ser informado que poderia ser apenas uma conversa, se assim desejasse, ele concordou em tornar-se o próximo informante do estudo.

O local da entrevista foi novamente a sala de informática. A mesma provocação feita anteriormente ao estudante J. foi colocada para L.: iniciar com um pensamento ou sentimento que considere pertinente ao tema da conversa. Após alguns segundos de silêncio, pontuou: "eu tenho 16 anos, mas eu não repeti, não. Eu não repeti". Seguiram-se mais alguns momentos de silêncio. "É que eu só comecei depois. Era minha vó, aí ela não pode fazer logo a matrícula, que era pra fazer". A fala remetendo ao ingresso no sistema de ensino foi consistente com a proposta das histórias de vida de partir de vivências antigas (MARTINS; THEÓPHILO, 2019).

A solicitação para que L. adentrasse o campo de suas memórias enquanto estudante revelou um perfil semelhante ao dos demais jovens da escola – do ponto de vista socioeconômico, conforme tratado no Capítulo 4 na perspectiva do Inse (BRASIL, 2015); e também na perspectiva de suas vivências: educação formal restrita à rede pública; sem acesso a quaisquer bens de consumo que viessem a contribuir para sua formação, como viagens ou cursos de idioma. Nunca fora estimulado à leitura, tampouco teve qualquer acompanhamento ou supervisão por parte da família no que diz respeito aos estudos. Acredita que seria cobrado apenas se repetisse o ano. L. reconhece que nunca teve um desempenho excelente, e assim como J., passou em algum momento a ter maiores dificuldades com os números e cálculos.

Quadro 15 – Transcrição em destaque I

Pesquisador: mas tu acha que tem a ver, o histórico da tua vida em casa, com o histórico do teu desempenho na escola?

L. S.: [silêncio] tinha um jogo... um jogo... era... não tem ele aqui [~ mostra o celular ~] porque não pegava, mas era tipo um jogo. De conhecimento da pessoa, que tinha que responder, as pergunta que tinha. Aí aparecia: esporte, países, pessoas famosas tinha também...

Pesquisador: como assim? Tipo aquele do milhão?

L. S.: mais ou menos, só que... sendo que, era como se ele separasse, aí podia escolher. O assunto. Aí escolhia. Depois eu te mostro pra tu instalar... pra tu jogar, se tu quiser. Aí tu vê. Nesse teu celular dá. Só que... [silêncio]. Minha prima tinha um namorado, um namorado que era boyzinho: tênis bom, colégio bom, celular, e pá, bolado... assim, tô dizendo, mas ele era limpeza, ele. O bicho era limpeza que só. Só que ele não passava por média, não, ele, tá ligado? Assim, não era inteligente, era só normal, só. Mas ele toda vez acertava as pergunta, o miserável. Toda vez. Aí tinha: qual esporte a galera joga em tal lugar. Como é que eu vou saber? Eu nunca fui lá, eu sei nem onde é isso. Qual a fêmea do bicho 'tal'? Isso não é matéria, tá ligado? Não tem essa matéria que o cara estuda isso... aí ele sabia e a gente [dizia]: 'porra, se garante demais no jogo'. Aí eu fiquei pensando, tá ligado? Pensando por que só ele ali sabia, por que eu não sabia aquelas coisa...

Pesquisador: mas como se tu sente em relação a isso?

L. S.: ah, pai, aí... posso fazer nada, só posso fazer só o que tá no meu alcance.

Fonte: elaboração do autor

Ficou claro que o estudante se referia ao desempenho, e não à sua inteligência, ao rotular-se como 'burro': é nesta ótica que afirmara haver diferentes tipos de 'burrice', acrescentando que, em seu caso, não era culpado pela própria situação. Para ele, como também para J., o ponto de reflexão ou avaliação de trajetória, considerando a análise estrutural da narrativa (GEE,

2001; ELLIOTT, 2005) foi a chegada à conclusão que estariam largando nas últimas posições. Por outro lado, seus desfechos divergem na emergência de uma coda narrativa permeada por resignação e desesperança no relato de J., enquanto para L. foi enfatizado o potencial de sua descoberta de eximi-lo da responsabilidade por um baixo desempenho e suas eventuais consequências.

O mergulho reflexivo empreendido revelava-se efetivo na atribuição de sentido à fala dos estudantes, de modo inconcebível no viés objetivista. O debruçar-se sobre vivências explicava atitudes, posicionamentos e lançava luz sobre um perfil de sujeito, facilitando a atenção a suas necessidades. Porém, o propósito do processo de design em curso demandava um olhar analítico especificamente sobre a resolução dos problemas. Como se mostrara contrário a esta ideia, a solução encontrada foi propor que L. mostrasse os exercícios feitos em seu caderno. O estudante concordou, alertando que haveria uma quantidade reduzida de material a ser observado. Um novo encontro com ele foi agendado para que se procedesse este propósito.

A análise das anotações de aulas de L. revelou uma desorganização semelhante à verificada nos cadernos de J. e W., expressa em fórmulas ‘espalhadas’ ao longo de diferentes páginas sem referência ao seu propósito, revelando desconhecimento de estratégias de facilitação dos estudos. O estudante afirmou que presenciara o professor escrevendo as equações lado a lado no quadro em diferentes ocasiões, mas não as copiou daquela forma porque já as possuía anotadas separadamente. Narrou também situações nas quais fez anotações em folhas em separado, e posteriormente as guardou, soltas, entre as páginas de seu caderno.

Havia também no caderno de L. cálculos rasurados, diversos dos quais revelando desistência em meio a resoluções que se mostraram mais complexas. O estudante foi apresentado ao término da conversa com um lápis e borracha, a fim de evitar os *band-aids*: rabiscos grosseiros cobrindo os erros, que ao predominarem especialmente, podem estimular a desistência da atividade. Um fenômeno similar relacionado ao uso da caneta, detectado junto a outros estudantes, foi o das folhas arrancadas mediante constatação de erro. Ambos remetem à problemática da desistência perante dificuldades matemáticas. Questionado sobre um problema abandonado, sem rasuras, e que estava na direção correta, disse tratar-se de um exercício feito com apoio

de um colega: “tinha chegado aí, mas tinha que botar também, parece, outra fórmula, pra poder resolver, aí eu deixei [pra lá]”.

Na visão dos estudantes, a maior causa de desistência nas atividades seria a dificuldade de identificação de um rumo a ser atribuído ao percurso de solução, que perpassa alegações como “não sei pra onde vai”. Neste episódio ficou patente no plano macro a baixa autoestima quanto ao potencial de êxito acadêmico no uso de termos como ‘burro(a)’, reflexo de históricos de baixo desempenho e acesso escasso a materiais, ferramentas de estudo e oportunidades de prática e aprendizagem. No plano específico da resolução dos problemas, a descrença no próprio potencial se manifestou na rejeição a atividades que demandam muitos cálculos matemáticos e o emprego de mais de uma fórmula; e também na desistência perante dificuldade de conceber ou vislumbrar uma solução ao final de uma sequência longa de cálculos.

6.3.4 Processos e interações mediados por impulsos e insegurança

Apenas uma semana depois do episódio da discussão no corredor, viria a ocorrer a entrevista com o estudante A., após algumas tentativas de agendamento frustradas por ausências do estudante às aulas, para as quais alegou problemas de saúde. A persistência em tê-lo como informante deveu-se mais à habilidade escrita relatada pelos colegas, do que ao potencial de seu perfil, tratado na subseção anterior, de agregar à amostra. A competência linguística permite que os participantes melhor “vocalizem suas próprias prioridades como parte de seu modo de descrever o mundo e a forma como o percebem” (YIN, 2016, p. 122). Cabe destacar neste sentido as relações, historicamente pesquisadas nos campos da Linguagem e da Psicologia, entre o desenvolvimento da escrita e atributos como sofisticação argumentativa e capacidade de abstração (OLSON, 1997).

A. iniciou a entrevista afirmando seu despreço por números, cálculos e às ciências exatas em geral, o que segundo ele, não o impedia sua dedicação a estas disciplinas. Foi o único entrevistado a não caracterizar o componente curricular Física como inerentemente difícil, descrevendo-o, entretanto, como uma experiência árdua devido à sua falta de vocação. Declarou possuir um rendimento escolar “menos ruim” do que parte de seus colegas. A trajetória de

vida do estudante é semelhante às relatadas pelos demais, exceto por um significativo apoio de sua mãe, que sempre o estimulou a ler revistas. O contato com lugares distantes nas páginas das publicações despertara nele o desejo de viajar, o que é consistente com sua dedicação à luz dos dados trazidos no Capítulo 4 acerca da perspectiva de participação pelos discentes no programa de intercâmbio Ganhe o Mundo (PERNAMBUCO, 2019). Acredita não ter vivenciado dificuldades envolvendo matemática em seus anos iniciais na escola e também relata um aumento de complexidade dos conteúdos ao longo do Ensino Fundamental: “acho que é do quinto pro sexto ano que dá um pulo. Vejo também pela minha irmã”.

Ao longo da conversa, A. foi convidado a responder um problema de grau de dificuldade semelhante ao resolvido por J. e W. Concordou e perguntou se havia regras, acerca da possibilidade de consultar fórmulas ou tempo limite para a resolução. Informado que poderia proceder como desejasse, o estudante escreveu as fórmulas na folha que utilizaria, evidenciando ter memorizado as funções horárias do deslocamento no MRU e da velocidade no MRUV, que seria utilizada no problema. Posteriormente, revelou lembrar as equações devido à sonoridade: *sovête*, que lembra o vocábulo ‘sorvete’ e *voate*, que lembra a expressão nordestina ‘vôte’. Sublinhou cada dado trazido no enunciado e procedeu à execução dos cálculos, chegando rapidamente à solução. Percebendo a surpresa perante sua atuação eficiente, pontuou: “também, tava tudo aí”, direcionando o olhar para a folha na mesa.

Quadro 16 – Transcrição em destaque J

Pesquisador: como assim? Explica aí como tu fez.

A. C.: tipo... é só tu ver, ver cada informação que tem. Aí aqui olhando as fórmulas, tem essa que, essa que usa tudo isso que tá dando [~ aponta para o enunciado ~] e fica faltando só aceleração, que é justamente o que ele tá perguntando, né? Nossa! [~ expressão facial de espanto seguida de risos ~]. Encaixa certinho, entendesse? Aí quando é assim, é de boa, tá ligado? A pessoa responder... porque responde rápido. Agora quando tem muita conta, ficar convertendo pra metro, ou então... ou então alguma informação meio disfarçada que a pessoa tem que [~ expressão facial de quem teve um insight ~]... ou quando tem que usar muita fórmula...

Pesquisador: sim, como fica nesses casos?

A. C.: ah, aí eu mesmo já não gosto! Primeiro que quando tem muito cálculo a pessoa não sabe se errou. Aí se quiser saber com mais confiança se é aquele

resultado mesmo, aí tem que ir voltando, olhando de novo, uma agonia! Sério, porque veja: a pessoa sabe que erra nas contas, então tem que voltar pra ver. Mas voltar é um saco, porque demora, porque é ruim se concentrar, a pessoa se perde. Cada coisa na conta que a pessoa faz, pode ter errado sem querer. Agora, por exemplo, se for em dupla, que vc tá resolvendo com alguém do lado, aí tem duas pessoas olhando, aí eu acho que já melhora.

Fonte: elaboração do autor

A. vocalizou um drama de sua geração ao relatar a necessidade contínua de revisão de cálculos decorrente de dúvidas e deficiências matemáticas frente à dificuldade de foco prolongado numa tarefa. Foi também perspicaz ao ressaltar a indicação explícita no enunciado dos dados necessários à resolução, facilmente verificáveis através da leitura. Por outro lado, sua estratégia de obtenção de resultados consistindo no processamento de valores numéricos inseridos nas fórmulas com base nas variáveis identificadas no enunciado remetia ao que Peduzzi & Peduzzi (2006) denominaram resolução não significativa, trazendo dúvidas quanto ao domínio conceitual por trás dos procedimentos mecanicamente executados. Perguntado sobre a dimensão teórica dos conteúdos, o estudante discorreu superficialmente sobre as relações espaço/tempo e velocidade/tempo, no que tange, respectivamente, os conceitos de velocidade e aceleração. Afirmou que por não ter interesse na disciplina, limitava sua dedicação à resolução dos exercícios necessários a um bom desempenho nas provas, o que reforça a tese da perspectiva de realização de um intercâmbio como fator de motivação de sua dedicação.

Outro ponto de destaque na fala do estudante foi a colaboração. No contexto da aprendizagem da Física, a resolução de problemas a partir de discussões em grupos é consistente com uma abordagem interdisciplinar de enfoque em questões da sociedade e do cotidiano, em sintonia com as competências elencadas na BNCC (BRASIL, 2018a). A interação entre pares é também preconizada por diferentes teorias da aprendizagem contemporâneas. Assim, a pertinência da resolução colaborativa também pode ser compreendida na perspectiva da evolução histórica da abordagem pedagógica da resolução de problemas à luz dos pensamentos vigentes no campo educacional (FÁVERO; SOUSA, 2001). Já Peduzzi & Peduzzi (2006) citam a importância de discutir a resolução de problemas individual e em grupo, considerando as vantagens e desvantagens de cada modo, o que permite depreender o

entendimento de que ambas as formas apresentam benefícios e lacunas, que poderão ser transpostas se utilizadas de forma consciente e complementar.

Com base em sua observação acerca do apoio entre pares, A. foi provocado a convidar outro estudante para resolverem conjuntamente um problema no contexto de uma observação direta. Porém, a colega que aceitou este convite apresentou uma atitude passiva, com intervenções tímidas e pontuais, enquanto A. reproduzia a performance individual já demonstrada. As resoluções em colaboração vivenciadas no loco assumiram essencialmente duas configurações: um estudante dominante acompanhado de outro menos ativo ou dois estudantes engajados, porém de ímpeto limitado diante da presença de um observador a quem recorrem buscando orientações, como J. e W. anteriormente.

É fundamental ressaltar que a adoção circunstancial de um papel menos ativo não implica em não beneficiar-se da ação conjunta: a noção de colaboração, em evidência no contexto de profusão do uso de espaços virtuais como ambientes de apoio à aprendizagem, contempla a observação analítica das contribuições dos pares como fator importante para a construção de uma compreensão dos conteúdos (HARASIM *et al.*, 2005; BATES, 2016). Porém, não é possível fazer maiores afirmações, a partir das vivências registradas, acerca da natureza dos papéis assumidos na colaboração, e de suas plausíveis relações com diferenças de conhecimento entre os envolvidos ou ainda a com presença eventual de um observador.

A atuação tímida da estudante indicada por A. também ressaltou a demanda por um incremento na participação feminina, havendo sido até então majoritariamente masculinas as falas com maior potencial para análise em profundidade. Esta constatação se mostrou consistente com o dado trazido no Capítulo 4 acerca de um maior distanciamento da matemática e das ciências exatas detectado no gênero feminino (CARMO; FERRAZ, 2012). No campo, este fenômeno se refletiu na falta de interesse em conversar sobre Física por parte de parcela significativa das estudantes, mesmo dentre as que se mostraram solícitas e receptivas durante atividades anteriores, como a aplicação do questionário. Duas delas concordaram em submeter-se a uma entrevista, desde que não precisassem resolver exercícios. Porém, os

depoimentos mostraram-se vagos, evasivos e argumentativamente pouco robustos, como ocorrera com W.

Os cadernos que estas discentes concordaram em mostrar possuíam notadamente menos conteúdo do que os demais observados durante a pesquisa. Um deles mostrava anotações no âmbito de outras disciplinas contrastando com a escassez de informações no espaço reservado à Física, que continha algumas poucas fórmulas e definições, sem problemas resolvidos ou quaisquer operações matemáticas. O caderno da outra estudante retratava um interesse infrequente em todas as disciplinas de modo indiscriminado. Ambas declararam não manter fotos, anotações em dispositivos móveis ou outros registros dos conteúdos estudados.

A estudante que veio a ter a participação mais expressiva foi S. M., detentora de um perfil peculiar: embora não fosse reconhecidamente aplicada, demandava silêncio dos colegas e era nitidamente prestativa ao arrumar carteiras retiradas das fileiras nas salas de aula e oferecer ajuda a professores – ou pesquisadores em imersão – para carregar seus materiais. Alegava gostar de “fazer as coisas”. S. distinguiu-se dos colegas, em trajetória de vida, ao descrever o pai como seu maior incentivador, embora este, sem estudos, tivesse pouco a oferecer em termos de apoio ou acompanhamento acadêmico, corroborando os dados do Inse (BRASIL, 2015) trazidos no Capítulo 4 acerca da escolaridade dos pais dos jovens pesquisados. A estudante também desejava ingressar em um curso técnico-profissionalizante, perspectiva não expressa por nenhum de seus colegas de série.

S. foi contramajoritária ainda como a única discente a afirmar que preferia tentar resolver um problema a ser entrevistada. Alegou não gostar de “ficar falando”, e não saber o que dizer. O problema apresentado a ela foi mesmo respondido por A. Porém, o desempenho de S. nos primeiros momentos assemelhava-se mais ao de J. e W., caracterizado por hesitação e insegurança. A sugestão para escrever as fórmulas não chegou a ser finalizada por interrupção da própria participante – “certo, certo!” – que executou imediatamente o procedimento proposto e passou a observar o enunciado.

Perguntada sobre como daria prosseguimento à resolução, apontou para a equação da função horária do deslocamento no MRU. Ao ser informada do erro em sua escolha, exigiu explicação demonstrando não estar convencida. A

explicação sobre a fórmula ser adequada para situações em que a velocidade é constante e não contemplar a aceleração, pedida na questão, foi abruptamente interrompida pela estudante quando percebeu o erro que cometera, retornando à resolução: “ah tá, tá, eu sei, já sei”. Cada passo seguinte consistiu em uma tentativa impulsiva acompanhada de pedido de confirmação da adequação do procedimento executado. A tomada de conhecimento do erro antecedia tentativas de identificar e reparar o problema sem ajuda, por alguns segundos. Em caso de insucesso, sucedia-se a solicitação de orientações, bruscamente interrompidas pela discente ao cumprirem seu papel, permitindo que voltasse de imediato à resolução.

As respostas impulsivas, também presentes anteriormente na resolução de J. e W., apontam para “uma aprendizagem prática, típica desta geração que cresceu ao ritmo das TIC e aprendeu por tentativa e erro a manipular as tecnologias e a desenvolver as suas competências” (ROBERTO; FIDALGO; BUCKINGHAM, 2015, p. 51). As interrupções da estudante, minimizando ao máximo a fala de seu interlocutor e buscando mantê-la ativa como protagonista do processo em curso, também apontam para este perfil, sintonizado a uma demanda por mudança de paradigma no campo da Educação: “os estudantes de hoje estão entrando em um mundo no qual necessitam de um sistema de ensino centrado neles” (HORN; STAKER, 2015, p. 8).

Após o primeiro exercício, S. perguntou se poderia permanecer o restante do horário na sala de informática resolvendo mais problemas. As demais resoluções ocorreram com progressiva melhoria de desempenho da discente, visto que as tarefas eram muito semelhantes em termos de estrutura e complexidade matemática. Ficou clara a relação entre êxito e interesse, mediada pela continuidade do fluxo de resolução. Obstáculos aparentemente intransponíveis e oferta de ajuda insuficiente ou inexistente resultaram no abandono da tarefa. Por outro lado, o apoio na execução e a eventual revelação estratégica de partes da solução contribuíram para manutenção do engajamento.

Outras entrevistas, observações de conversas, resoluções de exercícios e análises de registros de aulas dos estudantes foram ainda realizadas, porém aspectos já detectados do fenômeno passaram a preponderar paulatinamente. Foram perceptíveis ao longo da pesquisa elementos que se reprisavam na

convivência com diferentes estudantes: descrença no próprio potencial de êxito; resoluções por tentativas; necessidade de orientações e confirmação de correção dos cálculos realizados, entre outros. Desta forma, o decréscimo progressivo de novos dados indicou um ponto de saturação (FLICK, 2007), concebido no capítulo anterior como marco do encerramento das ações da frente subjetivista.

6.4 Requisitos funcionais do protótipo 'B'

As funcionalidades do artefato 'B' foram definidas de modo semelhante às do artefato 'A' no que concerne a transposição dos dados da frente de ações para o índice de requisitos. As funcionalidades propostas, considerando-se a função total apresentada no Capítulo 4 conforme já discutido, tiveram também como ponto de partida o requisito RF01, relativo à inserção de dados do enunciado. A natureza do apoio fornecido pela aplicação aos estudantes remete aos dados obtidos na frente de ações subjetivista, discutidos nas subseções anteriores.

As dimensões da resolução dos problemas projetadas na perspectiva objetivista através da análise fatorial podem ser pensadas analogamente às perspectivas analíticas do arcabouço teórico da pesquisa etnográfica (SAMPLERI; COLLADO; LUCIO, 2006), cuja aplicação à frente subjetivista foi tratada no capítulo anterior: (1) Características e (2) Alegações do grupo; (3) Crenças e padrões de conduta; (4) Condições de vida e vivência educacional; (4) Interações com pares e conteúdos e (5) Processos fundamentais. É possível constatar o emprego destas perspectivas no conteúdo das três últimas subseções terciárias, dedicadas à apresentação dos dados e reflexões acerca das experiências vivenciadas no campo.

Na abordagem anterior, as pontuações dos itens do questionário nortearam a definição do primeiro conjunto de requisitos na perspectiva dos fatores identificados na análise multivariada. Já na abordagem imersiva, os relatos e episódios observados foram os norteadores da declaração dos requisitos na perspectiva de sentidos coconstruídos, atribuídos às vivências na dinâmica pesquisador-participantes. A informação acerca dos usuários foi segmentada e diagramaticamente expressa em termos de demandas a serem

atacadas por um artefato educacional, na perspectiva da noção de objetivação da subjetividade discutida anteriormente, permitindo a constatação dos requisitos declarados como respostas plausíveis às mesmas.

Esta lógica de designação e arranjo das funcionalidades pode ser ilustrada tomando-se como exemplo o histórico de desempenho fraco dos estudantes, seu acesso limitado a oportunidades e materiais de apoio a aprendizagem, e a falta de acessibilidade pedagógica destes conteúdos: mostra-se adequado como requisito neste cenário a proposição aos usuários de eventuais ajustes aos valores trabalhados nos problemas, atribuindo-lhes níveis de dificuldade mais baixos. Considerando a dificuldade de identificação pelos estudantes das fórmulas adequadas, é possível conceber enquanto requisito o fornecimento de opções para esta escolha, com possibilidade de sua apresentação direta da fórmula mediante dificuldade de identificação.

Estas e as demais funcionalidades concebidas no âmbito da frente subjetivista podem ser verificadas no Quadro 7, que permite constatar alguns requisitos previamente declarados no âmbito da frente objetivista. Para simplificar a identificação e destacar estas comunalidades, adotou-se uma numeração única para os dois índices elaborados na pesquisa: o intervalo RF01 – RF12 refere-se aos requisitos propostos inicialmente para o artefato ‘A’ (Quadro 6), alguns dos quais emergiram também na concepção do artefato ‘B’. Os requisitos que resultaram exclusivamente da imersão no loco, designados apenas para o segundo artefato, são relacionados a partir do código numérico RF13.

Quadro 17 – Proposição de requisitos para o artefato ‘A’

Perspectivas de análise	Síntese de aspectos presentes em narrativas e relatos de observações	Requisitos delineados com enfoque em necessidades de aprendizagem e dificuldades
Características do grupo	Necessidade de enfoque nos conteúdos aplicado à resolução de problemas; percepção de disjunção entre discurso sobre aprendizagem e aprendizado verificado na prática; descrença na possibilidade de impactos concretos das teorias e explicações presentes nos recursos de apoio ao estudo no desempenho; pragmatismo e interesse por melhoria desempenho na prática, com impactos tangíveis.	[RF01] solicitar inserção de dados do enunciado do problema ao inicializar. [RF02] mapear operações necessárias à obtenção do resultado do problema.
Alegações do grupo	Dificuldades de base refletidas no domínio dos conceitos prejudicam a compreensão; formação deficitária dificulta identificação das fórmulas a serem aplicadas na perspectiva das relações entre os conceitos envolvidos; livros, exercícios e materiais de estudo se apresentam de forma menos acessível devido à defasagem na formação, demandando estratégias de facilitação de resolução	[RF13] confirmar dados inseridos exibindo explicações de revisão sucintas dos conceitos envolvidos no problema. [RF14] permitir identificação dentre opções da fórmula associada ao menor percurso

	para fins de apoio e inclusão pedagógica.	de resolução com auxílio de explicações sucintas.
Crenças e padrões de conduta	Baixa autoestima quanto ao potencial de êxito acadêmico; rejeição a problemas que demandam muitos cálculos matemáticos e emprego de mais de uma fórmula; abandono de processo de resolução mediante dificuldade de execução coordenada a partir de concepção/vislumbre de solução ao final de sequência de cálculos;	[RF05] reinicializar aplicação exibindo declaração de incompatibilidade com dados mediante problema que requer mais de uma fórmula ou é incompatível com equações da cinemática.
Condições de vida e vivência educacional	Histórico de desempenho escolar fraco; acesso limitado a oportunidades e materiais de apoio à aprendizagem; oportunidades de reflexão e prática dos conteúdos estudados escassas devido à falta de acessibilidade pedagógica da mediação.	[RF15] apresentar passo a passo de cada procedimento matemático da resolução. [RF16] propor ajuste a valores inseridos atribuindo níveis de dificuldade mais baixos ao problema.
Interações com pares e conteúdos	Resolução por tentativas; retornos contínuos aos cálculos realizados anteriormente no problema para verificação de adequação de percurso de resolução adotado; consultas a colegas e colaboração como apoio e estímulo ao processo de resolução dos problemas; quebra irreversível de interação com o conteúdo mediante sucessão de erros e tentativas frustradas.	[RF08] informar se cada resposta fornecida está correta com acréscimo de informe de conclusão e reinicialização da aplicação ao término da resolução. [RF10] informar se percurso algorítmico permite o alcance do resultado correto.
Processos fundamentais	Aprendizagem a partir de tentativas e reflexão sobre erros; reflexão prejudicada por sucessões de erros demandando aumento de esforço de análise; apoio através de orientações, confirmação de correção de cálculos ou trechos de importância estratégica benéfico comparado a cenário sem este suporte.	[RF09] permitir novas tentativas após respostas e escolhas incorretas. [RF17] exibir mensagens de ajuda mediante escolhas incorretas.
Outros: perspectivas	Perspectiva de resgate de autoestima e melhoria de desempenho mediante oportunidades de prática com estímulo, acompanhamento e orientações.	

Fonte: elaboração do autor

6.5 Os índices de requisitos em suas convergências e dissensos

A existência de requisitos semelhantes ou idênticos nos dois artefatos decorre da identificação de dados e demandas de usuário similares ou convergentes pelas duas frentes de ação. Não surpreende que aspectos expressivos da resolução de problemas como a dificuldade na identificação das fórmulas adequadas tenham sido detectados nas duas abordagens. Era presumível também a ideação, no escopo de ambos artefatos, dos requisitos RF01 e RF02 concernentes à inserção e cálculo dos dados de cada problema, dada a proposta das aplicações de auxiliar os estudantes na resolução de exercícios. Neste sentido, reforça-se o argumento trazido no Capítulo 2 acerca da possibilidade de visões de mundo distintas produzirem conclusões semelhantes.

As funcionalidades reservadas a apenas um dos artefatos desdobram da identificação de dados por uma única frente de ação: os chamados dados exclusivos, discutidos também no Capítulo 2 com base em Kelle (2001) e Campbell *et al.* (2018). Tais diferenças podem refletir divergências quanto à

percepção da relevância de aspectos do fenómeno observado, sem implicar necessariamente na impossibilidade de reconhecimento de sua existência. Haveria desta forma um carácter de complementaridade nos dados das duas frentes, conforme também tratado no referencial teórico. Todavia, pode haver divergência quanto à substância do que é identificado enquanto fenómeno, como pode ser percebido acerca dos requisitos RF06 e RF15, que expressam deliberações contraditórias. Estes são os dados descritos por Campbell *et al.* (2018) como conflitantes. Assim, corrobora-se também o entendimento que visões de mundo distintas podem produzir conclusões distintas complementares bem como conclusões antagônicas, mutuamente excludentes.

O contraste entre os requisitos dos artefatos 'A' e 'B' pode ser verificado no Quadro 8. Os códigos grafados na cor preta indicam funcionalidades concebidas nas duas abordagens. Os requisitos incorporados apenas ao artefato 'A' e aqueles incorporados apenas ao artefato 'B' estão grafados nas cores azul e vermelha, respectivamente, com destaque às funcionalidades RF06 e RF15 por seu carácter discordante. Assim, constata-se no universo de dezessete requisitos: funcionalidades exclusivas à um único artefato, não contraditórias e com potencial de complementaridade (9); funcionalidades compartilhadas (6) e funcionalidades exclusivas de carácter contraditório (2).

Quadro 18 – Contraste de funcionalidades

Índice de requisitos 'A': abordagem objetivista	Índice de requisitos 'B': abordagem subjetivista
[RF01] solicitar inserção de dados do enunciado do problema ao inicializar.	[RF01] solicitar inserção de dados do enunciado do problema ao inicializar.
[RF02] mapear operações necessárias à obtenção do resultado do problema.	[RF02] mapear operações necessárias à obtenção do resultado do problema.
[RF03] confirmar dados inseridos pelo usuário explicitando conceitos e variáveis envolvidos no problema.	[RF13] confirmar dados inseridos exibindo explicações de revisão sucintas dos conceitos envolvidos no problema.
[RF04] permitir identificação direta dentre opções da fórmula associada ao menor percurso de resolução.	[RF14] permitir identificação dentre opções da fórmula associada ao menor percurso de resolução com auxílio de explicações sucintas.
[RF05] reinicializar aplicação exibindo declaração de incompatibilidade com dados mediante problema que requer mais de uma fórmula ou é incompatível com equações da cinemática.	[RF05] reinicializar aplicação exibindo declaração de incompatibilidade com dados mediante problema que requer mais de uma fórmula ou é incompatível com equações da cinemática.
[RF06] limitar apresentação de resolução à identificação de fórmulas, exibição de equação armada e inserção de resultado final.	[RF15] apresentar passo a passo de cada procedimento matemático da resolução.
[RF07] indicar grau de complexidade matemática do problema.	[RF16] propor ajuste a valores inseridos atribuindo níveis de dificuldade mais baixos ao problema.
[RF08] informar se cada resposta fornecida está correta com acréscimo de informe de conclusão e reinicialização da aplicação ao término da resolução.	[RF08] informar se cada resposta fornecida está correta com acréscimo de informe de conclusão e reinicialização da aplicação ao término da resolução.
[RF09] permitir novas tentativas após respostas e escolhas incorretas.	[RF09] permitir novas tentativas após respostas e escolhas incorretas.

[RF10] informar se percurso algorítmico permite o alcance do resultado correto.	[RF10] informar se percurso algorítmico permite o alcance do resultado correto.
[RF11] exibir mensagens de congratulações mediante escolhas corretas.	[RF17] exibir mensagens de ajuda mediante escolhas incorretas.
[RF12] exibir mensagens motivacionais mediante escolhas incorretas.	

Fonte: elaboração do autor

É plausível a explicação proposta por Kelle (2001) de que as divergências entre os dados obtidos nas duas abordagens são explicadas pelos domínios discursivos que orbitam seus entornos como desdobramentos das perspectivas epistemológicas subjacentes. A linguagem que buscou abranger as profundezas da subjetivação conduziu à emergência de relatos demarcados pela autopercepção, que caracterizam os indivíduos como atores sociais coconstrutores de significados a serem interpretados, conforme discutido acerca do elo entre construtivismo e interpretativismo no Capítulo 2, com base em Schwandt (1998). Mostrou-se singularmente distinta a mobilização de signos verbais e não verbais necessários à constituição de um ponto de observação do fenômeno que permita parametrizar sua compreensão, matematizando seus aspectos em termos de frequências e intensidades.

Para além dos meandros discursivos dos posicionamentos sobre o conhecimento, Yoshikawa *et al.* (2008) afirmam que as contradições decorrem da complexidade do fenômeno, que abarca leituras diversas, e até divergentes, a partir de prismas distintos. Nesta ótica, a abordagem objetivista teria captado aspectos acerca do fenômeno em seu caráter matematizável, não apreendidos pela frente subjetivista. Já a abordagem subjetivista teria atingido uma dimensão profunda circunscrita aos autorrelatos produzidos na dinâmica pesquisador-participantes, não captada pela frente objetivista. É possível depreender, nas nuances destas leituras, que o argumento discursivo de Kelle (2001) compreende uma tendência das perspectivas epistêmicas produzirem relatos distintos enquanto o argumento da complexidade e pluralidade lida com a ideia de percepção, por uma perspectiva, de aspectos ignorados pela outra.

6.6 Os artefatos em funcionamento

O desenvolvimento dos artefatos incorporando seus respectivos conjuntos de requisitos se deu nos termos planejados no capítulo anterior,

resultando em representações elementares das funcionalidades abrangendo alguns tipos de problemas previamente mapeados, nos termos discutidos no Capítulo 4. Para os dois artefatos, indicados nas Figuras 1 e 2 a seguir, a interface do usuário consistiu unicamente na apresentação direta das funcionalidades através de linguagem numérica e natural sobre uma tela de fundo branca, sem o emprego de recursos gráficos visando atribuir sofisticação visual à mesma. Esta decisão foi tomada como estratégia para viabilizar uma visão isolada dos requisitos funcionais, sem interferências de outras variáveis, conforme discutido e fundamentado no capítulo anterior: minimizando a influência que efeitos ou quaisquer outros recursos de interface visual na utilização ou mesmo na percepção das funcionalidades pelos estudantes. Cabe lembrar neste sentido a proposta da presente pesquisa de debruçar-se especificamente sobre as funcionalidades concebidas a partir das abordagens de obtenção de dados.

Figura 1 – Artefato ‘A’

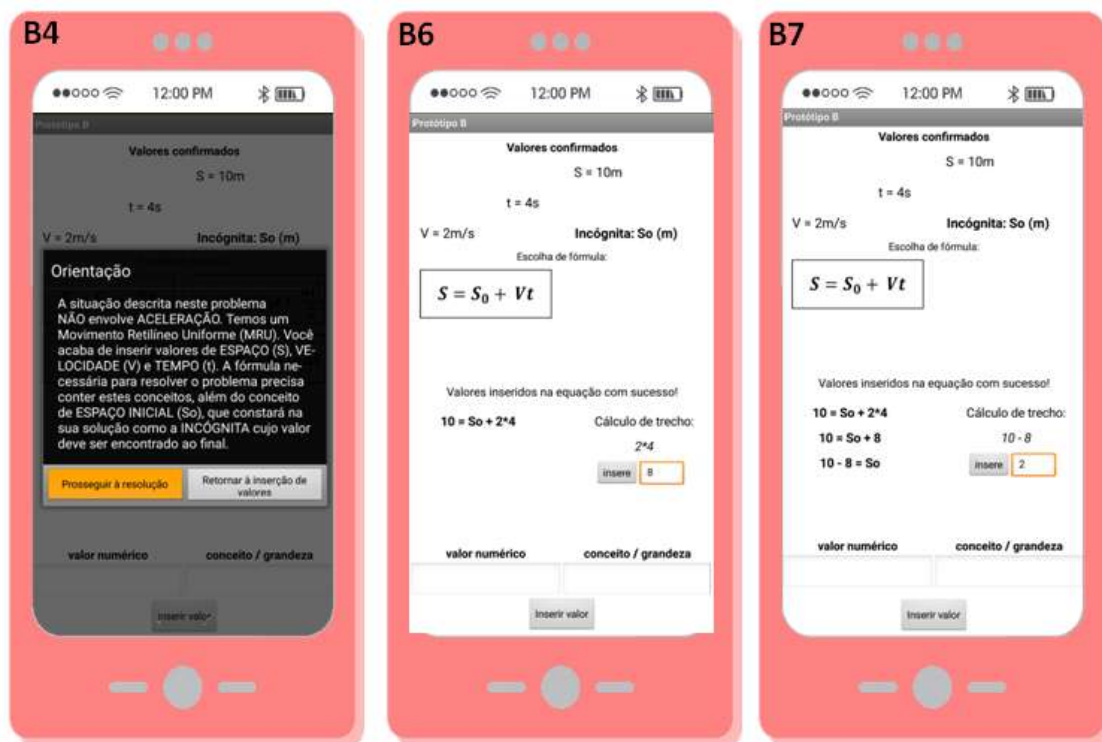


Fonte: elaboração do autor

Após ser inicializado, o artefato ‘A’, retratado também na seção de Apêndices através de um maior detalhamento de telas (APÊNDICE E), solicita

a inserção dos dados do problema, confirma-os explicitando os conceitos e variáveis envolvidos, e apresenta opções para escolha da fórmula a ser utilizada. Indica também o grau de dificuldade das operações matemáticas que serão demandadas: ‘baixo’, quando serão necessários cálculos envolvendo apenas números inteiros sem conversões de sistemas de medida; ‘médio’, quando haverá operações envolvendo números decimais OU conversões de sistemas de medida; e ‘elevado’, quando forem necessárias operações envolvendo números decimais E conversões de sistemas de medida. A inserção de dados de problemas de elevada complexidade, demandantes do emprego e diferentes fórmulas ou inconsistentes com a estrutura das equações da cinemática, resulta em uma mensagem de explicativa da incompatibilidade com a aplicação, seguida de sua reinicialização.

Figura 2 – Artefato ‘B’



Fonte: elaboração do autor

O artefato ‘B’, retratado também na seção de Apêndices através de um maior detalhamento de telas (APÊNDICE F), após solicitar a inserção dos dados do problema pelo usuário, confirma as informações fornecidas e apresenta uma breve explanação de revisão dos conceitos envolvidos. Em

seguida, apresenta opções para escolha da fórmula utilizada com base em mensagens explicativas de apoio. Caso o problema demande operações envolvendo números decimais E conversões de sistemas de medida, a aplicação propõe evitar os cálculos decimais através da modificação dos dados do problema, feitas automaticamente se autorizada pelo usuário – considerando os valores inteiros mais próximos que não resultem em números decimais quando submetidos às operações necessárias à resolução do problema. A inserção de dados de problemas de elevada complexidade, demandantes do emprego e diferentes fórmulas ou inconsistentes com a estrutura das equações da cinemática, resulta em uma mensagem explicativa da incompatibilidade com a aplicação, seguida de sua reinicialização.

Feita a escolha da fórmula correta, a interface exibe uma mensagem indicando que o percurso algorítmico definido permite a obtenção da solução; mostra a equação ‘armada’ com os valores inseridos e indica termos para os quais o valor resultante deve ser calculado e inserido: se indicados termos ‘ $5t$ ’ e ‘ $-3t$ ’, deverá ser inserido como termo resultante ‘ $2t$ ’. Todas as operações matemáticas são realizadas pelo usuário guiado pela aplicação, até que é solicitada a inserção do resultado final do problema. A aplicação informa quando as escolhas e respostas fornecidas estão corretas e em caso de erro, exibe mensagens de ajuda e novas tentativas são permitidas. Quando a solução do problema é obtida, o usuário é informado e a aplicação reinicializada.

A leitura dos dados apresentada nas subseções anteriores na perspectiva da revisão bibliográfica trazida no Capítulo 4, juntamente com o mapeamento dos requisitos enquanto desdobramentos diretos dos dados obtidos, demonstram a congruência entre as aplicações concebidas e o conhecimento existente acerca da aprendizagem dos conteúdos de interesse. Assim, verifica-se no funcionamento dos dois artefatos consistência tanto com os dados fornecidos pelos sujeitos quanto com a literatura. Ambos contribuem para otimizar a resolução de problemas quantitativos, importante para a aprendizagem da Física (KARAM; PIETROCOLA, 2009), permitindo incremento do tempo eventualmente dedicado pelo docente a atividades mais dinâmicas como experimentos e projetos interdisciplinares sem prejuízo ao

desenvolvimento das competências matemáticas estruturantes para o pensamento físico.

O caráter epistemologicamente diverso das abordagens de investigação, e naturezas dos conjuntos de dados, não resultou em aplicações de lógicas de funcionamento alóctones, pertencentes a mundos distintos impossibilitados de conexão. A projeção possível de um plano de existência habitado pelos dois artefatos, expresso sobretudo nas interseções entre as duas relações de funcionalidades, parece decorrer do caráter objetivo e grau de especificidade do problema colocado para o processo de design: auxiliar estudantes na resolução de problemas. Esta meta viabilizou o desenvolvimento, em uma mesma direção, de soluções concebidas em diferentes perspectivas.

Esta constatação é fundamental enquanto reflexão acerca da pertinência da aplicação de abordagens epistemologicamente distintas de investigação de usuários a processos de design. Um problema vago ou genérico poderia resultar em soluções de natureza singularmente diversas, de raízes fincadas em planos de existência inteiramente desconectados: embora isto não deponha contra a legitimidade de tais soluções individualmente, a perspectiva de impossibilidade de diálogo entre elas, enquanto elementos de um mesmo projeto, deve ser considerada como um entrave. Um artefato de essência composta por parcelas intransigentes em sua recusa em comunicar-se de modo a formar um todo poderá inviabilizar a aplicação de um sistema único de análise e avaliação do artefato, como o descrito no capítulo anterior.

6.7 Demais encaminhamentos dependentes dos requisitos

A obtenção da relação das funcionalidades de cada artefato possibilitou três encaminhamentos relativos à fase de avaliação da pesquisa que dependiam da definição dos índices de requisitos. O primeiro deles corresponde à especificação dos testes de desempenho, apresentados no capítulo anterior como problemas nos moldes do pré-teste utilizado na frente objetivista. Dada esta diretriz e conhecidos os requisitos, foram então adotadas como modelo para a avaliação de desempenho as questões 3 e 4 do pré-teste (APÊNDICE A), voltadas respectivamente para execução matemática e explanação do raciocínio subjacentes à resolução dos problemas. As respostas

buscadas pelas questões de múltipla escolha 1 e 2, concernentes respectivamente aos elementos presentes no enunciado e à escolha da fórmula, emergem naturalmente pelo uso dos artefatos como caminho para a resolução: assim, sua inclusão mostrou-se não pertinente.

Dependia também da definição dos índices de requisitos a elaboração do questionário (APÊNDICE G), que ocorreu com o propósito descrito no capítulo anterior: dar aos estudantes uma oportunidade de expressar suas percepções acerca de cada requisito funcional proposto. Cabe destacar, discriminados os itens do questionário, sua elaboração com base em reformulações da redação original de cada requisito buscando aproximá-los da perspectiva dos estudantes, em sintonia com o proposto por Lowdermilk (2013). Por fim, apresentados os testes e itens dos questionários, é possível especificar os campos da matriz de dados quantitativos construída (APÊNDICE I), conforme antecipado no capítulo anterior quando foi delineada uma descrição geral da mesma. Os resultados dos testes de desempenho e das avaliações pós-uso, registrados nesta matriz, são apresentados e discutidos no próximo capítulo.

Este capítulo consolida o objetivo específico de aplicação das abordagens de viés objetivista e subjetivista de obtenção de dados de usuários à definição de requisitos funcionais do projeto. Além de viabilizar a operacionalização deste importante componente da pesquisa, o conteúdo apresentado contribui para a discussão proposta pelo trabalho ao descrever e demonstrar uma estratégia de transposição de dados acerca de usuários para o plano dos requisitos funcionais aplicável a diferentes cenários metodológicos, caracterizados por perspectivas epistemológicas distintas. Reforça-se assim a efetividade do método proposto para este propósito no capítulo anterior, e do referencial teórico do qual foi um desdobramento direto, delineado no Capítulo 3. Aplicadas as abordagens, procede-se no capítulo seguinte à identificação de seus impactos, consolidando a reflexão acerca do emprego de diferentes perspectivas epistemológicas proposta por esta pesquisa.

7 A AVALIAÇÃO DAS FUNCIONALIDADES

Nas próximas subseções serão apresentados e discutidos dados relativos [a] à avaliação de desempenho dos artefatos concebidos a partir das duas frentes de pesquisa tratadas anteriormente, e também [b] à avaliação pós-uso, de cada uma de suas funcionalidades, feita pelos estudantes. Trata-se neste sentido da consecução do terceiro objetivo específico desta pesquisa, relativo à identificação dos impactos de uso das funcionalidades propostas a partir de cada abordagem.

Cabe também destacar o presente capítulo como um espaço de consolidação das ações voltadas para a análise do emprego perspectivas epistemologicamente distintas de obtenção de dados de usuários – objetivo geral do trabalho. Esta análise do emprego das perspectivas compreendeu [a] uma descrição do método que guiou sua aplicação, trazida no Capítulo 5; [b] a transposição dos dados orientados pelas mesmas para o plano dos requisitos funcionais e seus protótipos resultantes, apresentados no Capítulo 6, e [c] os impactos destes artefatos nos usuários, a serem discutidos a partir de agora. Esta reflexão é pertinente ao início deste capítulo visto que explicita enquanto sentido da atenção aos impactos de uso dos artefatos a investigação do emprego das abordagens que os originaram. Embora contribua para o aperfeiçoamento do produto, conforme também será discutido à frente, a reflexão sobre os impactos dos artefatos será voltada para a ampliação da compreensão dos elementos que os subsidiaram, consonantemente ao objetivo geral e ao objeto de estudo desta pesquisa.

A constatação de que a avaliação das funcionalidades dos protótipos tem o intuito de agregar a um olhar já lançado sobre as mesmas permite destacar o propósito das discussões que se iniciam a seguir. Embora os dados trazidos apontem claramente para reflexões de interesse e passíveis de desenvolvimento no âmbito de campos como a Educação ou a Psicologia, o foco analítico presente visa os métodos de design em suas raízes epistemológicas, buscando ampliar a compreensão do emprego das perspectivas estudadas a partir dos resultados alcançados pelas mesmas.

7.1 Resultados de desempenho

Diferente do que ocorreu globalmente com o pré-teste da frente objetivista, os testes de desempenho, que incorporaram duas de suas questões, não resultaram em uma distribuição de dados paramétrica. Isto foi observado na totalidade de cenários de resolução de cada uma destas duas questões: para todas as variáveis da matriz de dados associadas à avaliação de desempenho, o teste de Shapiro-Wilk indicou diferenças significativas ($p = 0,00$). Neste sentido, foram empregados para a análise destes dados os testes de vertente não paramétrica, seguindo o planejamento descrito no Capítulo 5.

O teste de Wilcoxon identificou diferenças significativas entre os escores obtidos na questão 1, relativa à execução matemática dos cálculos, e na questão 2, concernente à explanação do raciocínio subjacente. Isto ocorreu nos dois blocos experimentais e com ambos artefatos, e para todas as comparações em pares realizadas ($p \leq 0,01$). Mostrou-se pertinente neste sentido tratar do desempenho em cada questão separadamente, para então realizar uma análise global dos resultados.

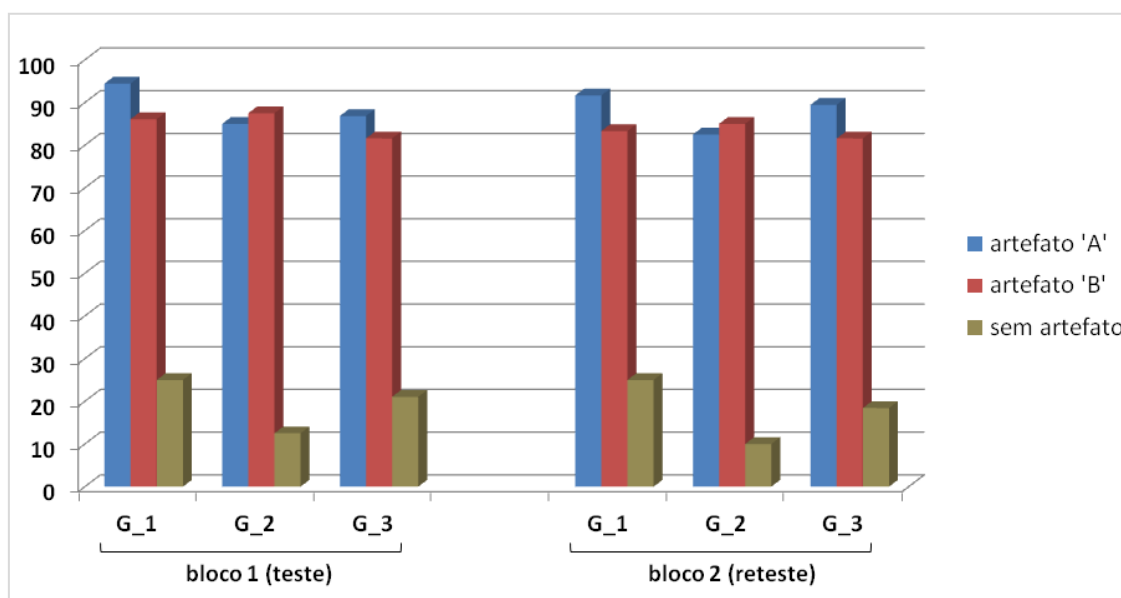
7.1.1 Execução dos cálculos matemáticos

O desempenho dos três grupos na execução dos cálculos matemáticos nos dois blocos experimentais pode ser verificado no Gráfico 2, considerando os cenários com e sem apoio dos artefatos. Constata-se um desempenho significativamente superior nas resoluções apoiadas por algum dos protótipos, expresso pelo teste de Wilcoxon ($p = 0,00$) em todas as comparações entre resoluções com e sem auxílio de artefato, contemplando todas as combinações de blocos e turmas. O maior índice verificado nesta questão foi obtido pelo Grupo 1, que apresentou um desempenho de 94,44% no primeiro bloco experimental ao utilizar o artefato 'A'. O índice mais baixo correspondeu ao desempenho do Grupo 2, que obteve apenas 10% de acertos no segundo bloco experimental, na resolução sem apoio de artefatos.

Predomina nos dois blocos um desempenho ligeiramente superior por parte do artefato 'A', prevalecendo o artefato 'B' apenas na seção de testes realizada junto ao Grupo 2 no primeiro bloco. Entretanto, tais variações são

circunstanciais segundo o teste de Friedman, que em comparação envolvendo os cenários de uso do artefato 'A' e os do artefato 'B', indica a inexistência de diferenças significativas ($p = 0,52$): assim, não é possível afirmar que um artefato tenha apresentado uma performance superior ao outro no que tange o desempenho nos cálculos matemáticos. Isto se aplica aos dois blocos experimentais: o teste de Wilcoxon apontou para a ausência de diferenças significativas entre os contextos de teste e reteste tanto no que concerne as seções de uso do artefato 'A' ($p = 0,56$) quanto as do artefato 'B' ($p = 0,32$). Neste sentido, é possível afirmar que a repetição de procedimentos em um segundo bloco experimental, conforme discutido no Capítulo 5, validou os resultados obtidos no primeiro bloco de testes.

Gráfico 2 – Desempenho por turma na Questão 1



Fonte: elaboração do autor

Em congruência com os dados obtidos anteriormente nos pré-testes, não foram identificadas quaisquer significativas entre as três turmas também nas avaliações de desempenho. De acordo com o teste de Kruskal-Wallis, isto se deu tanto no que tange o uso do artefato 'A', respectivamente nos blocos experimentais 1 e 2 ($p = 0,91$ / $p = 0,73$), quanto para o uso do artefato 'B' também nos dois blocos ($p = 0,75$ / $p = 0,92$). Constata-se assim que os grupos reagiram de forma semelhante ao uso dos artefatos como ferramentas de apoio à execução dos cálculos matemáticos dos problemas.

Um diferencial significativo entre os dois artefatos foi identificado através da constatação de correlações negativas fortes e moderadas entre os desempenhos nos cálculos associados ao artefato 'B' e a variável da matriz de dados referente ao desempenho nas questões produtivas – de cálculos e elaboração de explanação – do pré-teste. Este fenômeno foi identificado pelo teste de Spearman no primeiro ($r = - 0,74 / p = 0,00$) e no segundo ($r = - 0,68 / p = 0,00$) bloco. Estes dados evidenciam uma variação conjunta caracterizada pela inversão das tendências de escores: embora o artefato 'B' não tenha apresentado um desempenho significativamente diferente do artefato 'A', seu uso fez com que os desempenhos de estudantes que se avizinhavam aos valores mais baixos no pré-teste aproximassem-se proporcionalmente do teto das pontuações.

É possível interpretar estas correlações como um indício estatístico de que o artefato 'B' seria mais sensível às necessidades dos estudantes que apresentam maiores dificuldades com os cálculos matemáticos. Esta leitura parece adequada considerando o requisito funcional RF15, exclusivo deste artefato, que determina a exibição do passo a passo de cada procedimento matemático da resolução. Este recurso pode ser compreendido como uma estratégia pedagógica inclusiva, sobretudo quando considerados aspectos como deficiência de base, baixa autoestima e insegurança por parte dos estudantes. Conforme tratado no Capítulo 6, estes aspectos influenciaram substancialmente o artefato 'B', resultante da frente subjetivista.

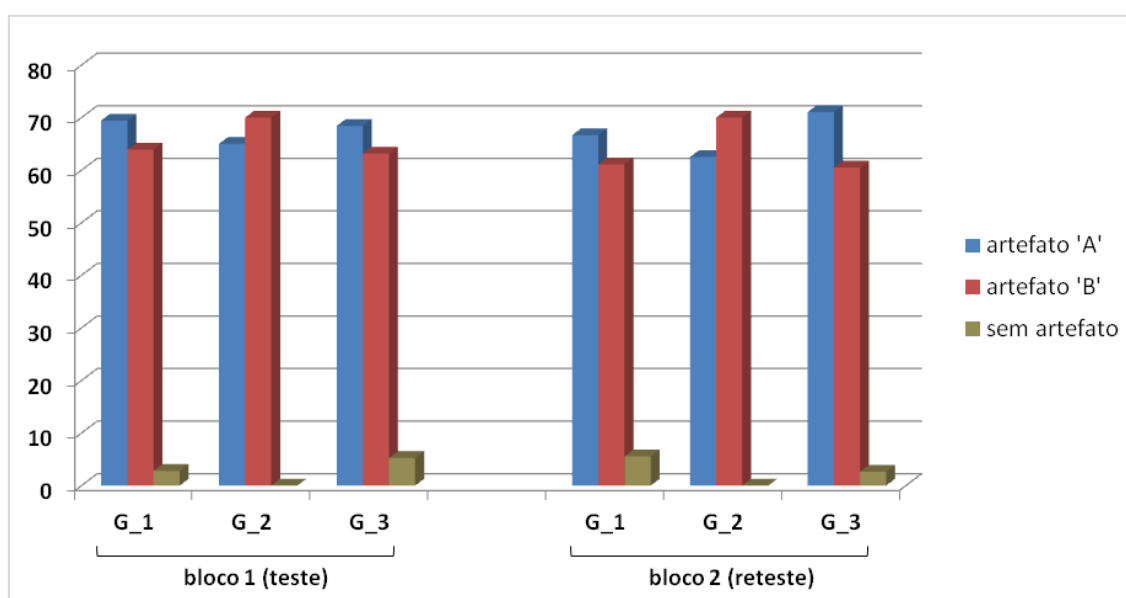
Esta explicação é consistente com Vorvilas, Karalis e Ravanis (2010), que afirmam que os artefatos, com destaque às aplicações educacionais, são permeados por marcadores linguísticos oriundos de diferentes sistemas sógnicos. Esta visão dialoga com o argumento de que as particularidades de um objeto concreto ou abstrato, enquanto representação de conhecimento, decorrem da mobilização de signos verbais e não verbais que orbitam a perspectiva epistemológica subjacente à sua produção, conforme discutido no capítulo anterior com base em Kelle (2001). Este domínio discursivo expresso na linguagem utilizada na declaração dos requisitos revela-se impregnado também ao artefato resultante destes, e conforme agora se verifica, impacta o usuário em virtude de seu uso. Na perspectiva dos processos multimétodo de design, esta leitura reforça um posicionamento da busca por um alinhamento

discursivo das perspectivas epistemológicas subjacentes em relação às visões de mundo não dos designers, mas de estratificações da população que se deseja atingir.

7.1.2 Explicação das resoluções

O desempenho dos três grupos na elaboração das explicações sobre as resoluções nos dois blocos experimentais pode ser verificado na Figura 3, considerando os cenários com e sem apoio dos artefatos. Assim como ocorreu com a execução dos cálculos, constata-se também no âmbito das explicações um desempenho significativamente superior vinculado ao uso de algum dos protótipos, indicado pelo teste de Wilcoxon ($p = 0,00$) nas comparações pareadas entre cenários com e sem auxílio de artefato, contemplando todas as combinações de blocos e turmas. O maior índice verificado nesta questão foi obtido pelo Grupo 3, que apresentou um desempenho de 71,05% no primeiro bloco experimental ao utilizar o artefato 'A'.

Gráfico 3 – Desempenho por turma na Questão 2



Fonte: elaboração do autor

O segundo maior índice foi alcançado pelo Grupo 2, que atingiu a marca dos 70% quando auxiliado pelo artefato 'B' no primeiro bloco, e repetiu o resultado no reteste. Interessantemente, o mesmo grupo apresentou também o desempenho mais baixo nesta questão quando sem o apoio de artefatos:

nenhum dos estudantes explanou efetivamente o processo de resolução dos problemas. Este dado é indicativo de defasagem acadêmica resultante de uma formação deficitária. O salto para o patamar dos setenta pontos mediante o uso do protótipo 'B' pode ser compreendido na perspectiva da acessibilidade da resolução apresentada pelo mesmo, conforme pontuado anteriormente. A apresentação de cada procedimento matemático da resolução em si, conforme expresso no requisito RF15, implica no provimento de uma descrição detalhada da resolução pela aplicação, que pode ser transposta para o domínio da linguagem natural obtendo-se assim a explanação solicitada pela questão. Isto explica porque um grupo de estudantes com dificuldades de aprendizagem, que demonstra identificação com o artefato 'B', apresentou desempenhos tão díspares a partir de sua remoção ou inserção nas resoluções.

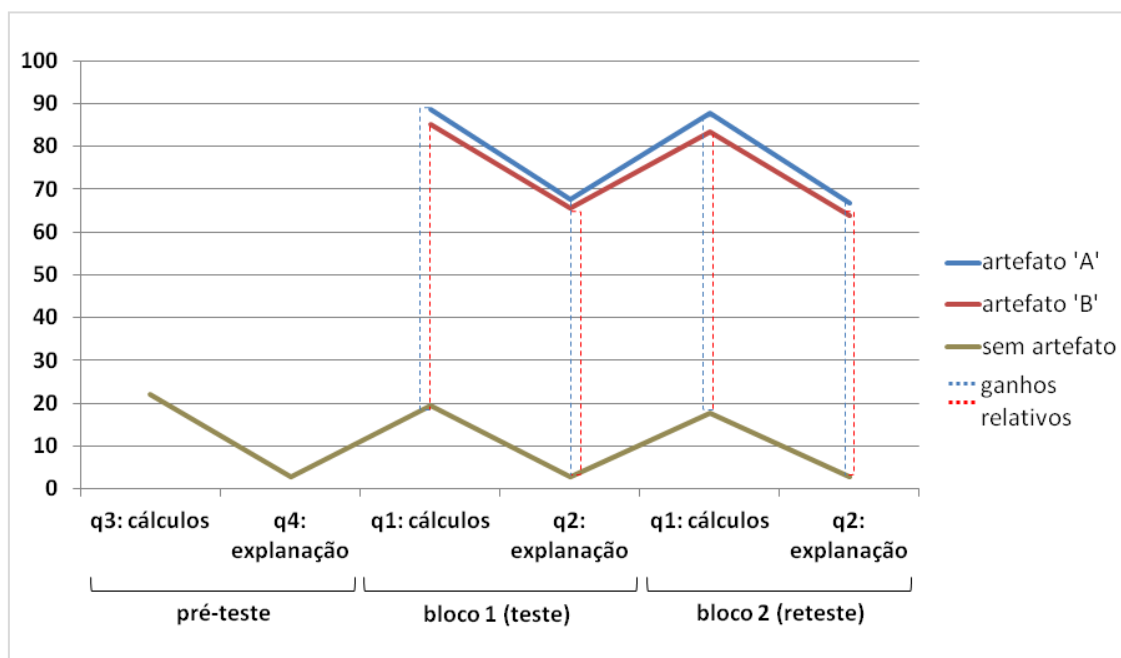
Como na questão anterior, predominou nos dois blocos um desempenho ligeiramente superior por parte do artefato 'A', com o artefato 'B' ampliando sua prevalência para as seções de testes realizadas com o Grupo 2 nos dois blocos. Entretanto, tais variações revelam-se circunstanciais pelo teste de Friedman, que ao comparar os cenários de uso do artefato 'A' e os do artefato 'B', descarta a presença de diferenças significativas ($p = 0,64$). As diferenças inexistem também entre os dois blocos experimentais: o teste de Wilcoxon possibilitou esta constatação no que concerne as seções de uso do artefato 'A' ($p = 0,74$) e as do artefato 'B' ($p = 0,48$). Desta forma é possível afirmar, como ocorreu com os cálculos matemáticos, que não houve proeminência de um artefato em termos de desempenho na elaboração de uma explanação acerca da resolução, e que o reteste confirmou o desempenho mensurado no primeiro bloco. No âmbito das tendências, cabe destacar ainda que o panorama observado nos pré-testes, de ausência de diferenças significativas de desempenho entre os gêneros masculino e feminino, se concretizou novamente em todas as questões e cenários de testes de desempenho realizados, conforme apontado pelo teste de Mann-Whitney ($p \geq 0,68$).

7.1.3 Performance dos artefatos em perspectiva

Analizados à luz das diferenças significativas entre os desempenhos nas duas questões, os resultados apresentados até aqui estimulam a conclusão

preliminar de que os dois artefatos foram mais eficientes no apoio às operações matemáticas do que na elaboração da explanação do raciocínio subjacente à resolução. Tal conclusão se mostra imprecisa, entretanto, quando são levados em consideração não os escores obtidos nas questões, mas o ganho relativo ao desempenho correspondente quando sem o apoio de um artefato. A diferença entre o desempenho obtido com apoio de um artefato e o desempenho sem este apoio mostra o ganho da população em pontos percentuais proporcionado por cada protótipo, conforme indicado pelas linhas tracejadas no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Comparações de desempenhos gerais por questão



Fonte: elaboração do autor

Quando é designado como piso o desempenho correspondente obtido sem apoio de um artefato, verifica-se que os ganhos percentuais nas duas questões são semelhantes: variam de 61,15 pontos – escore obtido mediante o uso do artefato 'B' na resolução da questão 2 no bloco 2 – a 70,07 pontos, que retrata o desempenho registrado na questão 1 mediante o uso do artefato 'A', também no bloco 2. Adotando como variáveis os ganhos relativos, e não o desempenho propriamente dito, o teste de Friedman indica que não há diferenças significativas entre a performance dos artefatos nos dois tipos de questões, para ambos os protótipos e nos dois blocos. Assim, conclui-se que a

diferença significativa detectada anteriormente entre as performances nos cálculos e explicações se dá não pelos artefatos, mas pela bagagem prévia que os estudantes trazem para as resoluções, expressas no contraste entre suas performances quando sem apoio de artefato. O teste de Wilcoxon confirma esta hipótese, identificando diferenças significativas nos cenários de resolução sem artefato em todos os casos de comparação entre os dois tipos de questão ($p = 0,00$).

É possível observar também no Gráfico 4 que estão contemplados, além dos cenários globais de teste e reteste dos blocos experimentais, as questões 3 e 4 do pré-teste. Tal inclusão é pertinente para fins de comparação visto que estas questões correspondem às questões 1 e 2 adotadas nos testes de desempenho, conforme já discutido. Este gráfico permite observar que o desempenho nas resoluções sem artefato, mesmo durante os blocos do experimento em que os estudantes já conheciam os protótipos e suas propostas, é muito semelhante ao desempenho apresentado nos pré-teses quando os artefatos ainda não haviam sido desenvolvidos e apresentados.

O teste de Friedman indica que não há diferença significativa entre os cenários de resolução sem artefatos, incluindo o cenário pré-teste, tanto para a questão relativa à execução dos cálculos ($p = 0,07$) quanto para a explanação da resolução ($p = 0,78$). Neste sentido, os artefatos acarretaram melhorias significativas de desempenho, mas em sua ausência, a performance dos estudantes retornou ao patamar anterior. Não é possível dispor sobre fixação de conteúdos ou estabilidade de aprendizagem, conforme aventado no Capítulo 5 com base em Spinillo e Lautert (2008), devido ao caráter pontual da intervenção, que compreendeu apenas duas resoluções de problemas apoiadas por cada artefato em um período de 2 meses. Cabe conjecturar que o uso contínuo dos artefatos poderia contribuir para a assimilação das estratégias de resolução pelos usuários. Porém, os dados permitem fazer afirmações sólidas apenas acerca da efetividade dos artefatos quanto ao apoio na resolução dos problemas, e não da aprendizagem do conteúdo no médio e longo prazo.

No referencial teórico desta pesquisa, melhorias de performance matematicamente verificáveis foram concebidas como um critério de avaliação a ser explorado por abordagens de design multimétodo, com base em um olhar

sobre Engen-Verheul *et al.* (2016). Os dados trazidos nesta subseção reforçam a quantificação, valorizada pelo mercado (ROTO; OBRIST; VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATTILA, 2009), como estratégia analítica passível de aplicação até mesmo a produtos de métodos que não decorrem da perspectiva objetivista. É possível afirmar que sem o recurso à estatística descritiva e inferencial não seria possível mapear a efetividade dos artefatos enquanto ferramentas de apoio à resolução de problemas no âmbito da totalidade da população pesquisada.

A premissa coerencialista discutida no Capítulo 2, de que a validação do conhecimento se dá internamente a um sistema (PAVIANI, 2013; FUMERTON, 2014), conduz a uma hipótese: um produto do conhecimento obtido no âmbito de um determinado sistema de crenças tende a ser avaliado como mais consistente na perspectiva deste mesmo sistema do que um produto concebido a partir de outro arcabouço epistemológico. Esta proposição não é confirmada pelos dados no que concerne especificamente a performance dos produtos, visto que não foram identificadas diferenças significativas entre os mesmos. Além disso, as análises correlacionais permitiram a identificação, no protótipo 'B', de um diferencial que pode ser entendido como positivo no que tange a acessibilidade pedagógica dos conteúdos, mesmo sendo este artefato oriundo de um sistema epistemológico que não preconiza a quantificação.

Assumindo a hipótese coerencialista como verdadeira, duas explicações não mutuamente excludentes podem ser propostas para esta validação dos dois artefatos por um mesmo sistema. A primeira explicação está relacionada às sobreposições de perspectivas epistemológicas distintas tratadas com base em Campbell *et al.* (2018) no Capítulo 2: quando métodos diferentes geram produtos de conhecimento semelhantes. No processo de design em questão predominaram os requisitos compartilhados e de potencial complementar, sendo minoritários os contraditórios. Assim, é possível ponderar que os dois índices de requisitos, tendo em comum uma porção significativa de sua essência, seriam passíveis de validação em ambos os sistemas de crenças. Tal leitura permite advogar pelo emprego de perspectivas epistemologicamente distintas em processos de design adotando-se como centro gravitacional as comunalidades identificadas. Ela é consistente com o emprego de abordagens

independentes no âmbito da pesquisa multimétodo para fins de validação dos dados, conforme descrito por Creswell (2010).

A segunda explicação concerne os vieses do observador e do designer em seu processo de criação, conforme abordado nos capítulos anteriores. A legitimidade dos requisitos funcionais, enquanto desdobramentos dos dados acerca dos usuários, é demonstrável através de estratégias de concepção e declaração dos mesmos como as elencadas por Lowdermilk (2013) e Pressman e Maxim (2016) – sobretudo se adotado como princípio norteador o conceito de objetivação da subjetividade (LAVILLE; DIONNE, 2007), discutido no Capítulo 2 no escopo da perspectiva subjetivista. Porém, a transposição dos dados para o domínio da informação, a ser expressa em termos de funcionalidades, está inevitavelmente sujeita a um viés humano. Nesta ótica, é possível ponderar que as percepções e encaminhamentos relativos aos dados obtidos por meio de abordagens distintas tenderiam em alguma medida a uma aproximação, ancorados pelo viés do observador. Esta leitura reforça a pertinência do emprego de abordagens multimétodo em processos de design, rechaçando a ideia de que perspectivas epistemológicas distintas implicariam em perda de rumo e de consistência por parte do projeto.

7.2 Percepções dos usuários pelo prisma objetivista

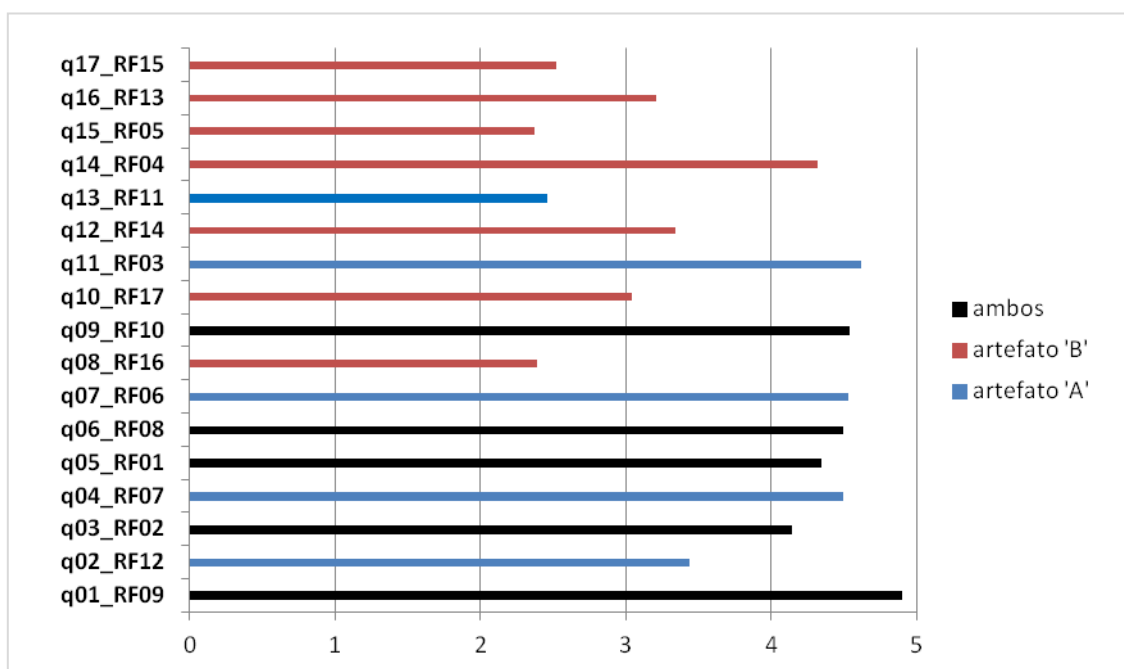
A avaliação de desempenho relatada na subseção anterior produziu conclusões sólidas, permitindo que sejam feitas afirmações consistentes sobre cada artefato. Porém, revelou-se inconclusiva acerca de alguns aspectos de seu uso, em particular o apelo de cada conjunto de funcionalidades, visto que resultaram em taxas de sucesso muito semelhantes. Neste sentido, a análise das percepções dos usuários obtidas por meio dos questionários pós-uso assume um papel crucial no mapeamento da receptividade do grupo e na identificação de variações nos graus de adesão a cada artefato.

O teste de Shapiro-Wilk indicou que as médias dos questionários pós-uso, em suas duas aplicações, não correspondem a distribuições normais ($p = 0,00$), demandando o emprego de estatísticas não paramétricas. Comparações dos escores pareados de cada questão das duas aplicações, realizadas através do teste de Wilcoxon, relevaram não haver diferenças significativas ($p \geq$

0,181) entre as mesmas: validaram-se assim as médias das duas aplicações do questionário como representações adequadas da percepção da população acerca dos requisitos. O teste Kruskal-Wallis não identificou diferenças significativas entre os grupos em comparações pareadas ($p \geq 0,402$), indicando que as três turmas perceberam os requisitos e reagiram ao questionário pós-uso de forma similar.

Os escores médios atribuídos aos itens ($\mu = 3,71$ / $\sigma = 1,06$) expressam uma aprovação global do conjunto de requisitos funcionais, que em sua totalidade que recebeu 74,2% do total de pontos que poderiam ser atribuídos pelos respondentes. A pontuação média mais elevada observada foi 4,89, atribuída ao item 1 do questionário, associado ao requisito RF09, que diz respeito à permissão de novas tentativas após respostas e escolhas incorretas, presente nos dois artefatos. Já o valor médio mais baixo foi 2,39, atribuído ao item 8_RF16, exclusivo do artefato 'B', que diz respeito ao ajuste a valores inseridos visando reduzir os níveis de dificuldade do problema. As médias atribuídas a cada item podem ser observadas no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Escores médios do questionário pós-uso



Fonte: elaboração do autor

O item que se aproximou mais da média global do questionário foi o 16_RF13, exclusivo do artefato 'B' e cujo escore médio foi 3,21. Diz respeito à confirmação dos dados inseridos pelos usuários na aplicação, exibindo

explicações de revisão sucintas dos conceitos envolvidos no problema. A predominância do valor 2 como moda nas duas aplicações do questionário indica uma tendência de rejeição por parte dos estudantes a este item. Por outro lado, o item 11_RF03, que preconiza a confirmação dos dados inseridos pelo usuário apenas explicitando os conceitos e variáveis envolvidos no problema, obteve média 4,61. Este dado indica que a rejeição dos usuários não foi à confirmação dos dados, mas à exibição das explicações de revisão presente no momento da confirmação no artefato 'B'.

Analisando estes dados à luz da pontuação mais elevada obtida no pós-teste, atribuída ao requisito RF09 conforme indicado acima, é possível depreender que o grupo valorizou a resolução por tentativa e erro e considerou pouco eficientes as explicações. Entretanto, não é possível determinar objetivamente tratar-se de uma rejeição ampla a explicações de apoio ou uma insatisfação particular acerca das explicações específicas trazidas pelos artefatos, voltadas para o conteúdo curricular em questão. O mesmo pode ser afirmado sobre o item 10_RF17, acerca da exibição mensagens de ajuda mediante escolhas incorretas. A média 3,04 obtida e a predominância do valor 3 como moda nas duas aplicações do questionário denotam a indiferença do grupo às mensagens de ajuda, reforçando a leitura da preferência pela abordagem da tentativa e erro com pouca disposição de atenção às orientações.

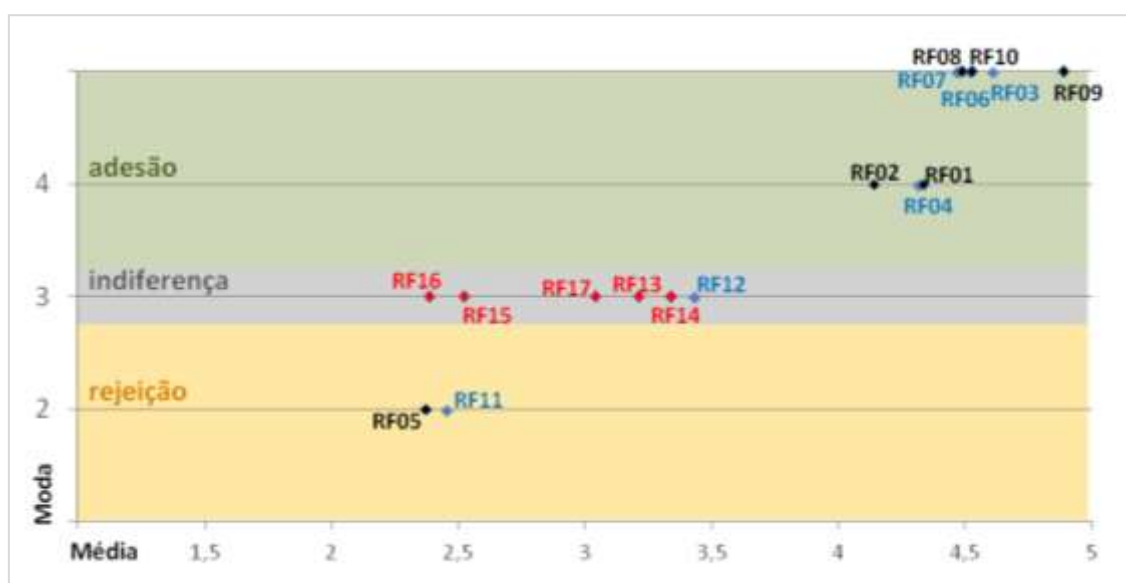
Estas estatísticas descritivas aparentam ser pouco profícuas cientificamente por não permitirem a generalização das conclusões para além do contexto e dos artefatos empregados, considerando suas particularidades e eventuais limitações. Servem efetivamente, entretanto, à finalidade de aprimoramento de um produto voltado para uma população específica, enfoque de interesse deste trabalho. As médias e modas elencadas acima viabilizam encaminhamentos projetuais como consultas qualitativas a subamostras estatisticamente determinadas da população, buscando compreender a natureza da rejeição e indiferença às explicações e mensagens de ajuda.

7.2.1 Contraste de requisitos na percepção discente

A receptividade a cada requisito funcional pode ser expressa pela razão entre a moda e a média associadas ao item em questão do questionário pós-

uso. O Gráfico 6 retrata zonas de adesão, indiferença e rejeição delimitadas pelos sentidos conferidos às pontuações na escala de likert, tendo as médias como indicativos da intensidade de cada reação de aderência ou enjeitamento dos usuários. É possível perceber no gráfico uma maior concentração de itens na zona da adesão (9), superando em quantidade os requisitos localizados nas zonas de indiferença (6) e rejeição (2). Estes dados corroboram a conclusão de que o saldo global do conjunto de funcionalidades foi positivo, conforme pontuado anteriormente com base nos valores percentuais das pontuações médias. Chama atenção também a posição ocupada pelos requisitos exclusivos do artefato 'B' na zona da indiferença.

Gráfico 6 – Graus de receptividade às funcionalidades



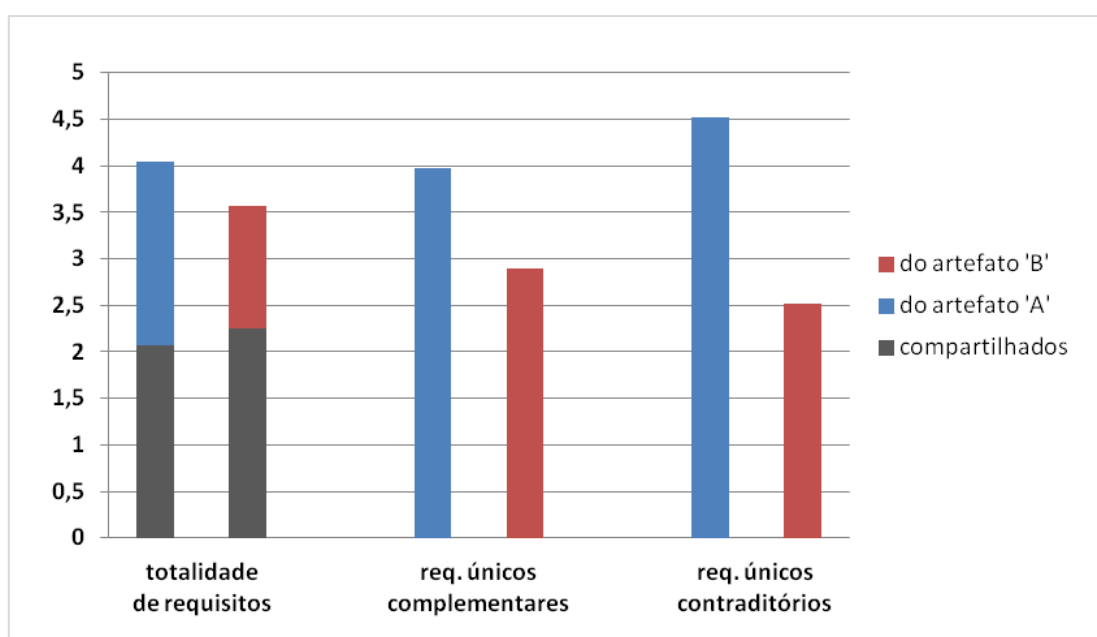
Fonte: elaboração do autor

O referido resultado pode ser interpretado considerando a tipificação dos requisitos como (a) exclusivos de um artefato e contraditórios entre si, (b) pertencentes a um tronco comum compartilhado e (c) exclusivos de um artefato e com potencial complementar: estes últimos, no que concerne o artefato 'B', correspondem a singularidades oriundas da frente subjetivista, da interação em profundidade com um grupo de estudantes não estatisticamente representativo da população. Assim, é possível ponderar acerca de uma eventual insensibilidade às proposições do grupo específico por parte da maioria, que não as rejeitou, porém mostrou-se indiferente. Esta leitura dialoga com o argumento levantado no Capítulo 2, com base em Almeida e Tidal (2017), de

que abordagens multimétodo contribuem para o delineamento de preferências e necessidades distintas por parte de indivíduos ou estratos pertencentes a um mesmo grupo.

Uma quantificação mais precisa da receptividade dos estudantes aos índices de requisitos relativos a cada artefato foi efetuada segundo dois critérios de cálculo distintos. O primeiro considerou as médias atribuídas a todos os requisitos de cada artefato, o que significa que as médias referentes aos requisitos compartilhados foram incorporadas aos cálculos das médias de cada um dos dois artefatos. Por este método, os itens referentes aos requisitos do artefato 'A' obtiveram média 4,05 enquanto os do artefato 'B' pontuaram 3,57. A segunda lógica de cálculo considerou apenas as médias dos requisitos únicos de cada artefato, descartando as pontuações dos itens referentes aos requisitos compartilhados. Como resultado deste procedimento matemático, o artefato 'A' obteve uma média de 3,97 e o desempenho do artefato 'B' caiu para 2,90 pontos. O Gráfico 7 expressa estes valores, e destaca também as médias atribuídas aos dois requisitos únicos de caráter contraditório: o RF06, componente do artefato 'A', e o RF15, que integra a relação de funcionalidades do artefato 'B'.

Gráfico 7 – Escores médios atribuídos aos requisitos dos artefatos



Fonte: elaboração do autor

Comparações pareadas das médias de cada artefato, considerando todas as combinações e cenários de inclusão e exclusão dos requisitos compartilhados, foram realizadas através do teste de Wilcoxon. Em todos os casos foram identificadas diferenças significativas ($p = 0,00$). Assim, diferente do que ocorreu nos testes de desempenho, é possível afirmar que as funcionalidades associadas ao artefato 'A' superaram as do artefato 'B' na avaliação discente. Cabe ressaltar, entretanto, que a média oriunda das pontuações atribuídas apenas aos requisitos compartilhados foi 4,12, superior às médias individuais dos dois artefatos, com ou sem a inclusão dos valores relativos aos requisitos compartilhados. Neste sentido, é possível afirmar que as funcionalidades mais bem avaliadas pelos estudantes estão presentes nos dois artefatos. Esta constatação reforça o argumento construído anteriormente sobre as sobreposições de abordagens epistemologicamente distintas, e a pertinência do enfoque nas comunalidades dos resultados.

É importante destacar que tentativas de explicação das preferências dos usuários com base na observação de pontuações globais de itens que aparentam guardar relação podem mostrar-se seriamente equivocadas. As funcionalidades únicas de caráter contraditório dos artefatos exemplificam este alerta. O requisito indicado no item 7_ RF06 do questionário pós-uso – relativo à limitação da apresentação de resolução à identificação de fórmulas, exibição de equação armada e inserção de resultado final – obteve média 4,52. Já o seu contraparte subjetivista expresso no item 17_RF15, e que preconiza a apresentação do passo a passo de cada procedimento matemático da resolução, teve a pontuação 2,52 atribuída pelos estudantes. À primeira vista, parece adequada uma compreensão baseada associação entre estes dados e aqueles obtidos através do questionário exploratório da frente objetivista, que expressavam em seus itens C e G, respectivamente, a rejeição a resoluções atreladas a um passo a passo detalhado e o entendimento de que o processo não é relevante, importando apenas o alcance do resultado correto.

Tal conclusão seria consistente com a noção coerencialista de validação interna, indicando a captação em ocasiões distintas de um mesmo fenômeno por dois instrumentos semelhantes, de mesma orientação epistemológica: uma particularidade dos sujeitos que embasou a proposição de um atributo do artefato 'A' e posteriormente resultou na expressão da aprovação, pelos

mesmos sujeitos, do referido atributo do artefato. Embora as variáveis correspondentes aos itens supracitados dos questionários aparentem corresponder a um mesmo fenômeno, a evidência estatística obtida através do teste de correlação de Spearman refuta a existência de qualquer tipo de relação entre elas, incluindo influências mútuas ou causas comuns ($0,6 \geq r \geq 0,1$ / $p \geq 0,194$).

7.2.2 Nuances da adesão e rejeição às funcionalidades

A busca por uma compreensão mais sólida e aprofundada das percepções e motivações por trás das respostas fornecidas pelos usuários requer o delineamento da lógica de avaliação adotada por eles, matematicamente expressa nas pontuações atribuídas a itens diferentes que seguem um mesmo padrão. A existência de tais padrões, conforme tratado no Capítulo 5, é verificada por análises correlacionais: que no caso acima apontaram para um resultado não significativo, descartando a explicação prévia e superficialmente concebida. Com base nestas análises, é possível tomar com segurança a rejeição ou adesão a determinados requisitos como parâmetros dotados de confiabilidade estatística, para explicar a rejeição ou aceitação a outros requisitos.

No âmbito do questionário pós-teste, foi identificada uma correlação forte e positiva ($r = 0,812$ / $p = 0,00$) entre o item q07_RF06 citado acima e o q11_RF03: em comum, eles expressam a exibição resumida de informações, respectivamente, no corpo da resolução do problema e na confirmação dos dados inseridos no enunciado. Os estudantes que atribuíram as altas pontuações logradas por estes itens tem comum também a insatisfação com o requisito compartilhado indicado no item q15_RF05, que apresenta a impossibilidade de resolução de problemas que demandam o emprego de mais de uma fórmula: este obteve média 2,37 e correlacionou-se negativamente ao q07_RF06 ($r = - 0,658$ / $p = 0,00$) e ao q11_RF03 ($r = - 0,775$ / $p = 0,00$). A avaliação destes itens segundo uma mesma lógica pode ser explicada por uma demanda dos estudantes por eficiência e otimização das resoluções, com a simplificação da exibição dos elementos dos problemas, sem impactar o potencial do artefato de obter soluções de diferentes graus de complexidade.

Para confirmar a pertinência desta leitura, uma varredura estatística foi realizada com intuito de identificar correlações de variáveis elencadas nos questionários com o item q08_RF16. Esta funcionalidade, referente ao artefato 'B', trata da modificação dos valores inseridos quando estes envolvem cálculos mais complexos, propondo assim problemas de resolução mais simples. A média atribuída a este requisito foi 2,39, predominando como moda nas duas aplicações do questionário pós-uso o valor 3 seguido pelos valores 1 e 2, denotando uma tendência de indiferença e rejeição por parte dos usuários.

Não foram identificados padrões de pontuação compartilhados por este e os demais itens do instrumento. Foi detectada, entretanto, uma correlação inversa, forte e significativa ($r = -0,82$ / $p = 0,00$) com o item O do questionário exploratório aplicado na frente objetivista, que diz respeito à estratégia de iniciar um problema pelas questões mais fáceis e só então partir para as mais complexas. É possível depreender que os usuários que buscam táticas para viabilizar a consecução de soluções mais complexas perceberam o requisito RF16 como um empecilho ao seu aprimoramento gradual no sentido de passar a lidar com problemas mais difíceis. A rejeição ao estabelecimento de um teto para o grau de complexidade dos problemas vinculada ao interesse por estratégias para abarcar resoluções mais difíceis denota um interesse dos estudantes por artefatos que contribuam para o desenvolvimento progressivo de suas habilidades.

O papel do artefato na motivação à busca pela melhoria do desempenho também foi objeto das análises realizadas. Destaca-se neste sentido uma correlação forte ($r = 0,77$ / $p = 0,00$) entre os itens q02_RF12 ($\mu = 3,43$ / $Mo = 3$) e q13_RF11 ($\mu = 2,45$ / $Mo = 2$), relativos a funcionalidades do artefato 'A', que dizem respeito respectivamente à exibição de mensagens motivacionais mediante erros e de congratulações mediante acertos. Os dados denotam indiferença às mensagens motivacionais mediante erros e rejeição às congratulações em situações de acertos. A correlação permite inferir que os estudantes percebem estas mensagens segundo um mesmo padrão de entendimento. Esta tese é reforçada considerando o item E ($\mu = 2,63$ / $Mo = 2$) do questionário exploratório da frente objetivista, que dispõe sobre a empolgação para estudar mais a partir do sucesso na resolução dos problemas. Esta noção, também rejeitada pelos estudantes apresentou

correlações moderadas e moderadamente fortes com os itens q02_RF12 ($r = 0,64 / p = 0,00$) e q13_RF11 ($r = 0,76 / p = 0,00$).

É possível depreender destas relações entre variáveis que os aspectos motivacionais relativos ao uso de artefatos tratados nos questionários são em alguma medida perpassados por um único domínio da percepção dos usuários. Sobre isto, cabe chamar atenção para o já discutido item q10_RF17 ($\mu = 3,04 / Mo = 3$), relativo ao artefato 'B', que envolve a exibição de mensagens de ajuda mediante escolhas incorretas, recebida com indiferença pelo grupo. A retomada desta funcionalidade neste momento é pertinente, visto o teste de Spearman não indica quaisquer correlações entre ela e os requisitos tratados no parágrafo anterior ($- 0,85 \geq r \geq - 0,59 / p \geq 0,37$). É possível afirmar que a ajuda mediante o erro é colocada em uma categoria distinta das mensagens de apoio e elogios, não correspondendo, na perspectiva discente a uma mobilização de caráter motivacional, na acepção do termo adotada neste relato.

Como no caso das explicações de apoio, não é possível precisar se a rejeição aos requisitos de cunho motivacional se deve à sua proposta ou ao conteúdo específico trazido pelos mesmos, e poderia converter-se em adesão mediante uma melhoria destes. De todo modo, os dados discutidos até o momento indicam ser mais pertinente excluir o componente motivacional de uma versão final das aplicações. O investimento em uma investigação do motivo da rejeição visando calibrar gradualmente as mensagens motivacionais até eliminar a rejeição parece ter pouca utilidade: a prioridade para os estudantes, conforme demonstrado pelos resultados, é a eficiência do apoio matemático-conceitual à resolução, englobando problemas mais complexos, e a simplificação das informações apresentadas pelos artefatos.

O padrão de pontuação mais notável identificado na análise dos questionários pós-uso foi compartilhado pelos itens q12_RF14 ($\mu = 3,34 / Mo = 3$) e q14_RF04 ($\mu = 4,32 / Mo = 4$), expresso em uma correlação muito forte e significativa ($r = 0,89 / p = 0,00$). A intensidade do vínculo impressiona pouco, porém, quando fica constatado tratar-se de funcionalidades análogas nos dois artefatos, que servem a um mesmo propósito: permitir a identificação, dentre opções, da fórmula associada ao menor percurso de resolução. A sutil diferença entre estas reside na forma de identificação destas fórmulas, que no

artefato 'A' se dá pela escolha direta passível de novas tentativas mediante erro, e no artefato 'B' envolve explicações de revisão dos conceitos presentes nas mesmas. Esta correlação, somada à constatação das modas, mostra que os estudantes utilizaram um mesmo princípio na avaliação das funcionalidades, apresentando graus de receptividade distintos: aderiram à escolha direta das fórmulas no artefato 'A' e foram indiferentes às explicações do artefato 'B'.

7.3 Percepções dos usuários pelo prisma subjetivista

A realização das consultas pós-uso em duas ocasiões distintas, separadas pelas 8 semanas de intervalo entre os blocos de testes, explicitou a sensibilidade da técnica de entrevista ao seu contexto de condução. O período do ano letivo em curso foi uma variável determinante neste sentido: não impactou as respostas dadas ao questionário, vide a relatada inexistência de diferenças significativas entre as aplicações. Houve, porém, diferenças nítidas entre as falas dos estudantes ao fim do primeiro bloco experimental e aquelas obtidas na fase de retestes, que ocorreu próximo ao término das aulas.

É possível ponderar que esta característica das entrevistas foi contemplada no capítulo anterior, na discussão acerca da existência de circunstâncias distintas, mais ou menos propícias, e passíveis a impactar a interação entrevistado-entrevistador: o caminho então apontado, com base em Beaud e Weber (2014) e Yin (2016), foi a negociação e o reconhecimento do papel do informante de coproponente do diálogo. As circunstâncias que influenciam as falas sobre um dado fenômeno poderão contribuir para a compreensão deste, se for assegurado aos sujeitos espaço para expressar em que medida esta influência se dá. Neste sentido, na perspectiva subjetivista que pauta esta avaliação, a aceitação do viés circunstancial não representa “traição ao objeto de pesquisa, mas apenas evolução da intenção do pesquisador na perseguição deste objeto” (LAVILLE, DIONE, 2007, p. 189).

7.3.1 Primeira ordem de percepções

Os primeiros convites para as entrevistas pós-uso foram feitos já ao longo da primeira seção de testes realizada: foram motivados por reações mais

intensas, vocalizadas, dos estudantes em questão à execução das tarefas. Porém, a compreensão de que os usuários que emitiam opiniões de modo enfático no momento do uso teriam algo substancial a dizer posteriormente mostrou-se equivocada. Nenhum dos três convites realizados nesta perspectiva resultou efetivamente numa entrevista: uma estudante declinou de imediato, alegando que havia reservado aquele horário de aula-estudo para fazer outras atividades; houve uma concordância inicial em participar por parte de um discente, que se comprometeu a retornar até o final do horário para conversar, mas não o fez.

O terceiro convidado foi B. S., de 16 anos, que se dispôs apenas a emitir algumas percepções, desde que em uma conversa breve. Alegou preferir resolver exercícios a conversar sobre a resolução dos mesmos, em discurso similar ao adotado pela estudante S. M. à época das observações participantes. O contato com B. foi importante porque sua preferência pelas resoluções, em detrimento dos diálogos, apontou para uma limitação da pesquisa até então não considerada: a fase de avaliação dos requisitos, objeto deste relato, compreendeu índices de desempenho e percepções emitidas pelos usuários, mas não contemplou o momento da resolução por meio de uma análise da interação dos sujeitos com cada sistema.

As estratégias e peculiaridades presentes no uso de cada artefato, em seus contrastes e mobilizações cognitivas subjacentes, contribuiriam para o delineamento de uma compreensão dos desdobramentos psicológicos das funcionalidades concebidas nas perspectivas epistemológicas pesquisadas. Não contemplada no planejamento desta pesquisa, e constatada a necessidade de instrumentalização metodológica e analítica adequadas à sua consecução, coube o reconhecimento da pertinência desta vertente investigativa considerando sua implementação em pesquisas futuras.

As falas anunciadamente pouco elaboradas do estudante B. destacaram sua preferência pelo artefato 'A', segundo ele, por levar à resolução mais rapidamente. Como os dois artefatos adotam uma mesma lógica algorítmica, é possível inferir que o estudante se referia ao detalhamento dos processos e visualização das informações de apoio trazidas pelo artefato 'B' como postergadoras da solução. Esta percepção expressa por ele foi congruente com a da maioria da população, discutida na subseção anterior com base nas

pontuações atribuídas aos questionários. Diante da impossibilidade de aprofundar a conversa, conforme acordado com o estudante, pareceu pertinente questioná-lo objetivamente apenas sobre seu desempenho e interesse pela disciplina de Física. O mesmo se descreveu como um aluno mediano: “médio... tô dizendo, [em referência] à média normal da galera, não a média pra passar por média”, esclareceu aos risos. Pontuou ainda que não gostava da disciplina por considerá-la difícil, mas que acreditava que aplicações como o artefato ‘A’, ainda que baseadas em ideias simples ou “sem nada demais”, poderiam ajudá-lo a melhorar seu desempenho.

O contato com os estudantes convidados a partir da primeira seção de testes do bloco 1, embora tenha resultado apenas nas poucas contribuições de B., influenciou a definição de uma estratégia de recrutamento de entrevistados para as demais seções do bloco. Os grupos passaram a ser sondados durante os próximos testes, buscando indivíduos mais identificados com cada artefato, visando assegurar representatividade a ambas as preferências. A colocação da necessidade, pela pesquisa, de conhecer as falas dos estudantes nesta perspectiva fez com que os mesmos deliberassem colaborativamente rumo à definição dos entrevistados. Esta atuação pautada pela lógica da negociação e da percepção dos participantes como coproponentes do diálogo (BEAUD; WEBER, 2014; YIN, 2016) revela-se promissora para contextos educacionais na medida em que revela potencial de engajar os próprios estudantes na viabilização de soluções para as demandas da pesquisa.

Dois discentes em particular se destacaram dentre os nomes propostos pelo grupo, não pela singularidade ou intensidade das posições externadas, mas pela sua abrangência: seus depoimentos trouxeram elementos presentes em diversas outras falas observadas ao longo do estudo, mostrando-se expressivos em relação às circunstâncias. Um deles foi o estudante C. L., de 15 anos, de perfil socioeconômico e trajetória educacional muito semelhante aos dos demais estudantes. Chamou atenção o relato de que acompanhara, ao longo do ano em curso, a preparação da mãe pra prestar o ENEM: recepcionista em um consultório médico, ela buscava diferentes meios de ingresso em um curso técnico ou tecnólogo na área de Recursos Humanos. As falas do estudante revelaram sintonia com o contexto observado por ele, de estudo pragmático para uma prova visando a meta de ingresso em uma

instituição de ensino superior. C. elogiou o que considera uma abordagem mais “direta” por parte do artefato ‘A’, ressaltando sua eficácia no que tange a obtenção do resultado e expressando pouco interesse pela questão da acessibilidade pedagógica.

Quadro 19 – Transcrição em destaque K

C. L.: explicação demais, eu acho que termina mais atrapalhando mais do que ajudando, eu acho... pode ver. Qualquer aula. Pode pegar qualquer aula, qualquer uma... se o professor tá explicando muito: fala, fala de novo, fala de outro jeito... é porque o negócio tá complicado [risos].

Pesquisador: mas tu não acha importante um material ser bem explicado, pra ajudar as pessoas que tem mais dificuldade?

C. L.: não é dizendo que o outro [artefato] é ruim, entendeu? É só... pronto, eu acho bom ajudar as pessoas que não sabe. É bom. Só que aí... aí, o problema é que eu acho que muita explicação não ajuda. O cara quer mesmo chegar na resposta. É a resposta, entendeu? É isso que eu acho.

Fonte: elaboração do autor

A fala de C. indica uma mentalidade intrigante subjacente à sua rejeição às explanações. Segundo o estudante, as explanações acerca da execução de uma resolução não contribuem para a obtenção da solução do problema: o que contribui para obtenção da solução é, paradoxalmente, chegar à solução. O imediatismo e dificuldade de conceber e trilhar caminhos para as finalidades pretendidas não são traços geracionais identificados na literatura: a capacidade destes jovens de engajamento em missões secundárias visando obter os meios para atingir um objetivo principal é um atributo amplamente discutido por estudiosos e propagadores do campo da aprendizagem baseada em jogos digitais, como Gee (2004) e Prensky (2001). Neste sentido, parece mais factível não uma impossibilidade de conexão com as explanações, mas a percepção de que as mesmas não seriam necessárias, ou corresponderiam ao método mais efetivo, para atingir a solução.

O posicionamento identificado com o artefato ‘B’ ficou sob o encargo de C. A., também de 15 anos: foi uma das estudantes que declinou o convite para participação na frente subjetivista, quando foi identificada uma demanda pelo incremento da participação feminina. Alegou à época que estava comprometida com outras atividades escolares, e afirmou durante a entrevista pós-uso que continuava atarefada, mas que concordara em participar por considerar a pesquisa importante. Ela afirmou que a “preocupação” da aplicação concebida

na perspectiva subjetivista com aqueles que apresentam maiores dificuldades de aprendizagem chamou sua atenção. A fala da discente pareceu pautada, neste sentido, por um discurso pró-inclusão, no que tange as particularidades e necessidades de aprendizagem dos indivíduos. Ela revelou conviver com uma criança autista em sua vizinhança, o que explica a sensibilidade à questão. Porém, o ponto no depoimento de C. A., que se fez mais presente nos demais relatos favoráveis ao artefato 'B' diz respeito ao seu potencial motivacional na ótica de estudantes com baixa autoestima e pouca perspectiva de êxito acadêmico.

Quadro 20 – Transcrição em destaque L

C. A.: a pessoa, quando ela tem muita dificuldade, ela não vai nem querer tentar. Porque tem vergonha.

Pesquisador: mas a pessoa tem vergonha até de tentar sozinha?

C. A.: por incrível que pareça, tem! Assim: tu tem tanta dificuldade, mas tanta, tanta... que tu sabe que tu não vai conseguir sozinho, certo? Sem condição. E se tu for tirar dúvida, se tu pedir ajuda, aí vão dizer "oxe, como é que ele não sabe isso?!".

Pesquisador: Mas tu acha que o aplicativo mostrar as explicações e fazer o passo a passo detalhado ajuda nisso?

C. A.: oxe, com certeza! Tu não vai ter medo de tentar, porque tu sabe que se tu não souber e errar, ele vai te explicar como é o certo pra tu conseguir fazer. Pode ser uma dificuldade muito grande que tu tem, ou só uma bem pequenininha, só nervoso, né? Que fica às vezes. Mas só de tu saber que ele vai fazer os pedacinho tudo contigo, e não vai ter como tu errar, tu já se sente melhor.

Fonte: elaboração do autor

Este diferencial do artefato 'B' na perspectiva dos estudantes que apresentam dificuldades de aprendizagem foi detectado através da análise estatística dos escores de desempenho, e discutido anteriormente neste capítulo. Porém, a fala de C. A. atribui uma dimensão motivacional a esta característica, ressaltando um impacto psicológico relativo a uma sensação de segurança baseada na premissa de que não importam os graus de falta de confiança ou defasagem educacional: o detalhamento inclusivo da resolução guiará o estudante passo a passo em direção à solução do problema. Neste sentido, é possível afirmar que além dos que apresentam lacunas de formação pela ausência de uma educação de qualidade, o artefato 'B' pode beneficiar também estudantes que sofrem de ansiedade matemática, conforme discutido no Capítulo 4 com base em Feio, Borges & Silva (2018) e Ferreira (2018).

A identificação de um mesmo atributo do artefato 'B' pelas duas formas de avaliação empregadas reforça o potencial das abordagens multimétodo de atingir diferentes dimensões de um mesmo aspecto de uso de um artefato, conforme proposto por O'Brien e Lebow (2013) no Capítulo 2. Em uma perspectiva mais ampla, é possível compreender a captação da acessibilidade pedagógica nas perspectivas objetivista e subjetivista de avaliação como exemplo das já discutidas sobreposições (CAMPBELL *et al.*, 2018). É possível propor ainda que o componente motivacional da acessibilidade, não detectado nos testes e questionários, expressa a complexidade do fenômeno investigado e corresponde a um aspecto passível de captação por uma dada abordagem e ignorado por outra, conforme colocado também no Capítulo 2 a partir de Yoshikawa *et al.*, (2008).

Cabe lembrar que o estímulo motivacional inerente ao design proposto foi planejado no âmbito das mensagens de congratulações e apoio, amplamente rechaçadas pelo grupo. Embora não tenha se constituído como tópico principal de conversa em nenhuma das entrevistas, esta rejeição se manifestou nas falas dos estudantes quando questionados sobre a proposta das frases, percebida como infantil e artificial. A observação colhida que melhor sintetizou a sensação do grupo foi a do estudante W., que protagonizara uma resolução de exercício observada na frente subjetivista, e posteriormente declarou maior identificação com o artefato 'A': "fica parecendo que é meio falso, né? [risos]. Porque parece que é uma coisa que quer dizer que fala com cada um, que ajuda cada um. Mas o cara vê que é uma coisa que aparece pra todo mundo, que não sabe a situação dele".

Além da percepção das frases motivacionais, fez-se presente também em alguns depoimentos neste bloco uma reação de surpresa em relação à simplicidade dos artefatos, destacada anteriormente na fala de B. Uma explicação para este fenômeno é a ausência de elaboração gráfica e tecnológica dos produtos: embora os artefatos apresentados correspondessem à proposta da pesquisa previamente apresentada aos estudantes, é possível inferir que baseando-se em suas experiências individuais com aplicativos móveis, os mesmos esperassem um produto finalizado, dotado de interfaces coloridas e atrativas, além de atributos como conectividade. Outro juízo recorrente entre os participantes foi o de que as aplicações não impactariam

globalmente suas vidas escolares, embora fossem muito úteis no que tange o conteúdo específico abordado – também indicativo da formação de expectativas em torno da ideia de desenvolvimento de uma aplicação, apesar da especificação prévia do escopo do projeto.

Foram abundantes ainda as sugestões para as aplicações fornecidas pelos estudantes. Dentre as operacionalmente inviáveis, destacou-se um algoritmo baseado em inteligência artificial para viabilizar explicações em linguagem natural. Foram frequentes também propostas não circunscritas aos objetivos do projeto, em geral voltadas para a resolução de exercícios no âmbito de outros conteúdos e disciplinas, reforçando o alerta de Lowdermilk (2013) de que não é pertinente buscar implementar tudo o que é sugerido pelos usuários. As ideias passíveis de execução no escopo da pesquisa, considerando o enfoque nas funcionalidades, consistiram basicamente na remoção das mensagens de cunho motivacional; e na possibilidade de resolução de um leque maior de problemas, incluindo os que demandam emprego de mais de uma fórmula e contemplam outros movimentos estudados na cinemática.

7.3.2 Segunda ordem de percepções

Estas sugestões se fizeram presentes também nas entrevistas realizadas posteriormente, ao término do bloco dos retestes, embora neste segundo momento as falas dos estudantes tenham adquirido contornos singularmente distintos, conforme pontuado no início desta subseção. Faltavam cerca de trinta dias para o encerramento do segundo semestre. Porém, a iminência das avaliações da quarta e última unidade didática, e a perspectiva de aprovação ou necessidade de recurso às provas finais e conselhos de classe após o encerramento do período letivo, já afetavam o foco e os ânimos dos estudantes. O cansaço que caracteriza os meses finais do calendário e o desejo por férias se faziam presentes nas falas dos participantes.

Cabe pontuar que, assim como ocorreu com os questionários pós-uso, tais circunstâncias não afetaram a disposição do grupo em participar dos testes de desempenho dos protótipos, discutidos anteriormente. Sobre isto, alguns participantes afirmaram tratar-se de um horário de aula-estudo, cujo uso pela

pesquisa não prejudicava seu foco nas aulas. Outros depoimentos ressaltaram a utilidade dos conteúdos trabalhados nas seções dos testes, oriundos do primeiro semestre, para os conteúdos estudados naquele momento. O principal argumento neste sentido foi o de que os conteúdos apresentados nas aulas após o estudo da cinemática, envolvendo novas fórmulas e aspectos do movimento, partiam de uma mesma lógica de compreensão. Foram frequentes as afirmações, pelos estudantes, de que os conteúdos se relacionavam, embora não soubessem explicar de que forma. Isto pode ser interpretado como indício de uma percepção, mesmo que incipiente, da cinemática como base para a compreensão dos demais conteúdos da mecânica, conforme tratado no Capítulo 4 com base em Hewitt (2002) e Tipler & Mosca (2009). Não é possível afirmar, porém, se a emergência desta percepção decorre em alguma medida da manutenção do contato dos estudantes com a cinemática ao longo do ano em decorrência da realização desta pesquisa.

A busca por estudantes identificados com cada proposta de aplicação, assegurando representação aos dois artefatos, não detectou variações na quantidade de participantes que declararam preferir um ou outro protótipo, comparativamente ao bloco anterior. Também não foram identificados estudantes que alegaram ter mudado de opinião, passando a preferir um protótipo distinto do inicialmente declarado. Esta solidez de posicionamentos pode estar relacionada a tendências prévias: fatores como experiências de vida e familiaridade com diferentes tipos de ferramentas tecnológicas influenciam o engajamento digital no uso de aplicações educacionais (GURUNG; RUTLEDGE, 2014; HATLEVIK; GUÐMUNDSDÓTTIR; LOI, 2015). Porém, como não foi traçado um perfil do grupo acerca dos hábitos, preferências e prevalências no uso de ferramentas tecnológicas, não é possível chegar a conclusões neste sentido. Desta forma, a caracterização prévia dos sujeitos para fins de comparação posterior com suas percepções, expressas em entrevistas e questionários acerca, de ferramentas apresentadas é colocada como sugestão para estudos futuros.

Foi detectado, entretanto, um deslocamento discursivo no âmago da defesa dos dois artefatos por seus apoiadores. O estudante D. S., de 16 anos, relacionou sua preferência pelo artefato 'B' à proposta de resolução mais detalhada, benéfica a estudantes que tem mais dificuldades para aprender os

conteúdos, perfil com o qual se identifica. D. afirmou acreditar que a acessibilidade da resolução tende a agradar mais estudantes que gostariam genuinamente de aprender Física, mas esbarram nas limitações do sistema de ensino e das oportunidades de que dispõe fora da escola: “pro cara que tem vontade mesmo, sim! Mas o cara que de qualquer jeito não ia querer muito, porque [pra] matemática ele já [diz] ‘não!’, se tem conta ele já não quer, aí eu acho que já muda”. O estudante aderiu argumentativamente aos depoimentos de colegas identificados com o artefato ‘B’ ao adotar um tom conciliatório em sua fala:

Quadro 21 – Transcrição em destaque M

D. S.: eu acho que não tem isso, não, de um melhor. Isso depende muito. Sendo que isso é eu. Tô dizendo: pra mim é melhor [o artefato 'B'] porque me ajuda mais. Eu acho que tem que ser uma opção, quem quiser desse jeito, que é mais mastigado desse jeito, aí tem. Senão, tem o outro [jeito].

Fonte: elaboração do autor

Curiosamente, na fala dos entrevistados identificados com o artefato ‘A’ prevaleceu a lógica do contraste entre as propostas de resolução visando determinar a mais adequada, mesmo quando colocado para os mesmos que a pesquisa não concebia os artefatos como soluções alternativas mutuamente excludentes. Cabe ressaltar que estes depoimentos não adotaram um discurso de deslegitimação da ideia concorrente, mas de defesa de uma proposta que entendiam ser mais apropriada para a maioria do grupo. O confronto de ideias se fez nítido no diálogo entre o estudante J. A. e a estudante M. E., ambos de 15 anos. Os dois relataram uma trajetória educacional semelhante, similar às descritas pelos demais participantes, embora J. A. reconhecesse a colega como aplicada, e de melhor rendimento do que a média do grupo.

Quadro 22 – Transcrição em destaque N

M. E.: menino, ele não disse que não é obrigado ter um [único aplicativo]? Cada um tem as vantagens e desvantagens, né? Vai ser melhor dependendo...

J. A.: mas dois negócio que faz a mesma coisa, sendo que um faz mais demorado, porque ele enrola pra dar [o resultado]...

M. E.: sim, mas pra uma pessoa que não sabe, que tem muita dúvida, né? Pode ajudar porque ele vai fazendo bem direitinho, vai...

J. A.: mas não tem tempo pra isso, tem que ver o mundo real: é muito assunto pra correr atrás, tu vai...

M. E.: oxe, mas a pessoa que tem que saber se tem tempo. Ela vai ser obrigada a fazer de um jeito que ela não gosta? O bom é ter opção.

Fonte: elaboração do autor

Apesar do caráter entrecortado e das interrupções mútuas, é possível captar no diálogo o espírito do tempo ao término do ano letivo, em particular na fala de J. A. Não houve no segundo bloco alterações nas preferências pelas propostas de resolução, mas um direcionamento nas argumentações relativas a estas: o artefato 'A' seria eficiente por proporcionar resoluções diretas, que demandam menos atenção a informações apresentadas, e são compreendidas como mais apropriadas para situações de urgência. O artefato 'B' seria eficiente para estudantes que desejam ser guiados ao longo do passo a passo da resolução. A conversa entre estes estudantes destacou ainda um aspecto fundamental para o design de artefatos educacionais: até então, o contexto de uso havia sido considerando tendo em vista circunstâncias de resolução de exercícios em casa, na escola, em momentos de revisão de conteúdos ou mesmo de preparação para provas. Entretanto, não foi atribuído a esta última situação o estresse e a urgência vivenciados ao final de um ano letivo, caracterizado pelo acúmulo de conteúdos frente à demanda por um dado desempenho em avaliações de caráter final e decisivo.

É importante observar que esta argumentação favorável ao artefato 'A' parece adotar a premissa de que a quantidade de problemas efetivamente resolvidos é diretamente proporcional ao aprendizado resultante. É possível ponderar que esta mentalidade tende a uma abordagem mecânica dos problemas, antagônica às resoluções significativas propostas por Peduzzi e Peduzzi (2006), tratadas anteriormente. Diante da constatada impossibilidade de fazer afirmações sobre a assimilação ou compreensão de conteúdos no médio ou longo prazo, cabe colocar como questão a ser investigada no futuro o potencial de promoção da reflexão associado a cada tipo de resolução proposta pelos artefatos.

Sobre a discussão mais ampla do emprego de abordagens subjetivistas em processos multimétodo de design, vale elencar como promissoras a partir desta experiência as entrevistas com mais de um indivíduo, ou ainda os grupos focais – para os quais a literatura provê uma ampla base teórico-metodológica, conforme observa Flick (2009). A proposta de uma entrevista conjunta partiu da

intenção de colocar em diálogo as duas percepções subjetivas que se apresentaram nos dois blocos de testes. Além de explicitá-las efetivamente, a iniciativa se mostrou profícua ao destacar as problemáticas das circunstâncias de estresse e urgência, e do risco de mecanicidade das resoluções. A condução da conversa, crucial para os resultados obtidos, foi pautada pelo princípio da designação de papel ativo a múltiplos protagonistas, conforme preconizado na literatura:

[o pesquisador pode] tratar grupos muito pequenos (duas a três pessoas) como adjuntos das entrevistas dos indivíduos [...] dirigir sua atenção a uma dessas pessoas enquanto mantém o devido respeito às outras, e não as faz sentir que desempenham apenas um papel auxiliar (YIN, 2016, p. 125).

Além deste formato de entrevista e da atmosfera discursiva influenciada pelo término do ano, o segundo bloco de entrevistas pós-uso diferenciou-se do primeiro também pela emergência de uma percepção distinta daquelas até então captadas e colocadas em diálogo. Sua manifestação se deu a partir de uma conversa com o estudante M. C., que havia sido entrevistado na frente objetivista no contexto de confecção do questionário exploratório: foi possível identificar na ocasião um perfil metódico, que se pauta pela oficialidade das estratégias de resolução adotadas pelos professores ou preconizadas nos materiais didáticos. O estudante declarou maior identificação com o artefato 'B', mas afirmou que não se sentia inteiramente contemplado por sua proposta.

Quadro 23 – Transcrição em destaque O

M. C.: Eu gosto de estudar a explicação, ver como tá ou no livro ou o jeito que o professor mandou fazer, aí depois eu vou e faço igual. Só que aí não tô mais vendo a explicação. Eu estudo, leio, vejo como faz, e na hora mesmo eu vou e faço igual. Mas aí, sem ver, tá ligado?

Pesquisador: primeiro tu vê como é, aí logo depois tu vai e faz igual, só pela tua memória. Pra pegar prática. É assim?

M. C.: exatamente. É assim que as pessoa aprende.

Fonte: elaboração do autor

Esta estratégia poderia ser abarcada por uma aplicação dotada de um terceiro modo de resolução, além dos dois correspondentes às propostas dos artefatos 'A' e 'B'. Uma forma de implementação desta alternativa seria a apresentação de explanações acerca dos conceitos, fórmulas e relações entre variáveis envolvidas após a inserção dos dados: um enfoque teórico mais

robusto do que o do artefato 'B', porém restrito ao momento que antecede a resolução, voltado especificamente para as particularidades do problema apresentado. Outra possibilidade envolveria uma explanação ampla e geral, abrangendo qualquer problema da cinemática, a ser estudada pelo usuário antes de uma resolução sem intervenções de apoio por parte da aplicação.

Diferenciando-se dos questionários, a avaliação dos artefatos por meio das entrevistas visou a compreensão dos significados atribuídos ao seu uso. Assumida uma posição identificada com a episteme subjetivista, observou-se um deslocamento da busca por respostas a perguntas como 'o que' ou 'qual' – interessadas em uma perspectiva comparativa – para questões do tipo 'por que' ou 'de que forma', aprimorando a compreensão dos fenômenos subjacentes ao uso das aplicações. O resultado foi a concessão de voz a diferentes perspectivas de resolução de problemas mediadas pelos artefatos.

As aplicações não alteraram a percepção dos estudantes acerca de suas trajetórias educacionais. Tampouco houve influência aparente da história de vida na identificação com um ou outro artefato, visto que ambos arregimentaram simpatizantes entre perfis de trajetórias similares. É possível afirmar que as duas propostas dialogaram com as narrativas dos estudantes: seja na possibilidade pragmática de êxito acadêmico de quem se viu 'largando nas últimas posições' no aprendizado de um conteúdo e agora pode começar a 'correr atrás'; seja na confiança adquirida por quem passou a se sentir incluído em uma proposta de resolução 'mastigada', e pode superar o 'medo de tentar'.

Não houve uma ressignificação global das narrativas discentes, algo esperado dado o caráter microscópico do impacto das aplicações, discutido anteriormente. Porém, é possível chegar a uma conclusão no âmbito específico dos conteúdos da cinemática: as codas do lamento resignado e da isenção de culpa pela ausência de perspectiva de aprendizagem dos conteúdos – delineadas no capítulo anterior – passam a ser desafiadas pela constatação da possibilidade de resolução dos problemas através das aplicações.

7.4 Recomendações para o design das funcionalidades

Os dados apresentados neste capítulo mostram que o emprego das duas perspectivas epistemológicas enfocadas resultou em artefatos que

contemplaram efetivamente a proposta de auxiliar estudantes na resolução de problemas da cinemática. Permitiu ainda conhecer, através de dois prismas distintos, as percepções discentes acerca das funcionalidades das aplicações. Tais análises subentendem diretrizes projetuais a serem adotadas. O Quadro 9 elenca os encaminhamentos resultantes das duas abordagens de avaliação dos requisitos, como complemento ao conjunto de funcionalidades proposto anteriormente também em uma perspectiva multimétodo.

Quadro 24 – Resultados desdobrados em encaminhamentos projetuais

▪ Manutenção da proposta global do artefato de auxílio à resolução de problemas da cinemática a partir da inserção de dados de enunciados e fornecimento, em diferentes graus, de informações e diretrizes para guiar o usuário na execução da resolução e confirmar os resultados obtidos: esta proposta foi validada mediante aprovação global do conjunto de requisitos, com destaque aos elevados escores de adesão obtidos pelas funcionalidades compartilhadas nas duas propostas de resolução.
▪ Exclusão de funcionalidades relativas à requisitos RF11 e RF12, concernentes à exibição de frases de congratulações e motivação mediante, respectivamente, erros e acertos ocorridos na resolução: decisão tomada conforme discutido frente aos depoimentos negativos e ao interesse declarado dos estudantes pela eficácia e otimização do apoio à resolução.
▪ Incorporação de requisito funcional – [RF18] exibir explicações acerca de fórmulas e conceitos necessários à resolução do problema <u>após a inserção</u> dos dados do enunciado e antes da escolha de fórmula e procedimento à resolução, a serem realizados sem apoio da aplicação: esta funcionalidade diz respeito ao terceiro modo de resolução, proposto a partir das entrevistas de avaliação pós-uso.
▪ Incorporação de requisito funcional – [RF19] exibir explicações gerais acerca de fórmulas e conceitos da cinemática <u>antes da inserção</u> dos dados do enunciado, tendo escolha de fórmula e procedimento à resolução realizados sem orientações iniciais direcionadas ou qualquer forma de apoio posterior pela aplicação: esta funcionalidade consiste em uma alternativa ao terceiro modo de resolução, indicado acima.
▪ Incorporação de requisito funcional – [RF20] permitir a escolha pelos usuários de modos de execução contemplando as estratégias de resolução [a] direta, [b] detalhada ou [c] de apoio exclusivamente prévio: esta funcionalidade diz respeito à disponibilização de opções de resolução, conforme proposto pelos usuários identificados com o artefato 'B', e visando incorporar a terceira estratégia de resolução identificada, indicada em RF19 e RF20.
▪ Incorporação de requisito funcional – [RF21] possibilitar consulta, pelos usuários, a desempenhos obtidos e níveis de dificuldades dos problemas resolvidos, a serem registrados na base de dados da aplicação: esta funcionalidade busca possibilitar um mapeamento do próprio progresso pelo estudante no médio e longo prazo, considerando que o presente trabalho não permite fazer afirmações sobre a estabilidade da aprendizagem. Este requisito é consistente com a demanda identificada de eficiência de apoio à resolução no que tange o aprimoramento do desempenho na resolução de problemas da cinemática.
▪ Alteração em requisito RF05, de modo a permitir a resolução de problemas que demandam o emprego de mais de uma fórmula e expressar inviabilidade de resolução apenas para enunciados cujos dados sejam incompatíveis com as equações da cinemática: decisão tomada de modo a contemplar demanda discente.
▪ Alteração em requisito RF16, tornando a proposição de ajustes a valores inseridos visando atribuição de níveis de dificuldade mais baixos ao problema <u>opcional</u>, mediante consulta e decisão tomada pelo usuário: encaminhamento concebido a partir de rejeição ao requisito expressa nos questionários pós-uso.

▪ Alteração em requisito RF05, relativo a indicação do grau de complexidade matemática do problema, substituindo formato originalmente proposto pela especificação direta do(s) tipo(s) de complexidade presente(s) – cálculos envolvendo números decimais; necessidade de conversão de valores para sistemas de unidade de medidas distintos, ou necessidade de emprego de mais de uma fórmula: esta proposição busca conscientizar os usuários acerca das dificuldades inerentes aos problemas, contribuindo para o processo decisório de escolha das resoluções a serem perseguidas, e consequentemente para o acompanhamento do próprio progresso, que se mostrou relevante na perspectiva dos participantes.

Fonte: elaboração do autor

Faz-se pertinente observar que os itens listados no quadro dizem respeito às funcionalidades concebidas, conforme o escopo do estudo: não são abordados portanto atributos estéticos de interfaces gráficas ou especificações de natureza ergonômica. Neste sentido, o desenvolvimento efetivo desta proposta de aplicação demandaria a consideração destes e outros aspectos do design não enfatizados neste trabalho. Não obstante, isto não diminui a relevância das discussões e reflexões apresentadas aqui para tais enfoques correlatos de atuação e pesquisa, visto que os métodos e técnicas de investigação social empregados são os mesmos.

Cabe pontuar também que a incorporação dos encaminhamentos elencados acima pode apontar para a emergência de outros requisitos ou diretrizes projetuais. Tal desdobramento seria esperado e mesmo desejável, visto que não há no âmbito desta pesquisa pretensão de conceber as funcionalidades da aplicação em uma versão definitiva: os requisitos funcionais, sua validação e plano de encaminhamentos não representam uma meta, e sim a evidência do papel desempenhado pelo pelas perspectivas epistemológicas de obtenção de dados, objeto de análise neste estudo.

É possível concluir neste sentido que a descrição do emprego destas perspectivas e a discussão dos desdobramentos identificados à luz de cada viés epistemológico correspondeu à análise pretendida, dialogando com a literatura e trazendo recomendações para pesquisas futuras. Assim, retoma-se o argumento colocado no início deste capítulo, de que a linha de chegada do presente estudo não corresponderia a constatações desveladas ao término de um relato de dados centralizado. O que se observou foi um processo construído progressivamente no âmbito de diferentes relatos, unidos por um fio condutor reflexivo.

7.5 Reflexões sobre um processo multimétodo e suas contribuições para o campo do Design

Uma importante colocação reforçada a partir dos resultados desta pesquisa é a de que as concepções de conhecimento pautadas pela experiência subjetiva se mostram adequadas à ampliação da compreensão do uso de um artefato digital, conforme pontuado no capítulo introdutório com base em Lund (2006) e Still & Albers (2010). Cabe reconhecer que tal asserção representa mais uma premissa-base para a proposição do experimento realizado do que propriamente uma hipótese a ser testada. Seu reforço é importante, entretanto, visto que corroborações sucessivas impulsionam a pesquisa para novos patamares, como o dos delineamentos dos desdobramentos do emprego de diferentes técnicas, alçado neste trabalho e com potencial para continuidade em outros estudos.

Na esfera das reflexões que podem informar decisões acerca da aplicação de abordagens multimétodo a projetos de design, destaca-se como conclusão geral das análises empreendidas o potencial de perspectivas epistemológicas distintas contribuir para a concepção de índices de funcionalidades de uma aplicação educacional. Voltando o olhar para as entrelinhas dos resultados, é possível dispor também que as divergências e contradições dos métodos, em termos de dados obtidos, não obstaculizaram a fundamentação conjunta, pelos mesmos, do projeto em curso. A forma de gerir e encaminhar tais contradições, conforme detalhado no subitem anterior, deu-se pela atenção à fala dos usuários, contemplando uma preocupação básica do planejamento de artefatos: "o design também se preocupa com as soluções de compromisso, balanceando requisitos conflitantes" (ROGERS; SHARP; PREECE, 2013, p. 321). Neste sentido, a proposta multimétodo mostrou-se adequada também a estas demandas de compromisso e balanceamento.

É possível afirmar ainda que um mesmo estratagema de levantamento de requisitos foi aplicado aos dois conjuntos de dados com sucesso, visto que os produtos resultantes obtiveram escores elevados de desempenho e aprovação global pelos usuários. As correlações entre as funcionalidades expressas nos questionários pós-uso e os itens do questionário exploratório da frente objetivista denotam correspondência entre os requisitos declarados e as

demandas originais dos usuários. Neste sentido, a literatura que fundamentou a declaração de requisitos (LOWDERMILK, 2013; PRESSMAN; MAXIM, 2016) dialogou com dados oriundos das duas perspectivas epistemológicas, transpostos para o domínio da informação. É possível ponderar que, assim como foi conjecturado acerca da leitura dos dados, a concepção de requisitos de origens distintas com base em uma mesma lógica executada por um mesmo pesquisador aponta para um caráter identitário compartilhado em alguma medida pelo produto final. Tem-se novamente neste sentido uma leitura favorável ao emprego de abordagens multimétodo, em contraponto ao já mencionado receio da perda de rumo e consistência no âmbito do projeto.

Neste sentido, predominou na disposição concorrente das perspectivas exploradas no contexto multimétodo o caráter complementar, conforme pontuado no referencial teórico com base em Kelle (2001). Os resultados endossam esta conclusão na medida em que o olhar objetivista permitiu um mapeamento amplo do fenômeno, identificando aspectos pertinentes à maioria numérica da população estudada. Já a perspectiva subjetivista adotou um direcionamento etnográfico caracterizado pela busca da profundidade: o resultado foi o aprofundamento da compreensão de aspectos existentes no âmbito do fenômeno, na perspectiva da experiência subjetiva com os mesmos, sem interesse na hierarquização matemática de amplitudes e intensidades em relação aos demais elementos do cenário, nos termos explicados por Becker (2007). Estas constatações corroboram o argumento defendido por O'Brien e Lebow (2013), de que projetos informados por abordagens metodológicas distintas permitem atingir diferentes camadas de um mesmo fenômeno.

Estas ponderações proveem explicações eloquentes para a natureza de cada índice de requisitos proposto. O artefato 'A' apresentou as funcionalidades consideradas mais adequadas pela maioria dos participantes. Enquanto isto, o enfoque subjetivista nos processos, nas experiências individuais e em questões do tipo 'como' e 'por que', viabilizou uma proposta detalhada voltada para o passo a passo da resolução, caracterizada pela acessibilidade pedagógica a estudantes com baixa autoestima e dificuldades de aprendizagem. Cabe destacar ainda a terceira estratégia de resolução detectada na perspectiva subjetivista: distanciando-se da proposta abraçada pela maior parcela dos estudantes, correspondente ao artefato 'A', a nova proposta emerge da noção

de conhecimento pautada pela subjetividade na medida em que referencia preferências e percepções que existem e dialogam com a individualidade de alguns usuários, mas não dizem respeito à maioria deles.

Esta visão dos resultados, à luz da noção de complementaridade das abordagens, pode resultar na leitura de que a proposta subjetivista necessariamente constituiria o complemento à objetivista: como uma forma de aprofundá-la, limitando-se assim a um papel de auxiliar. É importante esclarecer, porém, que esta relação de dependência não se verifica, em vista do emprego concorrente das duas propostas de obtenção de dados. Assim, quaisquer abordagens metodológicas podem igualmente exercer os papéis de protagonista, coadjuvante ou ser empregadas de forma independente, nos termos preconizados por Sampieri, Collado & Lucio (2006) e Creswell (2010). A perspectiva subjetivista emerge, conforme tratado no Capítulo 2, não como um ponto de apoio ao conhecimento objetivista, e tampouco como tentativa de deslegitimá-lo. Trata-se de um desígnio de busca por aquilo que os métodos pautados pela lógica investigativa inspirada nas ciências naturais não permitem conhecer. Cabe pontuar que este discurso se mostra substancialmente alinhado ao argumento que permeou a defesa do artefato 'B' pelos estudantes que se identificaram com sua proposta de resolução.

Considerando conjuntamente estes resultados e as vivências transcorridas ao longo da pesquisa, é possível apontar no âmbito das contribuições desta pesquisa para o campo do Design ao menos duas finalidades às quais o delineamento multimétodo mostrou-se especialmente adequado. A primeira foi a de escrutinar grupos de usuários em um projeto no qual existe a definição prévia de uma função total do artefato, conforme terminologia adotada por Rozenfeld *et al.* (2006), mas há pouca clareza acerca das funcionalidades específicas que concretizarão a proposta da aplicação. Outro propósito efetivamente contemplado foi o de estabelecer uma conexão robusta, em diferentes frentes, com um grupo de sujeitos acerca dos quais se dispunha de pouca informação prévia no que concerne especificamente o fenômeno que se desejava conhecer. Tem-se enquanto potencialidade do emprego concorrente de diferentes métodos a possibilidade de compreender tanto dados abrangentes de uma população, como as métricas de desempenho

defendidas por Van Engen-Verheul *et al.* (2016), quanto nuances do significado atribuído pelos usuários à experiência de uso.

É possível afirmar que a atenção ao caráter educacional do produto no que tange o design das funcionalidades se deu na revisão de literatura que fundamentou as frentes de ação e também nos encaminhamentos projetuais. A proposta consolidada no subitem anterior atinge a meta estipulada de uso autônomo da aplicação pelos estudantes, contemplando o dinamismo, a agilidade e o papel ativo, inerentes ao cerne dos perfis de aprendizagem contemporâneos observados por Horn & Staker (2015) e Bates (2016). Os protótipos desenvolvidos contemplam mecanismos de recursos para resolução, atividade, suporte e avaliação, preconizados por Churchill, Fox & King (2016) como componentes basilares de um artefato digital no que tange o estabelecimento de um ambiente de estímulo à aprendizagem.

Sobre o elemento do apoio em particular, destaca-se o apelo do produto a estudantes com dificuldades de base que se estendem ao longo de toda sua trajetória educacional, dialogando com o problema discutido por Santarosa (2013). É possível citar ainda, neste sentido, a consonância da proposta de design desenvolvida ao argumento fundamentado no Capítulo 3 com base em Castillo *et al.* (2019) acerca da adequação de artefatos educacionais digitais ao propósito de apoiar estudantes, em particular aqueles com dificuldades de aprendizagem, na resolução de problemas.

Podem ser destacados ainda possíveis impactos positivos da aplicação proposta mediante seu uso no âmbito da prática docente, embora este não seja seu objetivo. Um dos principais entraves pedagógicos relativos ao aprendizado de Física na Educação Básica é a carga-horária reduzida e o tempo de aula (RUDOLPH *et al.*, 2014; BEICHNER *et al.*, 2007) reservado a resoluções mecânicas de exercícios. Apesar de previstas no programa com base nas metas de aprendizagem estipuladas, estas terminam colateralmente por desestimular o interesse pela disciplina e pela ciência ao deixar em segundo plano seu caráter aplicado e interdisciplinar de concepção de soluções para problemas do mundo real. A proposta de aplicação concebida nesta pesquisa pode contribuir para um incremento do tempo aula destinado aos projetos e discussões na medida em que automatiza as resoluções mecânicas, liberando os docentes desta incumbência. Ao mirar este problema identificado na

literatura, o produto dialoga com discussões correntes no campo do design de artefatos educacionais, segundo as quais o referencial teórico que fundamenta o artefato deve voltar-se para as especificidades pedagógicas do conteúdo a ser trabalhado no mesmo (LAM, 2018).

Sobre as peculiaridades apresentadas no referencial teórico como distintivas dos artefatos educacionais, os protótipos desenvolvidos permitem constatar diferenças na abordagem de um mesmo conteúdo decorrentes do emprego de cada perspectiva de obtenção de dados. Verifica-se com maior intensidade no artefato 'A' a perspectiva de aprendizagem pautada pela prática, ou aquisição de novos comportamentos, associada à otimização do processo de resolução que possibilita sucessivas soluções de problemas com maior celeridade. Tal entendimento é associado a uma vertente da Psicologia do Desenvolvimento filiada ao behaviorismo (FILATRO, 2009), de clara orientação objetivista. Por outro lado, é possível sugerir que o artefato 'B' possibilitaria um enfoque mais reflexivo caracterizado pela resolução de menos problemas e alcance mais lento da solução, forçando a atenção do usuário sobre como cada passo é executado: esta proposta permite verificar a compreensão do estudante a cada passo, tomando cada procedimento da sequência algorítmica como uma oportunidade de esclarecer e promover aprendizagem, em sintonia com a proposta de design de artefatos digitais preconizada por Lam (2019), de filiação interpretativista.

A verificação desta hipótese indicaria que a abordagem subjetivista apontou para uma teoria da distinta daquela mais fortemente associada ao primeiro artefato concebido. Também permitiria argumentar em favor da pertinência da definição das técnicas de pesquisa de sujeitos em projetos educacionais com base no diálogo, entre estas e a proposta de aprendizagem concebida, a nível filosófico na perspectiva epistêmica. Porém, conforme já observado, o caráter breve da intervenção não permite afirmações solidamente fundamentadas acerca dos tipos e naturezas das aprendizagens decorrentes do uso das aplicações. O que se pode proclamar é que o emprego da abordagem multimétodo permitiu a atenção às particularidades de um artefato educacional.

Outra constatação pertinente ao design de artefatos desta natureza é que a pluralidade de perspectivas de obtenção de dados se mostra um ativo

em cenários nos quais os usuários apresentem limitações, por fatores como idade, maturidade ou quaisquer outros, para explicitar claramente suas demandas e necessidades a serem abarcadas por uma aplicação. Em uma perspectiva global, é possível afirmar que as necessidades e demandas do grupo específico foram abarcadas pelos atributos de implementação informada pela literatura discutidos nesta subseção, como agilidade e dinamismo, os componentes basilares para criação de um ambiente propício à aprendizagem, e o enfoque na solução de problemas contemplando o apoio a estudantes com dificuldades e as especificidades do conteúdo educacional a ser trabalhado. A corroboração destes princípios presentes na literatura compondo uma relação de diretrizes também corresponde a outra contribuição do presente estudo para o campo do Design, especificamente no que concerne o desenvolvimento de artefatos educacionais.

Com base em todas as potencialidades explicitadas nesta subseção, é possível defender ser pertinente aos processos de design a seleção de técnicas de pesquisa de sujeitos não buscando contemplar uma noção de pluralidade metodológica *per se*, mas de modo estratégico levando em consideração o que já se conhece sobre o grupo, o que se deseja conhecer e em quais níveis ou camadas deverá ser estabelecida uma conexão com os usuários para esta finalidade. Considerando-se o objetivo desta pesquisa, a definição das técnicas utilizadas nas duas frentes de ação conjugou compromissos, respectivamente [a] com o conhecimento acerca dos usuários tanto em abrangência quanto na profundidade mediada pela subjetividade dos indivíduos em interlocução; e sobretudo, [b] com uma correspondência das técnicas escolhidas às perspectivas epistemológicas, de forma inequívoca e solidamente fundamentada na literatura, conforme tratado no Capítulo 5. Não sendo este o objeto de estudo, a opção por uma ou mais técnicas poderia dar-se pautada unicamente pelo pragmatismo.

O recurso consciente e programático a diferentes perspectivas de obtenção de dados em função de suas naturezas demanda estudo e familiaridade com as técnicas, que remetem a arcabouços epistemológicos distintos entre si, tidos como mutuamente excludentes por profissionais e pesquisadores ao declararem suas preferências e filiações metodológicas. Considerando todas as constatações oriundas da análise do emprego das

perspectivas epistemologicamente distintas, realizada nesta pesquisa, é possível agrupar os desdobramentos discutidos acerca das mesmas uma contribuição global: o argumento em favor do domínio do rigor técnico e da versatilidade metodológica. Mais do que a presença de técnicas distintas dentro do campo do Design enquanto esfera de atuação e pesquisa, este trabalho permite defender a existência desta pluralidade nos âmbitos singular e individual dos projetos e de cada pesquisador e profissional.

Sabendo que o mercado tende a adaptar e simplificar o repertório metodológico existente (ROTO; OBRIST; VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATTILA, 2009) validado pelo escrutínio científico, tem-se uma demanda voltada para a formação dos designers no que tange o estreitamento do diálogo com campos das Ciências Sociais, como a Sociologia, Antropologia e Psicologia. Mostra-se fundamental o emprego fundamentado de ferramentas destas áreas à difícil e complexa tarefa de conhecer o usuário de um produto: da estatística à etnografia, assegurando ao mesmo tempo um caráter obstinadamente aplicado e o rigor metodológico.

8 CONCLUSÃO

Esta pesquisa buscou analisar o emprego de duas perspectivas epistemologicamente distintas de obtenção de dados de usuários enquanto subsídios para o design e avaliação de funcionalidades de um artefato digital educacional. O recurso às duas perspectivas foi descrito e examinado em termos de seus procedimentos de execução e desdobramentos no que tange as funcionalidades obtidas, submetidas à avaliação de desempenho e de satisfação na perspectiva dos usuários. A análise pretendida foi efetivada com destaque a reflexões pautadas pela literatura no papel de norteadoras tanto das decisões tomadas quanto da compreensão dos dados obtidos.

Na concretização deste projeto, tiveram um papel central as ações auxiliares associadas aos objetivos específicos da pesquisa. A discussão sob o prisma da epistemologia, dos princípios metodológicos aplicáveis ao desenvolvimento de artefatos educacionais, assegurou robustez conceitual e consistência técnica aos procedimentos empregados nas frentes de ação designadas como objetivista e subjetivista. A aplicação destas abordagens resultou nos dados que possibilitaram a consubstanciação das funcionalidades a serem avaliadas nos protótipos desenvolvidos. E a partir da identificação dos impactos de uso, foi possível ampliar a compreensão das perspectivas epistemológicas enquanto provedoras de subsídios para o design.

No âmbito das reflexões que alicerçaram a dimensão procedimental da pesquisa, cabe destaque à discussão sobre as bases epistemológicas para a pesquisa de sujeitos, trazida no Capítulo 2. Foi imprescindível neste domínio o delineamento das noções de objetivismo e subjetivismo, de sua dimensão filosófica à materialização na esfera da metodologia de pesquisa de sujeitos: esta construção possibilitou, adiante, associar de modo fundamentado os procedimentos adotados na pesquisa a cada uma destas perspectivas. Mostrou-se também crucial a compreensão das abordagens multimétodo frente ao conceito de justificação epistêmica na perspectiva coerencialista e à teoria da incomensurabilidade paradigmática. Cabe destacar também neste capítulo, como imprescindível às análises de dados, o olhar sobre as perspectivas de produção de conhecimento que buscou a superação de comparações simplistas: destacando que as tendências epistemológicas guardam

divergências internas; detém pontos de aproximação ou mesmo sobreposição; e apesar de singularmente distintas, não correspondem obrigatoriamente a categorias analíticas cartesianas, análogas ou inversamente correlacionáveis.

No Capítulo 3, a visão do design de artefatos digitais como atividade multidisciplinar em diferentes perspectivas, relacionadas a interesses, objetivos e processos de produção distintos, possibilitou a compreensão da concepção das funcionalidades de uma aplicação como um recorte passível de investigação. Os procedimentos apresentados permitem a constatação da adequação dos métodos e técnicas de pesquisa social discutidos à atividade de criação de artefatos digitais, considerada a natureza dos produtos educacionais. Cabe pontuar ainda que os princípios preconizados na literatura para a declaração de requisitos em conformidade com os dados fornecidos pelos usuários, aplicados na perspectiva do conceito de objetivação da subjetividade, viabilizaram a proposição de índices de funcionalidades como desdobramentos possíveis e legítimos de cada abordagem.

Dentre os demais componentes do trabalho que se mostraram cruciais para seu êxito, está o mapeamento do contexto apresentado no Capítulo 4. Além de possibilitar a definição de procedimentos consistentes com a realidade do loco e dos sujeitos, o levantamento fundamentou também a leitura dos dados obtidos nas duas frentes de ação, em especial no que tange as questões de natureza educacional identificadas. É possível afirmar ainda que estas reflexões contribuíram para o diálogo entre os entendimentos e demandas pedagógicas presentes na literatura, as políticas e diretrizes educacionais em vigência, e as proposições básicas para o desenvolvimento dos artefatos, elencadas ao final do capítulo. Neste sentido, este estudo preconiza um amadurecimento da pesquisa em tecnologias educacionais no que tange a incorporação da análise de dados e microdados públicos relativos a indicadores acerca do contexto investigado, incluindo infraestrutura escolar, perfil docente, discente e desempenho acadêmico.

A descrição dos procedimentos metodológicos, efetuada no Capítulo 5, exerceu um papel singular dada a natureza deste trabalho, sendo fundamental para o mesmo em duas esferas. Em um primeiro nível, transparece os procedimentos empregados na obtenção dos dados a serem discutidos, da mesma forma que em quaisquer outras pesquisas. Além disto, ao descrever e

explicar o emprego das técnicas de cada frente de ações à luz da literatura, abrangeu uma dimensão da análise do emprego das duas perspectivas epistemológicas, objetivo do trabalho. Nesta perspectiva, deu-se a constatação, no capítulo anterior, de que a consecução do objetivo se fez gradualmente, em diferentes dimensões, a partir do plano de ação metodológico traçado.

Após a aplicação das técnicas de pesquisa social no âmbito de cada frente de ação, mostrou-se como componente basilar do design o processo de transposição dos dados para o domínio da informação acerca dos usuários, a ser expressa nas aplicações em termos de suas funcionalidades. O Capítulo 6, que tratou desta problemática, pode ser compreendido como o núcleo deste trabalho, ao dispor sobre o produto do que se configura como o objeto central de estudo: a aplicação de métodos e técnicas de investigação social à definição dos requisitos funcionais de um sistema. A leitura dos dados em sua relação com as visões de mundo subjacentes aos métodos permitiu atingir um novo patamar analítico relativo ao emprego das perspectivas epistemológicas.

A declaração dos requisitos levantados nas duas abordagens apontou para o compartilhamento de funcionalidades pelos artefatos, e também para a conclusão de que perspectivas epistemológicas distintas de obtenção de dados de usuários podem convergir em seus resultados. Considerando também as porções não compartilhadas dos artefatos, é possível afirmar que os produtos das frentes de ação retrataram bem o comportamento, documentado na literatura, dos dados obtidos em pesquisas multimétodo: correspondências, distinções com potencial de complementaridade, e divergências de caráter contraditório ou mutuamente excludentes. Como principal diferença global entre os protótipos, observou-se uma estratégia de resolução direta no artefato 'A', na perspectiva objetivista. O artefato 'B' incorporou um enfoque detalhado, guiando o usuário passo a passo até o alcance da solução: esta proposta de resolução pode ser lida na perspectiva do desígnio da produção de conhecimento pautada pelo subjetivismo, de buscar um olhar em profundidade, voltado para processos.

A consolidação da análise do emprego das duas perspectivas de obtenção de dados compreendeu um olhar sobre os escores de desempenho associados ao uso de cada artefato e as percepções dos usuários sobre os mesmos, expressas através dos questionários e entrevistas pós-uso. A

primeira conclusão que merece destaque neste sentido é o desempenho significativamente superior das resoluções mediadas por artefatos em comparação às executadas sem apoio dos protótipos, atestando o potencial das duas abordagens metodológicas utilizadas de informar soluções de design efetivas. Outro dado relevante é a inexistência de diferenças significativas entre os desempenhos obtidos pelas duas aplicações, embora análises correlacionais indiquem um diferencial do artefato 'B' relativo a melhoria de desempenho dentre os estudantes que apresentaram maiores dificuldades nos pré-testes. Esta equivalência foi explicada pela semelhança nas propostas dos artefatos enquanto reflexos das convergências e sobreposições das perspectivas epistemológicas subjacentes à concepção das funcionalidades.

No âmbito das percepções discentes, o artefato 'A' obteve escores superiores nos questionários pós-uso. Foram registradas, na maioria do grupo, adesão ao caráter direto da estratégia de resolução informada pelo objetivismo e rejeição ao grau de detalhamento da proposta do artefato 'B'. As entrevistas episódicas de orientação narrativa detectaram uma argumentação voltada para a eficiência e otimização do apoio à resolução dentre os estudantes mais identificados com o artefato 'A'. Na fala dos que aderiram à proposta de resolução informada pelo subjetivismo, preponderaram o potencial inclusivo da resolução e a defesa do artefato 'B' enquanto alternativa para estudantes com eventuais dificuldades de aprendizagem.

A constatação que emerge destes dados e dos escores de desempenho é que a perspectiva epistemológica empregada na avaliação dos artefatos não foi sensível à perspectiva epistemológica que informou a concepção dos mesmos: a estatística não identificou diferenças significativas de efetividade entre as estratégias de resolução e as entrevistas legitimaram narrativas associadas ao uso das duas aplicações. Esta conclusão é relevante para a discussão da aplicação de abordagens multimétodo a processos de design: o resultado destaca o potencial de interoperabilidade das diferentes perspectivas, que conforme proposto no capítulo anterior, tende a ser maximizado quando os métodos concorrentes são executados por um único pesquisador.

Análises correlacionais entre os dados dos questionários pós-uso e os dos questionários exploratórios aplicados na frente objetivista revelaram lógicas semelhantes de atribuição de pontuação a itens correlatos. Isto indica que as

funcionalidades expressas no segundo instrumento guardam correspondência às demandas dos estudantes comunicadas através do primeiro, o que reforça a compreensão dos requisitos como desdobramentos legítimos dos dados obtidos acerca dos usuários. Por outro lado, não houve uma tendência maior de confirmação dos dados obtidos em uma perspectiva epistemológica pelo mecanismo avaliativo pautado pela mesma perspectiva, conforme já pontuado. Esta ausência de correspondência indica que os dados obtidos não se configuram como meras repaginações, de ordem tautológica, de suas premissas e pontos de partida.

Os dados obtidos nas diferentes fases da pesquisa dialogam com questões discutidas em estudos recentes apresentados no referencial teórico. Destacam-se neste sentido o potencial das abordagens multimétodo de atingir diferentes camadas de um fenômeno, ampliando a compreensão deste, e de conectar-se efetivamente a diferentes estratos de um mesmo grupo caracterizado por necessidades e preferências distintas. É possível citar ainda a possibilidade de realizar uma leitura em profundidade das demandas dos usuários e contemplar também uma análise por meio de parâmetros quantificados como escores de desempenho ou índices de erros e acertos.

Estes e os demais resultados do presente trabalho podem ser condensados em sua principal contribuição: a ampliação da compreensão do emprego de abordagens multimétodo em processos de design, abrangendo especificidades de produtos educacionais. Tem-se nesta perspectiva o mapeamento global da população pesquisada em sua amplitude, que viabilizou a formulação de uma proposta majoritariamente adequada ao grupo; e a identificação de aspectos do fenômeno perceptíveis apenas através de um olhar em profundidade, voltado para a subjetividade dos indivíduos, que suscitou propostas alternativas de resolução com foco na atenção às necessidades de aprendizagem de estratos específicos da população.

Partindo da premissa, destacada no capítulo introdutório, de que o design informado exclusivamente pelos métodos científicos das engenharias encontra limitações na busca por uma compreensão dos usuários, esta pesquisa circunscreveu um objeto de estudo subsequente: as diferenças e potencialidades dos métodos, e os desdobramentos de seu uso combinado. As contribuições trazidas para o campo do Design podem ser agrupadas no

fortalecimento de um argumento, em prol do enfoque no rigor técnico e da versatilidade metodológica na formação dos designers, em diálogo com as Ciências Sociais e seus arcabouços teóricos e metodológicos. É imprescindível neste sentido a continuidade da investigação acerca da aplicação e da interoperabilidade de técnicas fundamentadas em visões de conhecimento distintas, buscando agregar ao repertório de informações sobre os usuários, passível de informar decisões projetuais. Faz-se pertinente inclusive a ampliação da discussão das técnicas para além do eixo objetivação-subjetivação, visto que a produção de conhecimento acerca de seres e fenômenos sociais pode ser pensada a partir de diferentes polos de referência, conforme tratado no referencial teórico.

Diferentes aspectos pertinentes à investigação, não contemplados neste trabalho, podem ser destacados como sugestões para a realização de estudos futuros. Um deles diz respeito à brevidade da intervenção realizada, que não permitiu depreender sobre a estabilidade da aprendizagem. Conhecer os impactos de uso de funcionalidades no médio e longo prazo, à luz dos dados que fundamentaram sua proposição, contribuirá para um delineamento da natureza e das potencialidades de diferentes abordagens metodológicas no contexto de seu uso conjunto. Há também uma limitação relacionada à análise do uso dos artefatos, discutido apenas no que tange os escores de desempenhos e juízos emitidos pelos discentes. O olhar sobre as peculiaridades de uso concernentes à manipulação da aplicação pelos usuários, em uma perspectiva multimétodo, tende também a agregar à compreensão das potencialidades de cada perspectiva de obtenção dados. Por fim, coloca-se também a demanda por experimentos de design informados por matrizes epistemológicas distintas, voltados para outras dimensões dos produtos, como a criação de interfaces e os atributos ergonômicos.

Mostra-se apropriado encerrar este relato retomando um compromisso pedagógico trazido no capítulo introdutório, que constitui um princípio a ser adotado em processos de design de artefatos educacionais, substancialmente contemplado pelo modelo metodológico proposto: dar voz aos estudantes na qualidade de usuários e indivíduos ativamente engajados em seus processos educacionais. Desta máxima, emerge a expectativa de que o trabalho apresentado beneficie o Design enquanto campo de pesquisa e atuação

profissional, e em consequente, o domínio da Educação, estimulando reflexões sobre técnicas de pesquisa e contribuindo para uma discussão de caráter metodológico, pautada por robustez conceitual, rigor técnico e sólida fundamentação na literatura.

REFERÊNCIAS

- ALBERS, C. J.; BOEVÉ, A. J.; MEIJER, B. R. A critique to Akdemir and Oguz (2008): Methodological and statistical issues to consider when conducting educational experiments. **Computers & Education**, 87, p. 238 – 242, 2015.
- ALFNES, F.; RICKERTSEN, K.; SHOGREN, J. F. Test-Retesting in Experimental Valuation of Perishable Food Products: Unstable Individual Bids and Reliable Market Demand. **Journal of Agricultural Economics**, v. 69, n. 2, p. 382–392, 2018.
- ALMEIA, N. TIDAL, J. Mixed Methods Not Mixed Messages: Improving LibGuides with Student Usability Data. **Evidence Based Library and Information Practice**, v. 12, n. 4, p. 62-77, 2017.
- ANGELL, C. et al. An empirical-mathematical modelling approach to upper secondary physics. **Physics Education**, v. 43, n. 3, 2008, p. 256 – 264.
- ASSIS, J. P. Kuhn e as ciências sociais. **Estudos Avançados**, v. 7 n. 19, São Paulo, p. 133-164, Set/Dez 1993.
- BAER, K.; VACARRA, J. **Information Design Workbook**. Beverly, Massachusetts: Rockport, 2008.
- BALLEJOS, L. C.; MONTAGNA, J. M. Modeling stakeholders for information systems design processes. **Requirements Engineering**, 16, p. 281–296, 2011.
- BARBOSA, S. D. J.; SILVA, B. S. **Interação Humano-Computador**. Rio de Janeiro: Editora Campus-Elsevier, 2010.
- BARDIN, L. 2011. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70.
- BASKERVILLE, R. L.; KAUL, M.; STOREY, V. C. Genres of inquiry in design-science research: justification and evaluation of knowledge production. **MIS Quarterly**, v. 39, n. 3, Sep. 2015.
- BATES, T. **Educar na era digital**. São Paulo: Artesanato Educacional, 2016.
- BEAUD, S.; WEBER, F. **Guia para a pesquisa de campo: produzir e analisar dados etnográficos**. Petrópolis: Vozes, 2014.
- BECKER, H. S. **Segredos e truques da pesquisa**. Rio de Janeiro: Zahar, 2007.
- BEHAR, P. A.; TORREZZAN, C. A. W. Metas do design pedagógico: um olhar na construção de materiais educacionais digitais. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 17, n. 3, 2009.
- BEICHNER, R. J. et al. The Student-Centered Activities for Large Enrollment Undergraduate Programs (SCALE-UP) Project. In: REDISH E. F.; COONEY, P.

J. (Orgs.) **Research-based reform of introductory physics**. American Association of Physics Teacher, 2007. Disponível em: <<https://www.compadre.org/PER/document/ServeFile.cfm?ID=4517&DocID=183>>. Acesso em 07 Ago. 2019.

BELL, D. The reality of STEM education, design and technology teachers' perceptions: a phenomenographic study. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 26, n. 1, 2016, p. 61 – 79.

BENYON, D. **Interação Humano-Computador**. 2ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

BERKOVICH, I. Beyond qualitative/quantitative structuralism: the positivist qualitative research and the paradigmatic disclaimer. **Quality & Quantity**, v. 52, p. 2063–2077, 2018.

BERNSTEIN, R. J. **Beyond Objectivism and Relativism**: science, hermeneutics and praxis. Pennsylvania: University of Pennsylvania Press, 2011.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação Fundamental. Brasília: MEC/SEF, 1998. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em 24 Jun. 2019.

BRASIL. **Indicador de Nível Socioeconômico das Escolas de Educação Básica (Inse) – Nota técnica**. Ministério da Educação (MEC). Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). Diretoria de Avaliação da Educação Básica (DAEB). Brasília: MEC/INEP, 2015. Disponível em <http://download.inep.gov.br/informacoes_estatisticas/indicadores_educacionais/2015/nivel_socioeconomico/NOTA_TECNICA_INEP_INSE_2015.pdf>. Acesso em 24 Jun. 2019.

BRASIL. **Brasil no Pisa 2015**: análises e reflexões sobre o desempenho dos estudantes brasileiros. Ministérios da Educação (MEC), Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) / Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). São Paulo: Fundação Santillana, 2016. Disponível em <http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/resultados/2015/pisa2015_completo_final_baixa.pdf>. Acesso em 13 Jun. 2019.

BRASIL. **Base Nacional Curricular Comum**. Ministérios da Educação (MEC), Conselho Nacional de Educação (CNE). Câmara de Educação Básica. Brasília: MEC/CNE, 2018a. Disponível em <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versao_final_site.pdf>. Acesso em 14 Jun. 2019.

BRASIL. **Resultados do índice de desenvolvimento da Educação Básica:** resumo técnico. Ministérios da Educação (MEC), Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). Brasília: MEC/INEP, 2018b. Disponível em <http://download.inep.gov.br/educacao_basica/portaI_ideb/planilhas_para_download/2017/ResumoTecnico_Ideb_2005-2017.pdf>. Acesso em 14 Jun. 2019.

BRASIL. **Resolução nº 3, de 21 de Novembro de 2018. Atualiza as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** Ministério da Educação (MEC). Conselho Nacional de Educação (CNE). Câmara de Educação Básica. Brasília: MEC/CNE, 2018c. Disponível em: <<http://novoensinomedio.mec.gov.br/resources/downloads/pdf/dcnem.pdf>>. Acesso em 14 Jun. 2019.

BRASIL. **Censo da Educação Básica 2018:** resumo técnico. Ministérios da Educação (MEC), Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP). Brasília: MEC/INEP, 2019. Disponível em: <http://download.inep.gov.br/educacao_basica/censo_escolar/resumos_tecnico/resumo_tecnico_censo_educacao_basica_2018.pdf>. Acesso em 14 Jun. 2019.

BRECHT, K.; SWIFT, J. K.; WORRALL, J. M.; PARKIN, S. R. A randomized controlled test of direct-to-consumer marketing using the American Psychological Association psychotherapy works videos. **Professional Psychology: Research and Practice**, v. 48, n. 6, p. 421-428, 2017.

BRUSH, S. G. Thomas Kuhn as Historian of Science. **Science & Education**, 9, p. 39-58, 2000.

BRYMAN, A. **Social Research Methods**. 4ª Ed. New York: Oxford University Press, 2008.

BÜRDEK, B. E. **Design:** História, Teoria e Prática do Design de Produtos. 2ª Ed. São Paulo: Blucher, 2010.

BURDZINSKI, J. C. Justificação, coerência e circularidade. **Veritas**, v. 50, n. 4, p. 65-93, Dez. 2005.

CAMPBELL, R. *et al.* Assessing triangulation across methodologies, methods, and stakeholder groups: the joys, woes, and politics of interpreting convergent and divergent data. **American Journal of Evaluation**, p. 1-20, 2018.

CARLOS, P. R. O. **Uma análise do desempenho dos estudantes no Exame Nacional do Ensino Médio e as contribuições para o ensino-aprendizagem de Física.** Dissertação (mestrado profissional) – Instituto de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Física. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

CARMO, J. S. FERRAZ, A. C. T. Ansiedade relacionada à matemática e diferenças de gênero: uma análise da literatura. **Psicologia da Educação**, São Paulo, 35, jul/dez, p. 53-71, 2012.

CASTILLO, R. E. *et al.* Development of an Educational Mobile Game Applications for Grade 5 for Knowledge Channel Inc. **Proceedings of the 2nd International Conference on Information Science and Systems – ICISS**, Japan, p. 99–104, 2019.

CHENG, L.; LEONG, S. Educational affordances and learning design in music software development. **Technology, Pedagogy and Education**, v. 25, n. 4, p. 395-407, 2017.

CHURCHILL, D.; FOX, B.; KING, M. Framework for Designing Mobile Learning Environments. In: CHURCHILL, D. *et al.* (Eds.). **Mobile Learning Design**. Singapore: Singer, p. 3-25, 2016.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CROTTY, M. **The Foundations of Social Research**: meaning and perspective in the research process. London: Sage Publications, 2003.

COZBY, P. C. **Métodos de pesquisa em ciências do Comportamento**. São Paulo: Editora Atlas, 2006.

CYBIS, W.; BETIOL, A.; FAUST, R. **Ergonomia e Usabilidade**: conhecimentos, métodos e aplicações. 3a Ed. São Paulo: Novatec, 2007.

DENSCOMBE, M. Communities of practice: a research paradigm for the mixed methods approach. **Journal of Mixed Methods Research**, v. 2, n. 3, p. 270-283, Jul. 2008.

DOS SANTOS, R. M.; NASCIMENTO, M. A.; MENEZES, J. DE A. Os sentidos da escola pública para jovens pobres da cidade do Recife. **Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales, Niñez y Juventud**, v. 10, n. 1, p. 289-300, 2012.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design Science Reserach**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ELLIOTT, J. **Using narrative in social research**. London: Sage, 2005.

FÁVERO, M. H.; SOUSA, C. M. S. G. A resolução de problemas em física: revisão de pesquisa, análise e proposta metodológica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 6, n. 2, p. 143-196, 2001.

FEILZER, M. Y. Doing mixed methods research pragmatically: implications for the rediscovery of pragmatism as a research paradigm. **Journal of Mixed Methods Research**, v. 4, n. 1, p. 6–16, 2010.

FEIO, L. S. R.; BORGES, E. D.; SILVA, D. K. C. Ansiedade matemática e gênero no ensino fundamental. **Science and Knowledge in Focus**, Macapá, v. 1, n. 2, p. 05-19, 2018.

FERREIRA, M. S. *et. al.* Ansiedade durante avaliações escolares: relatos e reflexões de ação extensionista com estudantes do Ensino Médio Técnico. **Revista Conexão - UEPG**, v. 14, n. 2, p. 241-246, mai/ago 2018.

FEYNMAN, R., GOTTLIEB, M.A. E LEIGHTON, R. **Dicas de física**: suplemento para a resolução de problemas do *Lectures on Physics*. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FIELD, A. **Descobrimdo a Estatística usando o SPSS**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FIGUEIREDO FILHO, D.; SILVA JÚNIOR, J. A. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Opinião Pública**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 160-185, Jun. 2010.

FILATRO, A. As teorias pedagógicas fundamentais em EAD. In: LITTO, F. M.; FORMIGA M. M. M. (Orgs.). **Educação a Distância**: o estado da arte. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2009.

FILATRO, A.; CAIRO, S. **Produção de Conteúdos Educacionais**. São Paulo: Saraiva, 2015.

FILATRO, A.; CAVALCANTI, C. C. **Metodologias inov-ativas na educação presencial, a distância e corporativa**. São Paulo: Saraiva, 2018.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FOLEY, R. A trial separation between the theory of knowledge and the theory of justified belief. In: GRECO, J. (Ed.). **Ernest Sosa and His Critics**. Malden, MA: Blackwell Publishing, p. 59-71, 2008.

FUMERTON, R. **Epistemologia**. Petrópolis: Editora Vozes, 2014.

GARDNER, H. The Creators' Patterns. In: BODEN, M. A. (Eds.). **Dimensions of Creativity**. Cambridge, MA: The MIT Press, p. 143-158, 1994.

GEE, J. P. **An Introduction to Discourse Analysis**: Theory and Method. London: Routledge, 2001.

GEE, J. P. **What Video Games Have to Teach Us About Learning and Literacy**. New York: Palgrave/Macmillan, 2004.

GENETTE, G. **Discurso da narrativa**. Lisboa: Vega, 1995.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2006.

GOLDMAN, A. A Causal Theory of Knowing. **The Journal of Philosophy**, 64, p. 357-372, 1967.

GONÇALVES JÚNIOR, W. P; BARROSO, M. F. As questões de física e o desempenho dos estudantes no ENEM. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, 1402, 2014.

GONZALEZ, H. B.; KUENZI, J. J. **Science, technology, engineering and mathematics (STEM) education: A Primer**. Congressional Research Service, Nov. 2012. Disponível em <<https://www.fas.org/sgp/crs/misc/R42642.pdf>>. Acesso em 10 Jun. 2019.

GROES-GREEN, C. Health discourse, sexual slang and ideological contradictions among Mozambican youth: implications for method. **Culture, Health & Sexuality**, p. 1-14, 2009.

GURUNG, B., RUTLEDGE, D. Digital learners and the overlapping of their personal and educational digital engagement. **Computers & Education**, 77, p. 91-100, 2014.

GUTIÉRREZ, S. C.; AGUILERA, E. D. L. Q-Q Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. **Iniciación a la Investigación: Revista Electrónica - Universidad de Jaén**, n. 2, a. 9, p. 1-20, 2007.

HALL, R. Mixed methods: in search of a paradigm. In: LE, T.; LE, Q. (Eds.). **Conducting Research in a Changing and Challenging World: laboratory and clinical research**. London: Nova Science Publishers, Inc., 2013.

HAN, D-I.; JUNG, T.; DIECK, M. C. T. Translating Tourist Requirements into Mobile AR Application Engineering Through QFD. **International Journal of Human-Computer Interaction**, v. 35, n. 19, p. 1842-1858, 2019.

HARASIM, L. *et al.* **Redes de aprendizagem: um guia para ensino e aprendizagem online**. São Paulo: Editora SENAC, 2005.

HATLEVIK, O. E.; GUÐMUNDSDÓTTIR, G. B.; LOI, M. Digital diversity among upper secondary students: A multilevel analysis of the relationship between cultural capital, self-efficacy, strategic use of information and digital competence. **Computers & Education**, 81, p. 345-353, 2015.

HAYOT, E.; PAO, L. **What is information?** Minneapolis: University of Minnesota Press, 2018.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HOLTZ, P. Popper was not a Positivist: Why Critical Rationalism Could be an Epistemology for Qualitative as well as Quantitative Social Scientific Research. **Qualitative Research in Psychology**, p. 1-24, 2018.

HORA, M.; HOLDEN, J. Exploring the role of instructional technology in course planning and classroom teaching: Implications for pedagogical reform. **Journal of Computing in Higher Education**, v. 25, n. 2, p. 68-92, 2013.

HORN, M. B.; STAKER, H. **Blended**: usando a inovação disruptiva para aprimorar a educação. Porto Alegre: Penso, 2015.

KAMRIANI, F.; ROY, K. **App Inventor 2 Essentials**. Birmingham: Packt Publishing, 2016.

KARAM, R. A. S.; PIETROCOLA, M. Habilidades Técnicas Versus Habilidades Estruturantes: Resolução de Problemas e o Papel da Matemática como Estruturante do Pensamento Físico. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 2, p.181-205, 2009.

KELLE, U. Sociological Explanations between Micro and Macro and the Integration of Qualitative and Quantitative Methods. **Forum: Qualitative Social Research**, v. 2, n. 1, 2001.

KHANOM, S.; HEIMBÜRGER, A.; KÄRKKÄINEN, T. Can icons enhance requirements engineering work? **Journal of Visual Languages and Computing**, 28, p. 147–162, 2015.

KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. 5ª Ed. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 1998.

KUUKKANEN, J. M. Kuhn, the correspondence theory of truth and coherentist epistemology. **Studies in History and Philosophy of Science: Part A**, v. 38, n. 3, p. 555–566, 2007.

LAKATOS, E.; MARCONI, M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5º Ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LAKATOS, I. **La metodología de los programas de investigación científica**. Madrid: Alianza Editorial, 1989.

LAM, H. C. Revisiting variation affordance: applying variation theory in the design of educational software. **Interactive Learning Environments**, 2019. Disponível em:
<<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10494820.2019.1668812>>.
Acesso em 06 Nov. 2019.

LAVILLE, C.; DIONNE, G. **A Construção do Saber**: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas. Porto Alegre: Artmed, 2007.

LEVY, J. **UX Strategy**: How to Devise Innovative Digital Products That People Want. New York: O'Reilly Media, 2015.

LI, L.; GRUNDY, J.; HOSKING, J. A visual language and environment for enterprise system modelling and automation. **Journal of Visual Languages and Computing**, 25, p. 253–277, 2014.

LI, Z. *et al.* The Application of Student Participation in the Design of Virtual Reality Educational Products. **International Conference on Human-Computer Interaction – HCI 2019: Design, User Experience, and Usability**, p. 444-45, 2019.

LIN, A. C. Bridging positivist and interpretivist approaches do qualitative methods. **Policy Studies Journal**, v. 26, n. 1, p. 162-180, 1998.

LIN, W. *et al.* Incorporating Patent Analysis in Axiomatic Design for New Product Development. MATEC Web of Conferences 301, 00015 – **ICAD**, 2019.

LEINONEN, T. *et al.* Mobile apps for reflection in learning: A design research in K-12 education. **British Journal of Educational Technology**, v. 47, n. 1, p. 184-2020, 2016.

LOWDERMILK, T. **Design centrado no usuário**: um guia para o desenvolvimento de aplicativos amigáveis. São Paulo: Novatec Editora, 2013.

LUND, A. M. Post-modern usability. **Journal of Usability Studies**, v. 2, n. 1, p. 1–6, 2006.

LUPER, S. Epistemic Relativism. **Philosophical Issues**, v. 14, Epistemology, p. 271-295, 2004.

MAGEE, B. **Popper**. New York: Routledge, 2013.

MARTINS, G.; THEÓPHILO, C. **Metodologia da Investigação Científica para Ciências Sociais Aplicadas**. São Paulo: Atlas, 2009.

MATOS, D. A. S.; FERRÃO, M. E. Repetência e indisciplina: evidências de Brasil e Portugal no Pisa 2012. **Cadernos de Pesquisa**, v. 46, n. 161, p. 614-636, jul/set 2016.

MATALLO JÚNIOR, H. Mito, metafísica, ciência e verdade. In: CARVALHO, M. C. M. (Orgs.). **Construindo o saber – Metodologia Científica**: fundamentos e técnicas. 20ª Ed. Campinas: Papirus, 2009.

MCCRUM-GARDNER, E. Which is the correct statistical test to use? **British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, 46, p. 38 – 41, 2008.

MILLER, K. *et al.* Interface, information, interaction: a narrative review of design and functional requirements for clinical decision support. **Journal of the American Medical Informatics Association**, v. 25, n. 5, p. 585–592, 2018.

- MOYS, J-L. Visual rhetoric in information design. In: BLACK, A. *et al.* **Information Design: research and practice**. London: Routledge, p. 204-220 2017.
- MORRIS, D.; UPPAL, G.; WELLS, D. **Teaching Computational Thinking and Coding in Primary Schools**. London: Sage, 2017.
- NARDI, R. Memórias da educação em ciências no Brasil: a pesquisa em ensino de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, 2005, p. 63 – 101.
- NEHMY et. al. A ciência da informação como disciplina científica. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 1, n. 1, p. 9-25, 1996.
- NIELSEN, J.; BUDI, R. **Usabilidade móvel**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014,
- NUNES, J. S. **Leitura híbrida**: propostas de práticas sociais em letramento digital. São Paulo: Artesanato Educacional, 2018.
- O'BRIEN, H. L. LEBOW, M. Mixed-Methods Approach to Measuring User Experience in Online News Interactions. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 64, n. 8, p. 1543–1556, 2013.
- OECD - Organisation for Economic Co-Operation and Development. **Programme for International Student Assessment: PISA 2018**. Country note: Brazil. Disponível em: <https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA2018_CN_BRA.pdf> Acesso em 30 Dez. 2019.
- OECD - Organisation for Economic Co-Operation and Development. **PISA 2012 Results: what makes schools successful? Resources, policies and practices**, v. IV Paris, 2013. Disponível em: <<https://www.oecd.org/pisa/keyfindings/pisa-2012-results-volume-IV.pdf>>. Acesso em 30 out. 2019.
- OLIVEIRA, M. Z. Como escrever um artigo empírico. In: KOLLER, S. H.; COUTO, M. C. P. P.; HOHENDORFF, J. V. (Orgs.). **Manual de produção científica**. Porto Alegre: Penso, 2014.
- OLSON, D. **O mundo no papel**: a implicações conceituais e cognitivas da leitura e da escrita. São Paulo: Ática, 1997.
- PAVIANI, J. **Epistemologia prática**: ensino e conhecimento científico. Caxias do Sul: EDUCS, 2013.
- PERNAMBUCO. **Balanço da Educação 2015 – 2018**. Governo do Estado de Pernambuco. Secretaria de Educação. Recife: SEE-PE, 2019. Disponível em <<http://www.educacao.pe.gov.br/porta1/upload/galeria/15373/BALAN%C3%87O%20DA%20EDUCA%C3%87%C3%83O%202015-%202018.pdf>>. Acesso em 26 Jun. 2019.

PEDUZZI, L. O. Q.; PEDUZZI, S. S. Sobre o papel da resolução literal de problemas no ensino da Física: exemplos em Mecânica. In: PIETROCOLA, M. (Org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa abordagem integradora**. Florianópolis: Editora da UFSC, p. 101-123, 2006.

PERUZZO, C. M. K. Observação participante e pesquisa ação. In: DUARTE, J.; BARROS, A. **Métodos e Técnicas de Pesquisa em Comunicação**. 2ª Ed. São Paulo: Atlas, 2015.

POLIT, D. F.; BECK, C. T. Generalization in quantitative and qualitative research: myths and strategies. **International Journal of Nursing Studies**, 47, 2010.

POPPER, K. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1972.

PRENSKY, M. **Digital Game-Based Learning**. New York: McGraw-Hill, 2001.

PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R. **Engenharia de Software: uma abordagem profissional**. 8ª ed. São Paulo: AMGH Editora Ltda., 2016.

RICARDO, E. C. Problematização e contextualização no ensino de física. In: CARVALHO, A. M. P. (Org.). **Ensino de Física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

RICHARDSON, R. et al. **Pesquisa Social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 2015.

RINGER, F. **A metodologia de Max Weber: unificação das Ciências Culturais e Sociais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

RITTER, S.; MURRAY, R. C.; HAUSMANN, R. G. M. Educational Software Design: Education, Engagement, and Productivity Concerns. In: ROSCOE, R. D.; CRAIG, S. D.; DOUGLAS, I. (Eds.). **End-User Considerations in Educational Technology Design**. IGI Global: Hershey, p. 35-51, 2018.

ROBERTO, M. S.; FIDALGO, A.; BUCKINGHAM, D. De que falamos quando falamos de infoexclusão e literacia digital? Perspetivas dos nativos digitais. **Observatorio Journal**, v. 9, n. 1, p. 43-54, 2015.

ROCK, P. Symbolic Interactionism and Ethnography. In: ATKINSON, P. et al. **Handbook of Ethnography**. Thousand Oaks: Sage, 2001.

ROGERS, Y.; SHARP, H.; PREECE, J. **Design de Interação**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

ROSA, C. W.; ROSA, A. B. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** v. 4, n. 1, 2005, p. 1 – 18.

ROSA, M. C. Classes de palavras, tipos de significado e questões relacionadas. In: ROSA, M. C. **Introdução à Morfologia**. São Paulo: Contexto, p. 91-114, 2003.

ROTO, V.; OBRIST, M.; VÄÄNÄNEN-VAINIO-MATTILA, K. User Experience Evaluation Methods in Academic and Industrial Contexts. **Proceedings of UXEM 09 workshop**, 2009. Disponível em: <<https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/pt-BR/pubs/archive/37660.pdf>>. Acesso em 05/09/2019.

ROZENFELD, H. *et al.* **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

RUDOLPH, A. L. *et al.* Introduction of interactive learning into French university physics classrooms. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, v. 10, n. 1, 2014, p. 1 – 18.

SAMPIERI, R.; COLLADO, C.; LUCIO, P. **Metodologia de pesquisa**. 3ª Ed. São Paulo: MacGraw-Hill, 2006.

SANTAROSA, M. C. P. Os lugares da matemática na física e suas dificuldades contextuais: implicações para um sistema de ensino integrado. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 1, p. 215-235, 2013.

SCHORN, R. A coemergência do “eu”, do cosmos e do conhecimento. **Princípios**, v. 18, n. 30, p. 253-270, jul./dez. 2011.

SCHWANDT, T. A. Constructivist, interpretivist approaches to human inquiry. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (Ed.). **The Landscape of Qualitative Research**: theories and issues. Thousand Oaks: Sage Publications, 1998.

ŠEŠELJA, D.; STRÄßER, C. Kuhn and coherentist epistemology. **Studies in History and Philosophy of Science**: Part A, v. 40, n. 3, p. 322-327, 2009.

SHEN, Y. From Software Engineering to Information Design. In: MURATOVSKI, G.; VOGEL, C. (Eds.) **Re:Research Volume 7**: Design And Digital Interaction. Bristol: Intellect Ltd, p. 123-140, 2019.

SILVA, S. R.; PEREIRA, C. R. O consumo de smartphone entre jovens de camadas populares. **Revista Z Cultural**, UFRJ, v. 1, 2013, p. 3.

SILVA, E. G. A questão da didática no Sócrates educador. In: SOUZA, N. A. (Orgs.). **Ensino e Aprendizagem**: faces e interfaces. Loderina: Eduel, 2015.

SILVINO, A. M. D. Epistemologia Positivista: Qual a Sua Influência Hoje? **Psicologia, Ciência e Profissão**, v. 27, n. 2, p. 276-289, 2007.

SOBRAL, W. S. **Design de interfaces**: introdução. São Paulo: Érica, 2019.

- SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 9ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
- SPINILLO, A. G. E LAUTERT, S. L. Pesquisa-intervenção em psicologia do desenvolvimento cognitivo: princípios metodológicos, contribuição teórica e aplicada. In: Castro, L.R (Org.) **Pesquisa-intervenção na infância e juventude**. Rio de Janeiro: Nau, 2008.
- STANZEL, F. K. **Narrative situations in the novel**. London: Indiana University Press, 1998.
- STILL, B.; ALBERS, M. Editorial: Technical Communication and Usability Studies. **IEEE transactions on professional communication**, v. 53, n. 3, p. 189-190, Set. 2010.
- TABACHNICK, B.; FIDELL, L. **Using multivariate analysis**. Boston: Pearson Educacion Inc., 2007.
- TANENBAUM, C. et al. **U.S. STEM 2026: a Vision for Innovation in STEM Education**. Department of Education, Office of Innovation and Improvement. Washington, DC. 2016. Disponível em <https://innovation.ed.gov/files/2016/09/AIR-STEM2026_Report_2016.pdf>. Acesso em 10 Jun 2019.
- TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros**. Vol. 1 - Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. 6ª Ed. São Paulo: LTC, 2009.
- TRAVANCAS, I. Fazendo etnografia no mundo da comunicação. In: DUARTE, J.; BARROS, A. **Métodos e Técnicas de Pesquisa em Comunicação**. 2ª Ed. São Paulo: Atlas, 2015.
- VAN ENGEN-VERHEUL, M. M. *et al.* Optimizing the user interface of a data entry module for an electronic patient record for cardiac rehabilitation: A mixed method usability approach. **International Journal of Medical Informatics**, 87, p. 15-26, 2016.
- VIEIRA, S. **Como elaborar questionários**. São Paulo: Atlas, 2009.
- VORVILAS, G. KARALIS, T. RAVANIS, K. Applying Multimodal Discourse Analysis to Learning Objects' User Interface. **Contemporary Educational Technology**, v. 1, n. 3, p. 255-266, 2010.
- WALLERSTEIN, I. Análise dos Sistemas Mundiais. In: GIDDENS, A.; TURNER, J. (Orgs.). **Teoria Social Hoje**. São Paulo: Editora UNESP, p. 447-470, 1999.
- WEICHBROTH, P. A mixed-methods measurement and evaluation methodology for mobile application usability studies. **Communication Papers of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems - ACSIS**, v. 20, p. 101-106, 2019.

YIN, R. K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.

YOSHIKAWA, H. et al. Mixing qualitative and quantitative research in developmental science: uses and methodological choices. **Developmental Psychology**, v. 44, n. 2, p. 344-354, 2008.

ZEIDLER, D. L. STEM education: A deficit framework for the twenty first century? A sociocultural socioscientific response. **Cultural Studies of Science Education**, v. 11, n. 1, p. 11-26, 2016.

APÊNDICE A – TESTE DE DESEMPENHO

Modelo para teste de desempenho

Problema: uma moto se desloca em velocidade constante a 36km/h quando seu condutor ativa um cronometro. Determine o espaço percorrido em metros entre os instantes em que o cronometro marcava $t = 2,0$ e $t = 3,0s$.

1) Assinale a alternativa correta acerca do problema.

- a)** o enunciado traz informações sobre a velocidade, o espaço percorrido e o tempo.
- b)** o problema envolve a aceleração da moto, o tempo marcado no cronometro e pede a distância percorrida.
- c)** o problema requer conversão de um valor de velocidade e o cálculo do deslocamento com base no tempo.

2) DUAS das expressões listadas a seguir permitem, igualmente, a obtenção da solução do problema. Assinale-as, faça os cálculos necessários e indique a resposta.

☐ $\Delta t = t - t_0$

☐ $V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$

☐ $S = S_0 + Vt$

☐ $V = V_0 + at$

☐ $V^2 = V_0^2 + 2a\Delta S$

Resposta: _____

3) Explique o raciocínio que você utilizou para obter a resposta.

Critério avaliativo	Pontuação específica atribuída	Resumo de pontuação
Identificação correta de veracidade / falsidade das alternativas	1 ponto por item	3 pontos
Identificação das expressões adequadas	1 ponto por item	2 pontos
Adoção de estratégia de conversão de sistema de medidas	1 ponto	1 ponto
Execução correta dos cálculos	1 ponto (parcial) 2 pontos (completa)	2 pontos
Explanação da estratégia de resolução	1 ponto (parcial) 2 pontos (completa)	2 pontos
Escore máximo atribuído ao teste		10 pontos

APÊNDICE B – ROTEIRO DE ENTREVISTA

Roteiro de entrevista semiestruturada da frente objetivista

Como são os problemas matemáticos que você resolve nas aulas de Física?

O que nos problemas você considera mais difícil ou desafiador?

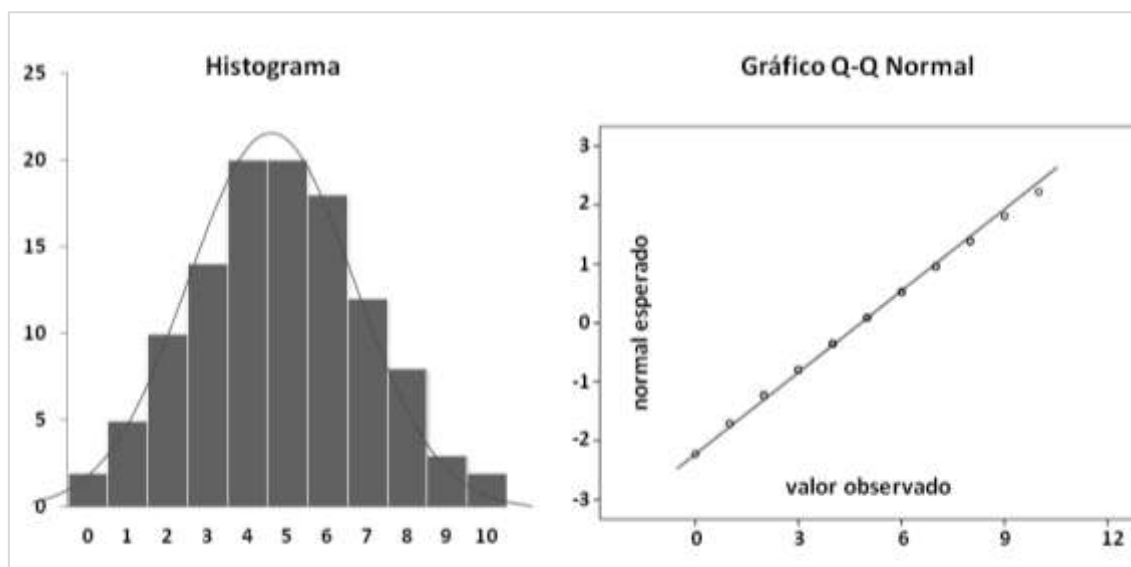
O que pode acontecer para atrapalhar ou dificultar a resolução dos problemas?

O que você costuma fazer para diminuir as dificuldades?

O que poderia te ajudar a resolver estes problemas?

APÊNDICE C – GRÁFICOS DE DISTRIBUIÇÃO

Distribuição de dados do pré-teste



APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO EXPLORATÓRIO

Questionário exploratório da frente objetivista

Resolução de problemas de Física

Nome: _____ | Turma: _____ | Idade: _____

Assinale um número indicando seu grau de identificação ou concordância com cada frase: **1 (um)** se você **discorda totalmente** e acredita que ela não se aplica a você, **5 (cinco)** se você **concorda totalmente** e acredita que ela se aplica a você e **3 (três)** caso você tenha um **posicionamento neutro/indiferente** em relação à sentença. O número **2 (dois)** expressa discordância parcial ou moderada e o **4 (quatro)** concordância parcial ou moderada.

a) Eu me perco no meio da resolução dos problemas.	1	2	3	4	5
b) Considero as relações entre os conceitos tratados em cada questão.	1	2	3	4	5
c) É importante seguir o passo a passo de resolução sem tentar atalhos.	1	2	3	4	5
d) Fico em dúvida nos exercícios por não saber se estou no caminho certo.	1	2	3	4	5
e) Eu me empolgo para estudar mais quando consigo resolver os problemas.	1	2	3	4	5
f) Tenho dificuldade por não ter uma boa base em matemática.	1	2	3	4	5
g) O processo de resolução importa tanto ou até mais do que o resultado.	1	2	3	4	5
h) Falta segurança na hora de resolver as questões.	1	2	3	4	5
i) Fico feliz quando encontro a solução para um problema difícil.	1	2	3	4	5
j) Tenho dificuldades que acho que não vou conseguir superar.	1	2	3	4	5
k) O que complica são os cálculos matemáticos.	1	2	3	4	5
l) É difícil entender o que os problemas pedem.	1	2	3	4	5
m) O nervosismo me atrapalha na hora de resolver os problemas.	1	2	3	4	5
n) Aprendo mais discutindo a resolução dos exercícios com os colegas.	1	2	3	4	5
o) Acho uma boa estratégia iniciar pelas questões mais fáceis.	1	2	3	4	5
p) Mesmo quando sei a fórmula não consigo aplicá-la à resolução da questão.	1	2	3	4	5
q) Receber incentivo ajuda a ter um bom desempenho.	1	2	3	4	5

APÊNDICE E – ARTEFATO ‘A’

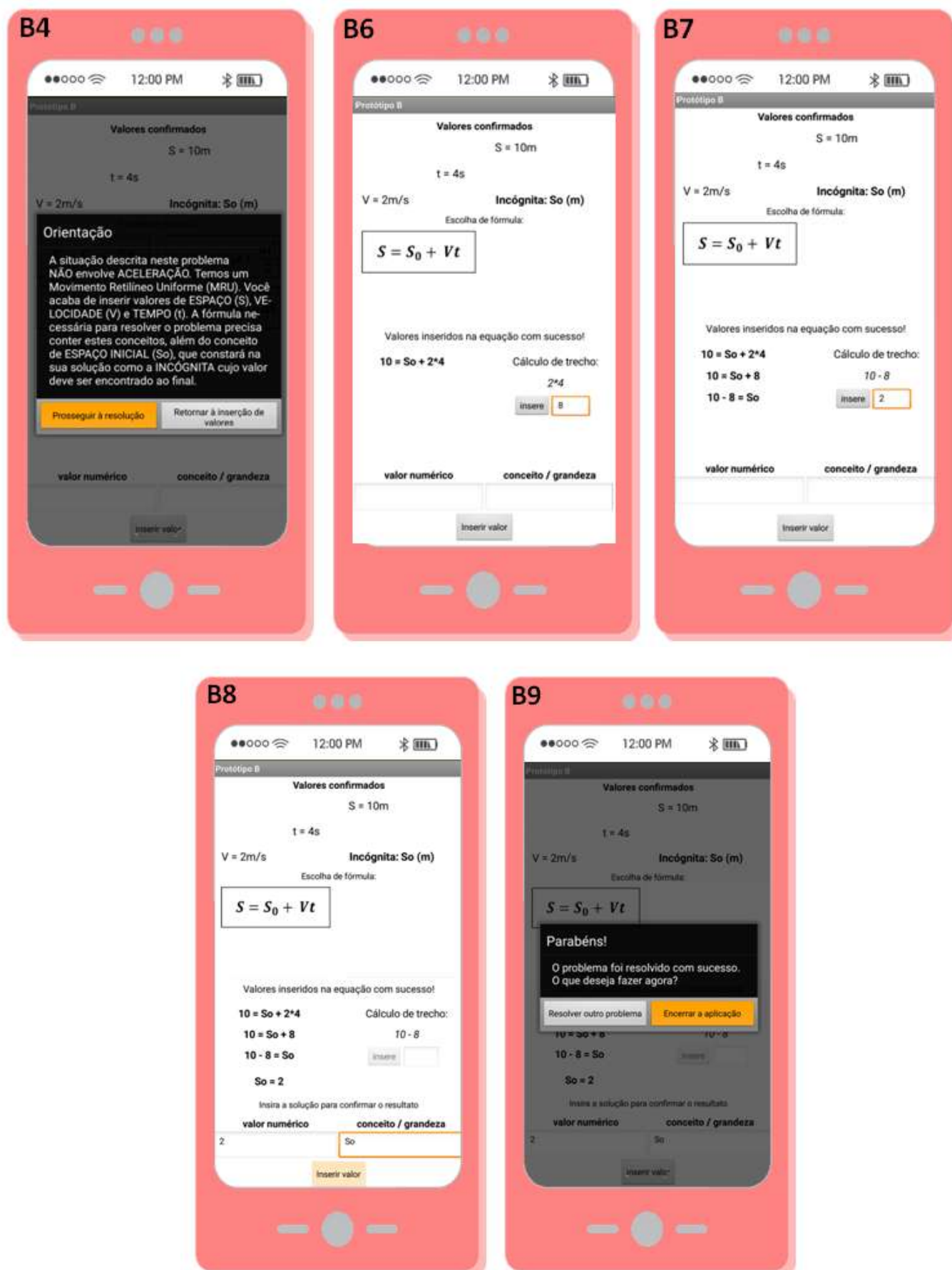
Exemplo de resolução com o artefato ‘A’





APÊNDICE F – ARTEFATO ‘B’

Exemplo de resolução com artefato ‘B’
(Considerar B1 - B3 e B5 análogos ao exemplo do artefato ‘A’)



APÊNDICE G – QUESTIONÁRIO PÓS-USO

Questionário de avaliação pós-uso

Nome: _____ | Turma: _____

Assinale um número indicando seu grau de satisfação em relação às funcionalidades dos protótipos utilizados: **1 (um) se você se considera totalmente insatisfeito(a); 5 (cinco) se você se considera totalmente insatisfeito(a) e 3 (três) caso você tenha um posicionamento neutro/indiferente** em relação à funcionalidade. O número 2 (dois) expressa discordância parcial ou moderada e o 4 (quatro) concordância parcial ou moderada.

1) permite que você faça novas tentativas após respostas e escolhas incorretas.	1	2	3	4	5
2) exibe mensagens motivacionais de estímulo quando você faz uma escolha incorreta.	1	2	3	4	5
3) registra todas as operações necessárias para chegar ao resultado do problema quando você insere os dados do enunciado.	1	2	3	4	5
4) indica grau de dificuldade do problema no momento que você insere os dados do enunciado.	1	2	3	4	5
5) pede para inserir os dados do enunciado quando você inicia a aplicação.	1	2	3	4	5
6) avisa se cada resposta que você insere está correta, e informa também quando você concluiu o problema, reiniciando a aplicação em seguida.	1	2	3	4	5
7) resume a exibição das partes do problema, mostrando apenas as fórmulas para serem escolhidas, a equação armada e o local para inserir o resultado final.	1	2	3	4	5
8) sugere modificar os valores que você inseriu envolvem cálculos mais complexos, propondo assim problemas de resolução mais simples.	1	2	3	4	5
9) informa se o caminho que você está seguindo leva ao resultado do problema.	1	2	3	4	5
10) exibe mensagens de ajuda quando você faz uma escolha incorreta.	1	2	3	4	5
11) confirma resumidamente os dados do enunciado que você inseriu, chamando atenção para os conceitos envolvidos no problema.	1	2	3	4	5
12) mostra opções e traz explicações de apoio para você escolher a fórmula mais adequada para utilizar na resolução.	1	2	3	4	5
13) exibe mensagens parabenizando você quando faz uma escolha correta.	1	2	3	4	5
14) mostra opções de fórmulas para você escolher a mais adequada para utilizar na resolução.	1	2	3	4	5
15) mostra uma mensagem de incompatibilidade com os dados que você inseriu e reinicia a aplicação quando a resolução requer mais de uma fórmula ou quando não é um problema da cinemática.	1	2	3	4	5
16) confirma os dados do enunciado que você inseriu, mostrando explicações resumidas para revisar os conceitos envolvidos no problema.	1	2	3	4	5
17) mostra o passo a passo detalhado de cada cálculo da resolução.	1	2	3	4	5

APÊNDICE H – MATRIZ DE DADOS

Itens da matriz global de dados quantitativos

Grupo	Variável	Tipo	Intervalo	Descrição
Dados gerais	ident.	categórica	1 – 114	Conjunto de dados contemplando código numérico identificador e caracterização geral de cada participante.
	turma	categórica	1 – 3	
	gênero	categórica	1 – 2	
	idade	sequencial	1 – n	
Pré-teste	PT_q1.a	discreta	0 – 1	Designação correta (V ou F) das três alternativas acerca dos elementos presentes no enunciado.
	PT_q1.b	discreta	0 – 1	
	PT_q1.c	discreta	0 – 1	
	PT_q2.1	discreta	0 – 1	Identificação das duas fórmulas adequadas à resolução.
	PT_q2.2	discreta	0 – 1	
	PT_conv.	discreta	0 – 1	Conversão de unidade de medida.
	PT_q3	discreta	0 – 2	Execução correta dos cálculos.
	PT_q4	discreta	0 – 2	Explanação da lógica da resolução.
	PT_total	discreta	0 – 10	Pontuação total no pré-teste.
	PT_q3q4	discreta	0 – 1	Desempenho na parte produtiva – q3 e q4.
Questionário exploratório	qA	discreta	1 – 5	Questionário composto por 17 itens de likert (a – q), desenvolvido na frente objetivista a partir de análise lexical das transcrições de entrevistas, visando o emprego de análise fatorial exploratória para identificação das dimensões do fenômeno investigado.
	qB	discreta	1 – 5	
	qC	discreta	1 – 5	
	qD	discreta	1 – 5	
	qE ... qP	discretas	1 – 5	
	qQ	discreta	1 – 5	
Testes de desempenho	Seq.E1	categórica	<i>códigos*</i>	Experimento 1 – testes: variável indicando sequência de resolução com artefatos ‘A’ (1), ‘B’ (2), ou sem apoio de artefato (0), correspondendo aos <i>*códigos 012, 201, 120</i> ; variáveis indicando desempenho nas questões 1 e 2 (análogas às questões 3 e 4 do pré teste) com auxílio dos artefatos ‘A’, ‘B’, e sem auxílio de artefato.
	E1-Aq1	discreta	0 – 1	
	E1-Aq2	discreta	0 – 1	
	E1-Bq1	discreta	0 – 1	
	E1-Bq2	discreta	0 – 1	
	E1-Oq1	discreta	0 – 1	
	E1-Oq2	discreta	0 – 1	
	Seq.E2	categórica	<i>códigos*</i>	Experimento 2 – retestes: análogos aos testes [E1], com sequências de resolução expressas pelos <i>*códigos 210, 102, 021</i> ;
	...	discretas	0 – 1	
	E2-Oq2	discreta	0 – 1	
Questionário pós-uso	q01p1_RF09	discreta	1 – 5	Questionário pós-uso composto por 17 itens de likert referenciando os requisitos a serem individualmente avaliados pelos usuários.
	...	discretas	1 – 5	
	q17p1_RF15	discreta	1 – 5	
	q01p2_RF09	discreta	1 – 5	Segunda aplicação do questionário pós-uso, realizada após o Experimento 2, buscando variações na avaliação dos requisitos.
	...	discretas	1 – 5	
	q17p2_RF15	discreta	1 – 5	
	q01pm_RF09	contínua	1 – 5	Médias das duas aplicações do questionário pós-uso de avaliação individual dos requisitos funcionais dos artefatos ‘A’ e ‘B’.
	...	contínuas	1 – 5	
	q17pm_RF15	contínua	1 – 5	