



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO, FILOSOFIA E  
HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS**

**AGAMENON PEREIRA XAVIER**

**LABORATÓRIO VIRTUAL VERSUS LABORATÓRIO MATERIAL: A  
APRENDIZAGEM DE FÍSICA COM INTERVENÇÕES  
TRADICIONAIS E INVESTIGATIVAS**

**SALVADOR  
2018**

**AGAMENON PEREIRA XAVIER**

**LABORATÓRIO VIRTUAL VERSUS LABORATÓRIO MATERIAL: A  
APRENDIZAGEM DE FÍSICA COM INTERVENÇÕES  
TRADICIONAIS E INVESTIGATIVAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências.

Orientadora: Profa. Dra. Amanda Amantes

Salvador  
2018

Xavier, Agamenon Pereira

Laboratório Virtual versus Laboratório Material: a aprendizagem de Física com intervenções Tradicionais e Investigativas / Agamenon Pereira Xavier. -- Salvador, 2018.

220 f. : il

Orientador: Amanda Amantes.

Tese (Doutorado - Programa de pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências) -- Universidade Federal da Bahia, Instituto de Física, 2018.

1. Ensino de Física. 2. Abordagem tradicional e investigativa. 3. Laboratório material e virtual. 4. Modelagem Rasch. 5. Teoria de habilidades dinâmicas. I. Amantes, Amanda. II. Título.

**AGAMENON PEREIRA XAVIER**

**LABORATÓRIO VIRTUAL VERSUS LABORATÓRIO MATERIAL: A  
APRENDIZAGEM DE FÍSICA COM INTERVENÇÕES  
TRADICIONAIS E INVESTIGATIVAS**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências, pelo Programa de Pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, da Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana.

Aprovado em: 10 de Agosto de 2018

Amanda Amantes Neiva– Orientadora  
Doutora em Educação - UFMG  
Universidade Federal da Bahia

Charbel Nino El Hani  
Doutor em Educação - USP  
Universidade Federal da Bahia

Jancarlos Menezes Lapa  
Doutor em Ensino, Filosofia e História das Ciências – UFBA/UEFS  
Instituto Federal da Bahia

Marcelo Giordan Santos  
Doutor em Química - UNICAMP  
Universidade de São Paulo

Maria Cristina Martins Penido  
Doutora em Educação - USP  
Universidade Federal da Bahia

*Aos meus pais Antônio e Jane.*

## AGRADECIMENTOS

São tantas pessoas e instituições para agradecer que não é possível citar aqui. Mas agradeço a todos que fizeram parte da minha formação pessoal e profissional do início até os dias de hoje.

Aos meus pais e irmão por todo o amor e exemplo de humildade e honestidade. A minha namorada pelo amor, incentivo e compreensão pelas minhas ausências. Ao meu sobrinho pela ternura e por aumentar minha vontade de estar mais perto “de casa”.

Meus sinceros agradecimentos à professora Amanda por ter me dado a oportunidade de trabalharmos juntos e acreditado em mim. Por todos os ensinamentos acadêmicos imprescindíveis, orientações e exemplos como professora, pesquisadora, orientadora e pessoa.

Agradeço aos colegas do nosso grupo de pesquisa, laboratório de metodologia e pesquisa mista em ensino de ciências (LAMPMEC) por todo conhecimento compartilhado.

Às mais de setecentas pessoas envolvidas na pesquisa, entre estudantes, professores, técnicos, pesquisadores e professores colaboradores, em especial à Silvia (IFBA *campus* Feira de Santana) e Isabelle (IFBA *campus* Salvador).

Aos professores e pesquisadores que compuseram a banca de qualificação e defesa, pelas valiosas contribuições.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, em especial ao *campus* Araçuaí.

Aos demais familiares e amigos que compreenderam minha ausência.

Aos professores e servidores do programa de pós-graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências UFBA/UEFS pelos ensinamentos e empenho em seus afazeres.

## Resumo

A presente pesquisa investigou a aprendizagem de conteúdos formais de estudantes do Ensino Médio, contrapondo abordagens investigativas e tradicionais no laboratório virtual e material. Os métodos utilizados foram fundamentalmente quantitativos, pautados nos modelos probabilísticos e técnicas da modelagem Rasch, testes estatísticos, bem como na perspectiva de aprendizagem da teoria de habilidades dinâmicas. Participaram da pesquisa aproximadamente setecentos indivíduos, incluindo o primeiro momento de construção e validação dos instrumentos de intervenção e coleta de dados, e num segundo momento através das intervenções educacionais nas aulas de Física de doze turmas do Ensino Médio. Comparando os dados dos estudantes submetidos a diferentes abordagens, tivemos evidências de maior aprendizagem para aqueles participantes na abordagem investigativa comparada os estudantes submetidos à abordagem tradicional. Ao compararmos os dados dos estudantes participantes em diferentes ambientes, houve evidência de maior aprendizagem dos estudantes submetidos às intervenções no laboratório material, comparados àqueles submetidos a intervenção no laboratório virtual. Por sua vez, ao investigarmos os resultados dos estudantes submetidos a intervenções associando abordagem e ambiente, tivemos evidência que na abordagem tradicional, o laboratório material favorece mais a aprendizagem de conteúdo formal do que o laboratório virtual. Já com abordagem investigativa, houve indícios de que a aprendizagem de conteúdo formal é a mesma para a intervenção no laboratório material e virtual. Contudo, considerando o laboratório virtual, as evidências são de que a abordagem investigativa favorece mais a aprendizagem de conteúdo formal do que a abordagem tradicional. E por fim, tivemos indícios de que no laboratório material tanto a abordagem investigativa quanto a tradicional favorecem a aprendizagem de conteúdos formais da mesma maneira.

Palavras-chave: Ensino de Física, abordagem investigativa e tradicional, laboratório material e virtual, modelagem Rasch, teoria de habilidades dinâmicas.

## **Abstract**

The present research investigated the learning of formal contents of students of High School, contrasting inquiry and traditional approaches in the virtual and material laboratory. The methods used were mainly quantitative, based on probabilistic models and techniques of Rasch modeling, statistical tests, as well as from the perspective of learning the Dynamic Skill Theory. Approximately 700 individuals participated in the study, including the first moment of construction and validation of intervention instruments and data collection, and secondly by means of the educational interventions in the physics classes of twelve high school classes. Measuring the data of students submitted to different approaches, we had evidence of greater learning for those participants in the comparative inquiry approach to the students submitted to the traditional approach. When we compare the data of the students who participated in different environments, we can find more evidences of learning in the students submitted to interventions in the material laboratory, in comparison to those submitted to intervention in the virtual laboratory. On the other hand, when we investigated the results of the students submitted to interventions that associate approach and environment, we had evidence that, in the traditional approach, the material laboratory favors more the learning of formal content than the virtual laboratory. Already with an inquiry approach, there were indications that the learning of formal content is the same for the intervention in the material and virtual laboratory. However, considering the virtual laboratory, it was conclude that the inquiry approach favors more formal content learning than the traditional approach. Finally, we have had indications that in the material laboratory the both inquiry approaches favor the learning of formal contents in the same way.

**Keywords:** Physics Teaching, inquiry and traditional approaches, material and virtual laboratory, Rasch modeling, Dynamic Skill Theory.



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Perfil dos juízes - Validação SEI.....	43
Gráfico 2. Adequação ao caráter investigativo .....	44
Gráfico 3. Concordância em relação ao objetivo .....	45
Gráfico 4. Perfil dos juízes - Validação do roteiro estruturado.....	50
Gráfico 5. Percentual de concordância entre juízes em relação ao caráter tradicional .....	51
Gráfico 6. Percentual de concordância entre juízes em relação ao objetivo de cada atividade .....	52
Gráfico 7. Análise paralela. Teste 01- Fatores e Componentes .....	74
Gráfico 8. Análise paralela. Teste 02- Fatores e Componentes .....	74
Gráfico 9. Análise paralela. Teste 03- Fatores e Componentes .....	75
Gráfico 10. Percentual de itens conforme dimensão específica .....	81
Gráfico 11. Histograma – diferença de habilidades T. final e T. inicial – Todos estudantes .....	106
Gráfico 12. <i>Box Plot</i> – habilidade – estudantes submetidos a todas as intervenções .....	106
Gráfico 13. Histograma – Dificuldade dos itens – Todos estudantes.....	109
Gráfico 14. <i>Box Plot</i> - Dimensões específicas por teste – Todos estudantes .....	111
Gráfico 15. Histograma - diferença de habilidades T. Final - T. Inicial - Intervenção investigativa e tradicional .....	115
Gráfico 16. Histograma - dificuldade dos itens - Intervenção investigativa e tradicional.....	117
Gráfico 17. <i>Box Plot</i> - Dimensões específicas por teste - Intervenção investigativa .....	118
Gráfico 18. <i>Box Plot</i> - Dimensões específicas por teste - Intervenção tradicional.....	120
Gráfico 19. Histograma - diferença de habilidades T. Final - T. Inicial - Ambiente material e virtual .....	122
Gráfico 20. Histograma - dificuldade dos itens - Ambiente material e virtual.....	123
Gráfico 21. Dimensões específicas - Ambiente Material.....	125
Gráfico 22. Dimensões específicas - Ambiente virtual.....	126
Gráfico 23. Histogramas - Habilidades dos estudantes - Associação de abordagem e ambiente .....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficiente kappa - validação por pares SEI .....	46
Tabela 2. Coeficiente kappa - validação por pares para atividades tradicionais .....	52
Tabela 3. Índices de concordância das categorizações .....	63
Tabela 4. Variância bruta explicada pelas medidas e Variância não explicada no primeiro contraste ..	66
Tabela 5. Variância bruta explicada pelas pessoas e itens .....	66
Tabela 6. Índice de ajuste dos itens .....	68
Tabela 7. Percentual <i>infit</i> e <i>outfit</i> fora do intervalo do bom ajuste.....	69
Tabela 8. Média e desvio padrão - Ajustes.....	69
Tabela 9. Índice Alfa de Cronbach para pessoas .....	71
Tabela 10. Índices de Separação e Confiabilidade para pessoas e itens.....	72
Tabela 11. Estatística RMSR.....	76
Tabela 12. Estatística TLI .....	76
Tabela 13. Estatística RMSEA .....	77
Tabela 14. Probabilidade de significância entre modelos .....	78
Tabela 15. Comparação de modelos via AIC e BIC – Teste 01.....	78
Tabela 16. Comparação de modelos via AIC e BIC - Teste 02 .....	78
Tabela 17. Comparação de modelos via AIC e BIC - Teste 03 .....	79
Tabela 18. Concordância entre juízes - Categorizações.....	98
Tabela 19. Variância residual padronizada (em unidades de autovalores).....	100
Tabela 20. Índice de ajuste dos itens - <i>infit</i> e <i>outfit</i> .....	101
Tabela 21. Média de desvio padrão - Estatística MNSQ .....	102
Tabela 22. Coeficiente alfa de Cronbach.....	103
Tabela 23. Confiabilidade das pessoas e itens .....	104
Tabela 24. Teste de normalidade – Todas intervenções .....	105
Tabela 25. Diferenças de habilidades – Todas intervenções.....	108
Tabela 26. Dificuldade dos itens – Todos estudantes .....	110
Tabela 27. Diferença de habilidades - Intervenção investigativa e tradicional .....	115
Tabela 28. Dificuldade dos itens - Intervenção investigativa e tradicional.....	117
Tabela 29. Diferença de habilidades - Ambiente material e virtual .....	122
Tabela 30. Dificuldade dos itens - Ambiente material e virtual.....	124
Tabela 31. Diferenças de habilidades (Teste final - Teste inicial) - Associação de abordagem e ambiente.....	129
Tabela 32. Comparando a aprendizagem com diferentes associações de abordagem e ambiente.....	130

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metáfora de uma camada de quatro níveis .....	25
Figura 2. Desenho da construção e validação dos instrumentos de intervenção e coleta de dados .....	36
Figura 3. Fragmento do questionário de validação – Atividade Investigativa .....	42
Figura 4. Fragmento do questionário de validação - Roteiro estruturado .....	49
Figura 5. Kit experimental - Pêndulo Simples.....	54
Figura 6. Simulador Pêndulo Simples - PhET.....	55
Figura 7. Politômico e correspondente dicotômico .....	58
Figura 8. Correlações negativas entre questões – Teste 01 .....	67
Figura 9. Estrutura de três dimensões específicas.....	80
Figura 10. Mapa de itens - Teste 01 .....	83
Figura 11. Mapa de itens - Teste 02 .....	84
Figura 12. Mapa de itens - Teste 03 .....	86
Figura 13. Desenho simplificado da pesquisa .....	91
Figura 14. Desenho das Intervenções-I .....	94
Figura 15. Esquema das análises finais .....	96
Figura 16. Mapas de itens – Intervenção tradicional material .....	131
Figura 17. Mapas de itens - Intervenção tradicional virtual.....	133
Figura 18. Mapas de itens - Intervenção investigativa virtual .....	134
Figura 19. Mapas de itens - Intervenção investigativa material.....	135

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Uso prático da teoria de Habilidades .....	23
Quadro 2. Interpretação coeficiente kappa .....	45
Quadro 3. Padrões de comentários/sugestões - Validação por pares SEI .....	47
Quadro 4. Exemplo de categorização de questão discursiva .....	61
Quadro 5. Pessoas que não acertaram nenhum item .....	65
Quadro 6. Exemplo de classificação de itens em dimensões específicas .....	80
Quadro 7. Testes de conhecimento de acordo com dimensões específicas .....	88
Quadro 8. Itens que se repetem em dois ou três testes.....	89
Quadro 9. Amostra da Intervenção - <i>Campus</i> Feira de Santana .....	92
Quadro 10. Amostra da Intervenção - <i>Campus</i> Salvador.....	93
Quadro 11. Desenho das intervenções-II.....	95

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP	Análise de Componente Principais
AIC	<i>Akaike's Information Criterion</i>
ANOVA	Análise de Variância
BIC	<i>Bayesian Information Criterion</i>
CEP	Comitê de Ética e Pesquisa
DP	Desvio padrão
F	F-Statistics – Valor produzido na ANOVA
<i>gl</i>	Grau de liberdade
IFBA	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia
IPC	Índice Percentual de Concordância
L	Estatística de Levene
K-S	<i>Kolmogorv-Smirnov</i>
<i>m</i>	Média
MNSQ	<i>Mean Square Statistic</i>
MLS	Modelo Logístico Simples
N	Número da amostra
p	Valor-p
PhET	<i>Physics Educational Techology</i>
RMSEA	<i>Root Mean Square Error of Aproximation</i>
RMSR	<i>Root Mean Square of the Residuals</i>
SEI	Sequência de Ensino por Investigação
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
<i>t</i>	Valor <i>t</i> de Student
TLI	<i>Tucker Lewis Index</i>
TMAC	Teoria de Medidas Aditivas e Conjuntas
TRI	Teoria de Resposta ao Item

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2. REFERENCIAIS TEÓRICOS</b> .....	21
2.1. APRENDIZAGEM.....	21
2.2. MODELOS RASCH.....	26
2.3. LABORATÓRIO DIDÁTICO NO ENSINO DE CIÊNCIAS .....	30
2.3.1. Laboratório com atividades investigativas e laboratório tradicional.....	30
2.3.2. Laboratórios virtuais e materiais .....	32
<b>3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO, CONTEXTO, SUJEITOS E DESENHO: INSTRUMENTOS DE INTERVENÇÃO E COLETA DE DADOS</b> .....	35
<b>4. ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MATERIAIS DE INTERVENÇÃO</b> .....	40
4.1. INTERVENÇÃO INVESTIGATIVA: CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO .....	40
4.2. INTERVENÇÃO TRADICIONAL: CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO .....	48
4.3. KIT EXPERIMENTAL E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: PÊNDULO SIMPLES ....	53
<b>5. ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS ITENS: PARTE I</b> .....	56
5.1. CONTRUÇÃO DO BANCO DE ITENS.....	57
5.2. APERFEIÇOAMENTO DO BANCO DE ITENS .....	58
5.3. VALIDAÇÃO AMOSTRAL .....	59
5.4. SISTEMA CATEGÓRICO.....	60
<b>5.4.1. Categorias de explicitação</b> .....	60
<b>5.4.2. Validação das categorias</b> .....	62
<b>6. ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS ITENS: PARTE II</b> .....	65
6.1. MATRIZ DE DADOS .....	65
6.2. AJUSTES DOS ITENS.....	67
6.3. CONFIABILIDADE DE PESSOAS E ITENS .....	70
6.4. DIMENSIONALIDADE .....	72
6.5. DETERMINAÇÃO DO MODELO .....	77
<b>7. ELABORAÇÃO DOS TESTES DE CONHECIMENTO</b> .....	83
<b>8. INVESTIGANDO A APRENDIZAGEM SOBRE PÊNDULO SIMPLES</b> .....	90
8.1. DESENHO DA PESQUISA .....	90
8.2. DELINEAMENTO METODOLÓGICO, CONTEXTO, SUJEITOS E DESENHO: INTERVENÇÕES .....	92
<b>9. ANÁLISES E DISCUSSÕES: PARTE I</b> .....	98

9.1.	ANÁLISE EXPLORATÓRIA .....	98
9.2.	MODELAGEM RASCH .....	99
9.3.	APRENDIZAGEM GERAL .....	104
9.3.1.	Aprendizagem sobre o conteúdo de Pêndulo Simples .....	104
9.3.2.	Aprendizagem das habilidades específicas .....	109
<b>10.</b>	<b>ANÁLISES E DISCUSSÕES: PARTE II</b> .....	<b>114</b>
10.1.	INTERVENÇÃO INVESTIGATIVA X INTERVENÇÃO TRADICIONAL .....	114
10.1.1.	Investigativo X Tradicional – conteúdo de Pêndulo Simples .....	114
10.1.2.	Investigativo X Tradicional em termos de habilidades específicas .....	116
10.2.	LABORATÓRIO VIRTUAL X LABORATÓRIO MATERIAL .....	121
10.2.1.	Laboratório Virtual X Material - conteúdo de Pêndulo Simples .....	121
10.2.2.	Laboratório Virtual X Material em termos de habilidades específicas .....	123
10.3.	INTERVENÇÃO INVESTIGATIVA E TRADICIONAL NO LABORATÓRIO VIRTUAL E MATERIAL .....	127
10.3.1.	Aprendizagem em termos do conteúdo de Pêndulo Simples .....	127
10.3.2.	Aprendizagem em termos de habilidades específicas .....	130
<b>11.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES E APONTAMENTOS</b> .....	<b>136</b>
11.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	136
11.2.	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO, PERSPECTIVAS FUTURAS E LIMITAÇÕES DA PESQUISA .....	141
<b>12.</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>143</b>
<b>13.</b>	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>153</b>
13.1.	APÊNDICE A: SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO .....	153
13.2.	APÊNDICE B: SUGESTÃO DE AULA EXPOSITIVA .....	157
13.3.	APÊNDICE C: ROTEIRO ESTRUTURADO – LABORATÓRIO MATERIAL .....	161
13.4.	APÊNDICE D: ROTEIRO ESTRUTURADO – LABORATÓRIO VIRTUAL .....	166
13.5.	APÊNDICE E: TESTE INICIAL .....	171
13.6.	APÊNDICE F: TESTE INTERMEDIÁRIO .....	175
13.7.	APÊNDICE G: TESTE FINAL .....	180
13.8.	APÊNDICE H: FOTOS DURANTE AS INTERVENÇÕES .....	185
<b>14.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>189</b>
14.1.	ANEXO A: PARECER CONSUBSTANCIADO – COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA ..	189
14.2.	ANEXO B: ESTATÍSTICA DAS PESSOAS - MODELAGEM RASCH - TESTE INICIAL	

14.3. ANEXO C: ESTATÍSTICA DAS PESSOAS - MODELAGEM RASCH - TESTE INTERMEDIÁRIO.....	201
14.4. ANEXO D: ESTATÍSTICA DAS PESSOAS - MODELAGEM RASCH - TESTE FINAL 209	
14.5. ANEXO E: MEDIDA DOS ITENS – MODELAGEM RASCH – ANÁLISE GERAL.....	218
14.6. ANEXO F: MEDIDA DOS ITENS – MODELAGEM RASCH – INTERVENÇÃO INVESTIGATIVA.....	218
14.7. ANEXO G: MEDIDA DOS ITENS – MODELAGEM RASCH – INTERVENÇÃO TRADICIONAL .....	219
14.8. ANEXO H: MEDIDA DOS ITENS – MODELAGEM RASCH – AMBIENTE MATERIAL 220	
14.9. ANEXO I: MEDIDA DOS ITENS – MODELAGEM RASCH – AMBIENTE VIRTUAL	220



## 1. INTRODUÇÃO

As atividades experimentais nos laboratórios didáticos são fundamentais para o ensino de ciências, e em específico para o ensino de Física. Neste sentido, diversos pesquisadores e professores respaldam nossa perspectiva. Para Dorneles, Araújo e Veit (2012) é praticamente consensual entre professores de Física que o uso de experimentos didáticos é um componente indispensável no ensino da disciplina. Neste ponto de vista, Pinho Alves (2000) diz que é quase unânime a aceitação ao uso da experimentação no ensino de Física, ou pelo menos, não há movimentos contrários à presença do laboratório didático no seu ensino. Arantes, Miranda e Studart (2010) e Laburú e Silva (2011) também destacam a importância dada pelos professores à realização de atividades experimentais e defendem a utilização do laboratório didático. Giordan (1999) traz apontamentos envolvendo a motivação e o interesse dos estudantes em relação ao laboratório didático no ensino de ciências,

É de conhecimento dos professores de ciências o fato de a experimentação despertar um forte interesse entre alunos de diversos níveis de escolarização. Em seus depoimentos, os alunos também costumam atribuir à experimentação um caráter motivador, lúdico, essencialmente vinculado aos sentidos. Por outro lado, não é incomum ouvir de professores a afirmativa de que a experimentação aumenta a capacidade de aprendizado, pois funciona como meio de envolver o aluno nos temas em pauta. (GIORDAN, 1999, p. 43)

Segundo Millar (2004) o trabalho prático é um componente essencial do ensino e da aprendizagem de ciências, tanto para o objetivo de desenvolver o conhecimento científico dos alunos quanto para o desenvolvimento do conhecimento dos estudantes sobre ciência.

Assim, as atividades experimentais nos laboratórios didáticos fazem parte da estrutura desta investigação. Nesta perspectiva, a pesquisa conduzida refere-se à investigação sobre a aprendizagem de conteúdos formais de estudantes do Ensino Médio na disciplina Física, contrapondo abordagens investigativas e tradicionais no laboratório virtual e material. Estamos chamando de laboratório material aquele em que o aluno manipula materiais concretos, e de laboratório virtual aquele em que há simulação destes materiais no computador. As intervenções tradicionais ocorreram associando aula expositiva e aula de laboratório seguindo um roteiro estruturado, e as intervenções investigativas são do tipo laboratório aberto e ocorreram apoiadas numa Sequência de Ensino por Investigação.

Quando mencionamos atividades práticas no laboratório didático, referimos tanto ao ambiente material quanto ao virtual. Para Scalise (2011), os laboratórios virtuais simulam na tela os experimentos que, tradicionalmente são realizados em laboratórios escolares materiais,

e oferecem a oportunidade para usar equipamentos e ferramentas que são projetados para replicar aqueles em um laboratório material. Segundo Zacharia (2007) o experimento real e o experimento virtual ganharam a confiança de muitos pesquisadores por sua contribuição para a aprendizagem e instrução. No entanto, para este autor, não há evidência inequívoca da eficácia e eficiência da utilização do experimento material ou do experimento virtual.

Tendo em vista a importância das atividades experimentais no laboratório didático para o ensino de ciências, é possível encontrar muitas pesquisas relacionadas à sua utilização. No entanto, geralmente são discussões “isoladas” apontando possibilidades e limitações sobre cada um dos quatro domínios envolvidos na nossa pesquisa (laboratório material, laboratório virtual, abordagem tradicional e abordagem investigativa). Em 2010, Baser e Durmus (2010) apontavam que pesquisas envolvendo o pareamento entre laboratórios materiais e virtuais eram raras na literatura científica. Mais recentemente encontramos pesquisas nacionais envolvendo o laboratório didático material e virtual no ensino de Física, mas no sentido de complementaridade (DORNELES, ARAÚJO e VEIT, 2012; HOHENFELD, 2013) e não de comparação.

Zacharia (2007) argumenta que os resultados das pesquisas sobre formas eficazes de utilizar o laboratório didático virtual e material estão longe de ser conclusivos, e defende que ainda há muito a ser aprendido sobre o impacto desses dois ambientes de ensino. Fazendo referência aos objetos de aprendizagem, incluindo as simulações computacionais, Arantes, Miranda e Studart (2010) dizem que é imprescindível realizar mais pesquisas sobre sua eficácia no contexto escolar: investigar como são usados e se, de fato, contribuem para uma aprendizagem efetiva. Para estes autores, avaliações sistemáticas sobre o uso dos objetos de aprendizagem em sala de aula ainda são escassas no Brasil.

Scalise *et al* (2011) em sua pesquisa sobre o uso de laboratórios virtuais e softwares de simulação para o ensino de ciências, após analisar 79 estudos relevantes, indicam a necessidade de novas pesquisas para verificar e estimar ganhos de aprendizagem utilizando tais ferramentas. Para estes autores, muitas pesquisas apresentam ameaças clássicas de validade, uma vez que em alguns casos não há nenhuma comparação entre grupos de estudantes, em outros desconsidera-se o conhecimento preexistente dos estudantes, e ainda há estudos que não é possível verificar se a mudança no aprendizado é mesmo devido ao uso dos laboratórios virtuais e/ou simulações computacionais. Para melhorar o impacto e a utilidade de novos estudos, Scalise *et al* (2011) entre outros apontamentos, indicam a utilização de estatísticas de comparação para estimar mudança na aprendizagem entre grupos experimentais

e grupos de controle, submetidos a diferentes metodologias. Pontone Junior (2016), em sua investigação sobre o uso de simulações e laboratórios virtuais no ensino de Física, também realizou uma revisão de literatura envolvendo artigos relevantes entre 2009 e 2014 e indicou que os resultados são de certa forma contraditórios: algumas pesquisas sugerem que os efeitos das simulações e dos laboratórios virtuais na aprendizagem dos estudantes são superiores aos dos laboratórios reais, outras não confirmam essa superioridade.

Diante do exposto, parece que há uma lacuna na literatura científica sobre a aprendizagem de conteúdos formais no ensino de Física, envolvendo pareamento concomitante entre o tipo de abordagem (investigativa e tradicional) e o tipo de laboratório (material e virtual), e que possua um desenho metodológico coerente, buscando ao máximo reduzir problemas de validade. Neste sentido, a presente pesquisa tem por objetivo geral:

Investigar as diferenças na aprendizagem de conteúdos formais de estudantes do Ensino Médio, contrapondo abordagens investigativas e tradicionais no laboratório virtual e material.

Como objetivos específicos pontuamos:

i) verificar como ocorreu a aprendizagem em cada perspectiva metodológica de ensino;

ii) comparar a aprendizagem dos estudantes nas intervenções tradicionais e investigativas;

iii) comparar a aprendizagem dos estudantes nos diferentes ambientes de ensino (ambiente material e virtual);

iv) comparar a aprendizagem dos estudantes conforme associação da abordagem (investigativa ou tradicional) ao ambiente de ensino (material ou virtual).

A partir destes objetivos buscamos responder à pergunta de pesquisa: Qual a contribuição do ambiente (virtual e material) e abordagem (investigativa e tradicional) para a aprendizagem de conteúdos formais de Física? Além de diversas questões, como por exemplo: Houve diferença de aprendizagem dos estudantes submetidos à abordagem de ensino tradicional e investigativa? Houve diferença de aprendizagem dos estudantes submetidos à intervenção no laboratório material e virtual? Nas intervenções em que os estudantes foram submetidos ao mesmo ambiente e diferente abordagem, qual obteve maior aprendizagem dos estudantes? E nas intervenções em que os estudantes tiveram a mesma abordagem e diferente ambiente, em qual houve maior aprendizagem? Existe diferença na natureza do conhecimento construído quando pareamos a aprendizagem dos estudantes

participantes no laboratório virtual e material? E quando pareamos a aprendizagem dos estudantes submetidos à abordagem investigativa e tradicional? Existe correlação entre a abordagem e o ambiente de ensino em termos de favorecer o melhor caminho (trajetória) de aprendizagem?

Para atingir os objetivos propostos, responder as perguntas e contribuir com a superação da lacuna referente à discussão sobre a aprendizagem dos estudantes nos laboratórios didáticos, planejamos uma pesquisa com rigorosos critérios metodológicos, associado à Modelagem Rasch (1960) e apoiado na perspectiva de aprendizagem da teoria de habilidades dinâmicas (FISCHER, 1980). Buscando obter um padrão de validade e confiabilidade dos dados e consequentemente evitar futuras conclusões enviesadas, construímos e validamos todos os instrumentos de intervenção e coleta de dados. No geral, nossa pesquisa contou com dados oriundos de mais de 700 indivíduos, entre professores, pesquisadores e estudantes do Ensino Médio.

O conteúdo formal de Física do Ensino Médio escolhido para a pesquisa é Pêndulo Simples. Dentro do conteúdo de Pêndulo Simples trabalhamos conceitos básicos que envolvem diversos tópicos de Física, por exemplo: força, período, frequência, aceleração, velocidade, entre outros. Assim, o ensino desse conteúdo permeia várias etapas do ensino médio, podendo ser ensinado dentro de Mecânica (habitualmente trabalhado no primeiro ano do ensino médio) ou como introdução ao estudo das ondas (geralmente ensinado no segundo ano do ensino médio). O conteúdo de Pêndulo Simples é possível ser ensinado aos estudantes por meio de intervenções tradicionais e investigativas, utilizando os mesmos componentes (ferramentas) no laboratório virtual e material, além disso necessita de poucas aulas<sup>1</sup> para ser ensinado de forma satisfatória para o que se estabelece como componente curricular do Ensino Médio.

Vale salientar que todas as decisões, métodos, técnicas e referenciais teóricos adotados são detalhados e justificados no decorrer deste trabalho.

A pesquisa foi submetida à apreciação de um comitê de ética e pesquisa via plataforma Brasil. Após análise de toda documentação necessária, o comitê de ética da escola de enfermagem da Universidade Federal da Bahia emitiu parecer consubstanciado autorizando a realização da mesma. O parecer consubstanciado do comitê de ética e pesquisa encontra-se no ANEXO A.

---

<sup>1</sup> Este é um ponto importante de ser relatado, tendo em vista a grande dificuldade de conseguir instituições de ensino, bem como professores e estudantes dispostos a participar e colaborar com pesquisas educacionais.

## 2. REFERENCIAIS TEÓRICOS

### 2.1. APRENDIZAGEM

A perspectiva que adotamos nesta pesquisa sobre a aprendizagem está centrada na aceção da mesma como um processo, subsidiada por elementos observáveis e latentes que podem nos dar indícios de como ela se processa. Os elementos ou atributos latentes não podem ser medidos diretamente, mas podemos acessá-los por meio de observáveis e com isso descrever alguns aspectos sobre a aprendizagem. Um desses atributos é o entendimento que, acessado em momentos distintos de forma cronológica, pode fornecer parâmetros para verificarmos se houve aprendizagem e como ela ocorreu (AMANTES, 2009). No entanto, o entendimento é um traço latente<sup>2</sup> dinâmico; assim, o que podemos acessar num determinado instante é o estado momentâneo do entendimento.

Para Millar e Lim Beh (1993) não se tem uma definição clara de entendimento, pois declaram que “não existe uma coisa tal como ‘entendimento de voltagem’ a não ser enquanto a habilidade de fazer previsões corretas em situações nas quais (aquilo que os cientistas denominam de) voltagem está envolvida” (MILLAR e LIM BEH, 1993 apud AMANTES, 2009 p. 59). Já Polanyi (1983) aponta que as habilidades práticas, a performance em testes, o uso de ferramentas e de significados das palavras são atos de entidades complexas de entendimento. Assim, adotamos o termo entendimento como um traço latente expresso em ações do sujeito quando ele lida com situações específicas envolvendo um determinado conhecimento. Neste sentido, consideramos que podemos ter acesso ao entendimento dos estudantes, pelo menos de forma parcial, confrontando o sujeito com situações em que ele deve mobilizar esse entendimento para resolver tarefas ou resolução de problemas. Essa percepção de entendimento também está presente em algumas investigações na área de ensino de ciências com o foco na aprendizagem de conceitos científicos (MILLAR e LIM BEH, 1993; DAWSON, 2006; AMANTES, 2005/2009; ALVIM, 2011; COELHO, 2011).

Assim como Amantes e Oliveira (2012), concebemos que houve aprendizagem quando identificamos um progresso no entendimento. Para identificar esse progresso, precisamos estabelecer alguns parâmetros que nos permitam afirmar que o entendimento avaliado num certo momento é, hierarquicamente maior ou menor (ou mais profundo e menos profundo, ou pior e melhor) que o entendimento verificado em outro instante. Nesta pesquisa,

---

<sup>2</sup> As variáveis latentes são características dos indivíduos que não podem ser observadas diretamente, e devem ser inferidas a partir da observação de variáveis secundárias que estejam relacionadas a ela (ANDRADE, TAVARES e VALLE, 2000).

utilizamos o parâmetro acadêmico, já que estamos avaliando o entendimento formal, e o progresso no entendimento pode ser constatado através do aumento da habilidade dos sujeitos e/ou decréscimo da dificuldade dos itens.

Algumas teorias do desenvolvimento cognitivo (PIAGET, 1976; FISCHER 1980; BIGGS E COLLIS, 1982) apontam que um entendimento novo é construído a partir de um entendimento já existente na estrutura cognitiva da pessoa e que vai aumentando de nível de complexidade. De acordo com Coelho (2011),

Essas teorias, guardadas suas diferenças e particularidades, partem do pressuposto de que o aumento no desenvolvimento em um determinado domínio de conhecimento não é um processo cumulativo, mas sim um processo de integração hierárquica, no qual o entendimento mais sofisticado (com maior nível de complexidade) é estendido e generalizado a partir dos entendimentos anteriores. (COELHO, 2011, p.26)

Neste sentido, Parziale e Fischer (1998) e Schwartz e Fischer (2004) consideram que habilidades específicas mais sofisticadas resultam da incorporação de novos elementos às habilidades específicas de menor complexidade, e quando esse elemento é incorporado, ocorre uma mudança qualitativa nessa habilidade específica. Essa mudança qualitativa indica uma modificação no entendimento de um nível de pensamento para um nível de mais alta complexidade, ou seja, houve aprendizagem. Para Parziale e Fischer (1998), um exemplo disso é quando uma criança mede o comprimento de uma linha utilizando uma régua, neste caso, uma habilidade específica foi usada, mas composta por muitas outras menos complexas, que juntas formam uma única estrutura do pensamento (habilidade). De acordo com estes autores, ensinar uma criança a como medir uma linha, significa ajudá-la a construir uma habilidade necessária (entender a régua como uma linha numerada e medir o comprimento da linha com a régua). Outro exemplo é apresentado por Amantes (2009),

Quando um sujeito utiliza um multímetro para medir a tensão de uma bateria, por exemplo, ele coordena várias habilidades, tanto sensório-motoras como representacionais e até mesmo abstratas. Quando todas essas habilidades são coordenadas representando um alto grau de entendimento, a habilidade mais complexa de medir a tensão utilizando um multímetro foi construída: ela representa a coordenação de várias habilidades mais básicas. As habilidades sensório-motoras desse exemplo, as representacionais e também as abstratas são habilidades desenvolvidas a partir de outras que as antecedem. (AMANTES, 2009 p. 56)

A teoria de habilidades é uma teoria neo-Piagetiana (SCHWARTZ e FISCHER, 2004), que assume estágios (ou camadas, como denominado na teoria) de desenvolvimento a partir de estruturas cognitivas que se desenvolvem ao longo do tempo, no entanto, coloca a estrutura do pensamento (habilidades) das pessoas em domínios específicos do conhecimento.

Para Parziale e Fischer (1998) qualquer tarefa de sala de aula ou ação do estudante pode ser definida pela teoria de habilidades dinâmicas em termos de habilidades.

Parziale e Fischer (1998) afirmam que o padrão de coordenação das habilidades que ocorre em sala de aula é semelhante ao padrão de mudanças de desenvolvimento a longo prazo. Esse padrão se repete através de quatro camadas: reflexo, ação, representação e abstração, formando 13 níveis de desenvolvimento (PARZIALE e FISCHER, 1998; SCHWARTZ e FISCHER, 2004). Para nossa pesquisa não exemplificamos a camada de reflexo, pois segundo Schwartz e Fischer (2004) essa camada é observada apenas em bebês durante os primeiros meses de vida. Assim, são dez os níveis mais relevantes para o desenvolvimento cognitivo normal e a aprendizagem em crianças e adolescentes. O Quadro 1 elaborado por Parziale e Fischer (1998) fornece a definição geral para os níveis através destas últimas três camadas que, segundo eles, são as mais importantes para a sala de aula. O Quadro 1 também apresenta o período de idade ou emergência das habilidades em cada nível.

Quadro 1. Uso prático da teoria de Habilidades

<b>Definição de níveis de habilidade de desenvolvimento</b>		
<b>Camada/Nível</b>	<b>Definição</b>	<b>Período ou idade de emergência</b>
Ação 1 <i>Conjunto Simples</i>	Uma criança entende como agir em coisas específicas do mundo, mas não consegue relacionar diferentes maneiras de agir sobre elas	4-6 meses
Ação 2 <i>Mapeamentos</i>	Uma criança usa uma ação para provocar uma segunda ação	6-7 meses
Ação 3 <i>Sistemas</i>	Uma criança controla variações complexas de meios e fins	1-2 anos
Ação 4 ou Representação 1 <i>Sistema de sistema</i>	Uma criança representa propriedades simples dos objetos, eventos e pessoas, ou de suas próprias ações imediatas	Pré-escola precoce
Representação 2 <i>Mapeamento</i>	Uma criança relaciona variações em uma representação para variações em uma segunda representação	Pré-escola tardia
Representação 3 <i>Sistema</i>	Uma criança relaciona subconjuntos de duas ou mais representações, mas não consegue pensar em objetos abstratos	Anos do Ensino Fundamental
Representação 4 Ou	Uma pessoa abstrai um atributo intangível que caracteriza grandes categorias de objetos,	Final do Ensino Fundamental

Abstração 1 <i>Sistema de sistema</i>	eventos ou pessoas	Início do Ensino Médio
Abstração 2 <i>Mapeamento</i>	Uma pessoa relaciona um conceito abstrato com outro	Final do Ensino médio
Abstração 3 <i>Sistema</i>	Uma pessoa relaciona subconjuntos de dois ou mais conceitos abstratos	Início da idade adulta
Abstração 4 <i>Sistema de sistema</i>	Uma pessoa coordena dois ou mais sistemas abstratos para formar um princípio	Início da idade adulta

Fonte: Parziale e Fischer (1998). Tradução nossa.

De acordo com Schwartz e Fischer (2004), tais níveis de desenvolvimento na estrutura de habilidades para o desenvolvimento de longo prazo (conforme exemplificado no Quadro 1), também podem servir como regra para quantificar as mudanças observadas na compreensão que resultam da aprendizagem no curto prazo (sala de aula).





Para Parziale e Fischer (1998) cada lição de sala de aula requer sua própria sequência adaptada aos objetivos e contexto da aula; isso é importante para entender claramente que o caminho da habilidade está relacionado em sequências. A teoria de habilidades define a sequência de organização das habilidades numa estrutura hierárquica. Esta sequência prevê as habilidades e progresso dos conceitos de aprendizagem. Estes autores utilizam uma metáfora espacial, mostrada na Figura 1, para entender como as habilidades são compostas e coordenadas por níveis anteriores.

Para explicar a metáfora da Figura 1, Parziale e Fischer (1998) utilizam o conceito de densidade. Os pontos no diagrama são habilidades específicas e as linhas que conectam representam a coordenação dessas habilidades. Note que as coordenações de habilidades não são aleatórias. Estas coordenações seguem uma habilidade coordenada por níveis anteriores. Considerando o exemplo de densidade, a massa e o volume podem ser representados como um conjunto simples que são desenvolvidos separadamente. Estas duas habilidades podem ser representadas como pontos desconexos. Quando essas ideias são entendidas, podem ser representadas por conexões dos pontos com as linhas. O estudante conhece totalmente o conceito de densidade ao saber como a massa e o volume variam em relação uns aos outros. Massa e volume são completamente coordenados por um sistema e podem ser representados pela figura quadrada. Nesta figura, as linhas verticais representam a variação em cada conceito e a linha horizontal a relação entre cada variação de conceito. Se o estudante ligar outros sistemas para o sistema da densidade, este novo pensamento complexo pode ser



representado por um cubo. Quando o estudante entende a relação entre cinética molecular e densidade, tal sistema de sistema está operando. O ciclo sobrepõe entre camadas, então o sistema de sistema é o nível final de uma camada e o nível de conjunto da próxima camada. Para Parziale e Fischer (1998) a metáfora da Figura 1, bem como as definições de nível de habilidade de desenvolvimento apresentado pelo Quadro 1, pode representar a sequência de desenvolvimento de longo prazo, bem como a sequência de tarefas de desenvolvimento de curto prazo (sala de aula), podendo ser comparadas.

Figura 1. Metáfora de uma camada de quatro níveis

LEVEL	NAME	DIAGRAM
1	Single Set	
2	Mapping	
3	System	
4	System of Systems	

Fonte: Parziale e Fischer, 1998, p. 100<sup>3</sup>

A teoria de habilidades é multimodal, ou seja, concebe que um mesmo indivíduo pode funcionar em várias camadas simultaneamente, pois o desempenho está relacionado à área de conhecimento (ou domínio específico do conhecimento) em que opera (AMANTES e OLIVEIRA, 2012). Por exemplo, um mesmo indivíduo pode estar na camada de representação em um domínio de conhecimento de matemática, mas pode estar na camada de abstração em um domínio de conhecimento de artes. Neste sentido Schwartz e Fischer (2004) dizem que uma habilidade não é apenas a descrição de um comportamento, mas a exibição de um comportamento específico em um contexto específico. Para estes autores, os níveis de habilidade mudam conforme os contextos mudam.

<sup>3</sup> Level (nível), Name (nome), Diagram (diagrama), Single Set (conjunto simples), Mapping (mapeamento), System (Sistema) e System of System (sistema de sistema)

## 2.2. MODELOS RASCH

Tendo em vista a perspectiva de aprendizagem adotada nesta pesquisa, descrita no tópico anterior, bem como a utilização dos dados primários (escores brutos) oriundos de respostas de estudantes a testes de conhecimento, recorreremos aos modelos Rasch para estimar medidas que relacionamos ao entendimento e assim identificar mudanças nesse traço que nos forneçam informações sobre a aprendizagem dos estudantes submetidos a diferentes abordagens e ambientes de ensino.

Para Singer & Willet (2003), quando pretendemos investigar o efeito de uma unidade de ensino, professor ou instrução no processo de aprendizagem, é necessário que haja mensuração de um atributo ao longo do tempo, e ao propormos realizar tal mensuração na educação e psicologia, a principal dificuldade consiste na natureza latente e na complexidade da estrutura desse atributo (AMANTES, 2009). Borsboom (2008) define as variáveis latentes como construtos teóricos não diretamente observáveis ou como variáveis subjacentes às observações. Quando tratamos de atributos como por exemplo entendimento, conhecimento, grau de ansiedade, atitude ou tantos outros da área da Psicologia e Educação que não são acessados diretamente pelos instrumentos que geralmente dispomos (testes, tarefas e questionários), devemos utilizar outras estratégias para investigá-los (AMANTES e COELHO, 2015). Esses atributos, variáveis secundárias ou construtos teóricos, de natureza latente, são passíveis de serem interpretados quando adotamos uma teoria que relaciona as variáveis manifestas às variáveis latentes.

O matemático, estatístico e psicométrico dinamarquês Georg Rasch, desenvolveu modelos probabilísticos e técnicas pautados na interação entre o atributo a ser medido (entendimento, atitude, etc) e o instrumento utilizado (questionário, teste, etc). De acordo com Sick (2008) e Coelho (2011) estes modelos e técnicas são usados para avaliar a qualidade de testes e questionários, bem como passam a utilizar dados observáveis de maneira qualitativa (por exemplo o escore em um teste) para construir medidas intervalares<sup>4</sup> de grandezas não observáveis, produzindo dessa forma, medidas comparáveis. Neste sentido, Commons e Miller (2015) afirmam que o conjunto de Modelos Rasch conta com uma série de propriedades que torna possível obter uma medida “verdadeira” (denominação estatística) dos

---

<sup>4</sup> A escala de medida do tipo intervalar é utilizada para distinguir diferentes quantidades de uma propriedade em determinado objeto, bem como discernir diferenças iguais entre objetos. Além da singularidade e do ordenamento, nas escalas intervalares diferenças iguais entre números representam diferenças iguais no montante da propriedade ou atributo medido. Este tipo de escala necessita de uma unidade de medida para ser matematicamente operacionalizada, e quando ela é produzida por meio dos Modelos Rasch, a unidade de medida é denominada de *logits* (GOLINO e GOMES, 2015).

construtos investigados, e que uma das principais e mais importantes características dos Modelos Rasch é a linearidade e igualdade de espaçamento.

Dawson (2006), Wu e Adams (2007) e Sick (2008) também apontam essa importante propriedade dos modelos Rasch, de gerar uma escala intervalar. Numa escala intervalar, os números não apenas representam a ordenação, mas também representam uma "quantia" do atributo, de forma que as distâncias entre os números sejam significativas e possam ser comparadas. A diferença de uma medida obtida por meio dos Modelos Rasch de 2 e 3 *logits*, por exemplo, é a mesma diferença entre -2 e -1 *logits*. Da mesma forma, podemos afirmar que o número 4 é o dobro do número 2 para o atributo medido. Por exemplo, um estudante que obteve uma diferença de habilidade de 4 *logits* obteve o dobro da habilidade de um estudante que variou sua habilidade em 2 *logits*, para o atributo medido; o mesmo raciocínio se aplica à dificuldade dos itens. Dawson (2006) e Commons e Miller (2015) complementam que os modelos Rasch possibilitam a alocação de pessoas e itens (ou de questões) nesta mesma escala (intervalar), e isto permite a comparação entre eles.

De acordo com Golino e Gomes (2015), o conjunto de Modelos Rasch são capazes de produzir medidas verdadeiras, pois atende aos axiomas da Teoria de Medidas Aditivas e Conjuntas (TMAC) e atende matematicamente ao pressuposto da objetividade da medida. Esses autores pontuam que:

A partir das medidas aditivas conjuntas, a Psicologia e demais ciências humanas, sociais e da saúde contam com um sistema formal de medida que é semelhante àqueles encontrados na Física, possibilitando medidas verdadeiras, mas sem levar em consideração as necessidades de concatenação empírica dos objetos a serem medidos (Borsboom, 2003; Borsboom & Scholten, 2008; Krantz *et al.*, 1971). Esse tipo de medida é obtido quando se aplica uma função específica que mapeia as relações qualitativas encontradas em estruturas aditivas conjuntas em um sistema representacional numérico, de modo que sejam satisfeitos todos os quatro axiomas da Teoria de Medidas Aditivas Conjuntas. Essa função quase milagrosa existe e foi desenvolvida na década de 1960 pelo estatístico dinamarquês Georg Rasch. (GOLINO e GOMES, 2015, p. 41)

Vários autores (ANDRADE, TAVARES e VALLE, 2000; TEZZA, 2012; FILHO e TEIXEIRA, 2015) consideram os Modelos Rasch (1960) como parte da Teoria de Resposta ao Item (TRI), sendo que estes modelos estabelecem que a resposta certa a um item ou a uma tarefa é função da habilidade  $\beta$  do indivíduo e da dificuldade  $\delta$  desse item ou dessa tarefa. Para Golino e Gomes (2015) a capacidade que uma pessoa tem de responder aos itens, é denominado de habilidade/proficiência, já o grau de esforço, de demanda e exigência para a

resolução que os itens têm, é chamado de dificuldade. Estes dois conceitos não são definidos isoladamente, ou seja, são complementares e definidos em termos um do outro.

Um dos modelos mais utilizados é o modelo dicotômico de Rasch (1960/1980) também denominado de Modelo Logístico Simples (MLS) (ANDRICH, 1988; ADÁNEZ e VELASCO, 2002). Golino (2015) diz que este modelo determina que a resposta  $X_{pi}$ , que provém do encontro da pessoa  $p$  com o item  $i$ , depende da dificuldade deste item  $\delta$  e da habilidade da pessoa  $\beta$ , e é expressa em termos probabilísticos. Se por exemplo, a habilidade da pessoa for igual à dificuldade do item ( $\beta_p = \delta_i$ ), espera-se que a pessoa tenha 50% de chance de acertar o item. Se  $\beta_p < \delta_i$ , espera-se que a pessoa tenha menos de 50% de chance de responder corretamente. Já no caso de  $\beta_p > \delta_i$  é esperado que a pessoa tenha mais de 50% de acerto. Para respostas dicotômicas a relação ente a habilidade da pessoa e a dificuldade do item é expressa por:

$$P\{X_{pi} = x_{pi} / \beta_p, \delta_i\} = \frac{e^{[x_{pi}(\beta_p - \delta_i)]}}{1 + e^{(\beta_p - \delta_i)}}$$

Quanto maior for a diferença entre  $\beta_p - \delta_i$ , maior será a probabilidade de que o sujeito resolva corretamente o item (ADÁNEZ e VELASCO, 2002). Para uma resposta correta da pessoa  $p$  ao item  $i$ ,  $x_{pi} = 1$ , temos:

$$P\{X_{pi} = 1 / \beta_p, \delta_i\} = \frac{e^{(\beta_p - \delta_i)}}{1 + e^{(\beta_p - \delta_i)}}$$

Para uma resposta incorreta da pessoa  $p$  ao item  $i$ ,  $x_{pi} = 0$ , então a expressão fica:

$$P\{X_{pi} = 0 / \beta_p, \delta_i\} = \frac{1}{1 + e^{(\beta_p - \delta_i)}}$$

Andrich (1988), Adánez e Velasco (2002) e Golino e Gomes (2015) afirmam que o Modelo Logístico Simples está de acordo com a propriedade da objetividade específica, ou seja, a estimativa da dificuldade dos itens é independente da distribuição das habilidades da população estudada (independe de quais pessoas responderam aos itens). Em outras palavras, Sick (2008) diz que a habilidade dos participantes do teste é independente do teste que eles fazem, e a dificuldade dos itens do teste é independente dos participantes do teste. Assim,

uma vez que os instrumentos de medição tenham sido calibrados para uma escala comum, as estimativas de habilidade das pessoas e dificuldade dos itens não devem variar entre testes e amostras de populações mais do que o erro em consequência da precisão da medição.

No entanto, em alguns casos o acesso ao traço latente demanda mais de um dado de natureza dicotômica. Neste sentido, Amantes e Coelho (2015) afirmam que maneiras de atender a essa necessidade foram elaboradas na perspectiva de um tipo de modelagem idealizados por Rasch (1960). Tais modelos são denominados modelos politômicos, pois assumem mais de duas alternativas de resposta. Dois exemplos de modelos politômicos são: modelo politômico de crédito parcial (MASTERS, 1982) e modelo politômico de escala gradual (ANDRICH, 1978; WRIGHT e MASTERS, 1982).

Vitória, Almeida e Primi (2006) apontam que para se obter medidas de qualidade é desejável que a escala meça a mesma coisa ao longo do teste (composto por vários itens), ou seja, podendo ser caracterizado como unidimensional, sendo esta uma das condições para que os Modelos Rasch possam gerar medidas verdadeiras. No entanto, Linacre (2009) citado por Coelho, (2011) chama a atenção para o fato dessa propriedade não ser atendida em sua totalidade por nenhuma escala utilizada na vida prática. Desta forma, vários modelos atuais estenderam os Modelos Rasch para instrumentos multidimensionais; ainda assim,

o postulado da unidimensionalidade se mantém mesmo nesses casos, no sentido de que cada dimensão do instrumento multidimensional, e seus respectivos itens, deve ser medida predominantemente por um único traço latente (Golino e Gomes, 2015, p. 150).

Os Modelos Rasch não requerem amostras representativas da população para que se tenha uma interpretação do contínuo investigado e nem demanda uma amostra grande (BOONE, STAVER e YALE, 2014; COMMONS e MILLER, 2015), sendo possível estimativas robustas com poucos casos, por exemplo acima de 30 (COMMONS e MILLER, 2015). Além disso, não demanda normalidade dos escores para atingir propriedades intervalares, nem um grupo normativo para comparar os indivíduos da amostra de modo a dar significado aos escores (GOLINO e GOMES, 2015).

Modelos Rasch também permitem a verificação de sequências hierárquicas dos itens e das pessoas, sendo particularmente relevante para a identificação de estágios de desenvolvimento (DAWSON, XIE e WILSON, 2003) e para testar modelos teóricos hierárquicos, como o Modelo da Complexidade Hierárquica (GOLINO e GOMES, 2015).

### 2.3. LABORATÓRIO DIDÁTICO NO ENSINO DE CIÊNCIAS

O laboratório didático, ao qual referimos neste trabalho, se difere do laboratório de pesquisa. Para Millar (2004) no laboratório de pesquisa os pesquisadores exploram os limites do que é conhecido, já no laboratório didático ou de ensino, os estudantes tentam chegar a um acordo com o conhecimento já aceito.

#### 2.3.1. Laboratório com atividades investigativas e laboratório tradicional

O emprego do termo ensino por investigação (pelo qual optamos por utilizar neste trabalho) não é consensual entre os pesquisadores da área de ensino de ciências (SÁ, LIMA e AGUIAR JUNIOR, 2011) e apresentam outras denominações na literatura, como por exemplo: *inquiry*, ensino por projetos, ensino por descoberta, aprendizagem por projetos, questionamentos, resolução de problemas, dentre outras (ZÔMPERO e LABURÚ, 2011).

Apesar da polissemia associada ao termo ensino por investigação e da falta de consenso quanto às especificidades que as atividades apresentam, admite-se que algumas características devem estar presentes nas atividades investigativas (ZÔMPERO e LABURÚ, 2011). Para Sá, Lima e Aguiar Junior (2011), essas características dizem respeito a um conjunto de processos, tais como: aplicar e avaliar teorias científicas, valorizar o debate e argumentação, construir um problema, propiciar a obtenção e avaliação de evidências e permitir múltiplas interpretações.

Para Carvalho *et al* (2014) em atividades investigativas o aluno sai da posição passiva, deixa de ser um mero observador das aulas e passa a ter grande influência sobre ela, não é mais um conhecedor de conteúdos, passando a aprender atitudes e desenvolver habilidades como interferir, argumentar, pensar, agir, interpretar e analisar, tal como de elaborar hipóteses, defender sua explicação frente aos colegas de classe e professores e utilizar a teoria aprendida como justificativa de suas ideias.

Nas atividades investigativas de laboratório, de acordo com Borges (2002), compete ao estudante toda a solução e o planejamento do curso de suas ações, a escolha dos procedimentos, a seleção dos equipamentos e materiais, a preparação da montagem experimental, a realização de medidas e observações necessárias, o registro dos dados em tabelas e gráficos, a interpretação dos resultados e enumeração das conclusões. No entanto, este mesmo autor defende que existem diferentes níveis de investigação no laboratório de ciências, de acordo com o que é dado ou deixado em aberto pelo professor em relação ao enunciado do problema, procedimentos e conclusões.

Araújo e Abid (2003) afirmam que muitos pesquisadores mostram evidências da utilização do ensino por investigação como alternativa para a melhoria no desempenho do ensino de Ciências. Gillies *et al* (2012) apontam o ensino por investigação como um exercício pedagógico que encoraja os estudantes a questionarem o mundo natural, encontrar soluções e desenvolver uma melhor compreensão. Tytler (2007), Roberts (2009) e Millar (2010) argumentam que tais tipos de atividades têm o potencial para que a aprendizagem de conteúdos abarque não somente conceitos e definições, mas sobretudo instigue o pensamento científico, uma vez que compreende um método de raciocínio lógico com o intuito de resolver um desafio. Zômpero e Laburú (2011) complementam que a perspectiva do ensino com base na investigação possibilita o aprimoramento do raciocínio e das habilidades cognitivas dos alunos, e também a cooperação entre eles, além de possibilitar que compreendam a natureza do trabalho científico.

Por outro lado, o laboratório tradicional ou Convencional é o mais comum em todos os níveis de ensino, de tal forma que quando se fala em laboratório didático, é o primeiro que nos vem à mente (PINHO ALVES, 2000). Entre os pesquisadores da área de ensino, tem-se grande consenso em relação às características do laboratório tradicional. Para Hodson (1994), Pinho Alves (2000), Borges (2002) e Carvalho *et al* (2014) no laboratório didático tradicional os estudantes geralmente trabalham em grupos pequenos, que mesmo com uma participação ativa, a sua liberdade de ação é limitada, bem como o poder de decisão. Isto porque os estudantes acompanham a prática experimental por um texto guia ou roteiro altamente estruturado, e os passos deste roteiro levam os estudantes a um objetivo pré-determinado. De acordo com Borges (2002), o objetivo da atividade prática pode ser o de testar uma lei científica, ilustrar ideias e conceitos aprendidos nas aulas teóricas, descobrir ou formular uma lei acerca de um fenômeno específico, ver na prática o que acontece na teoria, ou aprender a utilizar algum instrumento ou técnica de laboratório específica.

Para Millar (2004) uma compreensão explícita da lógica da investigação científica e da natureza do conhecimento científico é importante para a alfabetização científica. Para este autor, as tarefas práticas orientadas podem ser muito úteis para o desenvolvimento dessa compreensão, em particular, ideias sobre dados e sua interpretação.

### 2.3.2. Laboratórios virtuais e materiais

Desde 1996, em países desenvolvidos, aproximadamente 90% dos laboratórios de Física eram assistidos por computadores, e os laboratórios de ensino caminhavam na mesma direção (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002). Os recursos computacionais têm ganhado espaço no ensino de ciências nas últimas décadas, e de acordo com Giordan e Gois (2009) esses recursos tem mudado, passando por materiais disponíveis em CD-ROM e agora disponíveis na internet. As ferramentas também têm mudado, desde a simples apresentação, a manipulação e inclusão da possibilidade de criação de objetos tridimensionais virtuais. O uso do computador para o ensino pode se apresentar de diversas formas, por exemplo: hipertextos, áudios, sites, vídeos, simulações, coleta e análise de dados, dentre outros. Medeiros e Medeiros (2002) afirmam que, com o aumento da utilização destas ferramentas, também aumentou o número de pesquisadores interessados no assunto. Neste sentido, para Giordan e Gois (2009) é um fato que a informação e as tecnologias da comunicação são uma parte integrante dos entornos modernos de investigação.

Conforme Arantes, Miranda e Studart (2010) um dos mais disseminados tipos de objetos de aprendizagem são as simulações computacionais de experimentos de Física, que estão disponíveis para a utilização em diversos contextos. Para Medeiros e Medeiros (2002), as simulações computacionais vão além das simples animações, elas abrangem uma ampla classe de tecnologias, do vídeo à realidade virtual. As simulações podem ser vistas como representações ou modelagens de objetos específicos reais ou imaginários, de sistemas ou fenômenos.

Assim como Hohenfeld, Penido e Lapa (2013), admitimos que a inserção das simulações computacionais no ensino de Física, nos motiva a experimentar metodologias/estratégias que busquem inovações para esse ambiente de ensino, bem como compatibilizamos que as simulações computacionais podem ser apropriadamente articuladas com atividades de ensino, sendo, portanto, mais um instrumento de mediação entre o sujeito, seu mundo e o conhecimento científico (GIORDAN, 1999).

Vários autores indicam benefícios da utilização do computador e simulações computacionais para o ensino de ciências, e em específico para o ensino de Física. Para Borges (2002), o uso do computador pode minimizar algumas das nossas limitações em entender assuntos dentro da Física, como por exemplo, partículas subatômicas, corpos com altas velocidades, distâncias extragalácticas e processos dotados de grande complexidade e abstração. As simulações também são muito utilizadas para estudar situações que envolvam



fenômenos muito lentos ou extremamente rápidos. Podem ser bastante úteis, particularmente quando a experiência original for impossível de ser reproduzida (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002). Para Arantes, Miranda e Studart (2010), nas simulações é possível modificar muitas condições de contorno com facilidade, repetir várias vezes o experimento, explorando distintas combinações de parâmetros, e “ver o invisível” (átomos, elétrons, fótons, campos) a partir das representações presentes nas simulações e que facilitam a interação entre professores e estudantes. Hodson (1994) lista uma série de características a favor das simulações e uso do computador. Para este autor, existe uma diversidade de experimentos que são muito difíceis, muito caros, consomem muito tempo ou são muito perigosos para realizá-los de outra maneira. Além disso, o uso de simulações com computador, diferentemente dos experimentos diretos, permite ao professor adaptar a experiência de aprendizagem precisamente aos objetivos de ensino/aprendizagem. Pode-se diminuir ou aumentar o nível de complexidade, incluir ou excluir certos aspectos, adotar condições idealizadas e criar uma situação experimental que permita aos estudantes concentrar-se nos conceitos fundamentais sem as distrações, as dificuldades e o aborrecimento que fazem parte de tantos e tantos experimentos realizados com objetos reais.

Por outro lado, autores também apresentam limitações do uso do computador e das simulações no ensino de ciências. Hohenfeld (2013) afirma que a falta de fundamentação em teorias de aprendizagem, tanto na elaboração dos programas de simulação quanto nas atividades desenvolvidas no ambiente escolar, constitui-se uma prática muito comum nas simulações computacionais, principalmente quando utilizadas na perspectiva de laboratório didático. Medeiros e Medeiros (2002) ressaltam vários motivos para termos cautela quanto ao uso do computador nas aulas de Ciências. Há um grande risco implícito na adoção acrítica das simulações no ensino de Física, pois elas apresentam certas desvantagens, algumas vezes negligenciadas. As simulações computacionais, por mais fascinantes que possam parecer, com movimentos, sons e cores, não são o acesso principal para os raciocínios não verbais. Erros na elaboração dos softwares devido à falta de cuidado ou mesmo a uma falta de conhecimento em Física podem acontecer e levar os alunos a pensar de modo incorreto, e deste modo, a não compreenderem a natureza. Um sistema real é geralmente muito complexo e as simulações que o descrevem são sempre baseadas em modelos, que contêm necessariamente simplificações e aproximações da realidade. Uma animação não é uma cópia fiel do real. Toda simulação e animação está baseada em uma modelagem do real. Se essa modelagem não estiver clara para professores e alunos, e os limites de validade do modelo não forem tornados

explícitos, essas simulações podem causar danos enormes. Neste sentido, Hohenfeld, Penido e Lapa (2013) nos alerta que precisamos ter cuidado na substituição do laboratório tradicional por estes de simulação computacional, uma vez que os laboratórios baseados na instrumentação e equipamentos físicos são referências importantes na formação de significados dos estudantes e não impõem concepções previamente estabelecidas. Em conformidade com Medeiros e Medeiros (2002), um laboratório virtual pode somente imitar certos aspectos da realidade, mas não sua total complexidade.

### **3. DELINEAMENTO METODOLÓGICO, CONTEXTO, SUJEITOS E DESENHO: INSTRUMENTOS DE INTERVENÇÃO E COLETA DE DADOS**

Ao realizarmos uma investigação somos orientados por um conjunto de crenças básicas que guiam nossas ações. Creswell (2010) chama este conjunto de crenças de concepções, porém também é denominado por outros autores como paradigmas, epistemologias e ontologias ou de metodologias de pesquisa amplamente concebidas. O paradigma geralmente conduz o pesquisador a adotar em sua pesquisa uma abordagem qualitativa, quantitativa ou de métodos mistos.

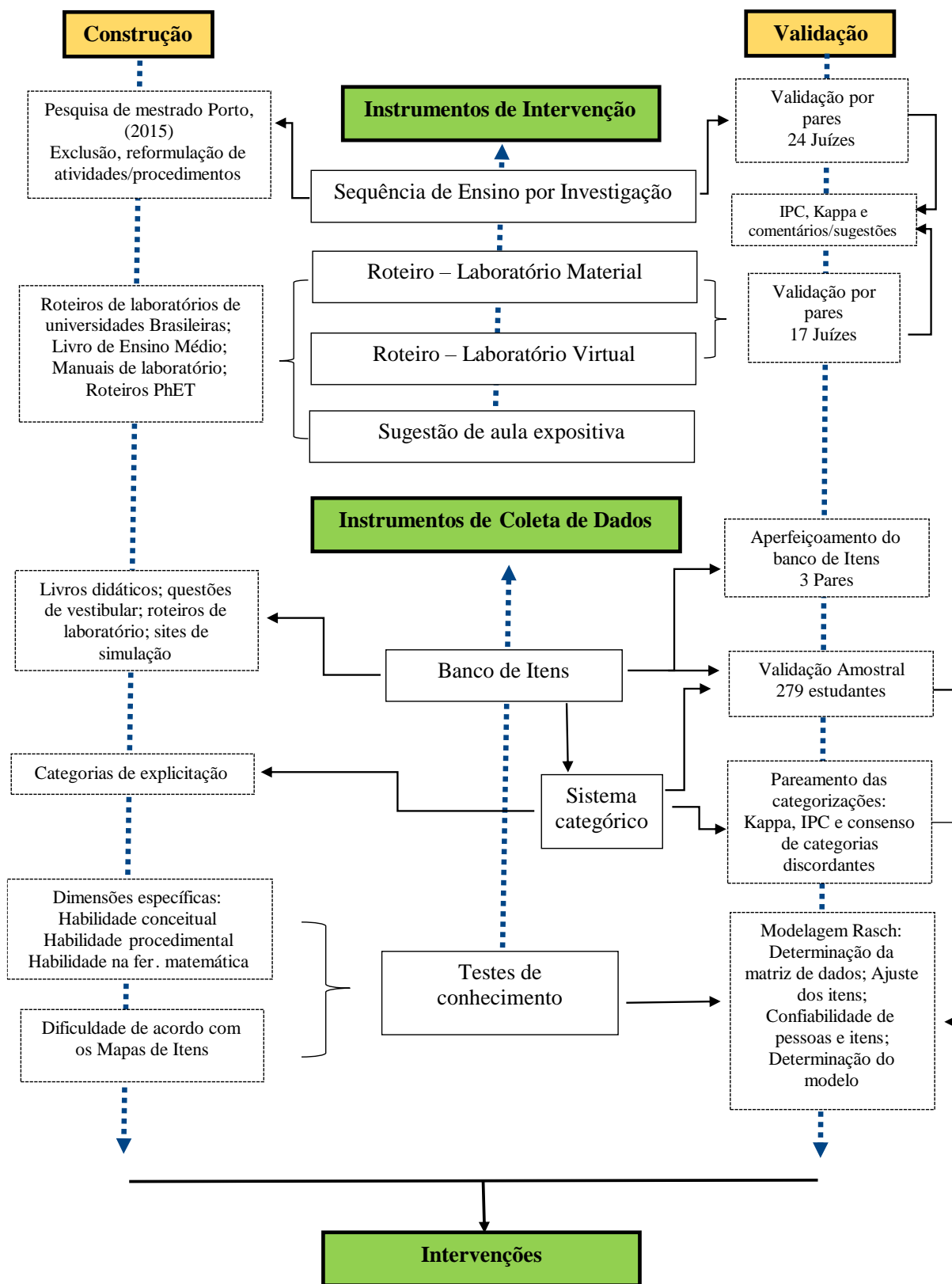
Os professores, pesquisadores e estudantes que compõem a nossa amostra constituem como amostras de conveniência, dado que foram escolhidos baseados em sua conveniência e disponibilidade. Para Creswell (2010), em muitas investigações, somente é possível uma amostra de conveniência, pois o investigador deve usar grupos naturalmente formados (por exemplo: classes de estudantes, uma organização, uma unidade familiar) ou voluntários. Assim, como os sujeitos da pesquisa não são designados aleatoriamente, nossa pesquisa se enquadra no procedimento chamado de quase-experimental.

Tendo realizado esse delineamento metodológico inicial, apresentamos um desenho esquemático (representado pela Figura 2) da construção e validação dos instrumentos de intervenção e coleta de dados. Estes instrumentos são: Sequência de Ensino por Investigação, roteiro estruturado para o laboratório material, sugestão de aula expositiva, roteiro estruturado para o laboratório virtual, banco de itens e testes de conhecimento.

Como objetivamos contrastar dois tipos de abordagens em dois ambientes de ensino, elaboramos duas intervenções: uma com abordagem investigativa e outra com abordagem tradicional, de maneira que ambas possam ser aplicadas nos ambientes material e virtual. Essas intervenções, antes de serem utilizadas na pesquisa, passaram por um processo de validação por pares e validação amostral.

Numa primeira etapa, construímos e validamos a Sequência de Ensino por Investigação (SEI) e os roteiros estruturados de laboratório. A construção da SEI partiu de atividades investigativas aplicadas em uma pesquisa de mestrado (PORTO, 2015), que após autorização do uso, reformulamos e adaptamos, incluindo e excluindo atividades. Para a construção da sugestão de aula expositiva e roteiro estruturado de laboratório, baseamo-nos nos conteúdos da SEI, roteiros de laboratórios de universidades brasileiras, livros de Ensino Médio, manuais de laboratório e roteiros disponíveis no site da simulação que

Figura 2. Desenho da construção e validação dos instrumentos de intervenção e coleta de dados



Fonte: Elaborado pelo autor

usamos: *Physics Educational Technology* (PhET) da Universidade do Colorado.

Não utilizamos uma SEI ou roteiros já validados por outros pesquisadores devido a algumas particularidades da nossa pesquisa, por exemplo: necessidade de termos exatamente os mesmos conceitos retratados nas duas abordagens (investigativa e tradicional), tempo planejado para cada intervenção (7 horas/aula por turma), mesma SEI passível de ser utilizada no ambiente material e virtual e mesmos roteiros estruturados<sup>5</sup> para utilização também nestes dois ambientes.

Para julgar a Sequência de Ensino por Investigação e roteiros de laboratório estruturado, elaboramos um questionário de validação e submetemos à apreciação de juízes, consistindo numa validação por pares. Os questionários de validação apresentam a SEI e o roteiro estruturado, e solicita que os juízes avaliem em relação a sua adequação ao caráter investigativo ou tradicional (roteiro estruturado), ao objetivo que esperamos em relação a cada procedimento/atividade, além disso, deixamos espaço para comentários e/ou sugestões. A SEI foi avaliada por vinte e quatro juízes, sendo sete alunos de graduação em licenciatura em Física em fase final do curso, doze pós-graduandos (especialistas, mestrandos, mestres e doutorandos) e cinco doutores. O roteiro estruturado foi avaliado por outros dezessete juízes: dois graduados, dois doutores e treze pós-graduandos (mestrandos, mestres e doutorandos). Todos os juízes têm formação em Física e os que possuem pós-graduação são em Física, Educação ou Ensino, Filosofia e Histórias das ciências. De posse destes dados, realizamos análises estatísticas por meio do índice percentual de concordância (IPC) entre juízes e coeficiente kappa, além de verificarmos a pertinência e busca de padrões das sugestões e comentários.

Para a construção e validação do banco de itens dividimos em duas partes. A parte I, composta pela construção e aperfeiçoamento do banco de itens, além da elaboração de um sistema categórico e validação das categorizações. A parte II consiste na determinação da matriz de dados, ajuste dos itens, confiabilidade de pessoas e itens, dimensionalidade e determinação do modelo de interpretação dos dados a ser adotado na pesquisa.

O banco de itens, compreendendo todas as questões utilizadas na pesquisa, foi elaborado em versão preliminar realizando buscas em livros didáticos, questões de vestibulares, roteiros de laboratórios, repositório em sites de simulação e dissertação de mestrado. Após selecionar todas as questões de interesse e adaptação de algumas destas, no sentido de converter questões de múltipla escolha em questões discursivas ou de assertivas

---

<sup>5</sup> Os roteiros estruturados utilizados no laboratório material e virtual só diferem em valores numéricos devido a necessidade de adaptá-los ao kit experimental utilizado e a simulação.

verdadeiras e falsas (ou vice-versa)<sup>6</sup> realizamos o aperfeiçoamento do banco de itens. O banco passou pelo crivo de três pesquisadores com graduação em Física e doutorandos em Ensino de Física. Esses três pares realizaram uma revisão detalhada de todas as questões. Após esta fase, dividimos todas as questões em três testes de conhecimentos (teste 01, teste 02 e teste 03) e submetemos ao que denominamos de validação amostral. Os testes de conhecimentos foram aplicados para estudantes do Ensino Médio de diversos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia do Brasil. Nesta etapa, buscamos colaboração com 10 Institutos Federais, 24 *campi* e 40 professores. No entanto, contamos com a colaboração de 4 diferentes Institutos Federais, 7 *campi*, 10 professores e 279 estudantes.

A partir das respostas dos estudantes a estes testes de conhecimento, utilizamos a teoria e técnicas da modelagem Rasch para avaliar a estrutura de dados e os ajustes das medidas; quando não houve ajuste, buscamos anomalias no dado que o distanciou do critério operacional matematicamente bem definido. A princípio excluímos das análises os estudantes que obtiveram escore zero e total, uma vez que os estudantes que erraram todos os itens estão em um nível de habilidade menor que o teste pode dimensionar, e aqueles estudantes que acertaram todos os itens possuem habilidades acima do exigido pelo teste (BOND e FOX, 2007). Para proporcionar a análise estatística dos dados, convertimos as respostas corretas dos itens de múltipla escolha e assertivas verdadeiras e falsas no código numérico 1 (um) e respostas erradas em 0 (zero). Já para as respostas aos itens discursivos realizamos uma análise qualitativa através de um sistema categórico pautado na concepção acadêmica do conteúdo, com estrutura semelhante à proposta por (FISCHER, 1980). Adotamos para essa análise as Categorias de Explicitação, que tem como parâmetro a perspectiva docente de avaliação. O pesquisador e um par, apoiados neste sistema categórico, classificaram independentemente, todas as respostas às questões discursivas. Em seguida pareamos as classificações categóricas correspondentes a cada questão por meio do Índice Percentual de Concordância e coeficiente Kappa, e entramos em consenso para as categorizações discordantes. A partir deste ponto dispusemos das matrizes de dados para prosseguirmos com as análises. Com estes dados realizamos diversos testes estatísticos e considerações teóricas para os ajustes dos itens, a confiabilidades das pessoas e itens, a dimensionalidade e determinação do nosso modelo. Estas análises nos dão estimativas da confiabilidade dos dados, indicativos do quanto o padrão de respostas das pessoas, ou o padrão de acertos dos itens se ajustam à estrutura da medida, apontam para o quão consistente com o modelo foram

---

<sup>6</sup> As questões foram mantidas no formato original, porém, pela necessidade de aumentar o banco de itens, algumas destas também foram convertidas em outro formato.

as respostas das pessoas, nos dão indicativos da existência de itens erráticos, ou seja, aqueles que demonstram um padrão de respostas inesperado, entre outros indícios.

Apesar de todas as questões que compõem o banco de itens terem em comum o conteúdo de Pêndulo Simples, a análise também nos sinalizou outras características importantes que são semelhantes a determinados grupos de itens. Esses grupos de itens representam as três dimensões específicas, sendo que correspondem às habilidades dos estudantes para resolver os itens, denominadas por nós de: habilidade conceitual, habilidade procedimental e habilidade na ferramenta matemática. A determinação das três dimensões específicas é fundamental para a elaboração dos testes de conhecimento aplicados durante a intervenção e para análises e interpretações finais da pesquisa.

Para investigar a aprendizagem, construímos três testes de conhecimento (teste inicial, teste intermediário e teste final) para aplicar em momentos distintos durante as intervenções. Na construção destes testes usamos os resultados descritos anteriormente pelas partes I e II da elaboração e validação do banco de itens, bem como a dificuldade destes itens. Classificamos a dificuldade dos itens em três níveis de acordo com sua posição no mapa de itens, que ordena pessoas e itens numa mesma régua (escala intervalar de *logits*). No final, obtivemos testes de conhecimento com aproximadamente o mesmo nível de dificuldade, o que nos garante poder fazer comparações do entendimento dos estudantes em momentos distintos.

É importante frisar que todos os contextos, as decisões e procedimentos aqui expostos são descritos detalhadamente no decorrer deste trabalho.

#### **4. ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MATERIAIS DE INTERVENÇÃO**

Nesta seção apresentamos os instrumentos de intervenção utilizados na pesquisa, bem como o processo de construção e validação dos mesmos. Foram dois os tipos de abordagens que utilizamos com a finalidade de ensinar o conteúdo de Pêndulo Simples e posteriormente mensurar o entendimento dos estudantes: Intervenção Investigativa do tipo laboratório aberto (CARVALHO *et al.*, 2014) e a intervenção que chamamos de Tradicional, sendo metade da intervenção com aula expositiva em sala de aula e a outra metade seguindo um roteiro estruturado no laboratório didático. Os tópicos sobre o conteúdo de Pêndulo Simples, grandezas envolvidas e suas relações foram exatamente as mesmas para os dois tipos de abordagens.

Ao construir os instrumentos de intervenção, e prezando pela qualidade da pesquisa, assumimos a incumbência de validá-los. Para Pasquali (2009) a validação é de fundamental importância, pois nos dá mais garantia se os instrumentos de pesquisa realmente têm potencial de atingir os nossos objetivos, se acessam o entendimento que pretendemos medir, se instruem da forma como planejamos e/ou se avaliam o que pretendemos. No caso de pesquisas acadêmicas com fins educacionais, o processo de validação de instrumentos em geral nos garante maior confiabilidade no acesso ao traço que queremos investigar e nos fornece maior coerência interna aos procedimentos investigados (AMANTES, COELHO, MARINHO, 2015). Raymundo (2009) aponta que a falta de validação dos testes de uma pesquisa pode acarretar na sua inadequação por falta de critérios de qualidade, levando a más interpretações no momento da análise dos dados gerados por estes.

##### **4.1. INTERVENÇÃO INVESTIGATIVA: CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO**

Para Carvalho *et al.* (2014) as Sequências de Ensino Investigativas (SEI) são conjuntos organizados e coerentes de atividades investigativas, integradas para trabalhar um tema, sendo que a diretriz principal de cada uma das atividades é o questionamento e o grau de liberdade intelectual dado ao aluno. Neste sentido, estes autores propõem vários tipos de atividades investigativas que podemos utilizar numa SEI, por exemplo: textos históricos, experiências de demonstração investigativas, laboratório aberto, aulas de sistematização ou textos de apoio, questões e problemas abertos e recursos tecnológicos.



A SEI que construímos é do tipo laboratório aberto e possui seis momentos. É do tipo laboratório aberto uma vez que apresentamos o problema, e a partir dele os estudantes vão buscar o procedimento para resolvê-lo e chegar às conclusões (CARVALHO, *et al.* 2014). Para Carvalho *et al* (2014), a SEI baseada no laboratório aberto possui seis momentos, sendo: proposta do problema, levantamento de hipóteses, elaboração de um plano de trabalho, montagem do arranjo experimental e coleta de dados, análise dos dados e conclusão.

A construção da SEI partiu de atividades investigativas que integraram uma pesquisa de mestrado (PORTO, 2015). Tais atividades investigativas, nessa pesquisa de mestrado, foram aplicadas para 124 estudantes do 2º ano do ensino integrado<sup>7</sup> de uma escola pública federal, em diferentes cursos: Eletrônica, Refrigeração e Climatização, Química, Eletrotécnica, Geologia e Mecânica. Sendo seis os desafios que constituíam as atividades investigativas da pesquisa de mestrado, e após autorização de utilização e verificada a conveniência do mesmo para nossa pesquisa, excluímos dois desafios e os outros quatro foram repensados e reformulados antes do processo de validação por pares.

Ao reformular cada desafio da atividade investigativa, houve um procedimento detalhado de excluir qualquer conteúdo ou tópico que envolvesse entendimento que não estivessem relacionadas aos que iremos mensurar. A versão da SEI submetida a apreciação dos pares contém quatro desafios. No desafio 01 os estudantes devem averiguar apoiados na experimentação, a relação entre a amplitude de oscilação (proporcional ao ângulo inicial de abertura) e o período do Pêndulo Simples. O desafio 02 propõe aos estudantes projetarem uma situação para encontrar a aceleração da gravidade local por meio do experimento e descrever todos os passos seguidos. O desafio 03 propõe aos estudantes investigar a relação entre o período de oscilação do Pêndulo Simples e as grandezas comprimento do Pêndulo e sua massa. O quarto e último desafio requer dos estudantes uma investigação que envolva os conceitos de Pêndulo Simples e conservação da energia mecânica.

Para iniciar o processo de validação por pares, elaboramos um questionário de validação. Este questionário corresponde a um quadro com determinados critérios para que os pares possam avaliar e julgar a nossa atividade investigativa. A Figura 3 apresenta parte do questionário de validação, correspondente ao desafio 03.

---

<sup>7</sup> Ensino Médio e Técnico imbricados.

Figura 3. Fragmento do questionário de validação – Atividade Investigativa

Desafios	Das alternativas abaixo, qual você julga que mais se aproxima do objetivo dessa atividade? (marque apenas uma)	Em sua opinião, assinale a alternativa quanto a adequação da atividade ao caráter investigativo.	Comentários/sugestões
Desafio 03:  Utilizando o experimento do pêndulo simples, investigue a relação entre o período de oscilação e as variáveis comprimento do fio (L) e a massa do pêndulo. Como você resolveu o desafio?	1-( ) – Fazer com que o aluno chegue a relação matemática entre o período de oscilação e o comprimento do fio, e entre o período e a massa do pêndulo. 2-( ) – Fazer com que o aluno perceba a dependência ou não entre o período de oscilação com a massa do pêndulo e o comprimento do fio. 3-( ) – Fazer como que o aluno conclua a não dependência entre o período e a massa do pêndulo, e a dependência entre o período e o comprimento do fio (enquanto maior o comprimento, maior o período).	0-( ) Inadequado  1-( ) Razoavelmente adequado  2-( ) Adequado	

Fonte: Elaborado pelo autor

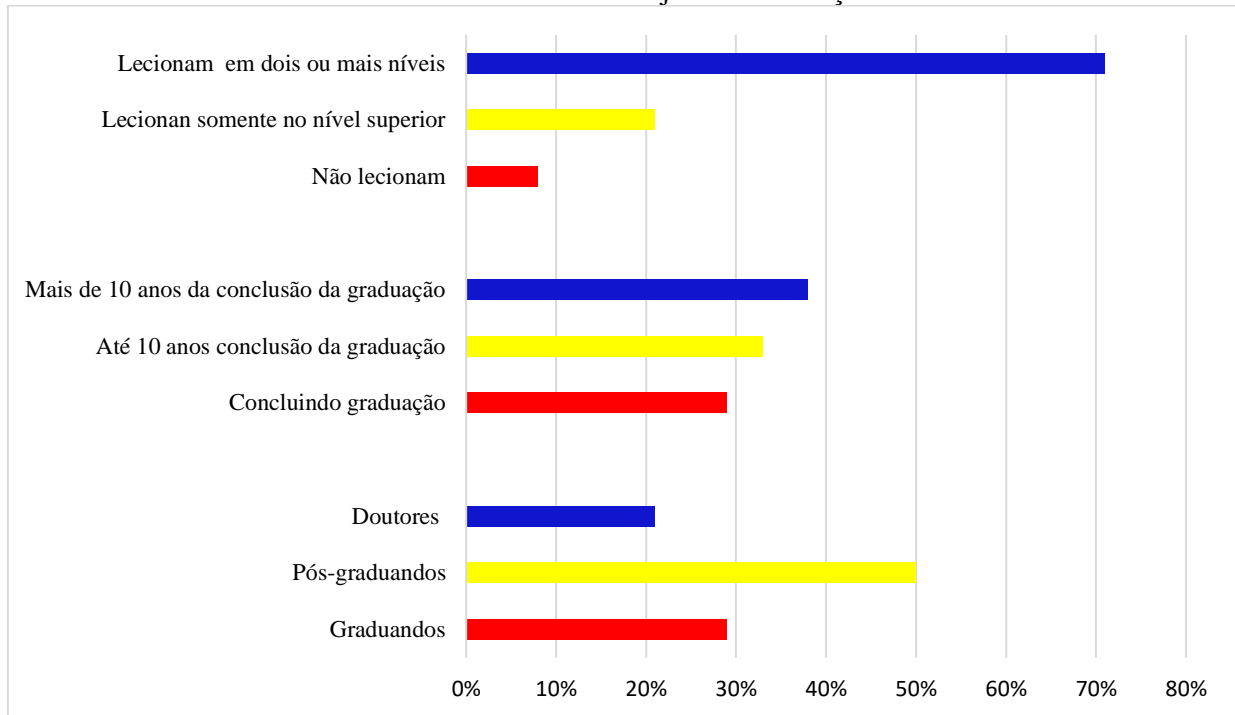
Na primeira coluna expomos o desafio, conforme será apresentado aos estudantes<sup>8</sup>. Na segunda coluna elaboramos três objetivos que podem se adequar ao desafio, sendo que um deles nós consideramos como aquele que mais se aproxima do objetivo da atividade. Na terceira coluna solicitamos que o juiz julgue numa escala se o desafio proposto está adequado ao caráter investigativo. A quarta e última coluna disponibilizamos para o juiz realizar qualquer comentário e/ou sugestão. Cada juiz deveria avaliar da segunda à quarta coluna do questionário de validação, para cada um dos quatro desafios propostos.

Fizeram parte da nossa amostra sete alunos de graduação em licenciatura em Física em fase final do curso, doze pós-graduandos (especialistas, mestrands, mestres e doutorandos) e cinco doutores, todos com formação em Física. Totalizando vinte e quatro juízes. Em percentual, o nível de formação dos juízes é de 29% graduandos, 50% pós-graduandos e 21% doutores. Em relação ao tempo de ‘contato’ dos juízes com a Física e seu ensino, temos que 29% dos juízes estão na fase final da graduação, 33% tem até dez anos que concluíram a graduação e 38% dos juízes tem mais de 10 anos desta conclusão. Apenas dois juízes (8%) que são graduandos não lecionam<sup>9</sup>, 21% dos juízes lecionam exclusivamente no ensino superior (atuando diretamente na formação de professores), e os demais são docentes que atuam em mais de um nível de ensino (fundamental, médio e superior). Estes resultados são apresentados no Gráfico 1.

<sup>8</sup> No entanto, este desafio está contido numa sequência de ensino por investigação (SEI) que orientará o professor na condução da aula. Para cada desafio da SEI apresentamos objetivo, problema, o que os alunos devem saber e/ou ser instruído pelo professor, o encaminhamento das atividades e a sistematização.

<sup>9</sup> Os outros graduandos já são professores no ensino fundamental e médio.

Gráfico 1. Perfil dos juízes - Validação SEI

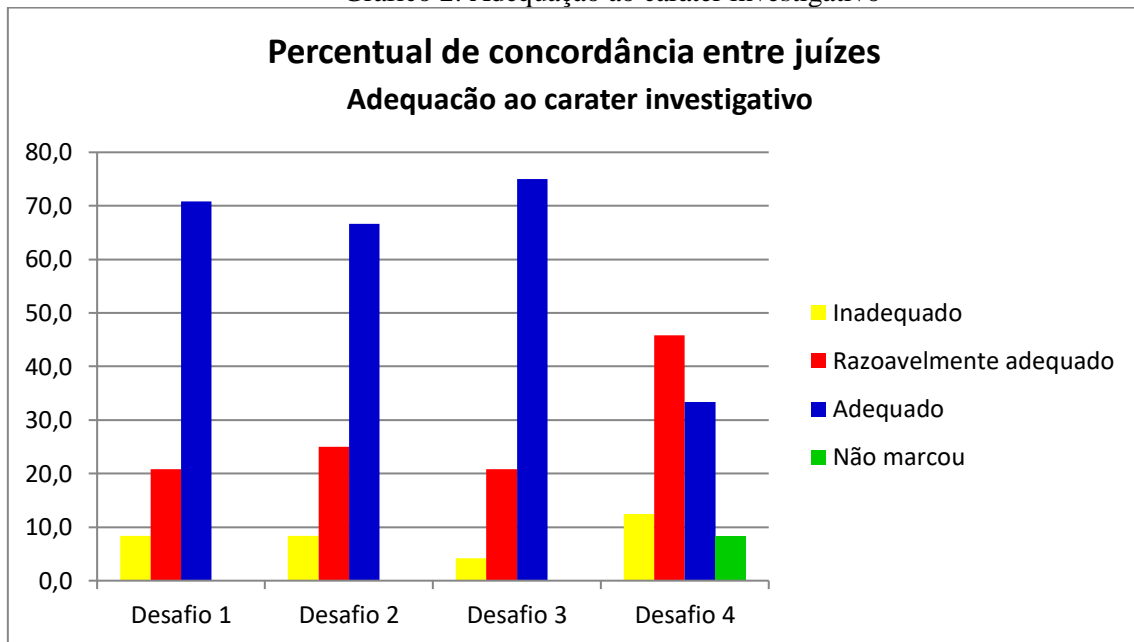


Fonte: Dados da pesquisa

De posse dos questionários de validação avaliados, realizamos uma análise exploratória por meio do índice percentual de concordância (IPC), que é uma estatística descritiva de frequência (BRASIL, 2001). Esta análise foi realizada com os dados da segunda e terceira coluna do questionário de validação, e com esses mesmos dados calculamos o coeficiente kappa. O coeficiente kappa, proposto por Cohen (1960) é o coeficiente mais utilizado quando é necessário classificar dados em categorias nominais (FONSECA, SILVA e SILVA, 2007). O coeficiente kappa é uma medida da concordância entre dois observadores ou instrumentos que classificam uma série de unidades observacionais. Pode-se quantificar a concordância entre dois observadores a partir do percentual de respostas iguais, no entanto, parte desse percentual pode ser casual, ou seja, um acaso e não propriamente uma concordância. O cálculo do coeficiente Kappa implica em subtrair deste percentual observado de concordância, uma quantidade que poderia ser atribuída ao acaso. Ademais analisamos os comentários e sugestões dispostos na quarta coluna do questionário de validação.

O Gráfico 2 apresenta o percentual de concordância entre os juízes dos quatro desafios em relação ao caráter investigativo, ou seja, se cada um dos desafios atende ou não às características de uma atividade investigativa do tipo laboratório aberto.

Gráfico 2. Adequação ao caráter investigativo



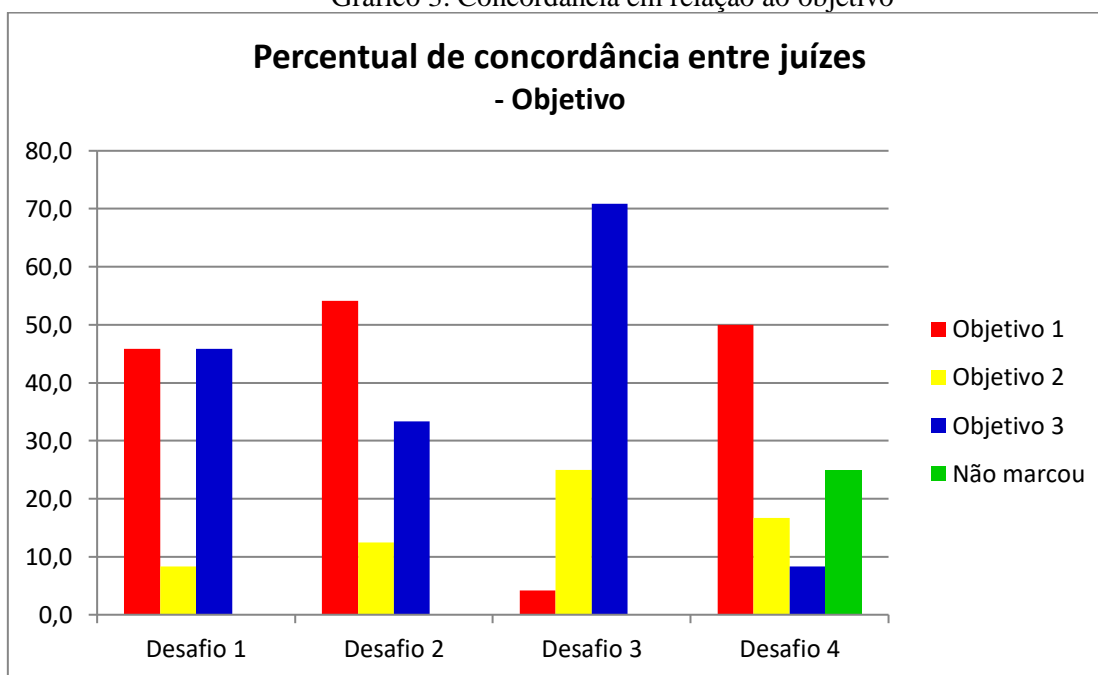
Fonte: dados da pesquisa

Constatamos que os desafios 01, 02, e 03 foram considerados adequados em relação ao caráter investigativo num percentual entre aproximadamente 67% a 75%, e razoavelmente adequado entre 21% e 25% pela avaliação dos juizes. Já no desafio 04, percebemos que há algum problema, uma vez que em torno de 45% dos juizes consideraram que este é razoavelmente adequado e apenas 33% julgam como adequado ao caráter investigativo. Outro indício de problema neste desafio é a abstenção de resposta de aproximadamente 10% dos juizes. Isso pode significar que eles não conseguem julgar apropriadamente se esse desafio atende ao caráter investigativo, ou denota uma má formulação do mesmo.

O Gráfico 3 mostra o percentual de concordância entre os juizes em relação ao objetivo de cada desafio.

No desafio 01 notamos que houve grande dispersão das respostas dos juizes, sendo que o primeiro e terceiro objetivo obtiveram concordância em cerca de 46% dos juizes. O terceiro objetivo corresponde ao que consideramos estar de acordo com o desafio, e o primeiro objetivo entendemos que esteja aquém do potencial da atividade. No desafio 02 constatamos que diminui a dispersão de respostas, e que aproximadamente 54% dos juizes apontam o primeiro objetivo como correspondente ao desafio, o que está de acordo com nossa indicação. Cerca de 33% dos juizes apontam o terceiro objetivo como o que condiz ao desafio, sendo que, na nossa percepção, esse objetivo está além do escopo da atividade. Neste caso, isto se torna um bom indicativo, pois para essa parcela dos juizes o nosso desafio tem

Gráfico 3. Concordância em relação ao objetivo



Fonte: dados da pesquisa

potencial maior do que esperamos. Já no desafio 03, têm-se uma concordância entre os juízes acima de 70% no terceiro objetivo, sendo também este o objetivo que declaramos estar adequado ao desafio, e aproximadamente 25% optaram pelo segundo objetivo, que consideramos inferior ao potencial do desafio. Portanto, interpretamos que esse é um forte indício de que o desafio 03 esteja melhor desenhado dentro do escopo da atividade. O Gráfico 3 também fornece indícios de que o desafio 04 seja problemático, pois houve uma grande dispersão das respostas; cerca de 25% dos juízes se abstiveram em marcar um dos objetivos, 50% optaram pelo primeiro objetivo que não está de acordo com a nossa concepção, sendo que este corresponde ao segundo objetivo elegido por apenas pouco mais de 15% dos juízes.

A Tabela 1 apresenta os coeficientes kappa para cada um dos vinte e quatro juízes, em relação ao caráter investigativo e em relação ao objetivo do desafio. Landis e Koch (1977) classificam os índices kappa em seis intervalos, variando de nenhuma concordância à concordância quase perfeita, conforme Quadro 2.

Quadro 2. Interpretação coeficiente kappa

Valores do kappa	Interpretação
< 0	Nenhuma concordância
0-0,19	Concordância pobre
0,20-0,39	Concordância suave
0,40-0,59	Concordância moderada

0,60-0,79	Concordância substancial
0,80-1,00	Concordância quase perfeita

Fonte: Landis e Koch (1977). Tradução nossa.

Os coeficientes kappa apresentados na Tabela 1 foram calculados utilizando o software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS).

Tabela 1. Coeficiente kappa - validação por pares SEI

Quanto ao caráter investigativo				Quanto ao objetivo			
Juízes	C. kappa	Juízes	C. kappa	Juízes	C. kappa	Juízes	C. kappa
<b>J.01</b>	<b>0,600</b>	J.13	1,000	<b>J.01</b>	<b>-0,455</b>	J.13	0,273
<b>J.02</b>	<b>1,000</b>	J.14	-0,143	<b>J.02</b>	<b>0,000</b>	J.14	-0,200
<b>J.03</b>	<b>0,330</b>	J.15	-0,200	<b>J.03</b>	<b>0,143</b>	J.15	-0,091
<b>J.04</b>	<b>0,600</b>	J.16	1,000	<b>J.04</b>	<b>0,643</b>	J.16	-0,500
<b>J.05</b>	<b>0,143</b>	J.17	0,333	<b>J.05</b>	<b>0,000</b>	J.17	0,600
<b>J.06</b>	<b>0,000</b>	J.18	0,200	<b>J.06</b>	<b>0,556</b>	J.18	0,000
<b>J.07</b>	<b>1,000</b>	J.19	1,000	<b>J.07</b>	<b>0,111</b>	J.19	0,600
<b>J.08</b>	<b>0,333</b>	J.20	0,333	<b>J.08</b>	<b>-0,455</b>	J.20	1,000
<b>J.09</b>	<b>0,000</b>	J.21	1,000	<b>J.09</b>	<b>0,200</b>	J.21	0,200
<b>J.10</b>	<b>0,333</b>	J.22	0,200	<b>J.10</b>	<b>0,273</b>	J.22	0,000
<b>J.11</b>	<b>0,333</b>	J.23	1,000	<b>J.11</b>	<b>0,273</b>	J.23	0,636
<b>J.12</b>	<b>0,600</b>	J.24	0,600	<b>J.12</b>	<b>1,00</b>	J.24	0,200

C. = Coeficiente

Fonte: dados da pesquisa

Conforme a Tabela 1 e observando a parte relacionada ao caráter investigativo do desafio, constata-se que aproximadamente 29% da concordância dos juízes é considerada pobre ou sem nenhuma concordância, sendo este o mesmo percentual de concordância considerada substancial ou quase perfeita. A maior parte dos julgamentos é considerada suave ou moderada, correspondendo a 42% dos juízes. Dessa forma consideramos um bom resultado a concordância em relação à adequação da atividade ao caráter investigativo, o que reforça esse caráter à atividade proposta. Por outro lado, analisando os índices kappa para a concordância quanto ao objetivo de cada desafio, não conseguimos resultados satisfatórios. Foram consideradas concordâncias pobres ou sem nenhuma concordância em 58% dos casos, suaves ou moderadas em um percentual de 25%, e apenas 17% das concordâncias foram classificadas como substancial ou quase perfeita. É importante salientar que o desafio 4 foi o principal responsável pelas baixas concordâncias nas avaliações dos juízes, contribuindo diretamente para que os índices kappa fossem menores na média geral. Este resultado nos fez repensar a manutenção ou não deste desafio nas nossas atividades.

Como consequência da quarta coluna do questionário de validação, obtivemos uma

quantidade considerável de comentários e sugestões acerca dos quatro desafios. Para sua análise buscamos encontrar padrões que fossem recorrentes a cada desafio. Os padrões de sugestões/comentários são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3. Padrões de comentários/sugestões - Validação por pares SEI

<b>Desafio 01</b>	<b>Desafio 02</b>	<b>Desafio 03</b>	<b>Desafio 04</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicam que o desafio está de acordo com a perspectiva investigativa.</li> <li>- Apontam que os objetivos do questionário de validação estão aquém do potencial do problema proposto.</li> <li>- Assinalam que o desafio é “eficiente”.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Confirmam o caráter investigativo.</li> <li>- Elogiam a atividade.</li> <li>- Consideram o desafio com alto grau de dificuldade.</li> <li>- Criticam a dependência matemática do desafio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consideram interessante o desafio, as discussões e conclusões que podem gerar.</li> <li>- Confirmam o caráter investigativo do desafio, e dizem que este é facilmente resolvido e interpretado pelos alunos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Indicam problema na elaboração do desafio.</li> <li>- Sugerem que para a resolução do desafio não é necessário realizar procedimento experimental.</li> <li>- “O desafio está confuso”.</li> <li>- Discorrem sobre a dificuldade de execução da atividade.</li> </ul>

Fonte: dados da pesquisa

A partir do Quadro 3, confirmamos algumas inferências feitas na análise do IPC e coeficiente kappa. No geral, os padrões encontrados nos comentários reafirmam o caráter investigativo para os desafios 01, 02 e 03 e apresentam peculiaridades de cada desafio que não seriam possíveis numa análise quantitativa. Por exemplo: Comentário direcionado ao desafio 01, “*Deixar que ele (o estudante) perceba dá uma liberdade típica da investigação...*”, em relação ao desafio 02 “*Considero esta atividade adequada no sentido investigativo porém de difícil utilização por se tratar de uma atividade de nível difícil e não instigante para alunos que não querem ser cientistas ou físicos...*” e comentário recorrente nos desafios 01, 02 e 03 “*O desafio proposto aproxima-se da perspectiva que Azevedo (2004) e Borges (2002) do laboratório aberto, em que a situação problema proposta deve ser resolvida por meio da experimentação...*”. Em relação ao desafio 04, nos comentários fica claro a sua inadequação ao que propomos, como exemplo: “*Está confuso o desafio*”; “*penso que seu enunciado não auxilia suficientemente a resolução do desafio*” e “*Não acho que essa seria bem uma atividade investigativa...*”.

A partir das análises dos dados do questionário de validação por meio do IPC, coeficiente kappa e análise dos comentários, consideramos que os desafios 01, 02 e 03 foram

validados, sendo necessárias algumas reformulações simples. Já o desafio 04 mostrou-se inadequado, não atendendo as características e expectativas para a qual foi elaborado. Ainda em relação a este desafio, conclui-se que não atende as peculiaridades de uma atividade investigativa e não se faz necessário a utilização da atividade experimental, além do que seus dados poderiam gerar muitos ruídos para a pesquisa. Diante do exposto, o desafio 04 foi excluído da SEI. Tais análises apontaram também pontos fortes, fragilidades e sugestões, que resultaram em alterações na versão final da Sequência de Ensino por Investigação, que se encontra no apêndice A.

#### 4.2. INTERVENÇÃO TRADICIONAL: CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO

Estamos chamando de intervenção tradicional um dos modos como pretendemos ensinar o conteúdo de Pêndulo Simples, sendo que metade da intervenção será como aula expositiva em sala de aula, e a outra parte no laboratório seguindo um roteiro estruturado. Para Borges (2002) as aulas de laboratório com este caráter possuem um restrito grau de abertura, seguem um roteiro pré-definido, têm como objetivo comprovar leis e os estudantes geralmente têm compromisso com os resultados.

Para a aula expositiva elaboramos uma sugestão<sup>10</sup>, que contempla os principais conceitos de Pêndulo Simples, adequado ao nível do Ensino Médio e que possa ser trabalhado em aproximadamente duas horas/aula (100 minutos).

A segunda parte da intervenção tradicional acontece no laboratório virtual ou material, seguindo um roteiro estruturado. Para a construção do roteiro consideramos os mesmos tópicos presentes na SEI e na aula expositiva, e para tal baseamos em diversos roteiros de laboratório de instituições de ensino brasileiras e de roteiros disponíveis em repositórios de objetos de aprendizagem nacionais e internacionais.

Findada a nossa versão do roteiro estruturado, contendo seis procedimentos, o submetemos à validação por pares com a mesma metodologia de coleta e análise da validação das atividades investigativas. O procedimento I relaciona o período de oscilação do Pêndulo Simples ao ângulo de abertura, o procedimento II apresenta os passos para a determinação da aceleração da gravidade local a partir do kit experimental ou simulação, o procedimento III tem como objetivo fazer com que o estudante conclua a não dependência do período e a massa do pêndulo, no procedimento IV relaciona-se o comprimento do pêndulo ao seu

---

<sup>10</sup> Ver sugestão de aula expositiva no apêndice B.



respectivo período, o procedimento V consiste na construção de um gráfico que tem por objetivo fazer com que o estudante conclua que o período do Pêndulo Simples é diretamente proporcional à raiz quadrada do comprimento do fio, e por último o procedimento VI que relaciona o conteúdo de Pêndulo Simples a conceitos de conservação da energia mecânica.

Submetemos o roteiro para a avaliação dos pares por meio de um questionário de validação semelhante ao utilizado na validação da atividade investigativa. Os juízes que aceitaram o convite em colaborar com a validação, receberam o roteiro, as orientações de como deveriam proceder, o link para ter acesso ao experimento virtual (simulação computacional), bem como um quadro para apreciação, abaixo de cada procedimento. Tal quadro contém três colunas, em que avalia quanto ao objetivo daquele procedimento, a adequação ao caráter tradicional e na terceira coluna espaço livre para comentários/sugestões. A Figura 4 apresenta parte do roteiro estruturado incluso ao questionário de validação, referente ao terceiro procedimento.

Figura 4. Fragmento do questionário de validação - Roteiro estruturado

III- Abandonando o pêndulo com o ângulo de dez graus ( $10^\circ$ ) e o comprimento de  $1,5m$ , preencha a tabela abaixo:

Massa ( $m$ )	$0,5kg$	$1,0kg$	$1,5kg$
Tempo de dez oscilações completas ( $t$ )	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_1 =$
	$t_2 =$	$t_2 =$	$t_2 =$
	$t_{Médio} =$	$t_{Médio} =$	$t_{Médio} =$
Período ( $T$ ) $T = \frac{t_{Médio}}{10}$	$T =$	$T =$	$T =$

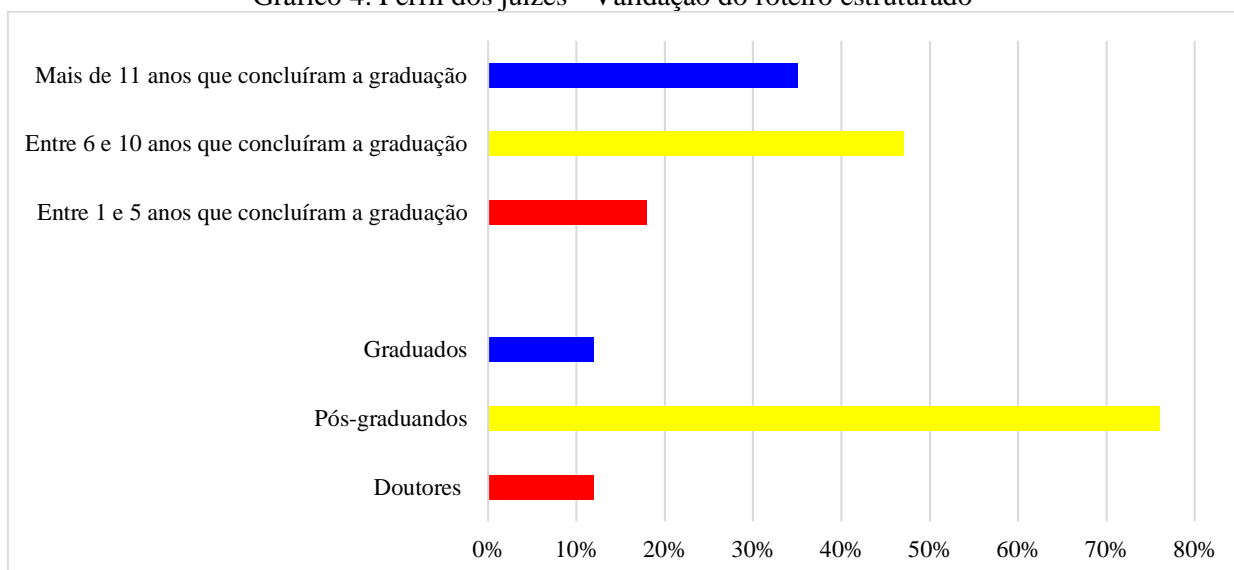
A partir dos dados da tabela, o que se pode concluir da relação entre o período ( $T$ ) e a massa ( $m$ )?

Das alternativas abaixo, qual você julga que mais se aproxima do objetivo dessa atividade? (marque apenas uma)	Em sua opinião, assinale a alternativa quanto a adequação da atividade ao caráter tradicional.	Comentários/sugestões
1-( ) – Fazer com que o aluno conclua que não há dependência entre a massa e o período no pêndulo simples. 2-( ) – Fazer com que o aluno investigue as causas das pequenas variações nas medidas dos períodos. 3-( ) – Fazer com que o aluno somente perceba se há alguma relação entre o período e a massa, sem maiores implicações.	0-( ) Inadequado  1-( ) Razoavelmente adequado  2-( ) Adequado	

Fonte: Elaborado pelo autor

Participaram da validação por pares do roteiro estruturado 17 juízes, todos com graduação em Física, sendo 2 doutores, 2 graduados e 13 pós-graduandos (mestrandos, mestres e doutorandos). Em relação ao tempo de conclusão da graduação, temos que 17,6% dos juízes concluíram a graduação entre 1 e 5 anos em relação à data que participaram da pesquisa, 47% entre 6 e 10 anos de conclusão e 35,3% dos juízes haviam concluído a graduação a mais de 11 anos. Tais características dos juízes estão representados no Gráfico 4.

Gráfico 4. Perfil dos juízes - Validação do roteiro estruturado

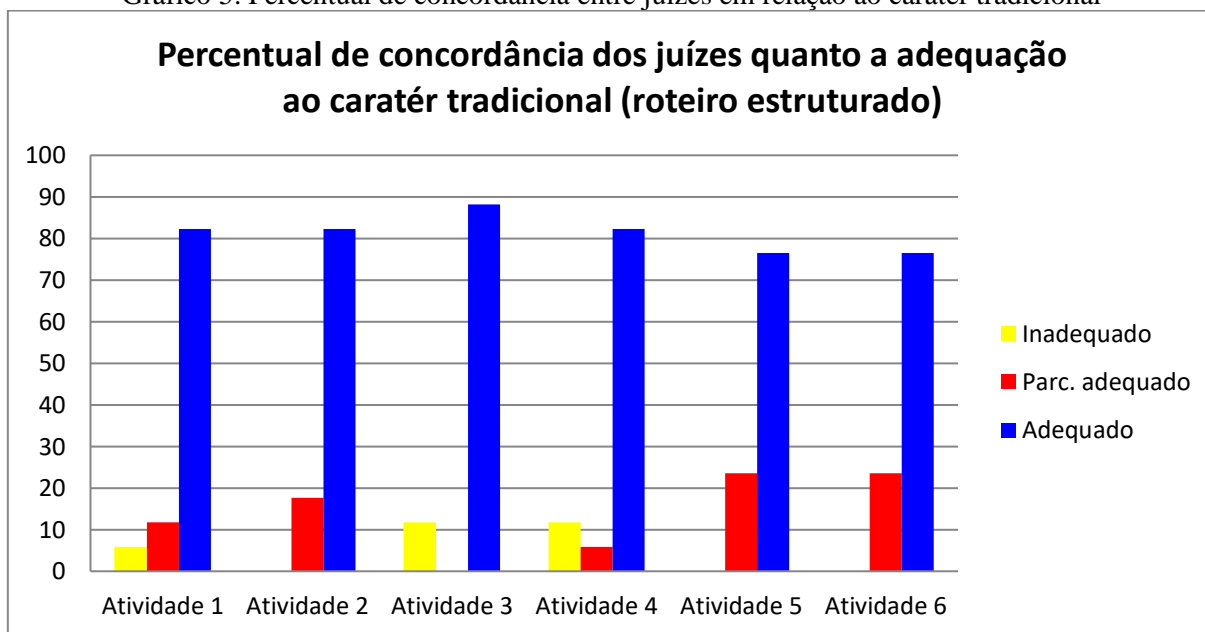


Fonte: Dados da pesquisa

A primeira análise realizada foi por meio do IPC para a concordância em relação ao caráter tradicional e quanto ao objetivo de cada uma das seis atividades do roteiro. O Gráfico 5 mostra o percentual de concordância dos juízes no tocante à adequação do roteiro ao caráter tradicional (roteiro estruturado).

Atingimos um alto índice de concordância entre os juízes em se tratando da conformidade do roteiro ao caráter tradicional (roteiro estruturado), variando entre aproximadamente 77% e 88%. Apenas 1 juiz considerou inadequada ao caráter tradicional a atividade 1, e dois juízes (11%) em relação as atividades 3 e 4. As atividades 2, 5 e 6 não foram consideradas inadequadas por nenhum dos juízes.

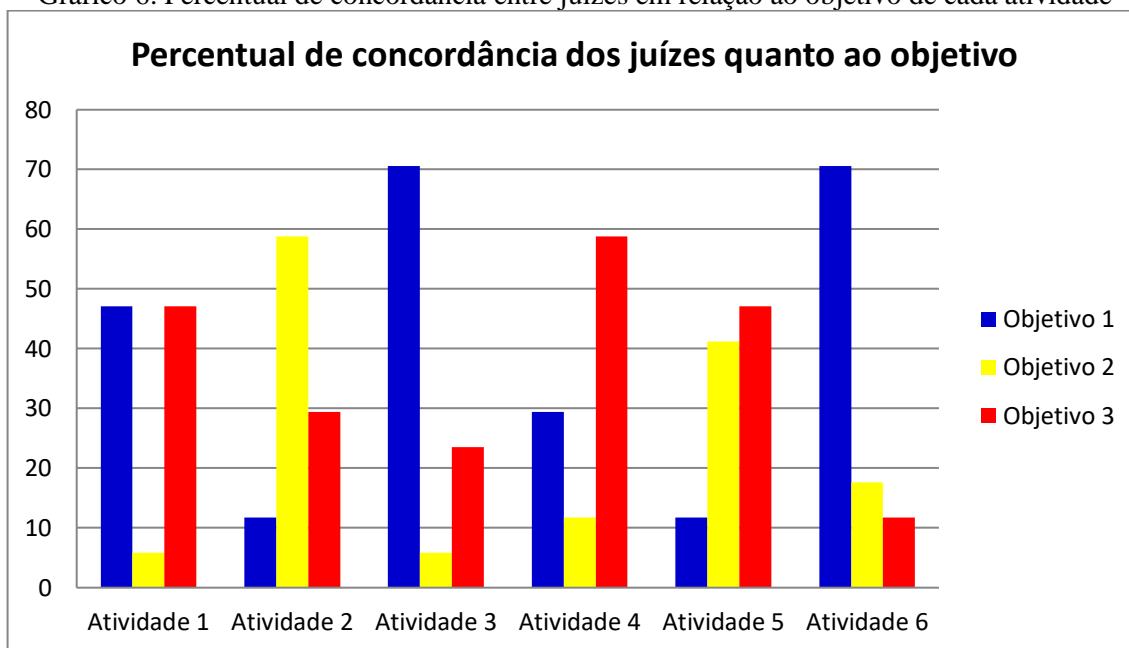
Gráfico 5. Percentual de concordância entre juízes em relação ao caráter tradicional



Fonte: dados da pesquisa

O Gráfico 6 apresenta o percentual de concordância dos juízes para cada uma das seis atividades, em relação aos objetivos que buscamos atingir com roteiro experimental. Houve grande dispersão da concordância para a atividade 1, sendo que aproximadamente 47% dos juízes concordaram com o objetivo 1 e o mesmo percentual com o objetivo 3. O nosso objetivo corresponde ao terceiro, e concebemos que o primeiro objetivo está aquém do potencial da atividade. A atividade 5 também apresentou grande dispersão de concordância, porém o objetivo que esperávamos ter maior concordância obteve tal índice em cerca de 41%. Nas atividades 2 e 4 os resultados foram similares entre si, e a dispersão é menor comparados às atividades 1 e 5, de modo que aproximadamente 60% dos juízes consideraram como os mais adequados o objetivo 2 e 3 respectivamente, o que respalda nosso entendimento. As concordâncias para atividade 3 e 6 foram bastante semelhantes e com os mais altos índices de concordância do questionário de validação. A concordância entre juízes foi de aproximadamente 70%, sendo também no nosso ponto de vista os objetivos que são mais apropriados para as atividades.

Gráfico 6. Percentual de concordância entre juízes em relação ao objetivo de cada atividade



Fonte: dados da pesquisa

A Tabela 2 apresenta as concordâncias entre os 17 juízes e o pesquisador, de acordo com os coeficientes kappa, para a adequação das atividades ao caráter tradicional e quanto ao objetivo de cada uma das seis atividades do roteiro.

Tabela 2. Coeficiente kappa - validação por pares para atividades tradicionais

Adequação ao caráter tradicional				Quanto ao objetivo			
Juízes	C. kappa	Juízes	C. kappa	Juízes	C. kappa	Juízes	C. kappa
<b>J.01</b>	<b>0,250</b>	J.10	1,000	<b>J.01</b>	<b>0,000</b>	J.10	0,250
<b>J.02</b>	<b>0,500</b>	J.11	1,000	<b>J.02</b>	<b>0,750</b>	J.11	0,500
<b>J.03</b>	<b>0,000</b>	J.12	1,000	<b>J.03</b>	<b>0,000</b>	J.12	-0,250
<b>J.04</b>	<b>0,714</b>	J.13	1,000	<b>J.04</b>	<b>0,250</b>	J.13	0,250
<b>J.05</b>	<b>0,714</b>	J.14	1,000	<b>J.05</b>	<b>0,500</b>	J.14	0,750
<b>J.06</b>	<b>1,000</b>	J.15	0,500	<b>J.06</b>	<b>1,000</b>	J.15	0,500
<b>J.07</b>	<b>0,667</b>	J.16	1,000	<b>J.07</b>	<b>0,000</b>	J.16	0,750
<b>J.08</b>	<b>0,429</b>	J.17	1,000	<b>J.08</b>	<b>0,750</b>	J.17	0,750
<b>J.09</b>	<b>0,333</b>			<b>J.09</b>	<b>-0,500</b>		

C. = Coeficiente

Fonte: dados da pesquisa

O caráter tradicional do nosso roteiro também foi confirmado com elevada concordância conforme os coeficientes kappa. Não houve discordância, apenas 17,7% apontam concordâncias pobres e suaves, 35,2% das concordâncias são consideradas moderadas e substanciais e um percentual de 47% de concordâncias quase perfeitas. Por outro

lado, mas também em consonância com o IPC, houve grande dispersão para as concordâncias quanto aos objetivos esperados em cada atividade do roteiro. A interpretação do coeficiente kappa entre nenhuma concordância, concordância pobre e concordância suave ficou em 47%, e esse mesmo percentual para concordâncias moderada e substancial. Consideramos que tal dispersão não configura em fragilidade do roteiro de atividades, já que em alguns casos o objetivo apontado pelo juiz está além do que esperamos para aquela atividade julgada.

A terceira coluna do questionário de validação destinada aos comentários e sugestões dos juízes respaldam o caráter tradicional do roteiro estruturado. Apresenta algumas sugestões de substituição de termos utilizados e o único comentário recorrente entre os juízes consiste na sugestão de alterar a ordem de umas das seis atividades. Outro resultado importante proveniente desses dados corresponde à atividade 6, a qual é apontada como inadequada devido à necessidade de conhecimento prévio dos princípios da conservação da energia mecânica.

Como resultado dessas análises o roteiro de atividades passou por ajustes, houve alteração na ordem das atividades e exclusão da atividade 6, em conformidade com o que foi exposto nesta seção, bem como devido à exclusão do desafio 4 do roteiro de validação das atividades investigativas<sup>11</sup>. As versões finais dos roteiros estruturados para a intervenção tradicional, tanto no ambiente virtual quanto material, encontram-se respectivamente nos apêndices C e D.

#### 4.3. KIT EXPERIMENTAL E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: PÊNDULO SIMPLES

A Sequência de Ensino por Investigação e os roteiros estruturados foram elaborados de modo que ambos possam ser aplicados no laboratório virtual e material, tendo-se atenção especial para que, ao ser aplicada nos dois ambientes, um não tenha vantagem sobre o outro<sup>12</sup>. Isso foi feito para diminuir o número de variáveis que possam enviesar a comparação entre os dois ambientes. Além disto, procuramos experimentos que possuam os mesmos elementos materiais e virtuais.

As aulas de laboratório material ocorreram nos laboratórios de Física das instituições

---

<sup>11</sup> Já que os conceitos abordados no desafio 4 do roteiro de validação investigativa corresponde aos mesmos conceitos da atividade 6 do roteiro de validação da atividade tradicional.

<sup>12</sup> Fez-se necessário a não utilização de algumas ferramentas do simulador, de forma que não houvesse vantagem na sua utilização. Ex. no simulador é possível utilizar o “cronômetro gráfico” que marca o tempo e interrompe automaticamente o cronômetro indicando exatamente o período de oscilação.

de ensino participantes, e os estudantes utilizaram o “kit experimental pêndulo simples” fabricado pela AZEHEB laboratórios de Física, mostrado pela Figura 5.

O kit experimental é composto por: i) 01 tripé tipo estrela com manípulo; ii) 01 fixador metálico com haste; iii) 01 carretel de linha; iv) 01 haste fêmea 405 mm; v) 01 haste macho 405 mm; vi) 01 carretel para regulagem contínua do fio com fixador metálico; vii) 01 cronômetro manual; viii) 01 corpo de prova de latão; ix) 01 corpo de prova de nylon; x) 01 corpo de prova de alumínio; xi) 01 trena de 2 m; xii) 01 transferidor.

Figura 5. Kit experimental - Pêndulo Simples



Fonte: AZEHEB

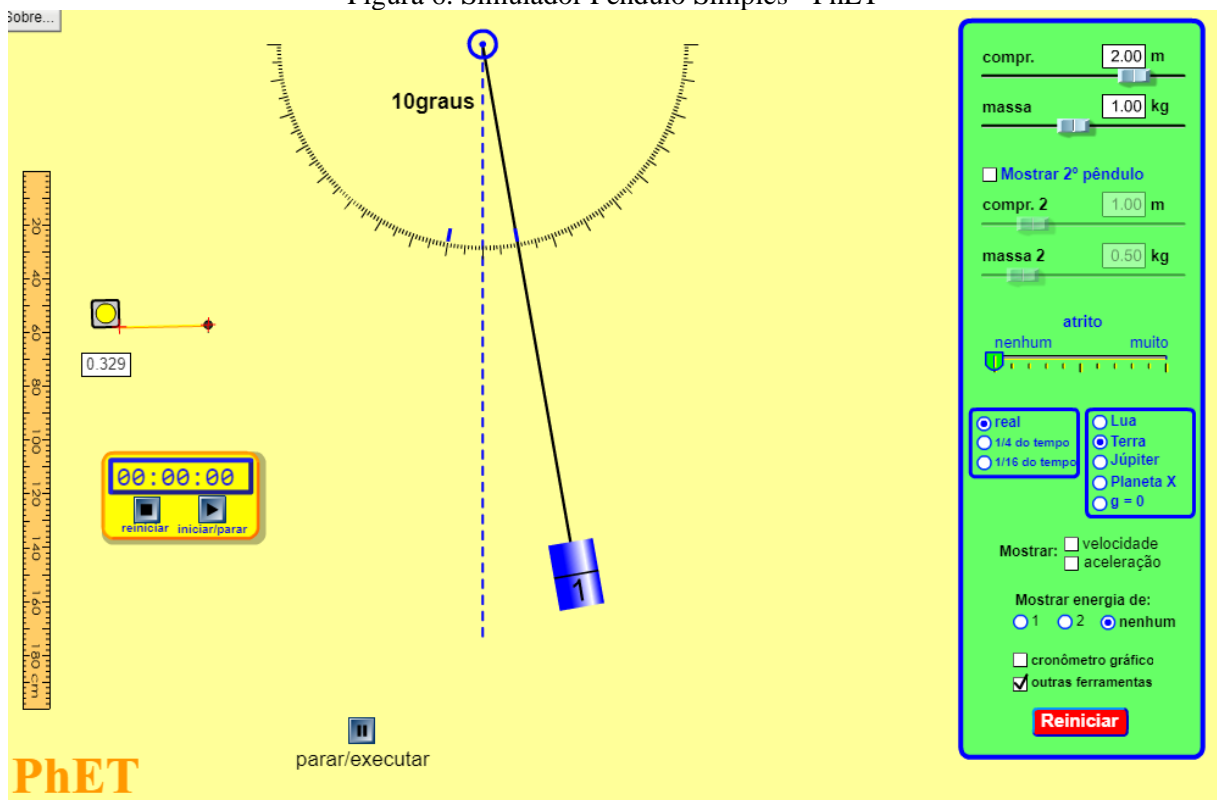
As aulas com a simulação do Pêndulo Simples ocorreram nos laboratórios de informática das instituições de ensino participantes, utilizando uma simulação disponibilizada no banco de simulações do *Physics Educational Technology* (PhET).

Desenvolvido pela Universidade do Colorado, o PhET é um programa que pesquisa e elabora simulações voltadas ao ensino de ciências, e as disponibiliza gratuitamente para serem baixadas ou usadas on-line. As simulações do PhET vêm sendo utilizadas por professores e alunos de todo o mundo, já que são consideradas úteis e tem repercussão positivas (GIORDAN, 2015). Neste sentido, Arantes, Miranda e Studart (2010), afirmam que as simulações do PhET oferecem aos alunos modelos fisicamente corretos e de alta qualidade. Esses mesmos autores dizem que,

O grupo do PhET possui uma abordagem baseada em pesquisa, na qual as simulações são planejadas, desenvolvidas e avaliadas antes de serem publicadas no sítio. As entrevistas realizadas com diversos estudantes são fundamentais para o entendimento de como eles interagem com simulações e o que as torna efetivas educacionalmente (ARANTES, MIRANDA e STUDART, 2010, p. 29 ).

A Figura 6 apresenta uma imagem da simulação do Pêndulo Simples utilizada nas intervenções. Os principais elementos que constituem a simulação são: i) 01 trena; ii) 01 cronômetro; iii) pêndulo com comprimento e massa variáveis; iv) indicação do ângulo de abertura.

Figura 6. Simulador Pêndulo Simples - PhET



Fonte: [https://phet.colorado.edu/sims/pendulum-lab/pendulum-lab\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/pendulum-lab/pendulum-lab_pt_BR.html)

Apresentamos o Pêndulo Simples material e virtual que utilizamos nas intervenções; no entanto, a SEI e os roteiros estruturados podem ser adaptados e utilizadas tendo como suporte outros kits materiais do Pêndulo Simples e outras simulações disponíveis em diversos bancos de objetos de aprendizagem, como: Banco Internacional de objetos educacionais, *Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching*, Rede Interativa Virtual de Educação, Laboratório Didático Virtual, *Resources and Services for physics Education* (ComPADRE) e Portal do professor.

## 5. ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS ITENS: PARTE I

Nesta e na próxima seção apresentamos o processo de construção e validação do banco de itens. O banco de itens é composto de um conjunto de questões de múltipla escolha, de assertivas verdadeiras e falsas e questões discursivas, todas acerca do conteúdo de Pêndulo Simples. Findadas estas etapas de construção e validação, podemos elaborar testes de conhecimentos mais confiáveis, divididos em itens com características em comum e com aproximadamente o mesmo nível de dificuldade. Desta maneira temos mais confiabilidade na mensuração do entendimento e conseqüentemente temos melhores instrumentos para verificar as diferenças na aprendizagem dos estudantes submetidos a diferentes abordagens metodológicas.

Grande parte dos dados coletados pela pesquisa derivam de três testes de conhecimento: teste inicial, teste intermediário e teste final. O teste inicial é realizado durante a primeira aula da intervenção, que tem por objetivo verificar o entendimento prévio dos estudantes. O teste intermediário nos indica o entendimento em um momento durante a intervenção, aplicado exatamente no meio desta, durante a quarta aula. O teste final, realizado na última aula, marca o entendimento dos estudantes após finalizada a intervenção proposta. Estes três pontos de aferição (ondas de medida) do entendimento, podem indicar a trajetória de aprendizagem, uma vez que estamos considerando a aprendizagem como um processo, em que mapeamos o entendimento em vários momentos, e havendo um aumento deste, inferimos que houve aprendizagem.

Uma vez que apoiamos em análises e construção dos três testes de conhecimento subsidiados pelos Modelos Rasch, é relevante considerarmos as palavras de Golino e Gomes (2015) sobre a construção de instrumentos nessa perspectiva. Para esses autores,

O que o modelo desenvolvido por Rasch (1960) faz é verificar na estrutura de dados obtida, por meio dos instrumentos psicológicos ou educacionais, se existem relações do tipo aditivas conjuntas que satisfaçam os quatro axiomas da TMAC. Quando não há ajuste aos Modelos Rasch os dados não refletem uma estrutura aditiva conjunta. Como os Modelos Rasch são as funções que possibilitam o mapeamento das relações qualitativas em um sistema representacional numérico, se não há ajuste, não há um processo de medida verdadeira. Portanto, o que os Modelos Rasch fazem é buscar anomalias no dado que o distancie de um critério operacional matematicamente bem definido, ao qual o dado deveria se ajustar. Não havendo ajuste dos dados ao critério operacional de medida, não dados são obtidos, e esse procedimento é repetido até que os dados se ajustem ao modelo. Como Andrich (2004, p. 12) argumenta, “identificar anomalias substantivas a partir da análise de desajuste, resistindo à modificação do modelo, [e] coletando novos dados guiados pelo modelo é consistente com o papel da medida nas ciências físicas como enunciado por Kuhn” (Golino e Gomes, 2015, p. 41).



Assim, apoiados nas técnicas e teoria da modelagem Rasch, buscamos construir instrumentos de coleta de dados com mais rigor e que nos garanta maior confiabilidade dos dados gerados a partir destes instrumentos.

### 5.1. CONTRUÇÃO DO BANCO DE ITENS

Um banco de itens é um conjunto de itens cuidadosamente elaborado e calibrado, que define e quantifica um tema em comum (WRIGHT e STONE, 1999). Nosso banco de itens consiste em um grande número de questões que envolvem o conhecimento formal sobre Pêndulo Simples em nível de Ensino Médio. Esse banco será utilizado para a construção dos três testes de conhecimento. Cada questão pode conter um ou mais itens. Uma questão de múltipla escolha, com quatro ou cinco alternativas, corresponde a um item, pois requer que o estudante opte por uma das respostas. Já uma questão para julgamento de assertivas em verdadeiras e falsas, pode abarcar vários itens. Por exemplo, se tal questão contém cinco assertivas para classificar em verdadeira ou falsa, demanda cinco respostas, portanto se configura como cinco itens. Nas duas circunstâncias anteriores, transformamos os acertos e erros em dados dicotômicos, ou seja, as respostas corretas convertemos no código numérico 1 (um) e as erradas em 0 (zero), possibilitando-nos elaborar uma matriz de dados para realizarmos análises estatísticas. Por outro lado, para as questões discursivas essa classificação do número de itens depende se consideramos os dados no formato politômico ou dicotômico. As respostas dos estudantes referentes às questões discursivas, para ambos os formatos, passam por uma categorização em que atribuímos níveis que variaram geralmente de 0 (zero) a 2 ou 3. Se tal resposta for classificada no nível 3 e utilizarmos a matriz de dados no formato politômico, o próprio número 3 será inserido na matriz, assim correspondendo a um único item. Por outro lado, se essa mesma resposta julgada no nível 3 for analisada na matriz de dados no formato dicotômico, ela corresponderá a três itens. A Figura 7 simboliza um exemplo de resposta a uma questão discursiva categorizada em três níveis, sendo representada como dado politômico e seu correspondente dicotômico.

Figura 7. Politômico e correspondente dicotômico

Politômico	Dicotômico		
3	1	1	1
2	1	1	0
1	1	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor

No processo de construção do banco de itens recorremos a várias fontes, incluindo livros didáticos de Física para o Ensino Médio, questões de vestibulares, roteiros de laboratórios, repositório em sites de simulação e dissertação de mestrado. Muitos itens referem-se às mesmas grandezas físicas, porém abordados de diferentes formas. Encerramos a busca até a saturação de itens relacionados ao conteúdo de interesse.

A partir da versão preliminar do banco de itens, resolvemos item por item, verificando a viabilidade de sua utilização na pesquisa. Adaptamos alguns itens, por exemplo, transformando do formato múltipla escolha para discursiva, e outras modificações neste sentido, levando em consideração a plausibilidade dos distratores. Excluímos itens secundários, ou seja, aqueles que envolvem outras grandezas que não fazem referência direta ao conteúdo de Pêndulo Simples.

Para Wright e Stone (1999) um banco de itens bem construído fornece os elementos necessários para projetar o melhor teste possível para qualquer propósito de avaliação. Não é necessário que cada aluno faça o mesmo teste para poder comparar os resultados.

## 5.2. APERFEIÇOAMENTO DO BANCO DE ITENS

Findada a versão do banco de itens até então descrita, o aperfeiçoamento do banco de itens consistiu numa revisão detalhada de todos os itens. Para isto, contamos com a colaboração de três pares, professores de Física e doutorandos em Ensino de Física, dois destes com 14 anos de experiência docente e outro com 17 anos de experiência. Cada um destes pares resolveu item por item, totalizando 80 (considerando este dado no formato politômico), e apontaram problemas conceituais e/ou na elaboração dos itens, bem como sugestões para sua melhoria. Exploradas todas as indicações dos pares, muitas foram acatadas e outras não, uma vez que repensamos e avaliamos a pertinência de cada apontamento. Ao

final desta etapa, o nosso banco de itens abrangia 69 itens politômicos ou 88 itens dicotômicos. Em seguida partimos para a validação amostral do banco de itens.

### 5.3. VALIDAÇÃO AMOSTRAL

Estamos chamando de validação amostral uma das etapas da validação do banco de itens em que os dados são oriundos das respostas de estudantes a testes de conhecimentos. Foram elaborados três testes de conhecimentos a partir do banco de itens. Para construção destes levamos em consideração que fossem factíveis pelos estudantes em cerca de 50 minutos (uma hora/aula), deveriam conter aproximadamente o mesmo número de itens por teste e que fossem separados de forma igualitária os itens discursivos, de múltipla escolha e de assertivas verdadeiras e falsas. Os testes foram denominados de teste 01, teste 02 e teste 03, sendo que cada continha entre 23 e 29 itens (dicotômicos).

Os testes foram respondidos por 279 estudantes do Ensino Médio de diversos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia do Brasil. Sendo que 98 estudantes responderam ao teste 01, 103 responderam o teste 02 e 78 o teste 03. Todos os estudantes participantes da validação do banco de itens já haviam estudado o conteúdo de Pêndulo Simples em algum momento do Ensino Médio. Sustentamos que, uma vez estudado o conteúdo, os estudantes aprenderam algo, desta forma obtivemos respostas de discentes que estudaram o conteúdo a mais ou menos tempo, com professores diferentes e metodologias diferentes. No entanto, não comparamos instituições de ensino, turmas, ou respondentes, mas as respostas dos itens como um todo. Estes alunos não participaram da pesquisa em outro momento, uma vez que já obtiveram contato parcial ao banco de itens da pesquisa. Neste sentido, Golino e Gomes (2015) exemplificam situação semelhante à nossa,

O modelo logístico simples de Rasch mostra matematicamente que a estimativa da dificuldade dos itens é independente da distribuição das habilidades da amostra ou da população estudada (Andrich, 1988). Em outras palavras, o modelo logístico simples de Rasch possibilita investigar a dificuldade dos itens independentemente de quais pessoas responderam a esses itens. Isso abriu, em meados dos anos de 1960, uma nova possibilidade de estudar variáveis latentes, pois permitiu que diferentes itens de um teste fossem aplicados em diferentes pessoas. Assim, pode-se aumentar a velocidade de coleta de dados. Imagine um teste que contenha cem itens, cada qual com um tempo médio de resolução de dois minutos. O tempo total médio para responder a todos esses itens é de 200 minutos. Se um pesquisador está interessado em investigar a dificuldade desses itens, trabalhando com uma amostra de quinhentas pessoas, por exemplo, ele poderá particionar o teste em cinco cadernos de vinte itens. Cada um desses cadernos terá uma duração média de resolução de quarenta minutos apenas e poderá ser aplicado em cem pessoas. Com isso, cada sessão de avaliação terá seu tempo total médio diminuído em 80%. Isso só é possível porque os parâmetros de habilidade e dificuldade são separáveis (...) A

dificuldade dos cem itens desse nosso exemplo poderá ser estimada mesmo que cada conjunto de cem pessoas tenha respondido apenas vinte itens! (GOLINO e GOMES, 2015, p. 132).

A escolha da realização da nossa pesquisa nos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia se deu por vários motivos. Comparada a outras instituições públicas que ofertam o Ensino Médio do Brasil, dispõem de estrutura física privilegiada, contanto com laboratórios de Física, Química, Biologia e Informática (entre outros laboratórios que são específicos para determinados cursos), que são imprescindíveis na nossa pesquisa, além do que os estudantes têm aulas regularmente em tais laboratórios. São instituições que apresentam uma estrutura diferenciada, uma vez que foram criadas pela agregação/transformação de antigas instituições profissionais e devem constituir-se como centro de excelência na oferta do ensino de Ciências (OTRANTO, 2010). Acreditamos que nos Institutos Federais teríamos maior aceitação e colaboração para realização da pesquisa tanto por parte da gestão, quanto dos docentes e discentes, uma vez que realizar e estimular a pesquisa está presente na própria lei de criação destas instituições nas suas finalidades e objetivos (BRASIL, 2008).

#### 5.4. SISTEMA CATEGÓRICO

##### 5.4.1. Categorias de explicitação

A partir das respostas dos estudantes aos itens discursivos, realizamos uma análise qualitativa através de um sistema categórico pautado na concepção acadêmica do conteúdo. Para Amantes, Coelho e Marinho (2015) a associação de análises categóricas a escalas que podem ser modeladas numa perspectiva probabilística, tem se mostrado promissora para avaliar a aprendizagem. Pesquisadores da área de educação como Pannizon (2003), Hattie (2004), Schwartz e Fischer (2004), Holmes (2005), Kennedy (2005), Rappolt-Schlichtmann (2007), Dawson (2008), Coelho e Borges (2010), Amantes et al (2013), têm buscado desenvolver e aperfeiçoar sistemas categóricos para a classificação de diversos atributos latentes (no nosso caso, entendimento).

Adotamos para essa análise as Categorias de Explicitação que toma como parâmetro a perspectiva docente de avaliação. Nesta perspectiva, avalia-se a coerência e a correspondência do que é explicitado com a acepção acadêmica dos conceitos (AMANTES e OLIVEIRA, 2012). Amantes e Oliveira (2012) partem do pressuposto de que a forma como o

estudante explicita seu entendimento está associada como ele articula os elementos a ele relacionado, sendo sua explicitação um indício do nível de tal entendimento. O cerne do sistema de Categorias de Explicitação está em avaliar a exatidão das respostas tendo-se como parâmetro as definições acadêmicas dos conceitos, o que normalmente é feito pelos docentes em suas avaliações. Assim, buscamos trabalhar com as ideias centrais explicitadas, sem nos preocuparmos em identificar e avaliar os elementos e suas relações de forma sistemática. A Categoria de Explicitação é semelhante ao sistema utilizado por Saglam-Arslan (2010) para categorizar o entendimento de estudantes sobre o conceito de energia.

Elaboramos categorias para cada uma das questões discursivas do nosso banco de itens, de acordo com as Categorias de Explicitação. Em um primeiro momento essas categorias foram elaboradas baseadas nos conteúdos e conceitos que poderiam estar envolvidos nas respostas. Em outro momento, após a coleta dos dados e leitura de todas as respostas aos itens discursivos, foram acrescentadas informações que não havíamos pensado previamente. As categorias carregam uma perspectiva docente ou acadêmica de avaliação de forma hierárquica, em que o último item ou alternativa possui uma dimensão mais complexa que abarca os itens ou alternativas anteriores. Assim, há uma associação da escala categórica qualitativa com a escala do tipo Guttman (GUTTMAN, 1944). O Quadro 4 apresenta uma questão do banco de itens categorizada.

Quadro 4. Exemplo de categorização de questão discursiva

<p><b>D4A-</b> O pêndulo de Foucault (popularizado pela famosa obra de Umberto Eco) consistia em uma esfera de <math>28,0\text{kg}</math>, pendurada na cúpula do Panthéon de Paris por um fio de <math>67,0\text{m}</math> de comprimento. Sabe-se que o período <math>T</math> de oscilação de um pêndulo simples é relacionado com seu comprimento <math>L</math> e com a aceleração da gravidade <math>g</math> pela seguinte expressão:</p> $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$		
<p>a) Qual o período de oscilação do pêndulo de Foucault? Despreze as frações de segundo. Adote <math>g = 10\text{m/s}^2</math> e <math>\sqrt{10} = \pi</math></p>		
Resposta do estudante	Nível de Complexidade	Descrição do Nível
2	0	Não respondeu ou resposta equivocada.
$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{\frac{67}{10}}$	1	O Estudante usa a equação do período do pêndulo simples, substituiu corretamente valores, porém realiza o cálculo parcialmente ou comete erro na operação matemática.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{67}{10}} \Rightarrow$ $T = 2\sqrt{10}\left(\frac{\sqrt{67}}{\sqrt{10}}\right) \Rightarrow T = 2\sqrt{67} \cong 16s$	2	Resposta correta.
b) O que aconteceria com o período desse pêndulo se dobrássemos sua massa? Justifique sua resposta.		
Resposta do estudante	Nível de Complexidade	Descrição do Nível
<i>O período de oscilação aumentava.</i>	0	Não respondeu ou resposta equivocada.
<i>O período continuaria o mesmo.</i>	1	O estudante responde que o período do Pêndulo continuaria o mesmo, porém não justifica ou justifica de forma insuficiente ou equivocada.
<i>Nada, pois a massa não é uma variável que influencia o período.</i>	2	O estudante responde que o período não será alterado, justificando corretamente, ou seja, a massa do pêndulo não altera o seu período de oscilação.

Fonte: Elaborado pelo autor

Na concepção adotada neste trabalho consideramos que a apropriação da linguagem acadêmica de modo a explicitar coerentemente a ideia correta em relação aos conteúdos é um indicio de que o entendimento do estudante esteja mais articulado (AMANTES e OLIVEIRA, 2012). Neste sentido, e havendo aumento no nível de complexidade do entendimento ao longo do tempo, inferimos que houve aprendizagem. Estes níveis de complexidade apresentados no exemplo do Quadro 4 são semelhantes aos níveis de complexidade e sua evolução dentro de uma mesma camada, como definidos pela teoria da habilidade (FISCHER, 1980).

A partir das características apresentadas em relação às Categorias de Explicitação e das respostas obtidas, avaliamos que este sistema é o que mais se adequou aos nossos dados. Além disso, uma vez entendida a lógica de elaboração, este tipo de categorização pode ser facilmente realizado por professores.

#### 5.4.2. Validação das categorias

Findada a elaboração do sistema categórico, partimos para categorização das respostas e validação destas categorizações. Todas as questões discursivas do banco de itens

dos 279 respondentes foram submetidas a tais procedimentos. O pesquisador e um par<sup>13</sup>, apoiados no mesmo sistema categórico descrito no tópico anterior, classificaram independentemente todas as respostas às questões discursivas. Em seguida pareamos as classificações categóricas correspondentes a cada questão por meio do IPC e coeficiente Kappa. A Tabela 3 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 3. Índices de concordância das categorizações

QUESTÃO	IPC	KAPPA	
D7A	72,45%	0,600	Concordância substancial
D3Aa	93,87%	0,743	Concordância substancial
D3Ab	76,53%	0,575	Concordância moderada
D12Aa	88,77%	0,825	Conc. Quase perfeita
D12Ab	93,88%	0,881	Conc. Quase perfeita
D12Ac	94,9%	0,904	Conc. Quase perfeita
D14A	56,31%	0,299	Concordância suave
D4Aa	95,15%	0,917	Conc. Quase perfeita
D4Ab	92,23%	0,850	Conc. Quase perfeita
D10A	83,5%	0,660	Concordância substancial
D16A	89,74%	0,769	Concordância substancial
D11Aa	94,87%	0,412	Concordância moderada
D11Ab	94,87%	0,533	Concordância moderada
D5A	98,72%	0,662	Concordância substancial

Fonte: dados da pesquisa

No geral alcançamos elevadas taxas de concordância. Considerando o IPC obtivemos concordância acima de 90% para 8 das 14 questões que categorizamos as respostas, acima de 70% de concordância para as classificações de outras cinco questões e baixa concordância (56,31%) apenas às classificações das respostas de uma questão (D14A). Ao verificar os resultados do coeficiente Kappa e respectivas interpretações (LANDIS e KOCH, 1977), temos que estes também configuraram bons resultados. Mais de 70% das concordâncias foram tidas como substancial ou quase perfeita, em torno de 21% foram consideradas concordâncias moderadas, e concordância suave para a mesma questão que obteve baixa concordância no IPC.

A questão D14A corresponde às mais baixas concordâncias das classificações categóricas em relação ao IPC (56,31%) e coeficiente Kappa (0,299), o que destoia dos demais resultados. Ao investigar as causas, constatamos que se devem às classificações dos juízes, não às categorias elencadas para as respostas desta questão. Ambos os juízes, em várias respostas dos estudantes classificaram o termo ‘gravidade’ como ‘força gravitacional’ ou

<sup>13</sup> Ambos licenciados em Física com mestrado e doutorandos em Ensino, com experiência docente de mais de 10 anos e vivência com o sistema de Categorias de Explicação.

‘aceleração da gravidade’, que são grandezas físicas diferentes. A força gravitacional descrita pela Lei da gravitação de Newton é uma força de atração entre todas as partículas que possuem massa, e que, para a proximidade da terra tem o mesmo módulo do peso. Já a aceleração da gravidade ou aceleração de queda livre é uma aceleração que possui valor aproximadamente constante nas proximidades da Terra com módulo  $9,8m/s^2$  (HALLIDAY e RESNICK, 2008). Neste sentido, para chegar a um acordo em inferir sobre a intenção do estudante ao escrever o termo ‘gravidade’, verificamos o contexto da resposta, por exemplo, se escrevia para a mesma resposta outras forças (tração, normal, força centrípeta, etc.), consideramos o termo ‘gravidade’ como força gravitacional, por outro lado, se o termo ‘gravidade’ estava junto à outras grandezas que não são forças (velocidade, energia cinética, massa, etc.), o consideramos como aceleração da gravidade.

É interessante notar a diferença entre concordância via IPC e Kappa. As respostas categorizadas para as questões D11Aa e D11Ab têm exatamente a mesma porcentagem para o IPC, contudo diferentes índices Kappa. Isto fica mais evidente comparando estas questões com os resultados da questão D4Aa, que possui um IPC ligeiramente menor, porém um coeficiente Kappa bastante superior. O IPC considera apenas se as categorias dadas pelos dois juízes foram iguais, já a estatística Kappa leva em consideração a frequência observada das concordâncias, a frequência esperada, a concordância atribuída ao acaso e outras peculiaridades (FONSECA, SILVA e SILVA, 2007).

Os resultados descritos indicaram adequação e aplicabilidade dos dados ao sistema categórico elaborado. Por outro lado, apesar da grande taxa de concordância, a análise pareada realizada independentemente revelou a subjetividade das nossas classificações. No entanto, possibilitou-nos discutir cada resposta categorizada de forma distinta, verificando possíveis inconsistências e conseqüentemente melhorias ao sistema categórico. Concluída esta etapa, os dois juízes discutiram todas as classificações discordantes até chegarem a um acordo.



## 6. ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS ITENS: PARTE II

Para realizar a análise dos dados do banco de itens, utilizamos os softwares Winsteps 3.70 (LINACRE, 2010) e R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011). O Winsteps® auxilia em muitas aplicações do Modelo Rasch, particularmente em testes educacionais, levantamento de atitude e análise de escalas de classificação (LINACRE, 2006). O R é um software livre para computação estatística e construção de gráficos que pode ser baixado e distribuído gratuitamente de acordo com a licença pública geral (LANDEIRO, 2011).

Verificaremos os ajustes dos dados e o melhor modelo que possa representá-los. Nos casos de baixo ajuste (ou desajuste), conforme a modelagem Rasch orienta, examinaremos os dados de modo a compreender a origem do problema (MARAIS, 2015) e se possível corrigi-los ou excluir das próximas etapas da pesquisa.

### 6.1. MATRIZ DE DADOS

Até aqui dispúnhamos de duas matrizes para os mesmos dados das respostas dos 279 respondentes: a matriz com todos os dados no formato dicotômico e a matriz em que os dados das questões discursivas estão no formato politômico.

Antes de realizar as análises estatísticas a partir das matrizes de dados, estas passaram por um processo de depuração, onde foram excluídos alguns itens e pessoas. Os dados oriundos dos itens D3Aa e VF8Bc, respectivamente um item discursivo e um item de assertiva verdadeira e falsa, foram excluídos, visto que ficaram comprometidos devido a um problema na impressão dos testes de conhecimento. Também buscamos excluir dos nossos dados as pessoas que obtiveram escore total ou zero, e os itens que foram acertados por todos e aqueles que ninguém acertou. Os estudantes que erram todos os itens estão em um nível de habilidade menor que o teste pode dimensionar, e aqueles estudantes que acertam todos os itens possuem habilidades acima do exigido pelo teste (BOND e FOX, 2007). Nenhum item obteve escore total ou nulo, bem como não houve pessoas que acertaram todos os itens. No entanto, excluímos pessoas que não acertaram nenhum item, conforme Quadro 5.

Quadro 5. Pessoas que não acertaram nenhum item

Estudantes Excluídos	
Teste 01	06, 41, 46, 49, 97
Teste 02	01, 03, 04, 05, 06, 13, 14, 15, 17, 37
Teste 03	01, 02, 03, 04, 06, 25, 26, 27, 36, 75

Fonte: dados da pesquisa

A fim de escolhermos uma das matrizes de dados (formato dicotômico ou politômico) para realizar as análises Rasch, submetemos ambas a testes no software Winsteps 3.70. Alguns destes resultados estão apresentados na Tabela 4 Tabela 5.

Considerando a variância bruta explicada pelas pessoas, itens e medidas, retratados na Tabela 4 e Tabela 5, podemos fazer algumas inferências. A primeira delas é em relação à proximidade entre os valores empíricos e modelados da variância bruta explicada, que nos indica o quão bom o modelo se ajusta aos dados. Neste sentido, os testes 01 e 02 obtiveram melhores resultados para a matriz de dados dicotômicos, no entanto o teste 03 apresentou melhores ajustes para a matriz de dados politômicos.

Os testes 02 e 03 apresentam maiores percentuais da variância explicada pelas medidas, itens e pessoas, para a matriz de dados politômicos em comparação com a matriz de dados dicotômicos. Isto é um indicativo de que conseguimos explicar mais dos nossos dados utilizando a matriz politômica. Todavia, para o teste 01 os dados dicotômicos estão melhores ajustados em relação aos dados politômicos.

Tabela 4. Variância bruta explicada pelas medidas e Variância não explicada no primeiro contraste

	Variância bruta explicada pelas medidas				Variância não explicada no primeiro contraste	
	Dicotômico		Politômico		Dicotômico	Politômico
	Empírico	Modelado	Empírico	Modelado		
Teste 01	28,5%	28,1%	18,7%	21,0%	3,0	2,8
Teste 02	30,5%	30,2%	37,8%	34,4%	3,3	2,3
Teste 03	36,1%	35,9%	41,8%	41,9%	3,5	2,9

Fonte: dados da pesquisa

Tabela 5. Variância bruta explicada pelas pessoas e itens

	Variância bruta explicada pelas pessoas				Variância bruta explicada pelos itens			
	Dicotômico		Politômico		Dicotômico		Politômico	
	Emp.	Mod.	Emp.	Mod.	Emp.	Mod.	Emp.	Mod.
Teste 01	6,1%	6,1%	6,5%	7,3%	22,3%	22,0%	12,2%	13,8%
Teste 02	9,8%	9,8%	15,2%	13,8%	20,7%	20,5%	22,4%	20,6%
Teste 03	7,8%	7,8%	10,3%	10,4%	28,3%	28,1%	31,5%	31,5%

Fonte: dados da pesquisa

Por outro lado, observando a variância não explicada no primeiro contraste na Tabela 4, constatamos melhores ajustes para a matriz de dados politômicos, uma vez que apresenta menores autovalores comparados aos autovalores da matriz dicotômica. Estes resultados são recorrentes nos três testes.

Diante do exposto adotamos a matriz de dados politômica, sendo que todas as próximas análises com estes dados serão realizadas a partir desta.

Verificando os resultados da variância não explicada no primeiro contraste, temos os primeiros indicativos da não unidimensionalidade do banco de itens. Almiro e Simões (2015) afirmam que no modelo Rasch, uma das características para uma escala ser considerada unidimensional é ter o autovalor do primeiro contraste até o valor 2,0. A Tabela 4 apresenta os autovalores para os três testes todos acima desta referência. Neste sentido, Linacre (2014) indica que autovalores acima de 2,0 associados a baixas correlações ou correlações negativas entre os itens, podem configurar uma dimensão secundária. A Figura 8 apresenta as correlações negativas entre itens do teste 01, o que configura em outro indicativo da existência de dimensões secundárias.

Figura 8. Correlações negativas entre questões – Teste 01

CORREL- ATION	ENTRY		ENTRY	
	NUMBER	ITEM	NUMBER	ITEM
-.45	4	D12Ab	9	VF1Ad
-.34	2	D3Ab	8	VF1AC
-.31	11	VF5Ba	21	ME13B
-.30	5	D12AC	6	VF1Aa
-.30	4	D12Ab	8	VF1AC

Fonte: dados da pesquisa

Resultados semelhantes aos mostrados na Figura 8 ocorreram para os testes 02 e 03. Outras verificações em referência a dimensionalidade do banco de itens serão apresentadas mais adiante.

## 6.2. AJUSTES DOS ITENS

Para a análise estatística dos ajustes dos itens adotamos a *Mean Square Statistic* (MNSQ) com os índices *Infit* e *Outfit*. A MNSQ é uma estatística de qui-quadrado dividida por seus graus de liberdade, e os seus valores expressam a relação entre o escore esperado pelo modelo e o escore bruto obtido empiricamente. De acordo com Wright e Stone (2004), os índices *infit* e *outfit* apontam para a existência de itens erráticos, ou seja, aqueles que demonstram um padrão de respostas inesperado, como por exemplo, pessoas que erram itens com dificuldade inferior à sua habilidade e acertam itens com dificuldade superior.

Os índices de ajuste *infit* e *outfit* fornecem informações distintas e complementares sobre o comportamento dos itens, no entanto, os valores de referência são os mesmos. Para

Wright e Linacre (1994) e Linacre (2010) o ajuste dos itens é ótimo quando os índices *infit* e *outfit* oscilam entre 0,5 e 1,50. De acordo com Filho e Teixeira (2015) o índice *infit* indica o quão consistente com o modelo foram as respostas das pessoas com um nível de traço latente próximo à dificuldade do item, já o índice *outfit* é mais sensível a respostas de pessoas com um nível menor ou maior do que a dificuldade do item. A Tabela 6 mostra os índices *infit* e *outfit* para os itens, separados pelos testes 01, 02 e 03.

Tabela 6. Índice de ajuste dos itens

TESTE 01			TESTE 02			TESTE 03		
ITEM	<i>INFIT</i>	<i>OUTFIT</i>	ITEM	<i>INFIT</i>	<i>OUTFIT</i>	ITEM	<i>INFIT</i>	<i>OUTFIT</i>
ME7A	1,04	1,12	ME5A	1,00	1,18	D11Aa	0,50	0,30
ME1A	1,16	1,32	ME2A	1,02	1,00	D5A	0,50	0,30
D12Ac	0,88	0,85	ME8A	1,00	1,06	ME12B	1,19	0,93
ME4A	0,93	0,83	D10A	0,76	0,79	D11Ab	0,88	0,79
D12Aa	0,86	0,83	ME11B	1,21	1,40	VF3Aa	0,99	1,51
D12Ab	0,82	0,80	D14A	1,31	2,08	ME3A	0,86	0,69
ME13B	1,01	0,94	D4Aa	0,88	1,29	ME6A	1,09	1,09
D3Ab	0,85	0,82	D4Ab	0,75	0,66	D16A	1,22	1,21
VF1Aa	1,00	0,95	VF9Bb	0,90	0,84	ME9A	0,95	1,29
D7A	1,76	2,67	VF2Ac	1,14	1,11	VF7Ba	1,03	1,01
VF1Ab	1,04	1,03	VF6Ba	1,04	1,02	VF7Bc	0,92	0,88
VF1Ae	0,92	0,85	VF2Aa	1,12	1,09	VF3Ab	1,05	1,03
VF8Ba	1,01	0,99	VF2Ab	1,02	0,99	VF4Ac	1,14	1,08
ME10B	0,97	0,91	VF6Bb	1,00	0,97	VF4Ab	0,90	0,86
VF5Bc	1,01	0,97	VF9Ba	0,95	0,91	VF4Af	1,11	1,85
VF5Ba	0,86	0,80	VF9Bc	0,95	0,93	VF7Bb	1,05	1,31
VF5Bd	0,91	0,88	VF2Ad	0,88	0,80	VF3Ac	1,14	1,14
VF1Ac	1,09	1,10	VF6Bc	0,93	0,89	VF3Ad	1,14	1,11
VF5Bb	0,90	0,91	VF9Bd	0,91	0,88	VF10Bd	0,85	0,80
VF8Bb	0,96	0,91				VF3Ae	0,87	0,81
VF1Ad	0,94	0,92				VF4Ae	0,91	0,88
						VF10Ba	0,98	0,95
						VF10Bc	0,88	0,87
						VF4Aa	0,92	0,88
						VF4Ad	0,93	0,92
						VF10Bb	1,03	1,07

Fonte: dados da pesquisa

A Tabela 7 apresenta o percentual de itens que se encontram fora do padrão tido como bons ajustes para os índices *infit* e *outfit*, e nos auxilia na interpretação da Tabela 6, já que facilita a constatação do grande percentual de itens ajustados.

Tabela 7. Percentual *infit* e *outfit* fora do intervalo do bom ajuste

ITENS	MNSQ	
	INFIT	OUTFIT
TESTE 01	4,76%	4,76%
TESTE 02	0%	5,26%
TESTE 03	0%	11,53%

Fonte: dados da pesquisa

Note que o percentual de não ajuste dos itens é superior para os índices *outfit*, uma vez o ajuste *infit* é um índice mais robusto e constitui o melhor indicador das qualidades psicométricas (ALMIRO e SIMÕES, 2015).

À medida que os índices de ajuste *infit* e *outfit* aproximam de 1,00 mais o item é consistente com o modelo (BOND e FOX, 2007), sendo o valor 1,00 (ideal) um indicativo de ajuste perfeito (medida mais produtiva/discriminatória) (ALMIRO e SIMÕES, 2015). Neste sentido, a Tabela 8 mostra as médias e desvios padrões, correspondendo a ajustes muito bons. As médias para os três testes estão próximas de 1,00 com pequenas dispersões principalmente para os índices *infit*.

Tabela 8. Média e desvio padrão - Ajustes

	MNSQ		
		INFIT	OUTIT
Teste 01	Média	1,00	1,02
	Desvio Padrão	0,19	0,39
Teste 02	Média	0,99	1,05
	Desvio Padrão	0,14	0,3
Teste 03	Média	0,96	0,98
	Desvio Padrão	0,17	0,31

Fonte: dados da pesquisa

Contudo, é necessário investigar as possíveis causas dos não ajustes, isto é, valores de *infit* e *outfit* menores que 0,5 ou maiores que 1,50.

Quando os valores são muito baixos, inferiores a 0,50, significa que existe um “*sobreajuste*”, isto é, que as pontuações obtidas no item têm pouca variabilidade, que o padrão de resposta é muito previsível ou determinista, não permitindo discriminar convenientemente os sujeitos com níveis funcionais diferentes. Os valores entre 1,50 e 2,00 mostra um *desajuste moderado*, que não prejudica a qualidade da medida, e os índices superiores a 2,00 revelam um *desajuste severo*. Quando os índices são muito elevados, acima de 2,00, degradam a qualidade da medida e indicam que as pontuações obtidas no item são erráticas ou que sofrem muitas variações (LINACRE 2009, apud ALMIRO e SIMÕES 2015, p. 249).

Considerando a Tabela 6, observamos a questão D7A como a única a não apresentar bom ajuste tanto para o *infit* quanto para o *outfit*. Assim, buscamos compreender as possíveis causas deste não ajuste. Ao verificar quais indivíduos acertaram e quais erraram a questão D7A, percebemos que todos indivíduos com escore abaixo de 15% de acerto (indivíduos de baixa proficiência/habilidade para o conteúdo de Pêndulo Simples) acertaram a questão mesmo que parcialmente, estando nos níveis 1, 2 ou 3 (numa escala de 0 a 3). Por outro lado, metade dos indivíduos de maior habilidade, com escore maior ou igual a 50% (18 indivíduos) erraram esta questão, sendo a estes atribuídos o código 0 (zero). Ainda entre estes indivíduos de maior habilidade, apenas 1 (5,55%) foi classificado no nível máximo, ou seja, 3. Feito isto, examinamos o mapa de itens e constatamos que a questão D7A está um pouco acima da média na escala de dificuldade dos itens, assim pode ser considerada de médio a alto o seu grau de dificuldade<sup>14</sup>. Deste modo, a questão D7A deveria apresentar maior escore para indivíduos de maior habilidade, e o que comprovamos foi exatamente o contrário. Reconhecemos então que este item não se adéqua aos nossos pressupostos teóricos, onde esperamos que indivíduos de habilidade superior tenham maior probabilidade de acertar itens de elevado grau de dificuldade do que a probabilidade de acerto de pessoas de menor habilidade para um mesmo item. Ao analisar o enunciado da questão, percebemos que possui forte apelo intuitivo, de modo que respostas que se adéquam aos níveis 1 e 2 podem ser extraídos do próprio enunciado. Neste sentido, mesmo alunos que não têm conhecimento sobre o conteúdo de pêndulo simples poderiam atingir tais níveis. Então, a partir do que foi exposto decidimos excluir a questão D7A do nosso banco de itens.

### 6.3. CONFIABILIDADE DE PESSOAS E ITENS

Nesta seção abordaremos alguns coeficientes para estimar a confiabilidade das nossas medidas. Iniciamos pelo Alfa de Cronbach, que é uma estimativa da fiabilidade dos dados obtidos com um determinado instrumento (MAROCO e GARCIA-MARQUES, 2006) que, de acordo com Martins (2006) o seu cálculo carece de uma única aplicação do instrumento de medição, produzindo valores entre 0 e 1, ou entre 0 e 100%. O valor aceitável do coeficiente Alfa de Cronbach varia de acordo com critérios de vários autores, no entanto quando o coeficiente está acima de 0,7 diz-se que há confiabilidade das medidas (NUNNALLY, 1978; KLINE, 1993; MARTINS, 2006; MAROCO e GARCIA-MARQUES,

---

<sup>14</sup> Além disto, a média da dificuldade dos itens é aproximadamente 0,7 *logits* maior do que a média da habilidade dos respondentes do teste.

2006). Para os indivíduos participantes desta etapa da pesquisa obtivemos os índices de acordo com a Tabela 9. Nesta perspectiva, temos indicadores de confiabilidade aceitáveis para as pessoas respondentes aos testes 02 e 03, o que não ocorre para os respondentes do teste 01.

Tabela 9. Índice Alfa de Cronbach para pessoas

Alfa de Cronbach	
Teste 01	0,63
Teste 02	0,71
Teste 03	0,71

Fonte: dados da pesquisa

Por outro lado, Maroco e Garcia-Marques (2006) dizem que em alguns cenários de investigação nas ciências sociais, um Alfa de Cronbach de 0,60 é considerado aceitável desde que os resultados obtidos com esse instrumento sejam interpretados com precaução e levem em conta o contexto do cálculo do índice.

Na Tabela 10 apresentamos alguns índices dos itens e das pessoas, sendo eles estimativas de confiabilidade. Marais (2015) aponta que, para obtermos um maior poder de ajustes para os testes é necessário conseguir pessoas que estejam em uma ampla faixa de localização no traço latente, ou seja, ter pessoas em diferentes níveis de habilidade. Tal poder de ajuste pode ser indicado qualitativamente com o índice de separação das pessoas, também denominado de índice de confiabilidade Rasch. Quanto maior for o índice de separação, maior será a propagação das pessoas em relação aos erros-padrão, por conseguinte, maior o potencial dos testes de ajuste em verificar baixo grau de ajuste ao modelo. Da mesma maneira, quanto maior for a distância da maioria das pessoas em relação a um item, maior será o poder de detecção de desajuste daquele item (MARAIS, 2015).

Para Hibbard *et al.* (2010) o valor da confiabilidade de separação das pessoas e dos itens nos diz o quanto o padrão de respostas das pessoas, ou o padrão de acertos dos itens se ajustam à estrutura da medida. Neste sentido, Golino e Gomes (2015) declaram que a confiabilidade de separação das pessoas indica qual a confiança que se tem que uma pessoa que obtém uma habilidade estimada  $\beta_2$  de fato possui maior habilidade que outra pessoa que tenha obtido uma habilidade estimada  $\beta_1$ , sendo  $\beta_2 > \beta_1$ . De forma análoga, a confiabilidade de separação dos itens indica qual a confiança que se tem que um item de dificuldade estimada  $\delta_2$  de fato possui maior dificuldade que outro item de dificuldade estimada  $\delta_1$ , sendo  $\delta_2 > \delta_1$ .

Tabela 10. Índices de Separação e Confiabilidade para pessoas e itens

ÍNDICES		TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03	
PESSOAS	Separação	Real	1,28	1,58	1,63
		Modelado	1,50	1,69	1,73
	Confiabilidade	Real	0,62	0,71	0,73
		Modelado	0,69	0,74	0,75
ITENS	Separação	Real	2,97	3,96	3,77
		Modelado	3,03	4,04	3,85
	Confiabilidade	Real	0,90	0,94	0,93
		Modelado	0,90	0,94	0,94

Fonte: dados da pesquisa

De acordo com Linacre (2017) índices de separação das pessoas menores que 2,0, associados à confiabilidade menor que 0,8, aponta que o teste não é sensível o suficiente em distinguir indivíduos que possuem altas e baixas habilidades. Conforme Tabela 10, os valores obtidos reais e modelados foram menores que estas referências, assim os testes podem não estar adequados para distinguir sujeitos de baixa e alta proficiência em relação ao conteúdo de Pêndulo Simples, sendo necessário mesclar mais os itens. No entanto, como já foi dito na elaboração dos testes 01, 02 e 03 não tivemos tal preocupação em separar itens por nível de dificuldade, o que será de suma importância realizar essa separação para os testes a serem utilizados na intervenção. Já para os itens, Linacre (2017), recomenda bons ajustes para Separação maior que 3,0, associada à Confiabilidade maior que 0,9. Nesses quesitos, com exceção do valor real da Separação do Teste 01 que está levemente inferior, todos os outros índices reais e modelados são iguais ou superiores ao limiar definido como bons ajustes, denotando que a hierarquia de dificuldade dos itens é confirmada.

#### 6.4. DIMENSIONALIDADE

Todas as questões que compõem o banco de itens têm em comum o conteúdo de Pêndulo Simples, contudo outras características importantes podem ser semelhantes a determinados grupos de itens. Ackerman (1994) aponta que em muitas situações os itens que constituem um teste, podem estar medindo diferentes dimensões do traço latente ou diferentes composições de múltiplas habilidades. Como por exemplo em um teste de matemática que



pode ter duas dimensões para determinar a proficiência do respondente: uma referente à proficiência em matemática e a outra referente à proficiência em leitura e entendimento do problema (TEZZA, 2012).

Para Traub (1983) ao considerarmos as diversas habilidades indispensáveis para resolver os itens em grande parte de testes cognitivos, a unidimensionalidade é provavelmente mais a exceção do que a regra. Neste sentido, e como apontado anteriormente, alguns índices indicaram para a não unidimensionalidade dos itens que compõem os testes 01, 02 e 03. No entanto, ao elaborarmos o nosso banco de itens admitimos que haja uma habilidade dominante (uma dimensão dominante) responsável pelo conjunto dos itens, esta dimensão é a que se supõe estar medindo pelo teste (ANDRADE, TAVARES e VALLE, 2000). Para os nossos testes, esta dimensão dominante corresponde ao entendimento sobre Pêndulo Simples. Também assumimos a existência de habilidades/dimensões específicas que hipoteticamente influenciam a dimensão dominante (TEZZA, 2012). Nesta seção buscamos identificar a quantidade de dimensões específicas (que podem ser de conteúdo ou de habilidades) para posteriormente darmos significados teóricos às mesmas.

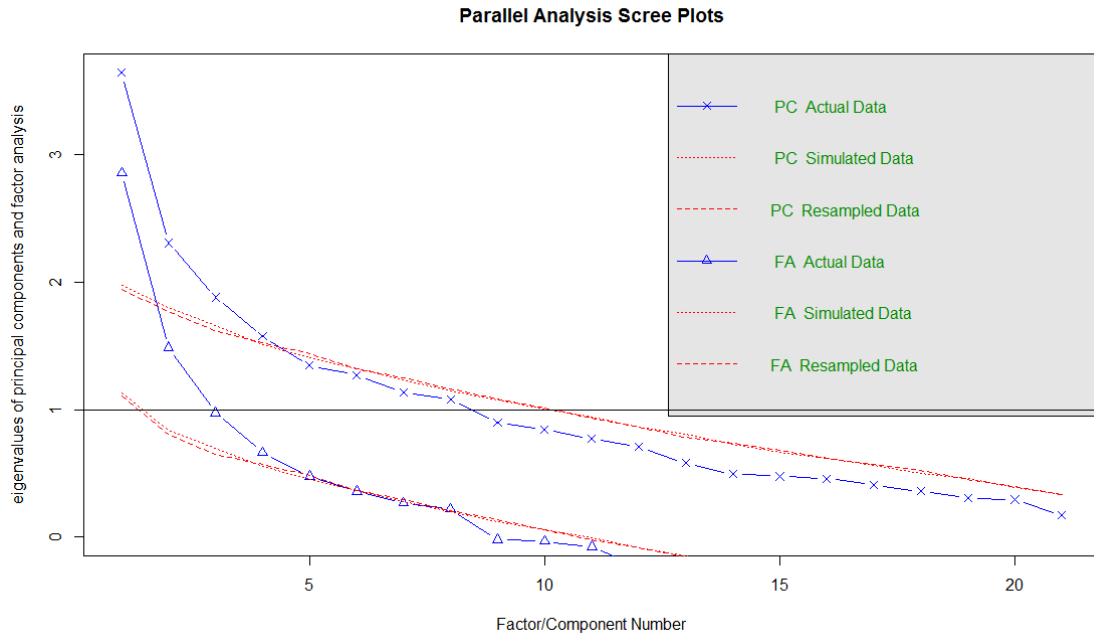
A dimensionalidade de um teste pode ser avaliada por uma variedade de técnicas e índices estatísticos. Assim sendo, empregamos a análise de fatores e análise de componentes principais (ACP) e os índices: *Root Mean Square of the Residuals* (RMSR), *Tucker Lewis Index* (TLI) e *Root Mean Square Error of Aproximation* (RMSEA).

Para a realização da análise de fatores e ACP executamos a análise paralela por meio do pacote *Psych* (REVELLE, 2017) no software R (R Development Core Team, 2011). A análise de fatores e a ACP são os dois tipos de análises de fatores mais comuns. Para Dancey e Reidy (2013) tanto a análise de fatores quanto a ACP reduzem um grande número de variáveis em um número menor, denominados fatores ou componentes, respectivamente. Muitas vezes esses termos são utilizados de forma intercambiável, no entanto existem diferenças entre eles. A ACP é, algumas vezes, executada de maneira a reduzir um grande conjunto de variáveis em um mais manejável. Já a análise de fatores tem sido utilizada quando o pesquisador admite que um pequeno conjunto de “fatores” é o que de alguma forma influencia o conjunto de variáveis observado (DANCEY e REIDY, 2013). De acordo com Dancey e Reidy (2013), pesquisas têm mostrado que, embora a análise de fatores e a ACP não sejam iguais, as diferenças não são importantes.

Para o teste 01, a análise paralela sugere um número de cinco fatores e quatro componentes. Estes resultados podem ser verificados no Gráfico 7, observando a quantidade

de “pontos” acima do traçado pontilhado sob as curvas dos componentes principais e análise dos fatores.

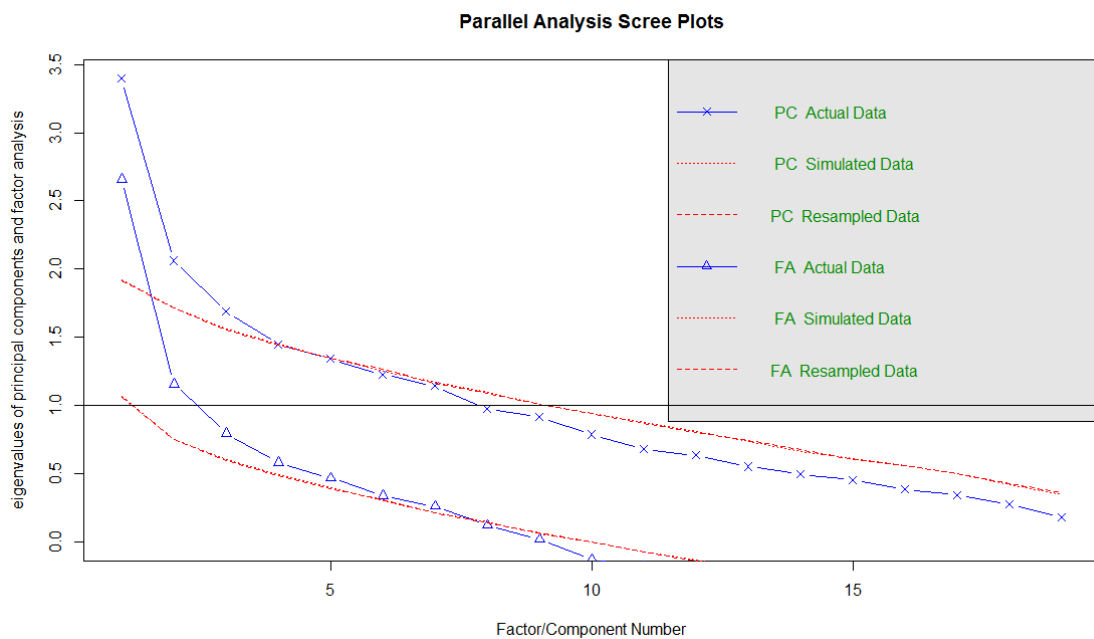
Gráfico 7. Análise paralela. Teste 01- Fatores e Componentes



Fonte: dados da pesquisa

A análise paralela do teste 02 apontou o número de fatores igual a sete e o de componentes correspondente a três, conforme o Gráfico 8.

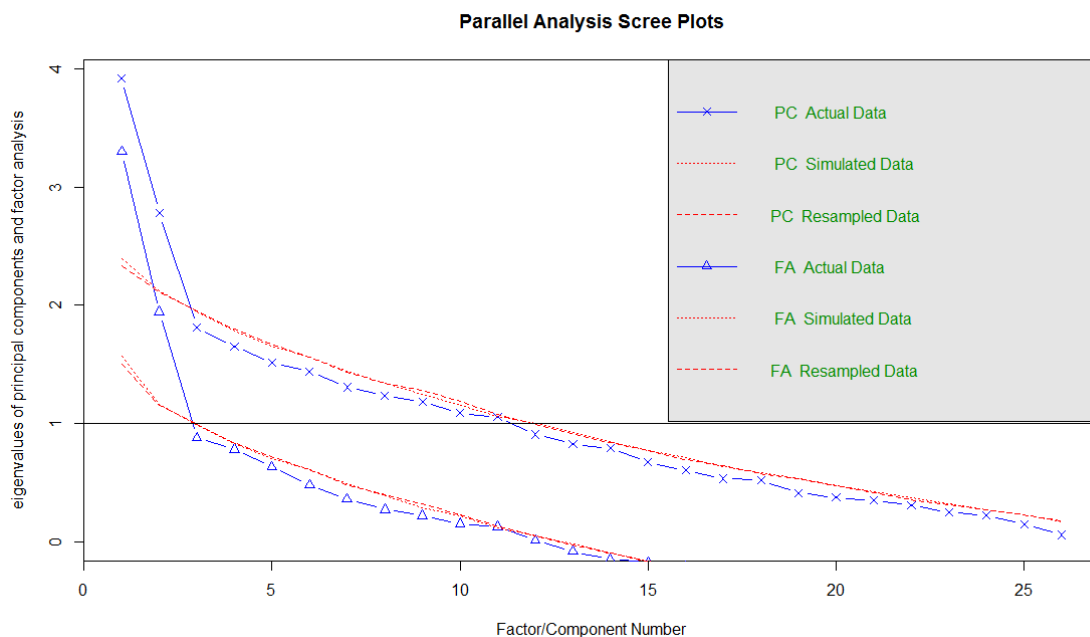
Gráfico 8. Análise paralela. Teste 02- Fatores e Componentes



Fonte: dados da pesquisa

Já no teste 03, a análise paralela indicou a retenção de dois fatores e dois componentes, de acordo com o Gráfico 9.

Gráfico 9. Análise paralela. Teste 03- Fatores e Componentes



Fonte: dados da pesquisa

Como pôde ser verificado, a análise paralela indicou para todo o nosso banco de itens, o que inclui os três testes de conhecimento, um número de componentes e fatores entre dois e sete. Este tipo de análise, embora não seja perfeita, é frequentemente mais precisa em comparação a outras abordagens que são comumente utilizadas (FABRIGAR e WEGENER, 2011). No entanto, nenhuma abordagem única, incluindo a análise paralela é ideal. Neste sentido Finch e French (2015) recomendam que os pesquisadores usem de várias abordagens para determinar o número de fatores e então mantê-lo.

Para Dancey e Reidy (2013), na prática é possível extrair tantos fatores quanto for o número de variáveis (se cada variável não for altamente correlacionada com qualquer outra), mas isso contradiz os objetivos da análise de fatores. Assim, queremos obter o máximo possível da variação mantendo o mínimo de fatores. Essa decisão sobre o número de fatores que devem ser extraídos fica para o pesquisador que se baseia tanto em critérios estatísticos quanto teóricos. Ainda de acordo com Dancey e Reidy (2013), muitos critérios devem ser utilizados em conjunto para decidir o número de fatores, e um bom pesquisador deve levar tudo em consideração para chegar a tal decisão. Isso posto, decidimos também examinar os ajustes para 1, 2, 3 e 4 fatores por meio das estatísticas RMSR, TLI e RMSEA.

A estatística RMSR, também denominada de *root mean residual square* (RMR) ou *standardized root mean square residual* (SRMR), aponta para melhores ajustes quanto menor forem os índices, e um ajuste perfeito quando seu valor for zero (LEÓN, 2011; PEREIRA, 2013). Contudo, valores do RMSR iguais ou menores que 0,08 são considerados bons ajustes (HU e BENTLER, 1999; FINCH e FRENCH, 2015). Neste sentido, e de acordo com a Tabela 11, obtivemos bons ajustes nos três testes para modelos de 3 e 4 fatores.

Tabela 11. Estatística RMSR

Número de Fatores	RMSR		
	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03
1	0,12	0,11	0,13
2	0,09	0,09	0,09
3	0,08	0,08	0,08
4	0,07	0,07	0,07

Fonte: dados da pesquisa

Outra estatística de ajuste dos itens ao modelo é o índice TLI, também conhecido como índice de ajuste não normalizado (NNFI) (PEREIRA, 2013; FINCH e FRENCH, 2015). Para Finch e French (2015) e Hu e Bentler (1999) valores de 0,95 ou maiores são assumidos como bons ajustes. A Tabela 12 apresenta os índices TLI do nosso banco de itens.

Tabela 12. Estatística TLI

Número de Fatores	TLI		
	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03
1	0,374	0,425	0,612
2	0,638	0,538	0,919
3	0,743	0,589	0,967
4	0,788	0,743	1,132

Fonte: dados da pesquisa

Em geral obtivemos ajustes ruins em relação ao TLI para os testes 01 e 02 para modelos de até quatro fatores. Por outro lado, são bons os ajustes no teste 03 para o modelo de 3 e 4 fatores.

Também utilizamos o erro quadrático médio de aproximação (RMSEA), que é uma estatística na avaliação do ajuste de fatores de confirmação e modelos de equações estruturais (FINCH e FRENCH, 2015). Para sinalizar bons ajustes, considera-se valores iguais ou inferiores a 0,05 (FINCH e FRENCH, 2015; GOLINO e GOMES, 2015). A Tabela 13 apresenta os índices RMSEA para os testes 01, 02 e 03 entre 1 e 4 fatores.

Tabela 13. Estatística RMSEA

Número de Fatores	RMSEA		
	TESTE 01	TESTE 02	TESTE 03
1	0,009	0,008	0,004
2	0,005	0,007	0,001
3	0,004	0,006	0
4	0,003	0,004	0

Fonte: dados da pesquisa

Assim, obtivemos bons ajustes para 2, 3 e 4 fatores no teste 01, para 4 fatores no teste 02 e para os 4 fatores analisados no teste 3.

O número diferente de dimensões e estatísticas de ajustes em cada teste se dá pela forma como separamos os itens nos três testes. A divisão do banco de itens em três testes se justifica pelo cuidado de nenhum item se repetir, pela quantidade de itens por teste de forma que fossem factíveis em aproximadamente 1 h/a (50 minutos) e, também equilibrando a quantidade de itens discursivos, de múltipla escolha e de assertivas verdadeiras e falsas em cada teste. Por isso, a princípio não garantimos muitas variáveis possíveis para dividirmos igualmente os testes, sendo que somente a partir dessa análise teremos parâmetros mais relevantes para tal. Isso reforça a importância da condução da validação antes de coletar os dados finais da pesquisa, por meio das intervenções.

## 6.5. DETERMINAÇÃO DO MODELO

No tópico anterior apresentamos critérios estatísticos para nos auxiliar na determinação das dimensões específicas. No entanto, a avaliação da adequação de um modelo deve estar apoiada em múltiplos critérios, compreendendo considerações teóricas, estatísticas e práticas (BYRNE, 2009). Neste sentido e em complementação aos critérios relatados, realizamos a Análise de Variância (ANOVA) através do pacote lavaan (ROSSELL, 2012) no software de estatística R. A ANOVA analisa as diferentes fontes de variação que podem ocorrer em um conjunto de valores (DANCEY e REIDY, 2013). Através da ANOVA, examinamos o valor-p e as estatísticas *Akaike's Information Criterion* (AIC) e *Bayesian Information Criterion* (BIC).

Para verificar se há diferença significativa entre os modelos analisados, utilizamos o valor-p ou probabilidade de significância (PAULINO, PESTANA e BRANCO, 2013). Testamos todas as combinações entre modelos de 1 a 4 dimensões específicas para os três testes, conforme Tabela 14.

Tabela 14. Probabilidade de significância entre modelos

TESTE 01		TESTE 02		TESTE 03	
Modelos	valor-p	Modelos	valor-p	Modelos	valor-p
M.1.D. x M.2.D.	0	M.1.D. x M.2.D.	0	M.1.D. x M.2.D.	0,001
M.1.D. x M.3.D.	0	M.1.D. x M.3.D.	0	M.1.D. x M.3.D.	0,001
M.1.D. x M.4.D.	0	M.1.D. x M.4.D.	0	M.1.D. x M.4.D.	0
M.2.D. x M.3.D.	0	M.2.D. x M.3.D.	0	M.2.D. x M.3.D.	0,068
M.2.D. x M.4.D.	0	M.2.D. x M.4.D.	0	M.2.D. x M.4.D.	0
M.3.D. x M.4.D.	0	M.3.D. x M.4.D.	0	M.3.D. x M.4.D.	0

M. = Modelo

D. = Dimensão específica

Fonte: dados da pesquisa

O teste estatístico realizado assume como hipótese nula que não há diferença significativa de informação entre os modelos (TEZZA, 2012), e hipótese alternativa que há tal diferença entre os modelos. Para valor-p menor que 0,05, a hipótese alternativa é aceita e existe diferença significativa de informação. Assim, a hipótese nula é aceita apenas na comparação entre os modelos de 2 e 3 dimensões específicas no teste 03, ou seja, com exceção deste caso, existe diferença significativa entre todos os outros modelos testados.

Constatado haver diferença significativa entre os modelos, realizamos a comparação entre estes por meio do AIC e do BIC. O modelo apresentando os menores AIC e BIC, é considerado o melhor modelo (FINCH e FRENCH, 2015; GOLINO e GOMES, 2015).

Utilizando estes critérios, a Tabela 15 apresenta para o teste 01 os modelos com os melhores ajustes, sendo o modelo de 4 dimensões específicas de acordo com o AIC e o modelo de 2 dimensões específicas conforme o BIC.

Tabela 15. Comparação de modelos via AIC e BIC – Teste 01

Modelo	AIC	BIC
1 dimensão específica	2712,741	2836,838
2 dimensões específicas	2653,253	<b>2828,002</b>
3 dimensões específicas	2644,776	2867,644
4 dimensões específicas	<b>2619,867</b>	2888,323

Fonte: dados da pesquisa

Para o teste 02, o modelo de 4 dimensões específicas novamente é o melhor modelo pelo índice AIC, e o modelo unidimensional conforme o BIC, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16. Comparação de modelos via AIC e BIC - Teste 02

Modelo	AIC	BIC
1 dimensão específica	2378,269	<b>2489,703</b>
2 dimensões específicas	2361,026	2518,047
3 dimensões específicas	2346,390	2546,465

4 dimensões específicas	<b>2336,169</b>	2576,766
-------------------------	-----------------	----------

Fonte: dados da pesquisa

No teste 03, conforme Tabela 17 tem-se a mesma interpretação do teste 02 para a comparação de modelos via AIC e BIC.

Tabela 17. Comparação de modelos via AIC e BIC - Teste 03

Modelo	AIC	BIC
1 dimensão específica	2031,374	<b>2155,666</b>
2 dimensões específicas	2028,674	2208,455
3 dimensões específicas	2041,653	2274,701
4 dimensões específicas	<b>2022,272</b>	2306,369

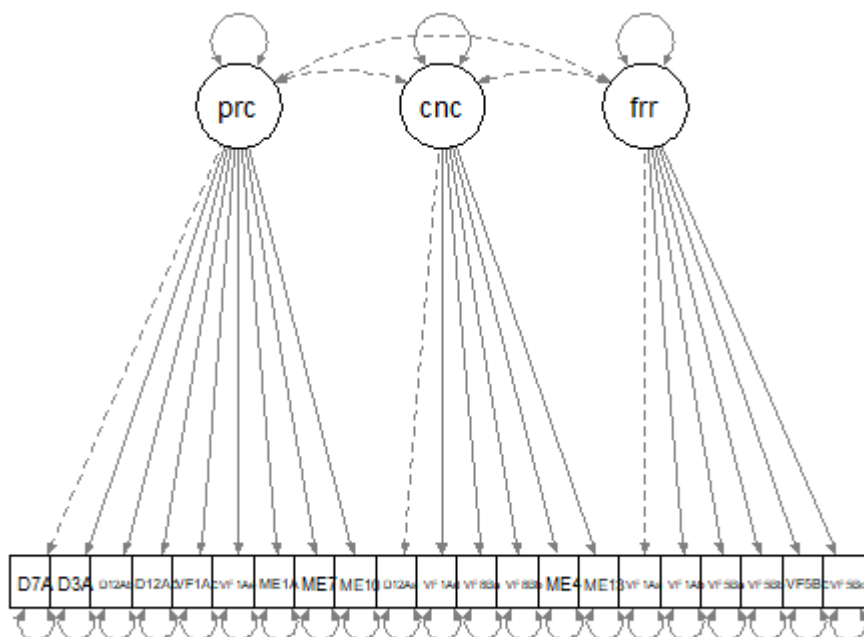
Fonte: dados da pesquisa

Considerando todas as estatísticas neste e no tópico anterior, constatamos que em geral, os modelos que apresentaram os melhores ajustes foram os de 3 e 4 dimensões específicas. Para definirmos então qual modelo devemos adotar, consideramos que tal escolha deve envolver tanto considerações conceituais quanto estatísticas (FINCH e FRENCH, 2015) de forma que conservemos as dimensões das quais sabemos claramente dar um significado ao modelo (FORD et al, 1986; PODSAKOFF, AHEARNE e MACKENZIE, 1997; FLECK e BOUDEL 1998 citados por TEZZA, 2012). Neste sentido, a primeira tentativa de agrupar teoricamente os itens deu-se em relação as grandezas físicas envolvidas no banco de itens (Por exemplo: Período, frequência, comprimento do pêndulo, massa, etc). Neste tipo de classificação identificamos 19 classificações possíveis. Em outra tentativa, agrupamos as grandezas físicas e suas relações (por exemplo: relação entre período e frequência, relação entre período e comprimento do pêndulo, etc), desta forma o número de dimensões específicas reduziu para 9, ainda assim muito grande em comparação ao apontado pelos testes estatísticos.

Após examinar por diversas vezes os itens e as técnicas utilizadas para resolvê-los, identificamos o agrupamento em três grupos. Esses três grupos atendem as considerações estatísticas e teóricas que buscávamos, assim adotamos um modelo de 3 dimensões específicas. Essas dimensões específicas correspondem às habilidades dos estudantes para resolver os itens, sendo denominadas por nós de: habilidade conceitual, habilidade procedimental e habilidade na ferramenta matemática. A Figura 9 mostra a estrutura de três dimensões específicas geradas a partir dos dados do Teste 01. Os círculos representam as dimensões específicas, sendo “prc” habilidade procedimental, “cnc” habilidade conceitual e “frr” habilidade na ferramenta matemática. Cada dimensão específica está ligada pelas setas

aos respectivos itens (representados pelos quadrados) que compõem tal dimensão. Estruturas semelhantes são geradas a partir dos dados dos Testes 02 e 03, apenas substituindo os itens.

Figura 9. Estrutura de três dimensões específicas



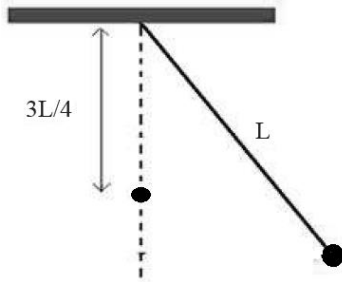
Fonte: Elaborado pelo autor

Classificamos como conceituais, os itens que envolvem a definição e o significado teórico das grandezas e/ou fenômenos envolvidos, verificando se os estudantes têm domínio da linguagem científica e do significado dos conceitos. Os itens classificados na dimensão específica aplicação da ferramenta matemática, são aqueles que demandam dos estudantes um conhecimento ligado ao conhecimento de matemática, utilizando as fórmulas correspondentes aos conceitos físicos ou regras matemáticas para resolver os problemas. Já os itens classificados na dimensão específica procedimental, são aqueles que verificam a capacidade dos estudantes em lidar com situações problema. Para resolver corretamente estes itens, o estudante deve mobilizar os conhecimentos conceituais sobre o conteúdo, e, além disso ter uma estrutura lógica de raciocínio para chegar ao resultado, podendo ou não ser necessário o uso dos conhecimentos de matemática. O Quadro 6 apresenta a classificação de três itens de acordo com a dimensão específica que melhor se adequa.

Quadro 6. Exemplo de classificação de itens em dimensões específicas

Dimensão específica	Item/questão
Conceitual	<b>D14A-</b> Desprezando a resistência do ar, quais as forças que agem no

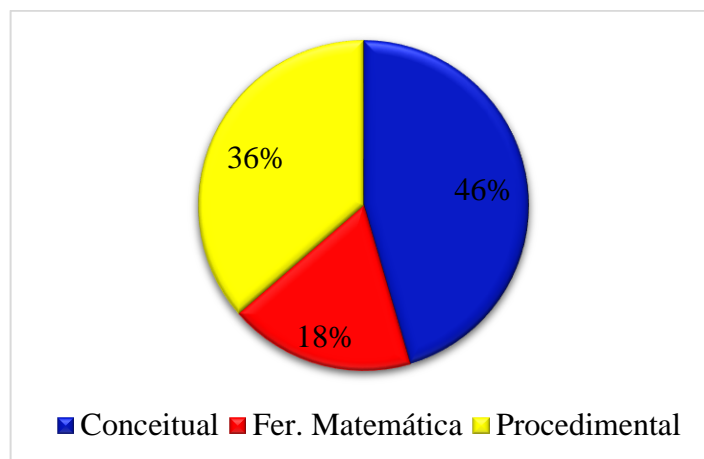


	movimento oscilatório de um pêndulo simples?
Aplicação da ferramenta matemática	<p><b>ME9A-</b> Considere um pêndulo simples de 0,4 m de comprimento, executando pequenas oscilações. Desprezando a resistência do ar, adotando <math>g = 10\text{m/s}^2</math> e <math>\pi = 3,1</math>, qual das alternativas abaixo correspondem a seu período de oscilação:</p> <p>a) 0,62 s  b) 1,24 s  c) 1,86 s  d) 2,48 s  e) 3,1 s</p>
Procedimental	<p><b>D5A-</b> Um pêndulo simples oscila com um período de 2,0s. Se cravarmos um pino a uma distância de <math>\frac{3L}{4}</math> do ponto de suspensão, na vertical que passa por aquele ponto, como ilustrado na figura, qual será o novo período do pêndulo?</p> 

Fonte: dados da pesquisa

O percentual de itens (banco de itens) classificados em cada dimensão específica está representado de acordo com o Gráfico 10.

Gráfico 10. Percentual de itens conforme dimensão específica



Fonte: dados da pesquisa

É importante salientar que diversos modelos atuais têm estendido o modelo Rasch para instrumentos multidimensionais. Todavia, o postulado da unidimensionalidade se

mantém mesmo nestes casos, no sentido de que cada dimensão do instrumento multidimensional, e seus itens correspondentes devem ser medidos predominantemente por um único traço latente (GOLINO e GOMES, 2015).

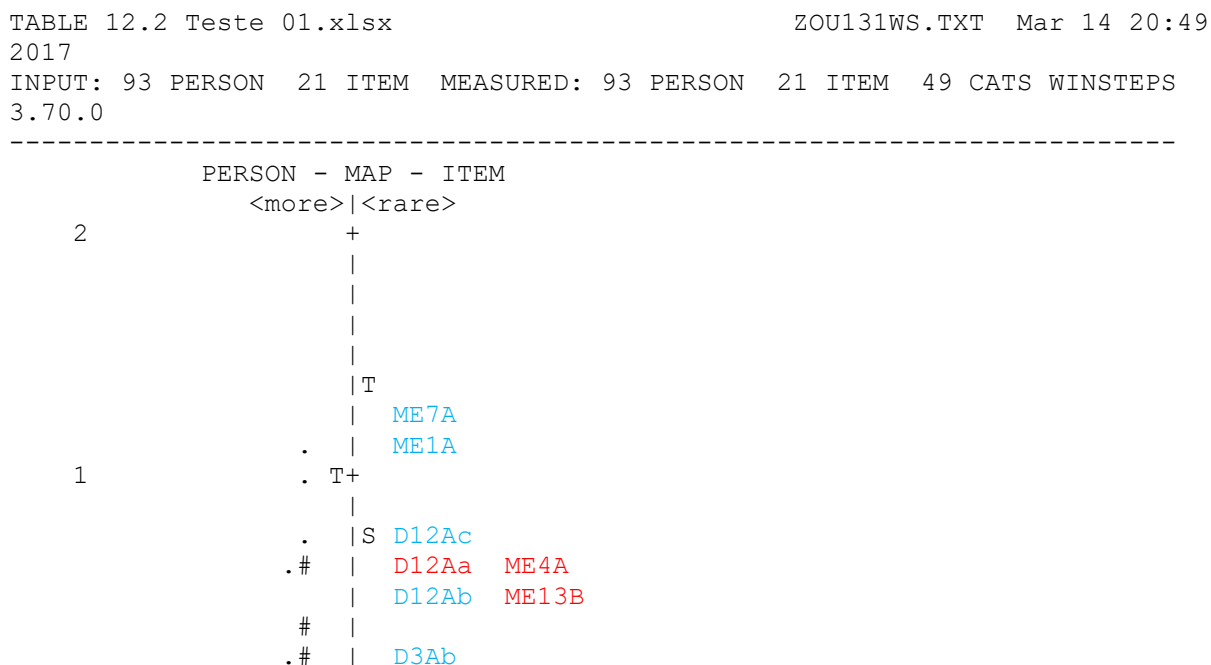
## 7. ELABORAÇÃO DOS TESTES DE CONHECIMENTO

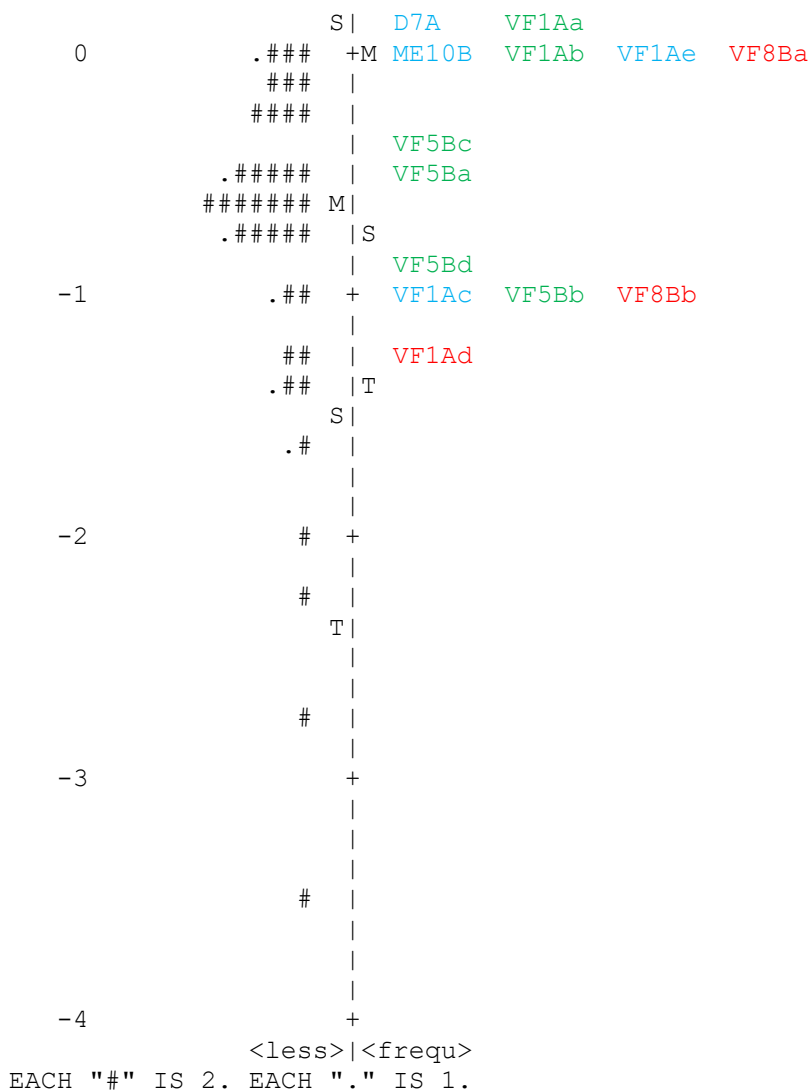
Os três testes de conhecimento utilizados nas intervenções, denominados de teste inicial, teste intermediário e teste final, foram criteriosamente elaborados. Para isto consideramos todas as análises descritas nos capítulos 5 e 6. Cada teste contém aproximadamente o mesmo número de itens de natureza procedimental, conceitual e aplicação da ferramenta matemática e também quantidade aproximada de itens fáceis, de dificuldade intermediária e itens difíceis. Para determinar a dificuldade dos itens utilizamos os dados dos 279 respondentes aos testes 01, 02 e 03, por meio do mapa de itens.

Os mapas de itens foram gerados no software Winsteps 3.70 (LINACRE, 2010) a partir da modelagem Rasch. O mapa de itens ordena pessoas e itens numa mesma régua medida em *logits*. As pessoas são organizadas a partir da sua habilidade/proficiência em relação ao traço latente medido e os itens de acordo com sua dificuldade. Assim, um dos principais benefícios da utilização dos Modelos Rasch é a capacidade de transformar itens numa única métrica do desenvolvimento (DEMETRIOU e KYRIAKIDES, 2006) reunindo em um mesmo traço latente a dificuldade dos itens e habilidades das pessoas (BOND e FOX, 2001).

A Figura 10 corresponde ao mapa de itens referente ao teste 01.

Figura 10. Mapa de itens - Teste 01





Fonte: dados da pesquisa

O lado esquerdo do mapa de itens representa a distribuição da medida da proficiência/habilidade dos respondentes do teste 01, e o lado direito apresenta os itens contidos no teste e sua localização de acordo com sua dificuldade. A hierarquia de maior habilidade das pessoas e maior dificuldade dos itens é crescente da parte inferior para a parte superior do mapa (LINACRE, 2006), ou seja, itens difíceis e pessoas de alta habilidade estão mais próximos ao topo.

O mapa de itens referente ao teste 01, quanto o mapa de itens do teste 02, representado pela Figura 11 foram respondidos por 93 estudantes cada.

Figura 11. Mapa de itens - Teste 02



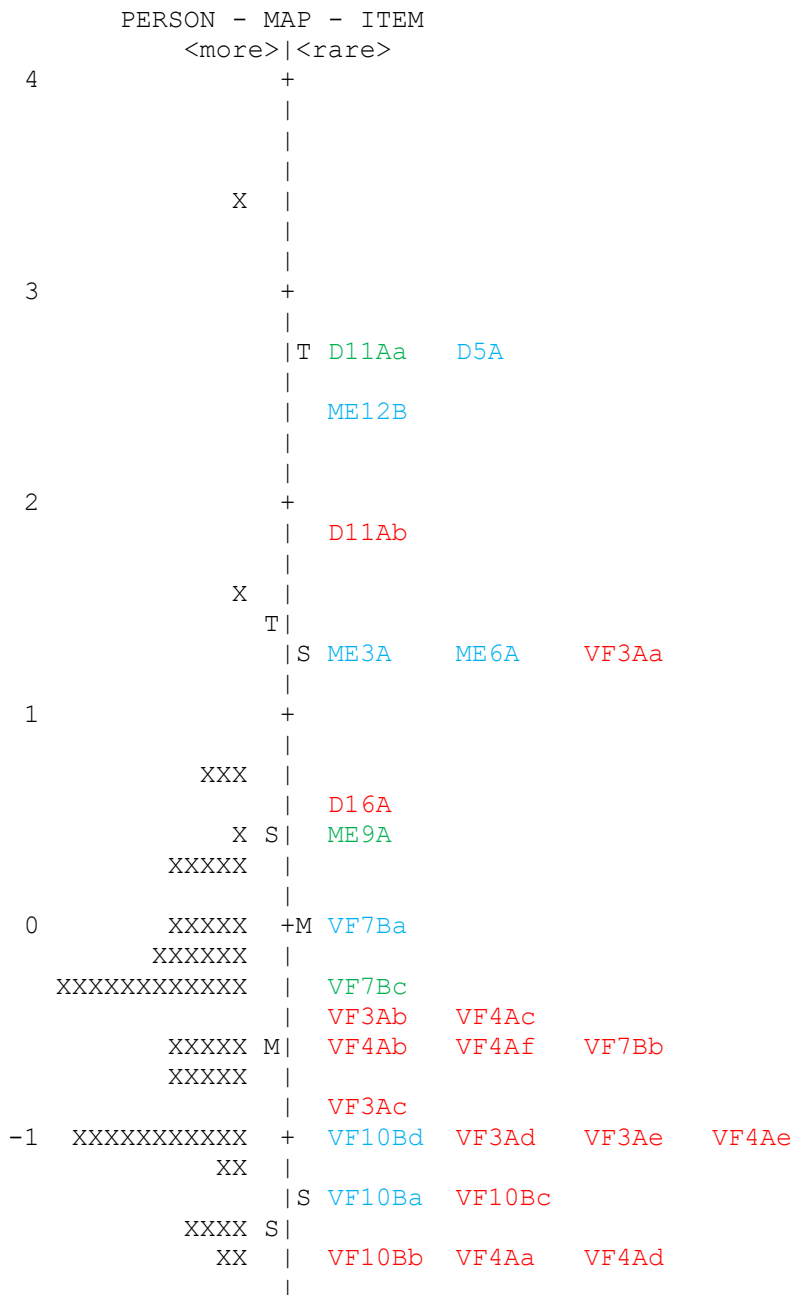
-4 +  
 <less>|<frequ>

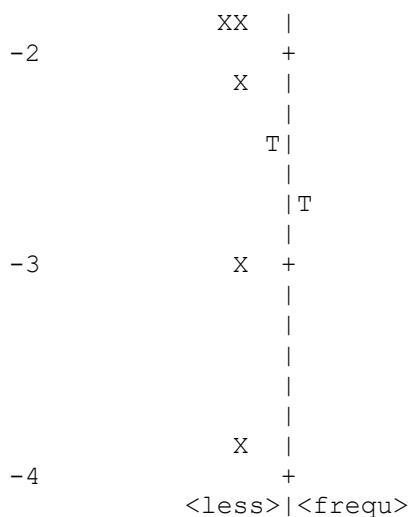
Fonte: dados da pesquisa

Já o mapa de itens representado na Figura 12, corresponde aos dados de 68 respondentes do teste 03.

Figura 12. Mapa de itens - Teste 03

TABLE 12.2 Teste 03.xlsx ZOU094WS.TXT Mar 16 16:04  
 2017  
 INPUT: 68 PERSON 26 ITEM MEASURED: 68 PERSON 26 ITEM 56 CATS WINSTEPS  
 3.70.0





Fonte: dados da pesquisa

Os três mapas de itens apresentaram boa distribuição para as pessoas e itens, podendo ser verificado pelo formato que se aproxima de uma curva normal. Nos mapas de itens, as cores verde, azul e vermelho representam respectivamente os itens de aplicação da ferramenta matemática, procedimentais e conceituais. Outra característica comum aos três mapas de itens se dá pelo fato das médias da dificuldade dos itens está ligeiramente superior à média da proficiência dos respondentes. Assim podemos afirmar que os testes da maneira que foram elaborados são moderadamente difíceis para os respondentes, sendo que no teste 01 tal dificuldade está mais evidente. No geral, percebe-se que os itens da dimensão específica procedimental apresentam maior dificuldade do que os itens de aplicação da ferramenta matemática e conceitual, no entanto, têm-se itens das três dimensões específicas que podem ser classificados como fáceis, de dificuldade intermediária e difíceis.

Elaboramos três testes de conhecimento (inicial, intermediário e final) com aproximadamente mesmo nível de dificuldade e que envolvem mais ou menos o mesmo número de itens conceituais, procedimentais e aplicação da ferramenta matemática. Para isto, foram inseridos alternadamente nos testes itens fáceis, de dificuldade intermediária e itens difíceis. As classificações nestes níveis de dificuldade estão de acordo com a posição do item no mapa de itens, ou seja, itens próximos ao topo do mapa são difíceis, próximos à base são os itens fáceis, e os itens em torno da média são os itens de dificuldade intermediária. Neste sentido, Commons e Miller (2015) indicam que ao construirmos um instrumento, por exemplo, um teste de conhecimento, não será claro quão difícil um item pode ser em relação aos demais sem que se utilize um escalonamento proporcionado pelos Modelos Rasch.

A ordem seguida/sugerida para todos os testes foi: item fácil de natureza conceitual, item de dificuldade intermediária do tipo procedimental, item difícil de aplicação da ferramenta matemática, item fácil (procedimental), item de dificuldade intermediária (aplicação da ferramenta matemática), item difícil (conceitual), item fácil (aplicação da ferramenta matemática), item de dificuldade intermediária (conceitual), item difícil (procedimental), neste ponto reiniciamos a sequência descrita até o fim do teste. O Quadro 7 apresenta como ficaram distribuídos os itens em cada teste de acordo com as dimensões específicas. Além disso, diversificamos itens de múltipla escolha, de assertivas verdadeiras e falsas e discursivas. Também ficamos atentos ao número de itens que compõe cada teste, variando de 24 a 30 itens, sendo um número de itens que é factível de serem resolvidos pelos estudantes em uma hora-aula (50 minutos), que nos forneça informações suficientes para mensurarmos o entendimento dos estudantes, e não gere cansaço dos mesmos pelo excessivo número de itens a serem resolvidos.

Quadro 7. Testes de conhecimento de acordo com dimensões específicas

Teste inicial			Teste intermediário			Teste final		
C	FM	P	C	FM	P	C	FM	P
D14A	D4Aa	ME2A	ME4A	VF7Bc	ME5A	VF3Aa	VF7Bc	ME12B
D4Ab	VF1Aa	ME8A	D4Ab	ME9A	D5A	D16A	D4Aa	ME10B
VF9Bd	VF1Ab	ME10B	ME13B	D4Aa	ME6A	D4Ab	ME9A	ME11B
VF9Bb	VF5Bc	VF1Ae	VF8Ba	VF5Bc	ME10B	VF3Ad	VF5Bd	VF1Ae
VF10Bc	VF5Bd	VF1Ac	VF6Bb	VF5Bd	VF6Ba	VF3Ae	VF5Bc	VF7Ba
VF9Ba	VF5Ba	VF10Ba	VF7Bb	VF5Ba	VF6Bc	VF7Bb	VF5Ba	ME3A
VF9Bc	VF5Bb	VF10Bd	VF8Bb	VF5Bb	VF7Ba	VF3Ab	VF5Bb	VF1Ac
VF1Ad						VF1Ad	VF1Ab	
VF10Bb							VF1Aa	

P = Procedimental      C = Conceitual      FM = Aplicação da Ferramenta Matemática

Fonte: dados da pesquisa

O Quadro 8 mostra os itens que se repetem nos três testes ou em dois destes. É importante que os testes tenham alguns itens em comum, pois umas das principais características da teoria de resposta ao item é que ela tenha como elementos centrais os itens, e não a prova como um todo (ANDRADE, TAVARES e VALLE, 2000). Neste sentido, Briggs e Wilson (2004) indicam a importância de inserir questões ou tarefas em comum para calibrar a escala de medida dos testes.



Quadro 8. Itens que se repetem em dois ou três testes

Item	Dimensão específica	Dificuldade	Teste inicial	Teste intermediário	Teste final
D4Aa	FM	Difícil	Sim	Sim	Sim
D4Ab	C	Médio	Sim	Sim	Sim
ME10B	P	Médio	Sim	Sim	Sim
VF5Ba	FM	Fácil	Sim	Sim	Sim
VF5Bb	FM	Fácil	Sim	Sim	Sim
VF5Bc	FM	Fácil	Sim	Sim	Sim
VF5Bd	FM	Fácil	Sim	Sim	Sim
VF7Bc	FM	Médio	Não	Sim	Sim
VF7Ba	P	Médio	Não	Sim	Sim
VF7Bb	C	Médio	Não	Sim	Sim
ME9A	FM	Difícil	Não	Sim	Sim
VF1Aa	FM	Médio	Sim	Não	Sim
VF1Ab	FM	Médio	Sim	Não	Sim
VF1Ac	P	Fácil	Sim	Não	Sim
VF1Ad	C	Fácil	Sim	Não	Sim
VF1Ae	P	Médio	Sim	Não	Sim

P = Procedimental      C = Conceitual      FM = Aplicação da Ferramenta Matemática

Fonte: dados da pesquisa

Além do que já foi explicitado aqui, para Morgado *et al.*, (2016) é importante que os testes sejam adequados aos sujeitos da pesquisa, pois se a dificuldade do teste for muito elevada, provocará desistência, e se forem testes muitos fáceis, causará desmotivação. Neste sentido, a validação do banco de itens e elaboração dos testes como realizamos nos dá garantias de que os testes estão apropriados aos participantes da pesquisa. O teste inicial, intermediário e teste final, encontram-se respectivamente nos apêndices E, F e G.

## 8. INVESTIGANDO A APRENDIZAGEM SOBRE PÊNULO SIMPLES

Nesse capítulo apresentamos como investigamos a aprendizagem sobre Pêndulo Simples. Apresentamos o desenho geral da pesquisa, relatamos como ocorreu a condução das intervenções, o delineamento metodológico, o contexto, sujeitos e os desenhos da intervenção. Posteriormente, discorreremos sobre as análises realizadas, interpretações e considerações finais.

Inicialmente retomamos aos objetivos da nossa investigação, objetivo geral: Investigar as diferenças na aprendizagem de conteúdos formais de estudantes do Ensino Médio, contrapondo abordagens investigativas e tradicionais no laboratório virtual e material; Objetivos específicos: i) verificar como ocorreu a aprendizagem em cada perspectiva metodológica de ensino; ii) comparar a aprendizagem dos estudantes nas intervenções tradicionais e investigativas; iii) comparar a aprendizagem dos estudantes nos diferentes ambientes de ensino (ambiente material e virtual); iv) comparar a aprendizagem dos estudantes conforme associação da abordagem (investigativa ou tradicional) ao ambiente de ensino. Também buscamos responder à pergunta de pesquisa: Qual a contribuição do ambiente (virtual e material) e abordagem (investigativa e tradicional) para a aprendizagem de conteúdos formais de Física?

Para alcançar tais objetivos e responder à pergunta, elaboramos um desenho de pesquisa que permite contrapor amostras submetidas a intervenções diferentes sem, no entanto, deixar de fornecer as instruções que diversos autores<sup>15</sup> e nós pressupomos serem de valor educacional para todos estudantes envolvidos.

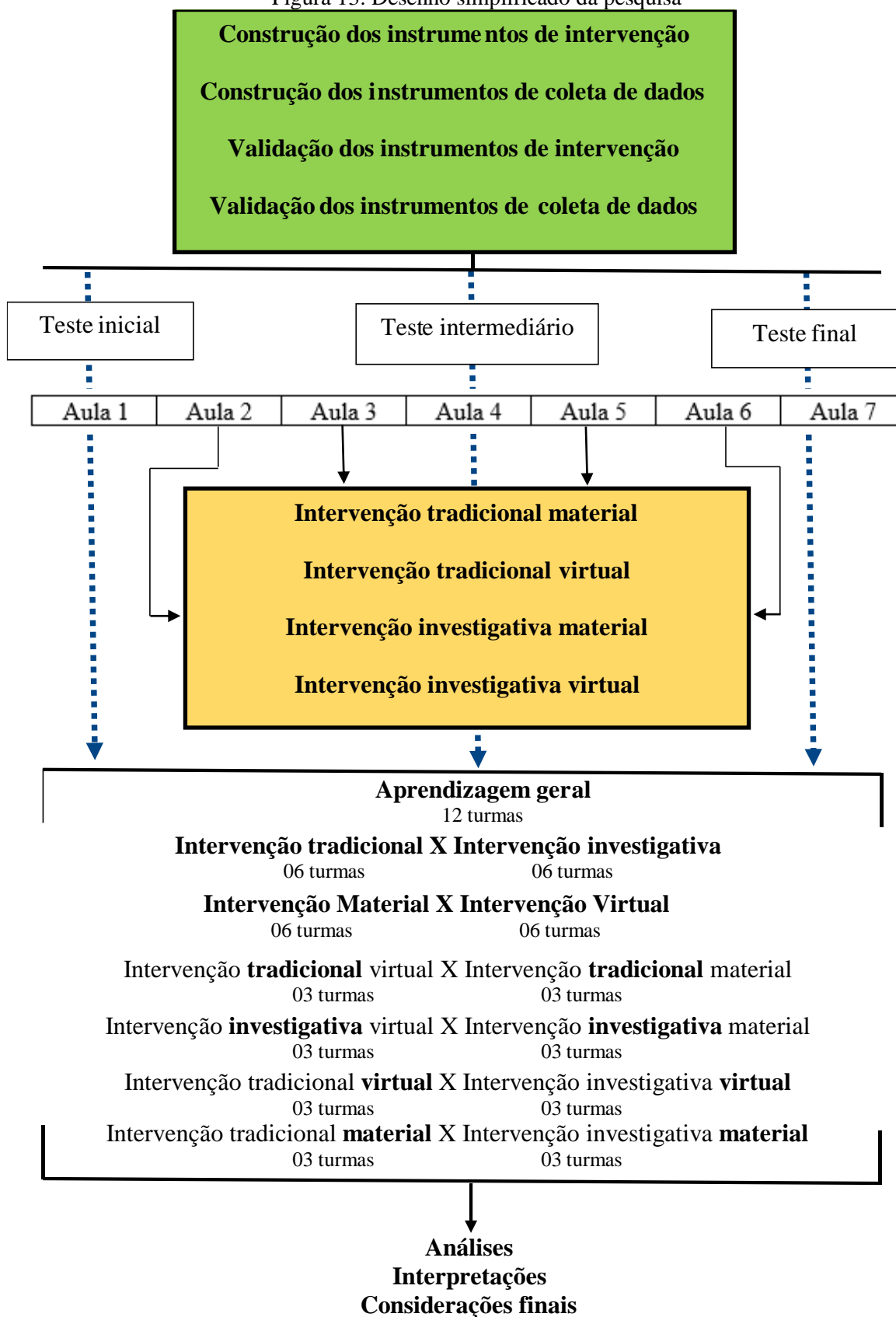
### 8.1. DESENHO DA PESQUISA

Aqui representamos esquematicamente e de modo simplificado o desenho geral da pesquisa, conforme Figura 13. Este desenho facilita o entendimento de como a pesquisa foi conduzida e é complementado a partir da próxima seção (8.2).

---

<sup>15</sup> Autores que discutimos no capítulo 2, em 2.3.1 e 2.3.2.

Figura 13. Desenho simplificado da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor

## 8.2. DELINEAMENTO METODOLÓGICO, CONTEXTO, SUJEITOS E DESENHO: INTERVENÇÕES

As intervenções para o ensino do conteúdo de Pêndulo Simples e “coleta” dos dados finais da pesquisa ocorreram em turmas do 1º e 2º ano do Ensino Médio Integrado ao Ensino Técnico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), nos *campi* Feira de Santana e Salvador. No *campus* Feira de Santana, conforme Quadro 9, houve intervenção em sete turmas, e no *campus* Salvador, como mostra o Quadro 10, em outras cinco turmas. Assim, as intervenções ocorreram em doze turmas do Ensino Médio, sendo 188 estudantes do IFBA em Feira de Santana e 185 estudantes do IFBA em Salvador, totalizando 373 estudantes matriculados.

Quadro 9. Amostra da Intervenção - *Campus* Feira de Santana

Turma	Tipo de intervenção	Quem ministrou	Turma	Curso	Número de estudantes
1	Investigativa Material	Professor Pesquisador	2º ano	Edificações	18
2	Investigativa Virtual	Professor Pesquisador	2º ano	Eletrotécnica	17
3	Tradicional Material	Professor da disciplina	1º ano Turma 01	Eletrotécnica	36
4	Tradicional Virtual	Professor da disciplina	1º ano Turma 01	Edificações	27
5	Investigativa Material	Professor da disciplina	1º ano Turma 02	Edificações	30
6	Investigativa Virtual	Professor Pesquisador	1º ano Turma 03	Eletrotécnica	30
7	Tradicional Virtual	Professor da disciplina	1º ano Turma 02	Eletrotécnica	30

Fonte: Elaborado pelo autor

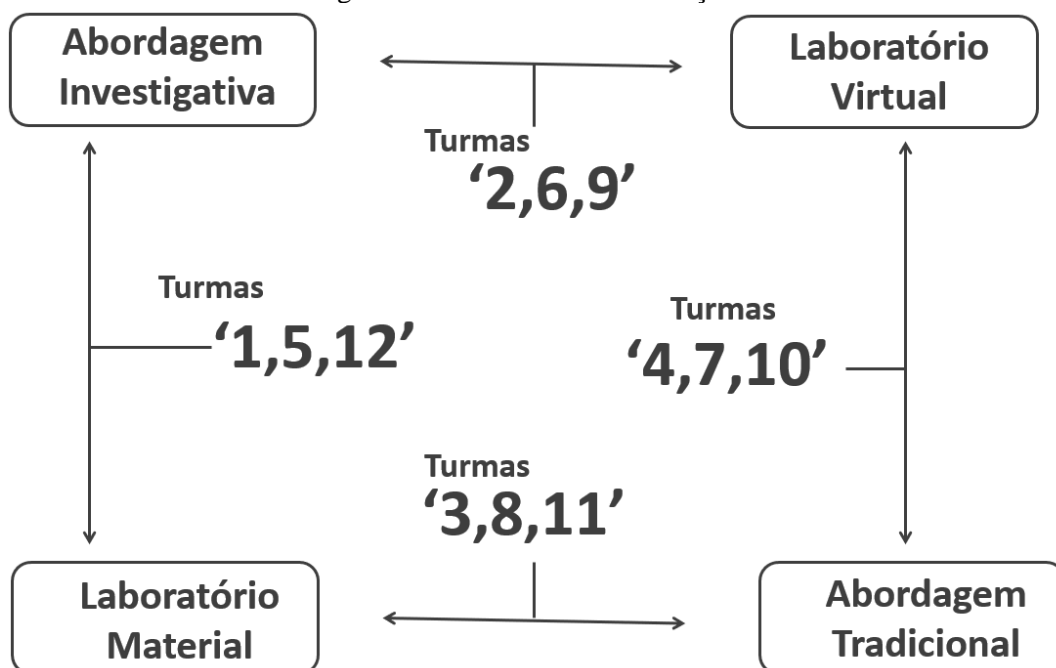
Quadro 10. Amostra da Intervenção - *Campus Salvador*

Turma	Tipo de intervenção	Quem ministrou	Turma	Curso	Número de estudantes
8	Tradicional Material	Professor da disciplina	2º ano Turma11821	Refrigeração	31
9	Investigativa Virtual	Professor Pesquisador	1º ano Turma 6813	Mecânica	40
10	Tradicional Virtual	Professor da disciplina	1º ano Turma1812	Edificações	40
11	Tradicional Material	Professor da disciplina	1º ano Turma 6812	Mecânica	42
12	Investigativa Material	Professor Pesquisador	2º ano Turma 5821	Automação	32

Fonte: Elaborado pelo autor

Foram quatro tipos de intervenções com metodologias diferentes para ensinar o mesmo conteúdo, sendo: intervenção tradicional no laboratório material, intervenção tradicional no laboratório virtual, intervenção investigativa no laboratório virtual e intervenção investigativa no laboratório material. Cada tipo de intervenção ocorreu em três turmas diferentes, de acordo com a Figura 14. Nas turmas “2”, “6” e “9” o conteúdo foi ensinado com abordagem investigativa no ambiente virtual (intervenção investigativa virtual); nas turmas “1”, “5” e “12”, ocorreu intervenção com abordagem também investigativa, porém no ambiente material (intervenção investigativa material). Já nas turmas “4”, “7” e “10”, o conteúdo foi ensinado com abordagem tradicional, no ambiente virtual (intervenção tradicional virtual); da mesma forma as turmas “3”, “8” e “11” tiveram aulas com abordagem tradicional, contudo, no ambiente material (intervenção tradicional material).

Figura 14. Desenho das Intervenções-I



Fonte: Elaborado pelo autor

Expressando cada um desses grupos de três turmas em quantidade de estudantes matriculados, temos que: 97 estudantes tiveram intervenção tradicional virtual, 109 estudantes intervenção tradicional material, para 87 estudantes houve intervenção investigativa virtual e 80 estudantes com intervenção investigativa material. Classificando por tipo de abordagem de ensino, foram 206 os estudantes que participaram das aulas tradicionais e 167 das aulas investigativas. Considerando o ambiente de ensino, 184 estudantes tiveram intervenção no ambiente virtual e 189 no ambiente material. De acordo com o exposto, o caminho metodológico adotado para as intervenções e a coleta final de dados se enquadram nos quase-experimentos e amostras de conveniência, pois para Creswell (2010) o investigador usa grupos-controle e experimental, mas não designa aleatoriamente os participantes aos grupos (p. ex., eles podem ser grupos intactos disponíveis ao pesquisador, que para nossa investigação são as turmas).

Em cada turma a intervenção ocorreu em aproximadamente 7 aulas de 50 minutos, conforme o desenho das intervenções apresentado no Quadro 11.

Quadro 11. Desenho das intervenções-II

Intervenção tradicional no laboratório virtual e material						
Aula 1	Aula 2	Aula 3	Aula 4	Aula 5	Aula 6	Aula 7
Teste inicial	Aula expositiva		Teste intermediário	Roteiro tradicional		Teste final
Intervenção investigativa no laboratório virtual e material						
Aula 1	Aula 2	Aula 3	Aula 4	Aula 5	Aula 6	Aula 7
Teste inicial	Atividades 1, 2 e 3		Teste intermediário	Atividade 4; Fechamento		Teste final

Fonte: Elaborado pelo autor

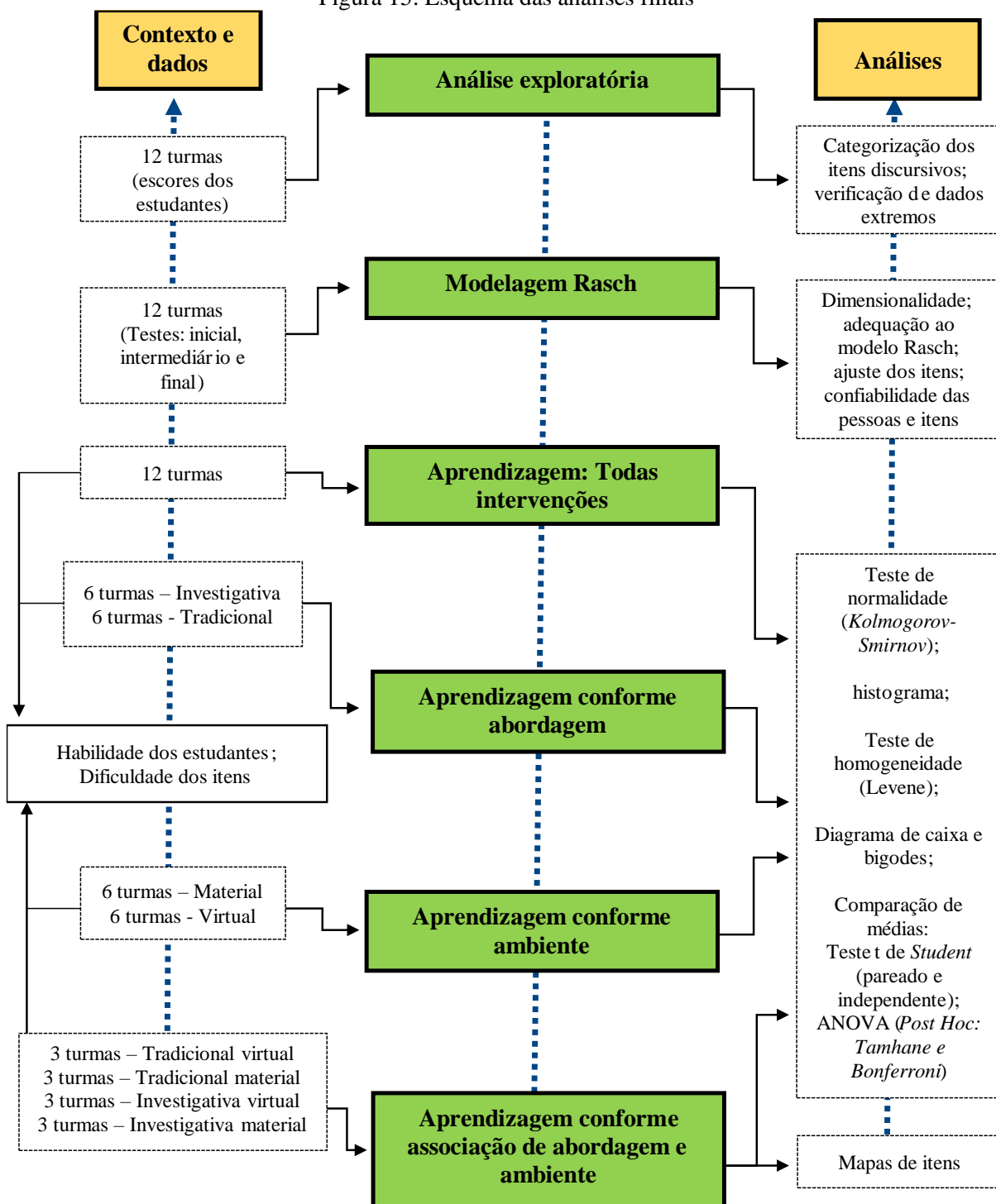
Todos os instrumentos utilizados durante a intervenção (teste inicial, teste intermediário, teste final, sequência de ensino por investigação, sugestão de aula expositiva, roteiro estruturado para o laboratório material e roteiro estruturado para o laboratório virtual) foram construídos e validados<sup>16</sup> e encontram-se nos apêndices deste trabalho. A Figura 15 representa um esquema das análises finais.

Em um primeiro momento realizamos uma análise exploratória dos dados. As respostas dos estudantes aos itens de assertivas verdadeiras e falsas e de múltipla escolha foram substituídas por códigos numéricos que representem os acertos e erros. Para as respostas dos estudantes aos itens discursivos, procedemos do mesmo modo que foi feito com as respostas às questões discursivas na validação do banco de itens, isto é, categorizamos as respostas de acordo com a taxonomia das Categorias de Explicitação, verificamos a concordância das categorizações por meio do coeficiente Kappa e chegamos a um consenso em relação às categorias discordantes. Em seguida, identificamos os estudantes que não realizaram os testes de conhecimento, verificamos se houve pessoas ou itens com escore total ou nulo e obtivemos os primeiros indicativos de aumento no entendimento dos estudantes por meio das médias percentuais dos escores nos testes de conhecimento.

Posteriormente utilizamos o software Winsteps 3.70 (LINACRE, 2010) para analisar as propriedades psicométricas dos testes e respostas dos estudantes, através da aplicação do Modelo Rasch (1960/1980), verificando: a dimensionalidade; a adequação dos dados ao Modelo Rasch, o ajuste dos itens e a confiabilidade das pessoas e itens.

<sup>16</sup> Conforme descrito nos capítulos 4 a 7.

Figura 15. Esquema das análises finais



Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida, iniciamos as análises referentes à aprendizagem dos estudantes. Para isto, utilizamos como dados primários os escores de todos os estudantes aos três testes de conhecimento. Com o intuito de obtermos os melhores dados, utilizamos “apenas” os dados dos estudantes que realizaram os três testes, correspondendo a 235 estudantes. Com esses



dados primários, realizamos a modelagem Rasch através do Winsteps 3.70 (LINACRE, 2010) para determinar a habilidade de cada estudante por teste de conhecimento e a dificuldade de cada item. As habilidades dos estudantes e as dificuldade dos itens, são agora os dados secundários que utilizamos para verificação da aprendizagem.

A partir desses dados secundários, as análises e os testes estatísticos foram realizados no software SPSS (IBM\_CORP, 2011) e divididas em quatro etapas: i) análise da aprendizagem com todos os estudantes sem distinção (12 turmas); ii) análise da aprendizagem conforme a abordagem investigativa (6 turmas) ou tradicional (6 turmas); iii) análise da aprendizagem conforme o ambiente material (6 turmas) ou virtual (6 turmas); iv) análise conforme associação de abordagem e ambiente: intervenção tradicional material (3 turmas), intervenção tradicional virtual (3 turmas), intervenção investigativa material (3 turmas) e intervenção investigativa virtual (3 turmas). Em cada uma destas etapas, verificamos a aprendizagem sobre o conteúdo de Pêndulo Simples a partir da habilidade dos estudantes e a aprendizagem das dimensões específicas (habilidade conceitual, habilidade procedimental e habilidade na ferramenta matemática) com base na dificuldade dos itens.

Para a realização destas análises, os testes e técnicas estatísticas utilizadas foram: teste de normalidade *Kolmogorov-Smirnov* e histograma, teste de homogeneidade de Levene, diagramas de caixa e bigode (*box plot*), comparação de médias com o teste *t* de *Student* (pareado e independente) e comparação de média através de testes *Post Hoc* (*Bonferroni* e *Tamhane*) da estatística ANOVA.

Para a última análise utilizamos os mapas de itens gerados pelo software Winsteps 3.70 (LINACRE, 2010), para investigarmos a aprendizagem dos estudantes em relação às habilidades específicas conceitual, procedimental e aplicação da ferramenta matemática.

## 9. ANÁLISES E DISCUSSÕES: PARTE I

Neste capítulo apresentamos as primeiras análises, resultados e discussões gerados a partir dos dados das intervenções descritas no capítulo anterior.

### 9.1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Para a análise estatística a partir das respostas dos estudantes aos testes de conhecimento, geramos três planilhas de dados politômicos, uma para cada teste (teste inicial, teste intermediário e teste final). As respostas corretas dos estudantes aos itens de múltipla escolha e aos itens de assertivas verdadeiras e falsas, foram convertidas no código numérico 1 (um), já as respostas erradas foram transformadas no código numérico 0 (zero). As respostas dos estudantes aos itens discursivos foram categorizadas segundo as Categorias de Explicação<sup>17</sup>. Todas as respostas aos itens discursivos (mais de 3000 respostas) foram categorizadas separadamente por dois pesquisadores, contudo pautados pelo mesmo sistema categórico. Cada resposta categorizada recebe um código numérico de acordo com o seu nível de complexidade. Estes níveis são classificados de forma hierárquica, de modo que o último nível tem uma dimensão mais complexa e compreende os níveis anteriores. Neste sentido, no sistema categórico utilizado há uma associação de escala qualitativa do tipo Guttman e está de acordo com a teoria de Habilidades (FISCHER, 1980), onde respostas com entendimento mais complexo podem representar níveis hierárquicos mais elevados dentro de uma mesma camada.

De posse das respostas categorizadas, verificamos a concordância das mesmas por meio do coeficiente Kappa. Os coeficientes kappa para as categorizações dos três testes são apresentados na Tabela 18, e de acordo com Landis e Koch (1977) obtivemos uma concordância substancial para o teste intermediário e concordância quase perfeita para os testes inicial e final. Estes resultados denotam grande concordância entre os juízes e adequação do sistema categórico aos nossos dados.

Tabela 18. Concordância entre juízes - Categorizações

Teste	Coefficiente kappa
Inicial	0,805
Intermediário	0,771
Final	0,824

Fonte: dados da pesquisa

<sup>17</sup> Descrita no tópico 5.4.1

Após verificar a concordância entre juízes, também nos atentamos às respostas categorizadas de forma discordante. Para estas respostas, repensamos cada uma até chegarmos a um acordo em todas, gerando assim uma categoria única para cada resposta do estudante. Neste ponto dispúnhamos das planilhas com dados politômicos para iniciar as análises finais.

Dos 373 estudantes matriculados nas turmas que ocorreram as intervenções, alguns estiveram ausentes em um ou mais testes, sendo: 46 estudantes ausentes nos três testes, 10 estudantes ausentes em dois dos três testes e 82 estudantes ausentes em apenas um dos testes. Ainda assim foram 235 estudantes que realizaram todos os três testes de conhecimento.

Dando sequência à análise exploratória dos dados, verificamos se houve pessoas e itens com escore total ou nulo. Nenhum indivíduo obteve escore máximo, ou seja, nenhum sujeito participante da pesquisa possui habilidade sobre pêndulo simples superior à dificuldade de cada teste. Em relação ao escore dos itens, verificamos que nos testes intermediário e final, nenhum indivíduo obteve escore zero, porém no teste inicial dois estudantes não acertaram nenhum item, indicando que esses indivíduos possuem habilidade em relação ao conteúdo muito aquém da dificuldade do teste aplicado. No entanto, por se tratar de um teste diagnóstico em que os estudantes ainda não estudaram o conteúdo, este resultado não interfere nas análises. Verificando os escores dos itens, constatamos que nenhum destes resultaram em escore zero ou máximo, o que é um bom indicativo, já que a princípio qualquer dos itens têm dificuldade dentro do esperado, nem extremamente baixa nem muito elevado.

## 9.2. MODELAGEM RASCH

Nesta seção averiguamos a validade dos testes de conhecimento enquanto instrumento para acessar o traço latente “entendimento sobre Pêndulo Simples”. Para tal, utilizamos o software Winsteps 3.70 (LINACRE, 2010) para analisar suas propriedades psicométricas através da aplicação do Modelo Rasch (1960/1980), verificando: a dimensionalidade; a adequação ao Modelo Rasch, o ajuste dos itens e a confiabilidade das pessoas e itens.

Para verificar a dimensionalidade dos testes aplicados na intervenção é relevante recordar os resultados encontrados na validação do banco de itens. Naquele momento, mostramos através de testes estatísticos, da modelagem Rasch e considerações teóricas que todos os nossos itens podem ser respondidos abarcando três tipos de habilidades dos

estudantes em relação ao conteúdo de Pêndulo Simples, sendo: habilidade conceitual, habilidade procedimental e habilidade na aplicação da ferramenta matemática. A partir destes resultados<sup>18</sup>, formulamos novos testes de conhecimento contendo aproximadamente o mesmo número de itens das três dimensões e com semelhantes níveis de dificuldade. Contudo, analisando os dados provenientes destes novos testes: teste inicial, teste intermediário e teste final, obtivemos indicativos de unidimensionalidade. Para Almiro e Simões (2015), em um teste unidimensional os itens devem medir um único atributo ou traço latente, ou seja, o desempenho dos sujeitos é influenciado por um único fator predominante.

De acordo com Linacre (2009), no Modelo Rasch, podemos considerar os dados unidimensionais quando a variância explicada pelo componente principal da dimensão é superior a 20% e o autovalor do primeiro contraste (unidade de variância residual) não exceder o valor 2,0. Conforme Tabela 19, temos para as variâncias explicadas pelo componente principal os valores 25,4%, 24,5% e 32,3%, respectivamente, para os testes inicial, intermediário e final. O autovalor para os testes inicial e intermediário é 2,0. Todos

Tabela 19. Variância residual padronizada (em unidades de autovalores)

Testes	Variâncias		Empírico	Modelado
Inicial	Variância explicada pelas medidas	7,8	25,4%	24,9%
	Variância explicada pelas pessoas	2,1	6,8%	6,7%
	Variância explicada pelos itens	5,7	18,6%	18,3%
	Variância não explicada	23	74,6%	75,1%
	Variância não explicada no primeiro contraste	2,0	6,4%	8,6%
Intermediário	Variância explicada pelas medidas	6,8	24,5%	22,8%
	Variância explicada pelas pessoas	1,9	6,8%	6,3%
	Variância explicada pelos itens	4,9	17,7%	16,4%
	Variância não explicada	21,0	75,5%	77,2%
	Variância não explicada no primeiro contraste	2,0	7,3%	9,6%
Final	Variância explicada pelas medidas	11,4	32,3%	31,2%
	Variância explicada pelas pessoas	4,6	13,0%	12,5%
	Variância explicada pelos itens	6,8	19,3%	18,7%
	Variância não explicada	24	67,7%	68,8%
	Variância não explicada no primeiro contraste	2,2	6,3%	9,3%

Fonte: dados da pesquisa

<sup>18</sup> Dentre outros apresentados na seção de validação do banco de itens.

esses índices preenchem por completo os critérios da unidimensionalidade. Porém, o autovalor para o teste final excede ligeiramente os 2,0 (o valor atingido é 2,2). No entanto, independente deste fato, consideramos que o teste final também é unidimensional, já que a variância explicada pelo componente principal configura um bom resultado (ALMIRO e SIMÕES, 2015), e também porque a porcentagem de variância não explicada pelo primeiro contraste é de 6,3%, que de acordo com Fisher (2007), constitui um valor baixo, por ser menor que 10%. Neste sentido, as porcentagens das variâncias não explicadas pelo primeiro contraste do teste inicial (6,4%) e do teste intermediário (7,3%) reforçam a unidimensionalidade dos três testes. Portanto, essa única dimensão medida pelos nossos testes de conhecimento corresponde ao entendimento sobre Pêndulo Simples.

Ainda de acordo com a Tabela 19, podemos verificar o quão bom os dados se ajustam ao Modelo Rasch, uma vez que os valores das variâncias empíricas e modeladas possuem valores próximos.

Utilizamos os índices *infit* e *outfit* da estatística MNSQ para verificar os ajustes dos itens que constituem os testes de conhecimento. De acordo com os critérios de Linacre (2009/2010) o ajuste é ótimo quando os índices de *infit* e *outfit* oscilam entre 0,50 e 1,50. Neste sentido, e conforme apresentado na Tabela 20, todos os índices de todos os itens que compõem os três testes ficaram dentro deste intervalo, configurando-se num ótimo resultado. Linacre (2009/2010) e Dawson (2006) afirmam que o valor 1,00 (ideal) é indicativo de ajuste perfeito, sendo esse o valor encontrado para a média dos valores *infit* para os três testes, conforme Tabela 21.

Tabela 20. Índice de ajuste dos itens - *infit* e *outfit*

TESTE INICIAL			TESTE INTERMEDIÁRIO			TESTE FINAL		
<i>infit</i>	<i>outfit</i>	item	<i>infit</i>	<i>outfit</i>	item	<i>infit</i>	<i>outfit</i>	item
0,96	0,98	D14A	1,02	1,23	ME5A	1,06	1,31	ME12B
1,08	1,31	ME2A	0,93	0,79	D5A	0,94	0,93	VF3Aa
0,94	0,94	ME8A	1,12	1,23	ME6A	1,19	1,30	ME10B
0,95	1,27	D4Ab	0,92	0,88	ME4A	0,94	0,88	D16A
1,10	1,16	VF9Bd	1,09	1,09	VF7Bc	0,96	0,93	ME11B
1,02	1,04	ME10B	1,03	1,03	ME10B	1,19	1,18	VF7Bc
0,99	0,98	D4Aa	0,93	0,92	ME9A	1,16	1,28	VF1Ae
1,00	1,00	VF1Aa	1,10	1,10	ME13B	0,86	0,86	D4Aa
1,09	1,10	VF1Ae	0,89	1,05	D4Aa	1,06	1,05	VF5Bd
1,12	1,12	VF1Ab	0,87	0,84	D4Ab	0,93	0,90	D4Ab
1,01	1,01	VF5Bd	1,00	1,00	VF8Ba	0,88	0,85	ME9A

0,94	0,92	VF5Bc	1,05	1,03	VF5Bd	1,10	1,14	VF5Bc
0,96	0,95	VF9Bb	1,02	1,03	VF5Bc	1,02	1,00	VF7Ba
1,07	1,09	VF1Ac	1,09	1,08	VF6Ba	0,93	0,90	ME3A
0,88	0,86	VF5Ba	1,03	1,04	VF7Bb	0,84	0,79	VF5Ba
0,95	0,93	VF10Ba	1,06	1,07	VF6Bb	1,01	1,04	VF3Ad
0,94	0,93	VF10Bd	1,02	1,02	VF6Bc	1,04	1,03	VF5Bb
0,93	0,91	VF9Ba	0,94	0,93	VF7Ba	1,01	0,98	VF3Ae
0,91	0,90	VF10Bc	0,93	0,96	VF5Ba	0,99	0,96	VF7Bb
1,11	1,18	VF9Bc	0,93	0,91	VF8Bb	1,10	1,07	VF1Ab
0,99	0,98	VF1Ad	1,00	1,07	VF5Bb	0,96	0,95	VF3Ab
1,06	1,09	VF5Bb				1,06	1,05	VF1Aa
0,95	0,95	VF10Bb				0,92	0,83	VF1Ad
						0,90	0,78	VF1Ac

Fonte: dados da pesquisa

A Tabela 21 apresenta as médias dos índices *infit* e *outfit* que são iguais ou muito próximas do valor ideal, implicando que as medidas são produtivas/discriminatórias. Além do que, o bom ajuste dos itens nos índices *infit* e *outfit* também configuram como indicativos da unidimensionalidade dos testes (ADÁNEZ e VELASCO, 2002, WRIGHT e STONE, 2004; LINACRE, 2010; ALMIRO e SIMÕES, 2015).

Tabela 21. Média de desvio padrão - Estatística MNSQ

MNSQ		INFIT	OUTFIT
Teste inicial	Média	1,00	1,03
	Desvio Padrão	0,07	0,12
Teste intermediário	Média	1,00	1,01
	Desvio Padrão	0,07	0,11
Teste final	Média	1,00	1,00
	Desvio Padrão	0,10	0,15

Fonte: dados da pesquisa

Em outra análise verificamos o coeficiente alfa de Cronbach como um dos critérios utilizados para indicar a confiabilidade das nossas medidas. Vários autores (NUNNALLY, 1978; KLINE, 1993; MARTINS, 2006) dizem que há confiabilidade das medidas quando o coeficiente está acima de 0,7, no entanto, Maroco e Garcia-Marques (2006) argumentam que em algumas situações, principalmente para investigações nas ciências sociais, o valor de 0,60 é considerado aceitável. A Tabela 22 apresenta o valor do coeficiente alfa de Cronbach para os três testes de conhecimento.

Tabela 22. Coeficiente alfa de Cronbach

TESTE	Coeficiente
Inicial	0,53
Intermediário	0,62
Final	0,74

Fonte: dados da pesquisa

O valor do alfa de Cronbach no teste inicial é baixo, 0,53. Contudo, este resultado é justificável ao recordar que o teste inicial se trata de um teste diagnóstico, ou seja, um teste para verificar o conhecimento prévio dos estudantes sobre pêndulo simples, já que uma das condições das turmas participarem da intervenção era ainda não terem estudado formalmente o conteúdo. Já para o teste intermediário, o coeficiente alfa de Cronbach de 0,62 é aceitável, desde que consideremos o contexto da aplicação. No momento da aplicação do teste intermediário as turmas que tiveram a intervenção tradicional, haviam tido somente as aulas expositivas sobre o conteúdo de pêndulo simples, e nas turmas em que a intervenção foi no formato investigativo, haviam realizado três atividades que abarcavam parcialmente o conteúdo. Isto é, em ambos os casos o conteúdo de pêndulo simples ainda não havia sido “satisfatoriamente” abordado. Para o teste final, momento em que já haviam finalizado as intervenções, o coeficiente alfa de Cronbach eleva para 0,74, configurando num bom resultado.

Para verificar o quanto o padrão das respostas das pessoas ou o padrão de acerto dos itens se ajustam à estrutura da medida, verificamos os valores da confiabilidade de separação das pessoas e dos itens (HIBBARD, *et al.*, 2010). De acordo com Linacre (2010) bons ajustes para as pessoas são índices de separação maiores que 2,0 associados a confiabilidade maiores que 0,8, e para os itens, índice de separação maiores que 3,0 associados a confiabilidade maior que 0,9. Verificando na Tabela 23, temos que nenhum dos três testes atingiram os valores de referência de bons índices para a separação e confiabilidade das pessoas, o que implica que os testes podem não ser adequados o suficiente para distinguir indivíduos de baixa e alta habilidade, sendo necessário aumentar o número de itens; ou pode ser que não há variabilidade “suficiente” de habilidades entre os respondentes, ou seja, não há grande diferença entre os indivíduos de mais alta e baixa habilidade. Contudo, os índices de separação e confiabilidade dos itens apresentaram índices superiores aos considerados como bons ajustes, significando que a amostra é suficientemente grande para confirmar a hierarquia de dificuldade dos itens.

Tabela 23. Confiabilidade das pessoas e itens

ÍNDICES		Teste inicial	Teste intermediário	Teste final	
PESSOAS	Separação	Real	1,16	1,26	1,65
		Modelado	1,23	1,33	1,74
	Confiabilidade	Real	0,57	0,61	0,73
		Modelado	0,60	0,64	0,75
ITENS	Separação	Real	6,22	6,69	7,14
		Modelado	6,32	6,78	7,32
	Confiabilidade	Real	0,97	0,98	0,98
		Modelado	0,98	0,98	0,98

Fonte: dados da pesquisa

Verificando os coeficientes alfa de Cronbach e os índices de separação e confiabilidade para pessoas e itens, percebemos que no decorrer da instrução todos os valores destes índices vão aumentando, e para estes coeficientes, o aumento significa melhores ajustes. Esta evolução dos ajustes dos itens é um indicativo de aprendizagem devido à intervenção, pois conforme Semak e Dietz (2014) os melhores ajustes dos testes ao longo de uma instrução podem ser entendidos como evolução do conhecimento.

### 9.3. APRENDIZAGEM GERAL

Nesta seção verificamos a aprendizagem formal do conteúdo de Pêndulo Simples a partir das respostas dos estudantes das doze turmas submetidas às intervenções, sem distinguir por tipo de abordagem ou ambiente de ensino. Como mensuramos o entendimento dos estudantes em três momentos distintos, decidimos considerar os dados daqueles que responderam os três testes de conhecimento (235 estudantes), desconsiderando os estudantes que realizaram apenas um ou dois dos testes.

#### 9.3.1. Aprendizagem sobre o conteúdo de Pêndulo Simples

Aqui buscamos responder a seguinte pergunta: Houve aprendizagem dos estudantes submetidos às intervenções? Para responder a esta pergunta utilizamos a medida da habilidade das pessoas em relação ao conteúdo de Pêndulo Simples, obtida para cada estudante a partir da Modelagem Rasch. Esta modelagem é realizada através do software Winsteps 3.70



(LINACRE, 2010), que utiliza os escores dos estudantes aos testes de conhecimento para gerar uma escala intervalar de *logits*, alocando os estudantes numa ordem decrescente de habilidade<sup>19</sup>. Como pretendemos investigar a aprendizagem, e consideramos esta como um processo no qual há um aumento na complexidade do entendimento, conforme a teoria de habilidades dinâmicas (FISCHER, 1980), verificamos se houve ganho no entendimento comparando as diferenças das medidas das habilidades dos respectivos estudantes entre os testes intermediário e inicial, final e intermediário e final e inicial.

A partir deste ponto, os testes estatísticos relatados foram realizados no software SPSS (IBM\_CORP, 2011). Em um primeiro momento realizamos uma verificação de aderência à normalidade através do teste de *Kolmogorov-Smirnov* e histograma. No teste de *Kolmogorov-Smirnov* buscamos encontrar a hipótese nula, na qual não existe diferença entre a distribuição normal e a distribuição dos nossos dados (LOPES *et al.*, 2014). De acordo com a Tabela 24, o valor-p para as três diferenças de habilidades testadas foi maior do que 0,05 ( $p > 0,05$ ), assim aceitamos a hipótese nula, ou seja, a distribuição dos dados é do tipo normal ou gaussiana e então podemos utilizar dos testes da estatística paramétrica.

Tabela 24. Teste de normalidade – Todas intervenções

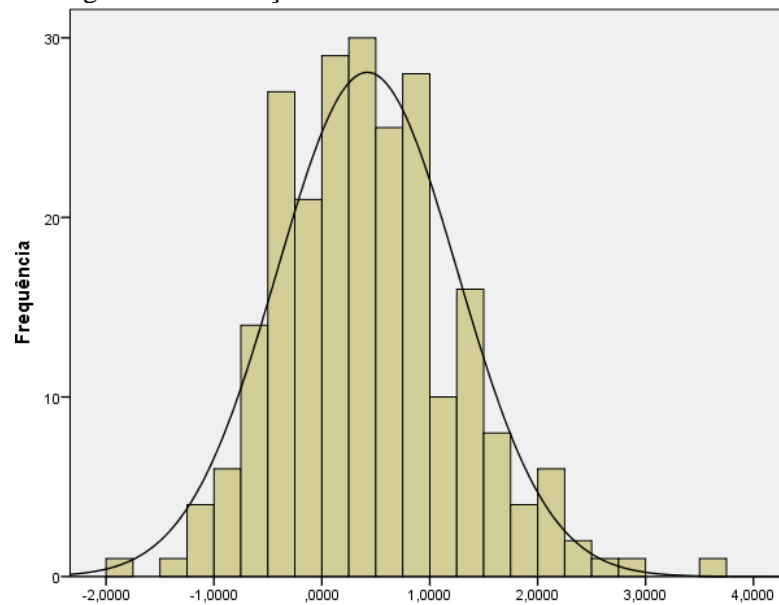
Dados	Diferença de habilidades		
	T. Final – T. Inicial	T. Final – T. Intermediário	T. Intermediário – Inicial
N	235	235	235
Z	0,823	0,996	0,668
Valor-p	0,507	0,274	0,763

Fonte: Dados da pesquisa

Em complementaridade à tabela acima, o Gráfico 11 apresenta o histograma da diferença de habilidades dos respectivos estudantes entre o teste final e teste inicial ( $m = 0,4207$  *logits*,  $DP = 0,8346$  *logits*).

<sup>19</sup> As medidas das habilidades de todos os estudantes submetidos as intervenções encontram-se nos anexos B, C e D.

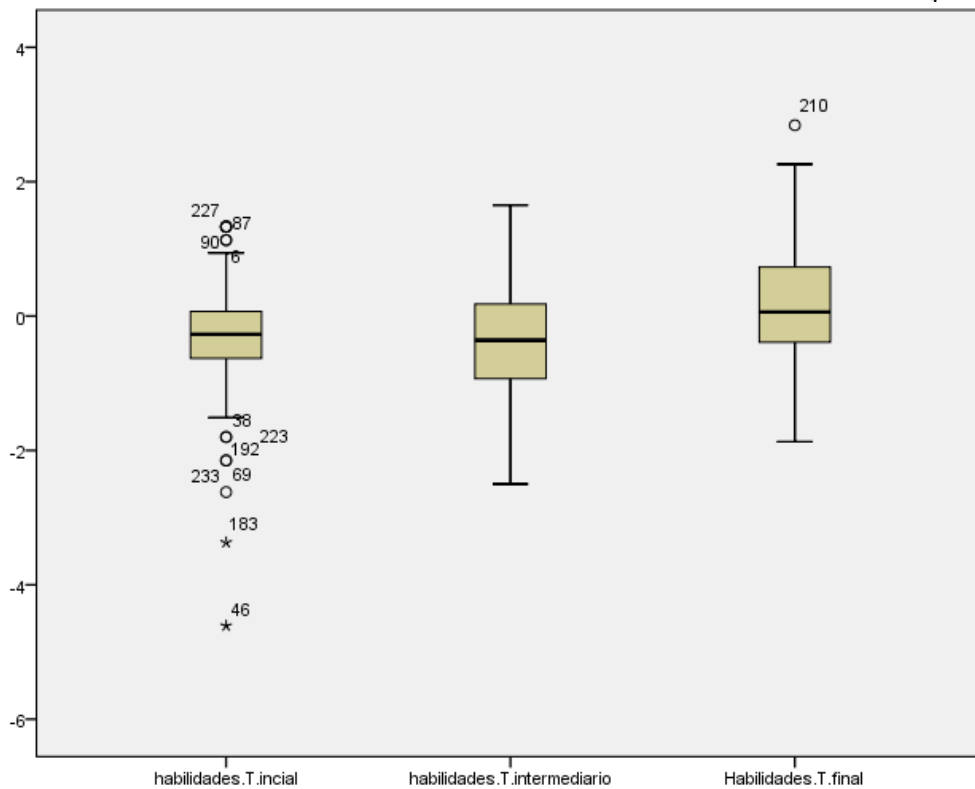
Gráfico 11. Histograma – diferença de habilidades T. final e T. inicial – Todos estudantes



Fonte: dados da pesquisa

Para visualizar como os valores das habilidades estão distribuídos na amostra, bem como identificar valores extremos, geramos o diagrama de caixa e bigodes ou *Box Plot*, como mostra o Gráfico 12.

Gráfico 12. *Box Plot* – habilidade – estudantes submetidos a todas as intervenções



Fonte: dados da pesquisa

No *Box Plot* apresentado temos a distribuição das habilidades de todos os estudantes ao responderem o teste inicial, teste intermediário e teste final. O traço no centro da caixa representa a mediana das habilidades dos estudantes e os números fora da caixa e dos bigodes correspondem às habilidades dos estudantes com valores extremos ou atípicos (*outliers*) (DANCEY e REIDY, 2013). Vê-se que no teste inicial tem-se vários estudantes com valores atípicos de habilidade, o que é justificável pelo fato de ser um teste de conhecimento prévio de conteúdo ainda não estudado. Não houve nenhum valor atípico para a habilidade dos estudantes no teste intermediário e apenas um no teste final, uma vez que há mais homogeneidade das respostas dos estudantes no decorrer das intervenções.

Para verificar o entendimento dos estudantes nos três momentos de mensuração (três testes de conhecimento), calculamos as médias das habilidades (em unidade de *logits*) em relação ao conteúdo de Pêndulo Simples dos 235 estudantes submetidos às intervenções: teste inicial ( $m = -0,30540$ ,  $DP = 0,73817$ ), teste intermediário ( $m = -0,34421$ ,  $DP = 0,777669$ ) e teste final ( $m = 0,11532$ ,  $DP = 0,876168$ ). No entanto, o que queremos verificar é o ganho de entendimento, que corresponde às diferenças nas médias das habilidades dos estudantes. Estes valores estão dispostos na coluna das médias ( $m$ ) na Tabela 25. A diferença das médias das habilidades entre o teste final e intermediário e entre o teste final e inicial, são valores positivos, o que de acordo com a teoria de habilidades dinâmicas (FISCHER, 1980) indicam ganho de entendimento e consequente aprendizagem. Já o valor negativo entre a diferença da média da habilidade no teste intermediário e inicial sugere a princípio que ocorreu uma “confusão no entendimento”, já que diminuição do entendimento não é possível.

Em sequência, temos que certificar se estas diferenças de habilidades são estatisticamente significativas ou não. Para isto realizamos um teste *t de Student*. De acordo com Dancey e Reidy (2013) o teste *t* ou *t de Student* faz parte da estatística inferencial e avalia se existe uma diferença significativa entre duas condições. Realizamos um teste *t* pareado entre: i) habilidade dos estudantes no teste intermediário e inicial, ii) habilidade dos estudantes no teste final e intermediário e iii) habilidade dos estudantes no teste final e inicial. Os resultados são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25. Diferenças de habilidades – Todas intervenções

Diferença de habilidades entre testes	<i>m</i>	DP	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>
T. Intermediário – T. Inicial	-0,038809	0,797640	-0,746	234	0,457
T. Final – T. Intermediário	0,459532	0,777266	9,063	234	0,000
T. Final – T. Inicial	0,420723	0,834567	7,728	234	0,000

Fonte: dados da pesquisa

Para o teste *t*, a hipótese nula é que as médias das duas condições são iguais. Para  $p > 0,05$  aceitamos a hipótese nula, e para  $p < 0,05$  rejeitamos a hipótese nula. Neste sentido e de acordo com a Tabela 25 não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias das diferenças de habilidades do teste intermediário e teste inicial, ou seja, as médias das dificuldades são estatisticamente iguais, descartando a indicação de “confusão do entendimento” dos estudantes, e apontando que não houve aprendizagem entre estes testes. Neste sentido, Coelho (2011) relata trajetórias de aprendizagem em que o entendimento dos estudantes oscila entre valores maiores e menores no decorrer de várias ondas de medida enquanto são submetidos a instruções educacionais. Do ponto de vista das nossas intervenções, o fato de não identificarmos aprendizagem dos estudantes entre o teste inicial e intermediário pode ser justificado de acordo com o que transcorreu entre tais testes de conhecimento. Para os estudantes submetidos à intervenção com abordagem tradicional, entre o teste inicial e o teste intermediário ocorreu aula expositiva com duração de 2 h/a (100 minutos) em conformidade com a sugestão de aula expositiva disponível no apêndice B. Este resultado da pesquisa, em que não identificamos aprendizagem após aula expositiva, está de acordo com Ferreira (2018) ao afirmar que se aprende muito pouco do que apenas ouvimos. Já para os estudantes que tiveram intervenção investigativa, entre o teste inicial e teste intermediário, foram realizadas as três primeiras atividades da SEI (apêndice A), também num tempo de 2 h/a. Estas três atividades relacionam o período de oscilação do Pêndulo Simples respectivamente com a amplitude de oscilação, massa e comprimento do fio do Pêndulo e não chegam a apresentar a equação do período do Pêndulo Simples, o que é insuficiente para abarcar todas as habilidades necessárias para um bom desempenho nos testes de conhecimento.

Por outro lado, conforme Tabela 25, houve diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre as diferenças de habilidades no teste final e inicial e também entre o teste final e intermediário. Assim, temos evidências estatísticas de que houve aprendizagem do conteúdo de Pêndulo Simples para os estudantes submetidos às intervenções propostas. Neste

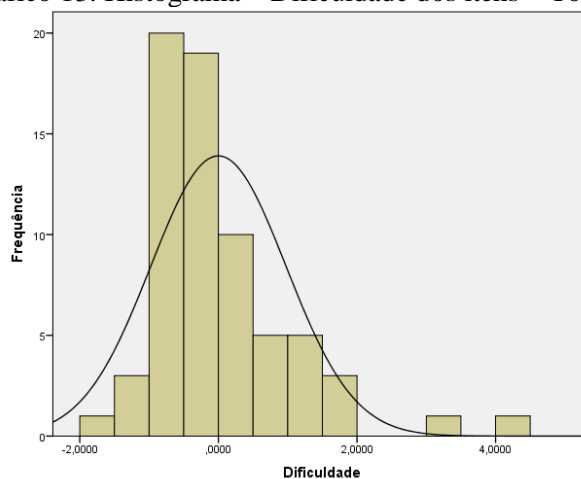
sentido, a partir daqui, para verificar se houve aprendizagem consideraremos a diferença de habilidade dos estudantes entre o teste final e teste inicial.

### 9.3.2. Aprendizagem das habilidades específicas

Neste tópico queremos investigar: como ocorreu a aprendizagem das habilidades específicas (conceitual, procedimental e aplicação da ferramenta matemática) dos estudantes submetidos às intervenções? Houve diferença de aprendizagem das habilidades considerando todos estudantes submetidos às intervenções? Qual habilidade foi mais aprendida? Para responder essas perguntas utilizamos como dados secundários a dificuldade dos itens<sup>20</sup> (o grau de esforço, de demanda e exigência para a resolução que os itens têm) gerados pelo software Winsteps 3.70 (LINACRE, 2010) por meio da Modelagem Rasch que teve como dados primários os escores dos estudantes a estes itens. A dificuldade dos itens, gerada pela Modelagem Rasch, corresponde a uma escala intervalar de *logits*, assim como a proficiência/habilidade.

Para a realização de algumas análises, utilizamos testes clássicos pelo software SPSS (IBM\_CORP, 2011). Para verificar a normalidade dos dados realizamos o teste *Kolmogorov-Smirnov* e geramos o histograma (Gráfico 13). De acordo com o resultado do teste *Kolmogorov-Smirnov* ( $N = 68$ ,  $Z = 1,212$ ,  $p = 0,106$ ), aceitamos a hipótese nula para o teste de normalidade, ou seja, a dificuldade dos itens segue uma distribuição normal, que pode ser visualizada pelo histograma abaixo ( $m = 0,00$ ,  $DP = 0,9754$ ).

Gráfico 13. Histograma – Dificuldade dos itens – Todos estudantes



Fonte: dados da pesquisa

<sup>20</sup> Ver em anexo E.

Considerando as médias das dificuldades dos itens por habilidade específica nos três testes de conhecimento: conceitual ( $m = -0,179583$ ,  $DP = 0,8155045$ ), procedimental ( $m = 0,456667$ ,  $DP = 1,3656586$ ) e aplicação da ferramenta matemática ( $m = -0,230000$ ,  $DP = 0,9753690$ ), temos aqui os primeiros indícios de que os itens conceituais e de aplicação da ferramenta matemática foram mais aprendidos por todos os estudantes, uma vez que apresentam menores dificuldades comparadas aos itens de natureza procedimental.

Para verificar a homogeneidade das variâncias das dificuldades dos itens realizamos a estatística de Levene ( $F = 3,609$ ,  $L = 0,215$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 65$ ,  $p = 0,003$ ), resultando numa variação entre os grupos significativamente diferente; portanto, a suposição de homogeneidade das variâncias não foi satisfeita. Em decorrência destes resultados, examinamos se há diferença significativa entre as médias de dificuldades dos itens através da ANOVA, porém por meio da estatística *Tamhane* do teste *Post Hoc*, que não assume igualdade de variâncias. Tais testes estatísticos foram realizados mediante múltiplas comparações entre as dificuldades dos itens nos três testes de conhecimento, de acordo com as habilidades específicas (conceitual, procedimental e aplicação da ferramenta matemática). Os resultados das comparações do teste *Post Hoc* entre a dimensão procedimental e conceitual ( $m = 0,6362500$ ,  $p = 0,200$ ), conceitual e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,0504167$ ,  $p = 0,991$ ) e procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,6866667$ ,  $p = 0,111$ ), não foram estatisticamente significativos. Assim, por esse procedimento, não houve evidência estatisticamente significativa de que os itens conceituais e de aplicação da ferramenta matemática foram mais aprendidos que os itens procedimentais.

A partir de agora vamos analisar a aprendizagem das dimensões específicas separadas por teste de conhecimento. Para isto utilizaremos as médias das dificuldade dos itens (em unidade de *logits*) conforme apresentados na Tabela 26 e as medianas e distribuição das habilidades apresentados no Gráfico 14.

Tabela 26. Dificuldade dos itens – Todos estudantes

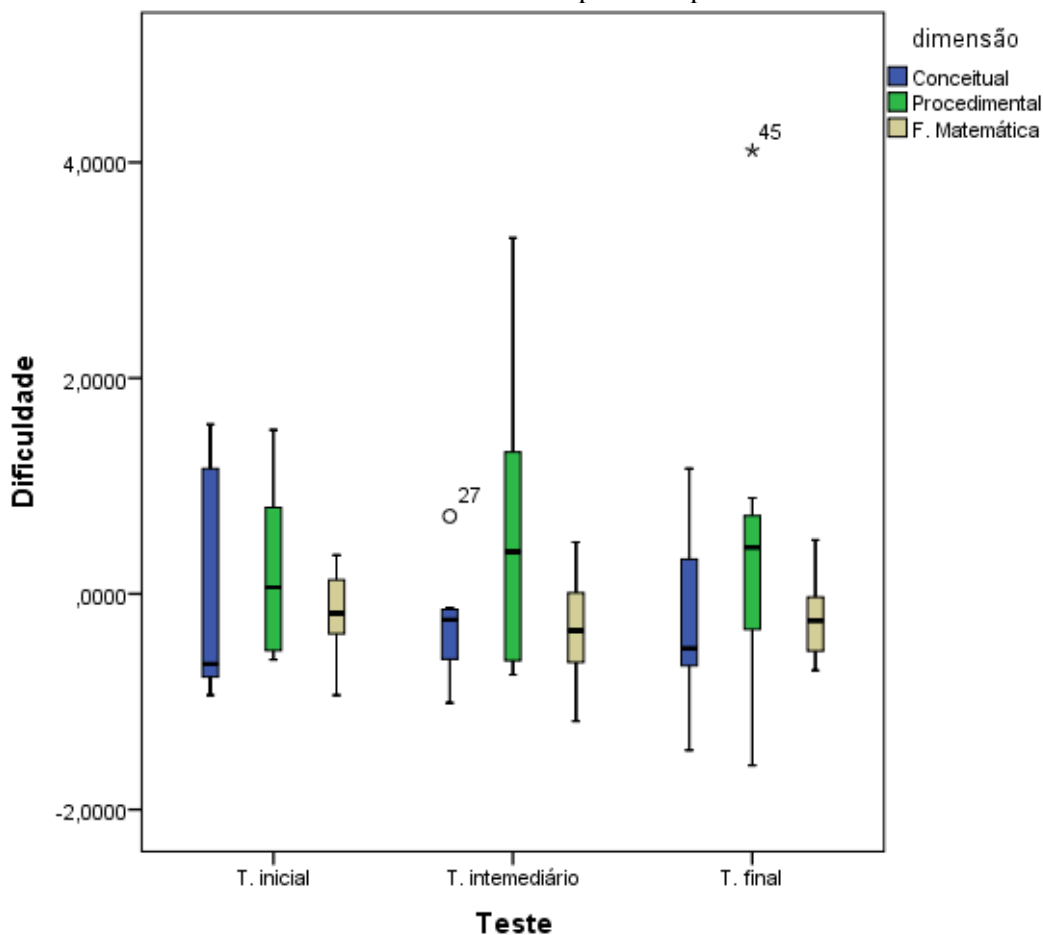
Teste	Habilidade específica	Médias	D. Padrão
Inicial	Conceitual	-0,032222	1,0222497
	Procedimental	0,217143	0,8643054
	F. Matemática	-0,177143	0,4506556
Intermediário	Conceitual	-0,290000	0,5450382
	Procedimental	0,618571	1,4863650
	F. Matemática	-0,327143	0,5746510
Final	Conceitual	-0,248750	0,8310654

Procedimental	0,534286	1,7764840
F. Matemática	-0,195556	0,4297124

Fonte: dados da pesquisa

Os itens da dimensão procedimental foram na média os mais difíceis para os três testes de conhecimento. Os itens da dimensão de aplicação da ferramenta matemática foram os mais fáceis no teste inicial e intermediário e os itens conceituais foram os mais fáceis no teste final. O que a princípio indica que parece haver maior aprendizagem<sup>21</sup> pelos estudantes dos itens conceituais e de aplicação da ferramenta matemática em comparação aos itens procedimentais.

Gráfico 14. *Box Plot* - Dimensões específicas por teste – Todos estudantes



Fonte: dados da pesquisa

No entanto, para afirmarmos se houve aprendizagem diferente das habilidades específicas nos testes de conhecimento, verificamos se as diferenças nas médias das

<sup>21</sup> Já que apresentaram menor média da dificuldade dos itens. É bom recordar que os testes foram elaborados com aproximadamente a mesma quantidade de itens de cada dimensão específica e com semelhantes níveis de dificuldade.

dificuldades dos itens são ou não estatisticamente significativas, através de múltiplas comparações por meio da ANOVA. Dentro da estatística ANOVA, optamos por realizar os testes *Post Hoc* do tipo *Tamhane* (não assume igualdade de variâncias) ou *Bonferroni* (assume igualdade de variâncias). E para certificar a igualdade das variâncias utilizamos a estatística de Levene, que tem como hipótese nula a homogeneidade das variâncias dos grupos testados.

No teste inicial a estatística de Levene ( $L = 4,592$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 20$ ,  $p = 0,023$ ) resultou numa variação entre os grupos significativamente diferente, portanto, a suposição de homogeneidade das variâncias não foi satisfeita. Assim, utilizamos as comparações de médias de acordo com o teste de *Tamhane*. Comparando as diferenças de médias da dificuldade dos itens: conceitual e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,1449206$ ,  $p = 0,976$ ), procedimental e conceitual ( $m = 0,2493651$ ,  $p = 0,939$ ) e procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,3942857$ ,  $p = 0,675$ ), não constatamos nenhuma diferença de média estatisticamente significativa, já que  $p > 0,05$  em todos os casos.

No teste intermediário também utilizamos o teste de *Tamhane* devido aos resultados da estatística de Levene ( $L = 4,635$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 18$ ,  $p = 0,024$ ). Ao comparar as diferenças de médias entre os itens: conceitual e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,0371429$ ,  $p = 0,999$ ), procedimental e conceitual ( $m = 0,9085714$ ,  $p = 0,427$ ) e procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,9457143$ ,  $p = 0,399$ ), também não tivemos evidências de diferença significativas entre a aprendizagem das diferentes habilidades específicas.

Por outro lado, no teste final a estatística de Levene ( $L = 2,133$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 21$ ,  $p = 0,143$ ) resultou em homogeneidade das variância, assim utilizamos o teste de *Bonferroni*. No entanto, os resultados continuaram os mesmos, ou seja, não houve diferença estatisticamente significativa ao comparar as diferenças de médias da dificuldade dos itens: procedimental e conceitual ( $m = 0,7830357$ ,  $p = 0,546$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,7298413$ ,  $p = 0,602$ ) e aplicação da ferramenta matemática e conceitual ( $m = 0,0531944$ ,  $p = 1,000$ ).

Por fim, nesta seção apresentamos os primeiros indícios de que os itens que requerem dos estudantes as habilidades conceituais e de aplicação da ferramenta matemática foram mais aprendidos do que os itens que demandam a habilidade procedimental. Como não houve diferenças de médias entre as dificuldade dos itens nas três dimensões específicas que fossem estatisticamente significativas, os resultados apresentados são indicações e não



evidências. Não obstante, essas indicações são importantes para um primeiro estudo dessa natureza, que poderá ser aprofundado em pesquisas futuras.

## 10. ANÁLISES E DISCUSSÕES: PARTE II

Nesta seção expomos as demais análises, resultados e discussões gerados a partir dos dados das intervenções descritas no capítulo 8.

### 10.1. INTERVENÇÃO INVESTIGATIVA X INTERVENÇÃO TRADICIONAL

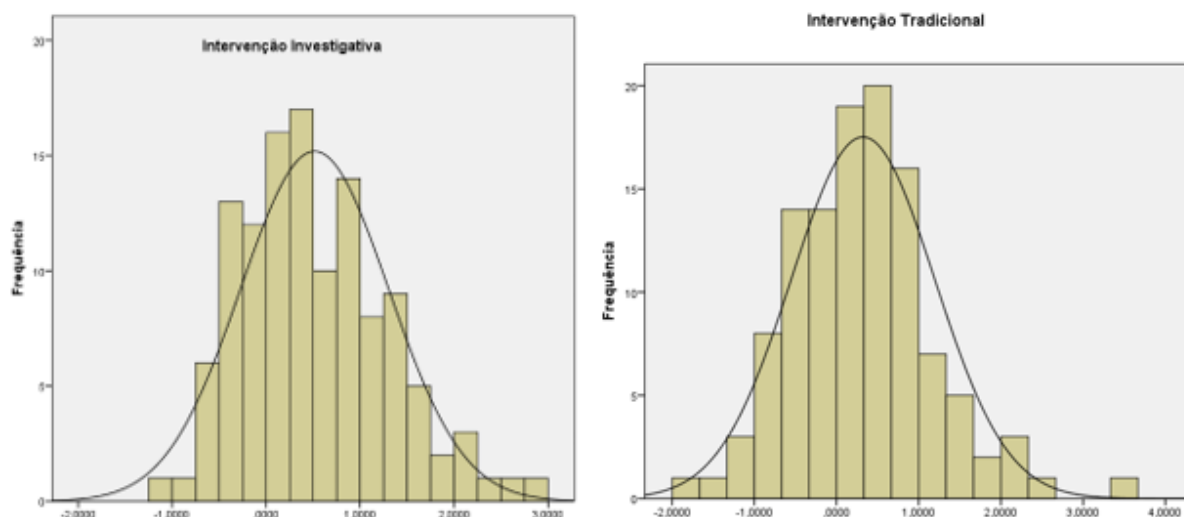
Neste tópico analisamos a aprendizagem dos estudantes separando-os conforme a abordagem tradicional ou investigativa ao qual foram submetidos durante as intervenções. Seis turmas foram submetidas à intervenção do tipo investigativa (três turmas no ambiente material e três no ambiente virtual) e outras seis turmas submetidas à intervenção do tipo tradicional (três turmas no ambiente material e três no ambiente virtual), conforme apresentado anteriormente no Quadro 9 e Quadro 10.

#### 10.1.1. Investigativo X Tradicional – conteúdo de Pêndulo Simples

Aqui queremos responder as seguintes perguntas: Houve aprendizagem dos estudantes submetidos a ambas abordagens (investigativa e tradicional)? Houve diferença de aprendizagem devido a abordagem de ensino tradicional e investigativa? Se a resposta à pergunta anterior for afirmativa, qual abordagem obteve maior aprendizagem? Como dados, utilizamos as medidas das habilidades dos estudantes (anexos B, C e D), separando os estudantes conforme a abordagem a qual foram submetidos (abordagem tradicional: estudantes 01 a 206; abordagem investigativa: estudantes 207 a 373). Do mesmo modo da análise feita com todos os estudantes, aqui verificamos se houve ganho no entendimento comparando as diferenças das medidas das habilidades dos respectivos estudantes entre o teste de conhecimento final e inicial.

Como feito anteriormente, verificamos a aderência à normalidade através do teste de *Kolmogorov-Smirnov* e histograma. Tanto para os estudantes submetidos à abordagem investigativa o teste *Kolmogorov-Smirnov* ( $N = 120$ ,  $Z = 0,759$ ,  $p = 0,612$ ) quanto para os estudantes submetidos à abordagem tradicional, *Kolmogorov-Smirnov* ( $N = 115$ ,  $Z = 0,619$ ,  $p = 0,838$ ), tivemos distribuição normal dos dados. Estas distribuições podem ser visualizadas pelo Gráfico 15; intervenção investigativa ( $m = 0,5152$ ,  $DP = 0,7881$ ) e intervenção tradicional ( $m = 0,3222$ ,  $DP = 0,8730$ ).

Gráfico 15. Histograma - diferença de habilidades T. Final - T. Inicial - Intervenção investigativa e tradicional



Fonte: dados da pesquisa

De acordo com a perspectiva de aprendizagem adotada em nosso estudo, a diferença das médias de proficiência/habilidade dos estudantes entre o teste final e inicial, indicam um ganho que interpretamos como aprendizagem do conteúdo. Neste sentido, o valor positivo entre as diferenças de médias da proficiência/habilidade dos estudantes entre o teste final e inicial, tanto para a abordagem investigativa ( $m = 0,515167 \text{ logits}$ ) quanto tradicional ( $m = 0,322174 \text{ logits}$ ), nos dá indícios de que houve aprendizagem. Contudo, temos que verificar se esse ganho de entendimento (aprendizagem) foi estatisticamente significativo. Para isto realizamos um teste *t de Student* pareado, que de acordo com os resultados mostrados na Tabela 27, para as duas abordagens  $p < 0,05$ , ou seja, as diferenças de médias são estatisticamente significativas. Podemos afirmar agora que, mais do que indícios, temos evidências de que ocorreu aprendizagem para os estudantes submetidos à abordagem investigativa e tradicional.

Tabela 27. Diferença de habilidades - Intervenção investigativa e tradicional

Intervenção	Diferença de habilidades	$m$	DP	$t$	$Gl$	$p$
Investigativa	T. Final – T. Inicial	0,515167	0,788119	7,161	119	0,000
Tradicional	T. Final – T. Inicial	0,322174	0,872984	3,95	114	0,000

Fonte: dados da pesquisa

Ainda de acordo com a Tabela 27, temos que a aprendizagem dos estudantes submetidos à intervenção investigativa é maior que a aprendizagem dos estudantes

submetidos à intervenção tradicional, conforme a diferença das médias das habilidades. A princípio estes resultados podem indicar que houve mais aprendizagem de uma abordagem em relação a outra.

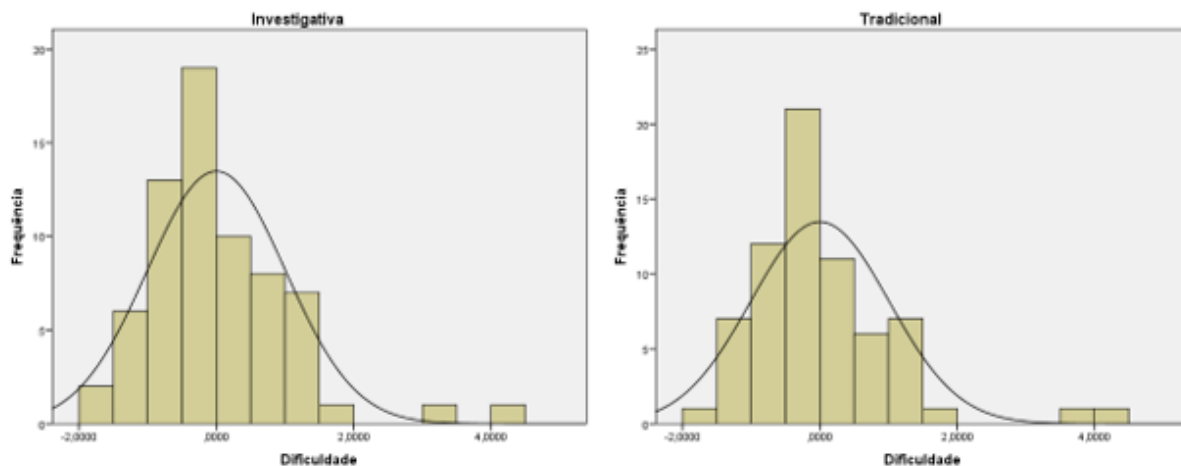
Entretanto, temos que verificar se esta diferença no ganho de entendimento é estatisticamente significativa. Para isto, realizamos um teste *t* de *Student* para amostras independentes, relacionando a diferença das medidas das habilidades dos estudantes entre o teste final e inicial nas abordagens investigativa e tradicional. Os resultados mostram que não houve diferença estatisticamente significativa para o nível de significância de 95% ( $t = 1,780$ ,  $gl = 233$ ,  $p = 0,076$ ), porém se considerarmos o nível de significância de 90%, podemos afirmar que há evidência estatística da maior aprendizagem dos estudantes submetidos à abordagem investigativa. As diferenças de habilidades comparadas são homogêneas de acordo com o teste de Levene ( $p = 0,507$ ).

#### 10.1.2. Investigativo X Tradicional em termos de habilidades específicas

Aqui procuramos responder: Como ocorreu a aprendizagem das habilidades específicas (conceitual, procedimental e aplicação da ferramenta matemática) na abordagem investigativa e tradicional? Houve diferença de aprendizagem das habilidades específicas dos estudantes submetidos à abordagem investigativa e tradicional? Qual habilidade foi mais aprendida em cada abordagem? Utilizamos como dados secundários a dificuldade dos itens (escala intervalar de *logits*), calculados conforme modelagem Rasch e dispostos por abordagem investigativa (anexo F) e tradicional (anexo G). O cálculo da dificuldade dos itens está intimamente ligado aos dados primários que são as respostas dos estudantes aos três testes de conhecimento.

A distribuição normal foi confirmada pelo teste *Kolmogorov-Smirnov* para os dados provenientes da abordagem investigativa ( $N = 68$ ,  $Z = 0,996$ ,  $p = 0,309$ ) e tradicional ( $N = 68$ ,  $Z = 1,077$ ,  $p = 0,196$ ) e pelos histogramas do Gráfico 16.

Gráfico 16. Histograma - dificuldade dos itens - Intervenção investigativa e tradicional



Fonte: dados da pesquisa

A Tabela 28 apresenta as médias das dificuldades dos itens nos três testes de conhecimento para os estudantes participantes da intervenção investigativa e tradicional. Estes resultados são complementados pelo Gráfico 17 e Gráfico 18. Ambos gráficos representam a distribuição das dificuldade dos itens de cada dimensão específica por teste de conhecimento, para a abordagem investigativa e tradicional.

Tabela 28. Dificuldade dos itens - Intervenção investigativa e tradicional

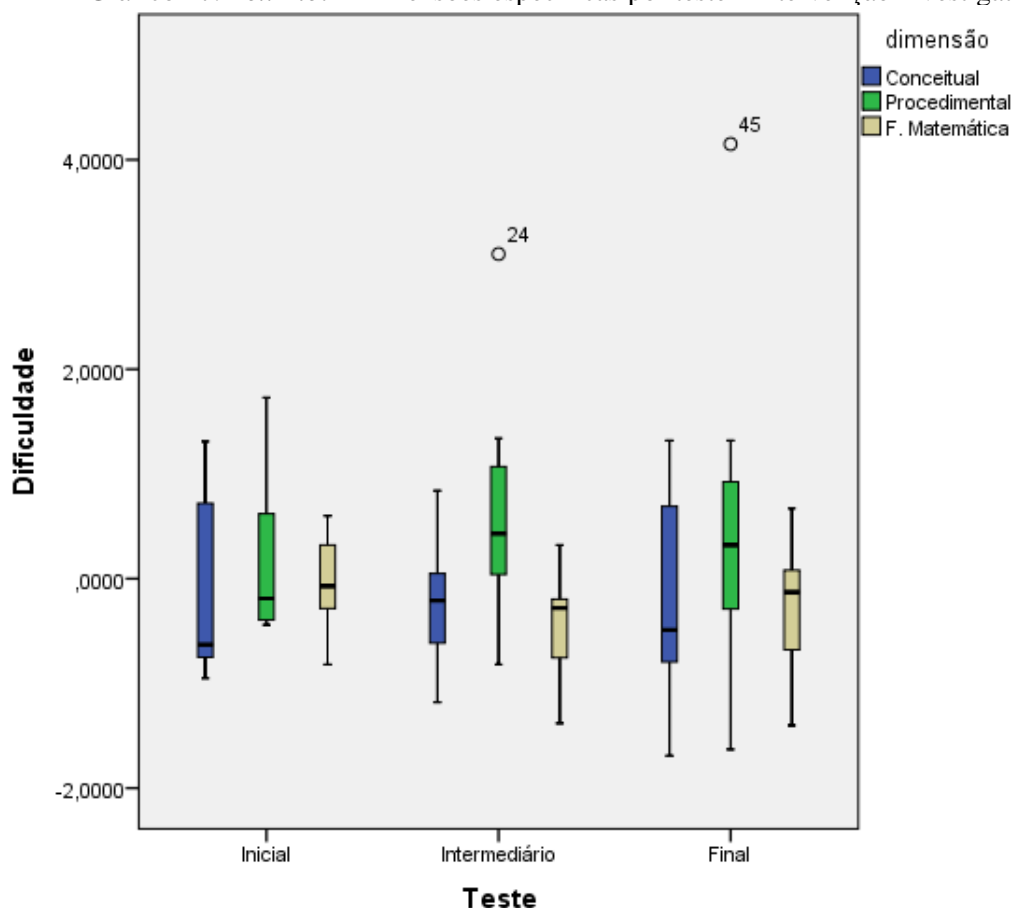
Teste	Habilidade específica	Médias- Investigativa	Médias- Tradicional
Inicial	Conceitual	-0,147778	-0,001111
	Procedimental	0,221429	0,270000
	F. Matemática	-0,031429	-0,268571
Intermediário	Conceitual	-0,240000	-0,347143
	Procedimental	0,704286	0,552857
	F. Matemática	-0,462867	-0,208571
Final	Conceitual	-0,195000	-0,292500
	Procedimental	0,587143	0,512857
	F. Matemática	-0,283333	-0,137778

Fonte: dados da pesquisa

Os resultados encontrados no teste inicial indicam maior dificuldade dos itens procedimentais nas duas abordagens, em comparação aos itens conceituais e de aplicação da ferramenta matemática. Os estudantes submetidos à abordagem investigativa ( $m = 0,221429$  logits) apresentaram um conhecimento prévio um pouco superior em relação aos estudantes da abordagem tradicional ( $m = 0,270000$  logits) no tocante aos itens procedimentais. Já o conhecimento prévio em referência à habilidade específica conceitual e de aplicação da

ferramenta matemática, foram alternadas entre si, ou seja, os itens conceituais foram mais difíceis para estudantes que tiveram intervenção tradicional ( $m = -0,001111$  logits) e os itens de aplicação da ferramenta matemática foram mais difíceis para os estudante submetidos à intervenção investigativa ( $m = -0,031429$ ). Considerando as dimensões específicas dentro da mesma abordagem, nenhuma das diferenças de média entre as dificuldades dos itens foram estatisticamente significativas para o nível de significância de 95%.

Gráfico 17. *Box Plot* - Dimensões específicas por teste - Intervenção investigativa



Fonte: dados da pesquisa<sup>22</sup>

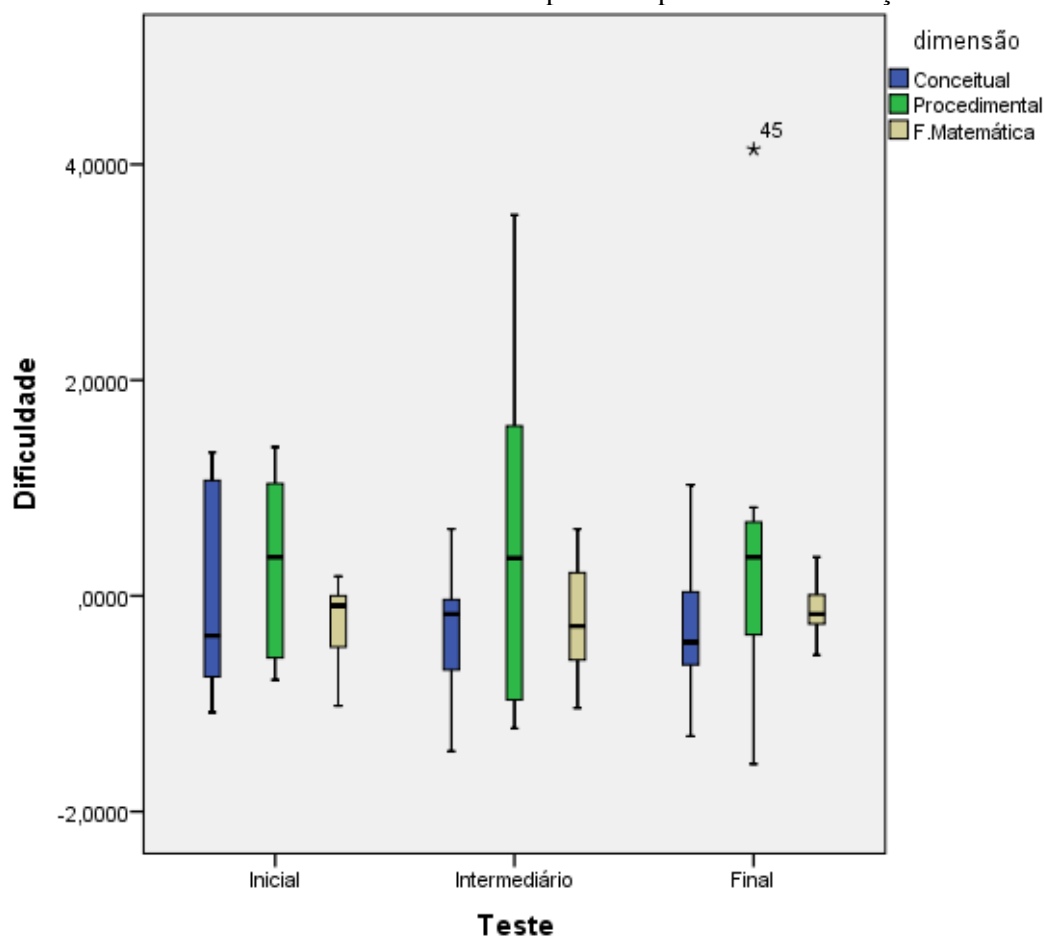
Para a abordagem investigativa houve homogeneidade das variâncias ( $L = 2,828$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 20$ ,  $p = 0,083$ ), assim os resultados do teste de *Bonferroni* da estatística ANOVA para as diferenças de médias foram: procedimental e conceitual ( $m = 0,3692063$ ,  $p = 1,000$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,2528571$ ,  $p = 1,000$ ) e aplicação da ferramenta matemática e conceitual ( $m = 0,1163492$ ,  $p = 1,000$ ). Para a abordagem tradicional não foi satisfeita a homogeneidade das variâncias ( $L = 4,537$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 20$ ,  $p$

<sup>22</sup> Correspondência entre número e item: 24-ME5A; 45-ME12B

= 0,024), assim utilizamos do teste de *Tamhane* da estatística ANOVA, sendo os resultados das diferenças de médias das dificuldades: procedimental e conceitual ( $m = 0,2711111$ ,  $p = 0,924$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,5385714$ ,  $p = 0,481$ ) e conceitual e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,2674603$ ,  $p = 0,854$ ).

Analisando os resultados no teste intermediário temos que, do mesmo modo que no teste inicial, a dificuldade dos itens procedimentais é maior do que a dificuldade das outras dimensões específicas para ambas abordagens, porém agora a dificuldade foi menor para os estudantes submetidos à abordagem tradicional ( $m = 0,552857$  *logits*). A maior dificuldade dos itens nas dimensões específicas conceitual e aplicação da ferramenta matemática se alternam para a abordagem tradicional e investigativa, e de modo oposto ao observado no teste inicial, isto é, agora os itens conceituais foram mais difíceis para estudantes que tiveram abordagens investigativa ( $m = -0,240000$  *logits*) e itens de aplicação da ferramenta matemática mais difíceis para estudantes submetidos à abordagem tradicional ( $m = -0,208571$  *logits*). Ao considerarmos as diferenças de médias através da ANOVA das dimensões específicas dentro da mesma abordagem, novamente não constatamos diferenças estatisticamente significativas para nível de significância de 95%, porém considerando o nível de significância de 90%, houve diferença significativa entre as diferenças de médias da dimensão procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 1,1671429$ ,  $p = 0,072$ ) para os estudantes que tiveram intervenção investigativa. Sendo que houve homogeneidade das variâncias para as diferenças de média ( $L = 1,439$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 18$ ,  $p = 0,263$ ), as outras duas comparações de média para estes estudantes de acordo com os resultados do teste de *Bonferroni* foram: procedimental e conceitual ( $m = 0,9442857$ ,  $p = 0,185$ ) e conceitual e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,2228571$ ,  $p = 1,000$ ). Levando em consideração os estudantes submetidos à intervenção tradicional, não houve homogeneidade das variâncias ( $L = 6,028$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 18$ ,  $p = 0,010$ ), e os resultados das comparações das médias segundo *Tamhane* foram: procedimental e conceitual ( $m = 0,9000000$ ,  $p = 0,572$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,7614286$ ,  $p = 0,684$ ) e aplicação da ferramenta matemática e conceitual ( $m = 0,1385714$ ,  $p = 0,972$ ).

Gráfico 18. *Box Plot* - Dimensões específicas por teste - Intervenção tradicional



Fonte: dados da pesquisa<sup>23</sup>

O teste final, o qual consideramos mais conclusivo para a análise de aprendizagem das habilidades específicas, mais uma vez apontou os itens procedimentais mais difíceis que os itens conceituais e de aplicação da ferramenta matemática. Os resultados apontam que os itens procedimentais foram mais aprendidos pelos estudantes submetidos à intervenção tradicional ( $m = 0,512857$  logits) em comparação aos estudantes que tiveram intervenção investigativa ( $m = 0,587143$  logits), sendo este resultado o mesmo para a dimensão específica conceitual – tradicional ( $m = -0,292500$  logits); investigativa ( $m = -0,195000$  logits) -. Já para a dimensão específica de aplicação da ferramenta matemática tivemos indicação de maior aprendizagem pelos estudantes submetidos à intervenção investigativa. Por outro lado, ao compararmos as médias através da ANOVA, das dimensões específicas no teste final dentro da mesma abordagem, não houve nenhuma diferença estatisticamente significativa. Para a abordagem investigativa ( $L = 1,379$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 21$ ,  $p = 0,274$ ) e tradicional ( $L = 2,966$ ,  $gl1$

<sup>23</sup> Correspondência entre número e item:45-ME12B



= 2,  $gl2 = 21$ ,  $p = 0,073$ ), houve homogeneidade das variâncias, assim utilizamos o teste de *Bonferroni* da estatística *Post Hoc*. Os resultados das comparações das médias das dificuldades dos itens para a intervenção investigativa foram: procedimental e conceitual ( $m = 0,7821429$ ,  $p = 0,691$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,8704762$ ,  $p = 0,518$ ) e conceitual a aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,0883333$ ,  $p = 1,000$ ). Para a intervenção tradicional: procedimental e conceitual ( $m = 0,8053571$ ,  $p = 0,463$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,6506349$ ,  $p = 0,701$ ) e aplicação da ferramenta matemática e conceitual ( $m = 0,1547222$ ,  $p = 1,000$ ).

## 10.2. LABORATÓRIO VIRTUAL X LABORATÓRIO MATERIAL

Nesta seção analisamos a aprendizagem dos estudantes separando-os conforme o ambiente de ensino material ou virtual ao qual foram submetidos durante as intervenções. Seis turmas foram submetidas à intervenção no laboratório material (três turmas com abordagem tradicional e três com abordagem investigativa) e outras seis turmas submetidas à intervenção no laboratório virtual (três turmas com abordagem tradicional e três com abordagem investigativa), conforme apresentado anteriormente no Quadro 9 e Quadro 10.

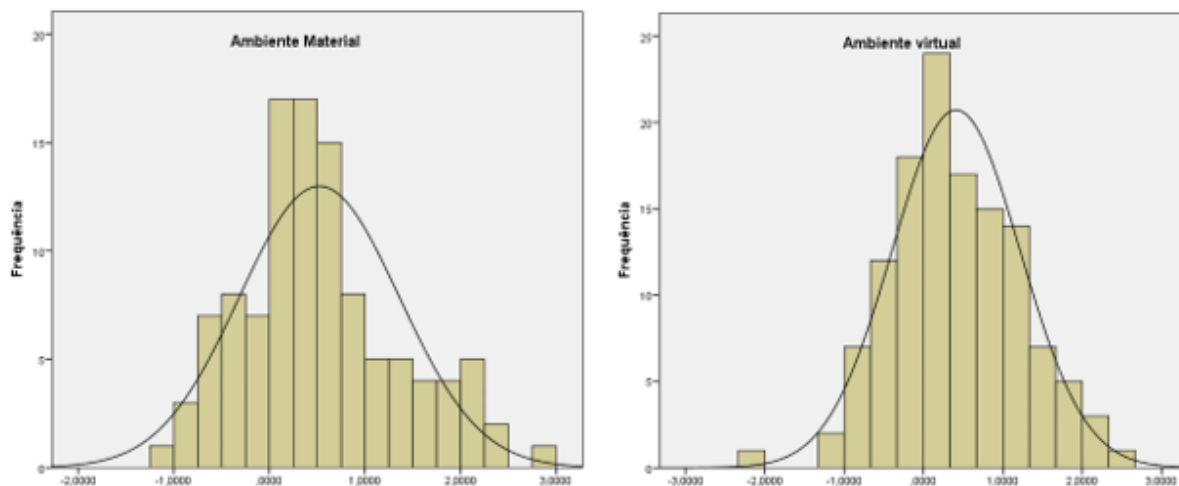
### 10.2.1. Laboratório Virtual X Material - conteúdo de Pêndulo Simples

Aqui buscamos responder as seguintes perguntas: Houve aprendizagem dos estudantes que tiveram intervenção no laboratório material e no laboratório virtual? Houve diferença de aprendizagem dos estudantes submetidos à intervenção no laboratório material e virtual? Se a resposta à pergunta anterior for afirmativa, em qual ambiente de ensino os estudantes obtiveram maior aprendizagem? Os dados utilizados para as análises foram as medidas das habilidades dos estudantes (anexos B, C e D), separando os estudantes conforme o ambiente de ensino ao qual participaram da intervenção (ambiente virtual: estudantes 01 a 97 e 207 a 293; ambiente material: estudantes 98 a 206 e 294 a 373). Em conformidade com as análises feitas anteriormente, verificamos se houve ganho no entendimento a partir das diferenças das medidas das habilidades dos respectivos estudantes entre o teste de conhecimento final e inicial.

A distribuição da habilidade dos estudantes com intervenção no ambiente material foi confirmada pelo teste *Kolmogorv-Smirnov* ( $N = 109$ ,  $Z = 1,093$ ,  $p = 0,184$ ) e histograma ( $m = 0,5217$ ,  $DP = 0,8369$ ) mostrado no lado esquerdo do Gráfico 19, bem como a

normalidade das habilidades dos estudantes submetidos à intervenção no ambiente virtual, conforme teste *Kolmogorv-Smirnov* ( $N = 126$ ,  $Z = 0,821$ ,  $p = 0,511$ ) e histograma ( $m = 0,3333$ ,  $DP = 0,8259$ ) representado pelo lado direito do Gráfico 19.

Gráfico 19. Histograma - diferença de habilidades T. Final - T. Inicial - Ambiente material e virtual



Fonte: dados da pesquisa

As médias das diferenças de habilidades para os estudantes participantes no ambiente material ( $m = 0,521743$  *logits*) e virtual ( $m = 0,333333$  *logits*) indicam que houve aprendizagem para os estudantes em ambos ambientes. Para verificar se tal ganho de entendimento entre o teste final e inicial foi estatisticamente significativo, realizamos um teste *t* de *Student* conforme resultados da Tabela 29. A hipótese nula, que corresponde a médias iguais, foi rejeitada para as diferenças de habilidades no ambiente material ( $p = 0,000$ ) e virtual ( $p = 0,000$ ), isto é, temos evidências de aprendizagem, já que houve diferença estatisticamente significativa entre a habilidade dos estudantes no teste final e teste inicial.

Tabela 29. Diferença de habilidades - Ambiente material e virtual

Ambiente	Diferença de habilidades	<i>m</i>	DP	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>
Material	T. Final – T. Inicial	0,521743	0,836884	6,509	108	0,000
Virtual	T. Final – T. Inicial	0,333333	0,825911	4,530	125	0,000

Fonte: dados da pesquisa

Ao comparar a aprendizagem dos estudantes nos dois ambientes, temos indícios de maior aprendizagem no ambiente material. Para comprovar ou refutar estes indícios, realizamos um teste de Levene ( $p = 0,829$ ) que confirmou homogeneidade das variâncias, e então um teste *t* de *Student*. De acordo com o teste *t* ( $t = 1,733$ ,  $gl = 233$ ,  $p = 0,084$ ), não

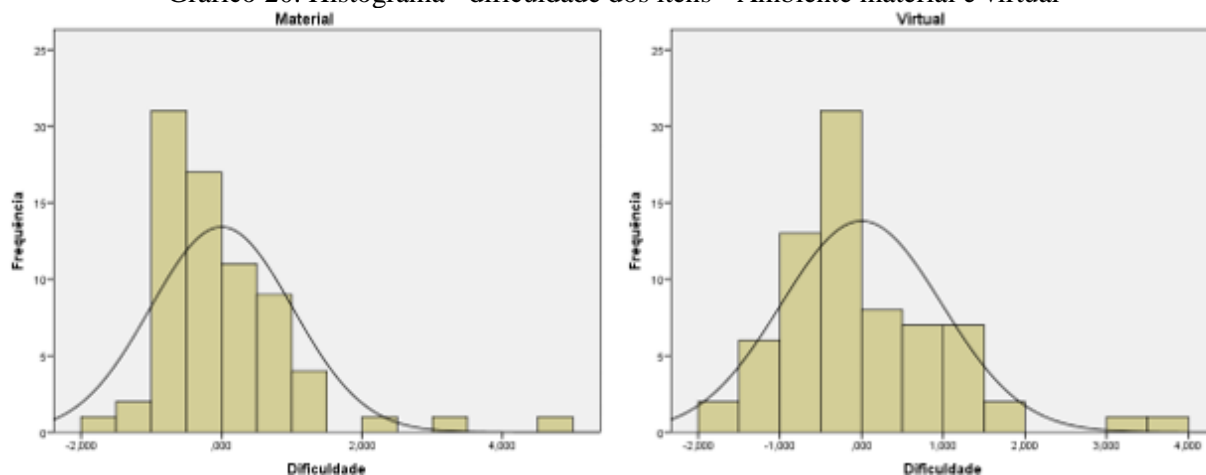
houve diferença estatisticamente significativa para a aprendizagem entre os estudantes submetidos à intervenção no ambiente material e virtual, considerando o nível de significância de 95%. Contudo, se consideramos o nível de significância de 90%, temos evidências estatísticas de que os estudantes participantes no ambiente material tiveram maior ganho de entendimento, ou seja, maior aprendizagem, comparando com os estudantes participantes da intervenção no ambiente virtual.

### 10.2.2. Laboratório Virtual X Material em termos de habilidades específicas

Nesta seção intencionamos responder as seguintes perguntas: Como ocorreu a aprendizagem das habilidades específicas (conceitual, procedimental e aplicação da ferramenta matemática) para os estudantes que tiveram intervenção no laboratório material e virtual? Houve diferença de aprendizagem das habilidades específicas dos estudantes submetidos à intervenção no laboratório material e virtual? Qual habilidade foi mais aprendida em cada ambiente? Para responder tais perguntas, utilizamos os dados secundários que corresponde à dificuldade dos itens. As dificuldades dos itens foram determinadas de acordo com a modelagem Rasch, e encontram-se nos anexos separados por ambiente material (anexo H) e ambiente virtual (anexo I).

A distribuição normal das dificuldades dos itens foi atestada pelo teste *Kolmogorov-Smirnov* dos dados oriundos dos estudantes com intervenção no ambiente material ( $N = 68$ ,  $Z = 1,069$ ,  $p = 0,203$ ) e ambiente virtual ( $N = 68$ ,  $Z = 1,103$ ,  $p = 0,175$ ), e pelos histogramas do Gráfico 20.

Gráfico 20. Histograma - dificuldade dos itens - Ambiente material e virtual



Fonte: dados da pesquisa

A Tabela 30 apresenta as dificuldades dos itens nos três testes de conhecimento para cada dimensão específica, tanto para os estudantes participantes na intervenção no ambiente material quanto para os participantes no ambiente virtual. Para visualizarmos a distribuição das dificuldades dos itens nos três testes de conhecimento e nas três dimensões específicas, geramos o Gráfico 21 para dados a partir da intervenção no ambiente material, e Gráfico 22 para dados provenientes da intervenção no ambiente virtual.

Tabela 30. Dificuldade dos itens - Ambiente material e virtual

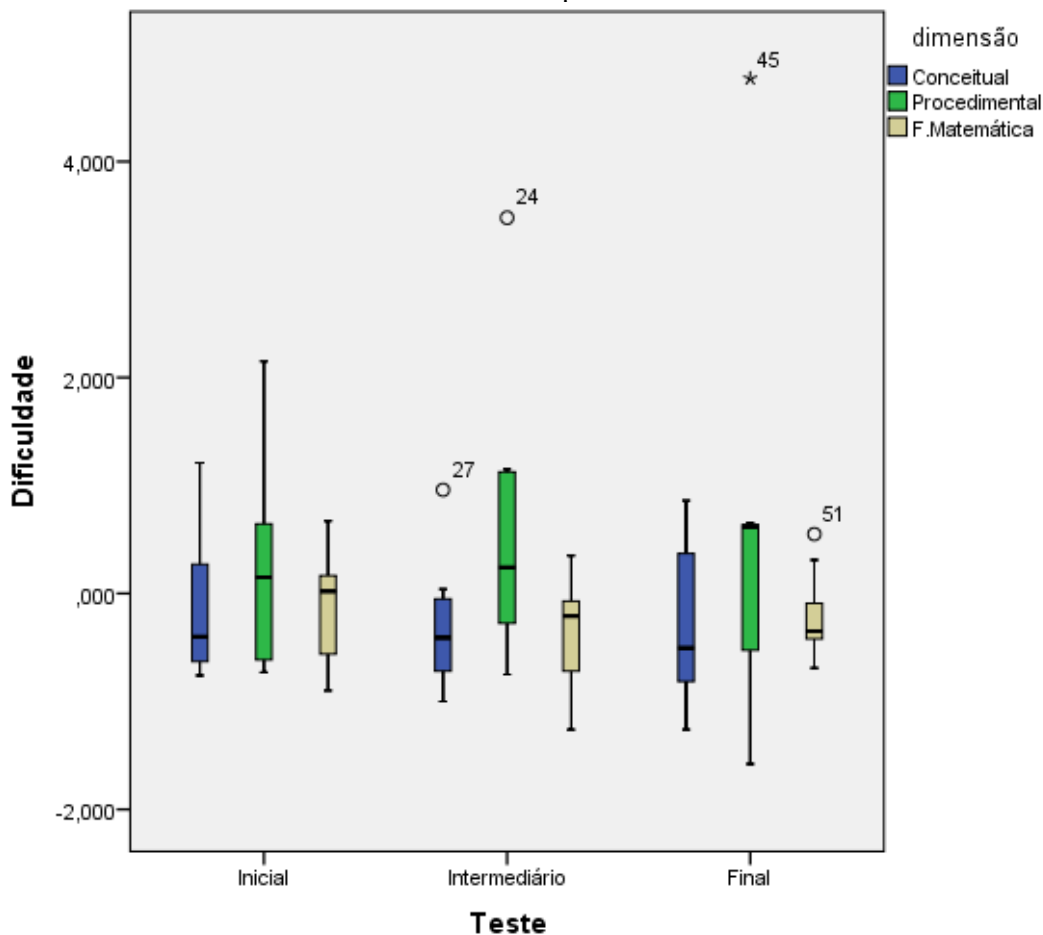
Teste	Habilidade específica	Ambiente Material	Ambiente Virtual
Inicial	Conceitual	-0,06889	-0,10333
	Procedimental	0,23286	0,28143
	F. Matemática	-0,14286	-0,14714
Intermediário	Conceitual	-0,28429	-0,30429
	Procedimental	0,66714	0,58286
	F. Matemática	-0,38571	-0,28000
Final	Conceitual	-0,28750	-0,21250
	Procedimental	0,57571	0,51286
	F. Matemática	-0,19111	-0,21222

Fonte: dados da pesquisa

Para o teste inicial temos que, em ambos ambientes os itens procedimentais foram mais difíceis que os itens de aplicação da ferramenta matemática e conceituais. Os itens conceituais foram um pouco mais fáceis para os estudantes submetidos ao ambiente virtual ( $m = -0,10333 \text{ logits}$ ) e os itens de aplicação da ferramenta matemática tiveram aproximadamente a mesma dificuldade para ambos ambientes ( $m = -0,14 \text{ logits}$ ). Considerando as dimensões específicas dentro do mesmo ambiente, nenhuma das diferenças de médias entre as dificuldades dos itens foram estatisticamente significativas. Para os dados dos estudantes submetidos ao ambiente material houve homogeneidade das variâncias ( $L = 0,970 \text{ gl1} = 2, \text{ gl2} = 20, p = 0,396$ ), assim os resultados do teste de *Bonferroni* da estatística ANOVA para as diferenças de médias foram: procedimental e conceitual ( $m = 0,301746, p = 1,000$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,375714, p = 1,000$ ) e conceitual e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,073968, p = 1,000$ ). Para os dados da intervenção no ambiente virtual não foi satisfeita a homogeneidade das variâncias ( $L = 5,492, \text{ gl1} = 2, \text{ gl2} = 20, p = 0,013$ ), assim utilizamos do teste de *Tamhane* da estatística ANOVA, sendo os resultados das diferenças de médias das dificuldades: procedimental e conceitual ( $m =$

0,384762,  $p = 0,811$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,428571$ ,  $p = 0,593$ ) e conceitual e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,043810$ ,  $p = 0,999$ ).

Gráfico 21. Dimensões específicas - Ambiente Material

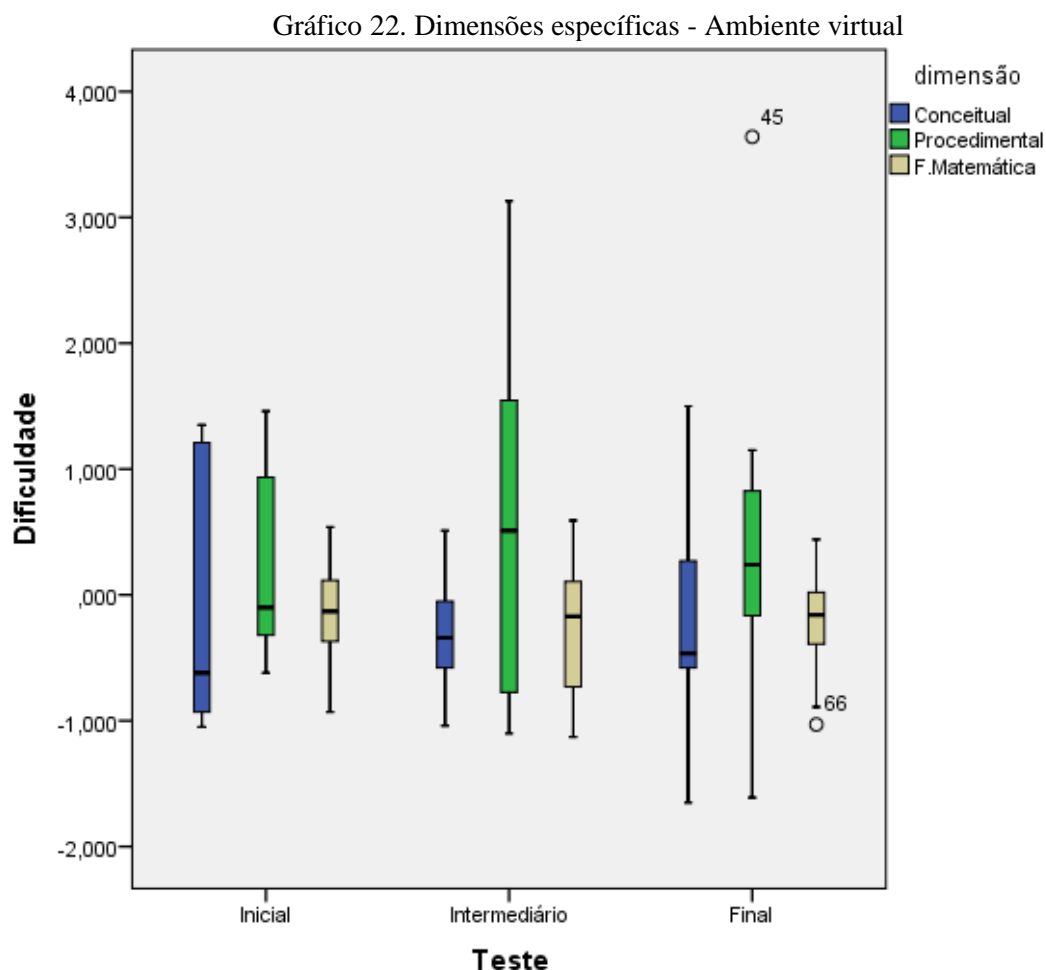


Fonte: dados da pesquisa<sup>24</sup>

Para os resultados do teste intermediário temos que, da mesma forma que no teste inicial, a dificuldade dos itens procedimentais é maior do que a dificuldade das outras dimensões específicas para intervenções nos dois ambientes de ensino. Os itens conceituais tiveram aproximadamente a mesma dificuldade na abordagem material e virtual, já os itens de aplicação da ferramenta matemática foram mais facilmente resolvidos pelos estudantes que tiveram intervenção material, pois teve menor média da dificuldade dos itens ( $m = -0,38571$  logits). Ao considerarmos as diferenças de médias através da ANOVA das dimensões específicas dentro do mesmo ambiente, novamente não constatamos diferenças de médias estatisticamente significativas. Pelo teste de Levene ( $L = 2,630$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 18$ ,  $p = 0,100$ )

<sup>24</sup> Correspondência entre número e item: 27-ME4A; 24-ME5A; 45-ME12B; 51-VF7Bc

confirmamos a homogeneidade das variâncias para as dificuldades dos itens no ambiente material, desta forma as comparações de médias foram realizadas com o teste *Bonferroni* da estatística *Post Hoc*: procedimental e conceitual ( $m = 0,951429$ ,  $p = 0,245$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 1,052857$ ,  $p = 0,169$ ) e conceitual e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,101429$ ,  $p = 1,000$ ). Levando em consideração os estudantes submetidos à intervenção no ambiente virtual, não houve homogeneidade das variâncias ( $L = 5,796$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 18$ ,  $p = 0,011$ ), e os resultados das comparações das médias segundo *Tamhane* foram: procedimental e conceitual ( $m = 0,887143$ ,  $p = 0,493$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,862857$ ,  $p = 0,525$ ) e aplicação da ferramenta matemática e conceitual ( $m = 0,024286$ ,  $p = 1,000$ ).



Fonte: dados da pesquisa<sup>25</sup>

O teste final mais uma vez indicou os itens procedimentais mais difíceis que os itens conceituais e de aplicação da ferramenta matemática. Os resultados apontam que os itens

<sup>25</sup> Correspondência entre número e item: 45-ME12B; 66-VF3Ab

procedimentais foram mais aprendidos pelos estudantes submetidos ao ambiente virtual ( $m = 0,51286$  logits) em comparação aos estudantes que tiveram intervenção no ambiente material ( $m = 0,57571$  logits). A aprendizagem da dimensão específica, aplicação da ferramenta matemática, foi aproximadamente a mesma para os dois ambientes, pois apresentaram semelhantes dificuldade dos itens. Já para a dimensão específica de conceitual, tivemos indicação de maior aprendizagem pelos estudantes submetidos à intervenção no ambiente material. Por outro lado, ao compararmos as diferenças das médias das dificuldades dos itens através da ANOVA, das dimensões específicas do teste final dentro do mesmo ambiente, não houve nenhuma diferença estatisticamente significativa. Para os dados provenientes do ambiente material ( $L = 2,349$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 21$ ,  $p = 0,120$ ) e virtual ( $L = 1,774$ ,  $gl1 = 2$ ,  $gl2 = 21$ ,  $p = 0,194$ ), houve homogeneidade das variâncias, assim utilizamos o teste de *Bonferroni* da estatística *Post Hoc*. Os resultados das comparações das médias das dificuldades dos itens para a intervenção no ambiente material foram: procedimental e conceitual ( $m = 0,863214$ ,  $p = 0,535$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,766825$ ,  $p = 0,653$ ) e aplicação da ferramenta matemática e conceitual ( $m = 0,096389$ ,  $p = 1,000$ ). E para a intervenção no ambiente virtual: procedimental e conceitual ( $m = 0,725357$ ,  $p = 0,613$ ), procedimental e aplicação da ferramenta matemática ( $m = 0,725079$ ,  $p = 0,579$ ) e aplicação da ferramenta matemática e conceitual ( $m = 0,000278$ ,  $p = 1,000$ ).

### 10.3. INTERVENÇÃO INVESTIGATIVA E TRADICIONAL NO LABORATÓRIO VIRTUAL E MATERIAL

Nas seções anteriores buscamos analisar a aprendizagem dos estudantes participantes em todas as turmas sem distinção, depois separando as análises por abordagem investigativa e tradicional, e posteriormente por ambiente material e virtual. Agora, vamos analisar a aprendizagem dos estudantes separando-os conforme a associação de abordagem e ambiente, ou seja, intervenção tradicional virtual, tradicional material, investigativa virtual e investigativa material. Para cada uma destas intervenções associando abordagem e ambiente, participaram estudantes de três turmas distintas, conforme Quadro 9 e Quadro 10.

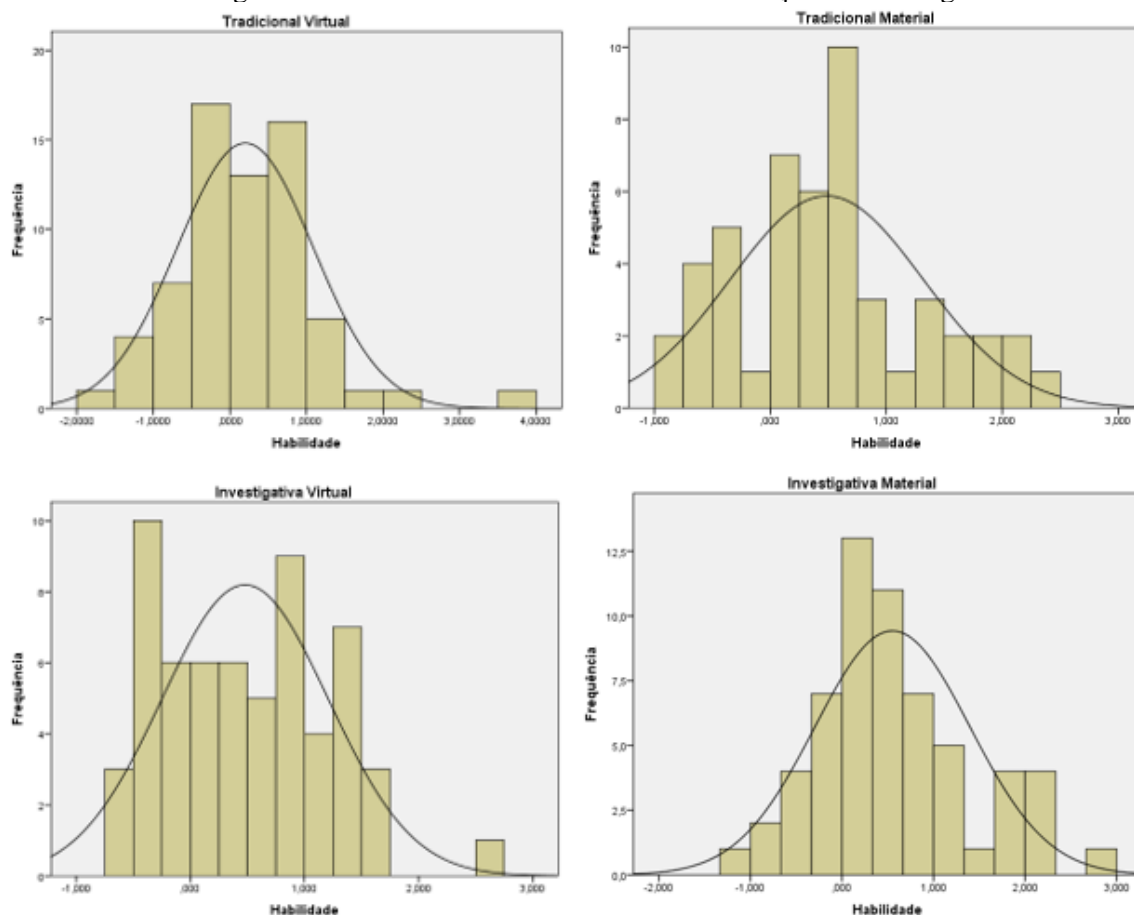
#### 10.3.1. Aprendizagem em termos do conteúdo de Pêndulo Simples

Aqui buscamos responder as seguintes perguntas: houve aprendizagem dos estudantes submetidos às diferentes combinações de abordagem e laboratório? Em qual combinação de abordagem e laboratório houve maior aprendizagem dos estudantes? Nas

intervenções em que os estudantes foram submetidos à mesma abordagem e diferente laboratório, qual obteve maior aprendizagem dos estudantes? Nas intervenções em que os estudantes foram submetidos ao mesmo laboratório e diferente abordagem, qual obteve maior aprendizagem dos estudantes? Os dados utilizados para responder estas perguntas são as habilidades dos estudantes dispostas nos anexos B, C e D, porém separadas da seguinte forma: intervenção tradicional virtual (estudantes 1 a 97), intervenção tradicional material (estudantes 98 a 206), intervenção investigativa virtual (estudantes 207 a 293) e intervenção investigativa material (estudantes 294 a 373).

A princípio verificamos a normalidade dos dados através do teste *Kolmogorv-Smirnov* e histogramas representados no Gráfico 23.

Gráfico 23. Histogramas - Habilidades dos estudantes - Associação de abordagem e ambiente



Fonte: dados da pesquisa

Os resultados encontrados foram: intervenção tradicional virtual, K-S ( $N = 66$ ,  $Z = 0,853$ ,  $p = 0,886$ ) e histograma ( $m = 0,2005$ ,  $DP = 0,8887$ ); intervenção tradicional material K-S ( $N = 49$ ,  $Z = 0,772$ ,  $p = 0,590$ ) e histograma ( $m = 0,486$ ,  $DP = 0,832$ ); intervenção



investigativa virtual K-S ( $N = 60$ ,  $Z = 0,741$ ,  $p = 0,643$ ) e histograma ( $m = 0,480$ ,  $DP = 0,730$ ) e intervenção investigativa material K-S ( $N = 60$ ,  $Z = 0,904$ ,  $p = 0,388$ ) e histograma ( $m = 0,551$ ,  $DP = 0,847$ ). Desta forma, podemos utilizar das técnicas da estatística paramétrica, uma vez que todas as distribuições das habilidades dos estudantes seguem a distribuição normal.

Para investigar o ganho de entendimento dos estudantes em cada perspectiva metodológica, verificamos as diferenças de habilidade entre o teste final e inicial. De acordo com a Tabela 31 (resultado do teste *t de Student* pareado) e considerando o nível de significância de 95%, temos evidência estatísticas que houve aprendizagem para a intervenção tradicional material ( $m = 0,486122$  *logits*,  $p = 0,000$ ), intervenção investigativa virtual ( $m = 0,479500$  *logits*,  $p = 0,000$ ) e intervenção investigativa material ( $m = 0,550833$  *logits*,  $p = 0,000$ ). No entanto, ao considerarmos o nível de significância de 90%, também temos evidência de aprendizagem para os estudantes submetidos à intervenção tradicional virtual.

Tabela 31. Diferenças de habilidades (Teste final - Teste inicial) - Associação de abordagem e ambiente

Intervenção	<i>m</i>	DP	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>
Tradicional Virtual	0,200455	0,888713	1,832	65	0,071
Tradicional Material	0,486122	0,832253	4,089	48	0,000
Investigativa Virtual	0,479500	0,730466	5,085	59	0,000
Investigativa Material	0,550833	0,846535	5,040	59	0,000

Fonte: dados da pesquisa

A Tabela 32 apresenta os resultados do teste *t de Student* independente, realizado para verificarmos se há diferença de aprendizagem estatisticamente significativa entre diferentes intervenções. Ao considerarmos a intervenção com abordagem tradicional, o maior ganho de entendimento foi para os estudantes participantes no ambiente material ( $m = 0,486122$  *logits*) em comparação ao ambiente virtual ( $m = 0,200455$  *logits*). Essa diferença no ganho de entendimento é estatisticamente significativa para o nível significância de 90%. Neste sentido, temos evidências de que na abordagem tradicional, o ambiente material favorece mais a aprendizagem de conteúdo formal do que o ambiente virtual.

Na abordagem investigativa, tivemos indícios de maior aprendizagem também para o ambiente material ( $m = 0,550833$  *logits*) comparado ao ambiente virtual ( $m = 0,479500$  *logits*), contudo esta diferença não tem significância estatística ( $p = 0,622$ ). Assim, o resultado

encontrado sugere que para a abordagem do tipo investigativa, a aprendizagem de conteúdo formal é a mesma para intervenção no ambiente material e virtual.

Tabela 32. Comparando a aprendizagem com diferentes associações de abordagem e ambiente

Associação de abordagem e ambiente	Levene		Diferença de médias		
	p	t	gl	m	p
Tradicional Material - Tradicional Virtual	0,636	1,751	113	0,285668	0,083
Investigativa Material - Investigativa Virtual	0,604	0,494	118	0,071333	0,622
Investigativa Virtual - Tradicional Virtual	0,387	1,914	124	0,279045	0,058
Investigativa Material - Tradicional Material	0,863	0,400	107	0,064711	0,690

Fonte: dados da pesquisa

Considerando as intervenções no ambiente virtual, o maior ganho de entendimento do estudantes foi para a abordagem investigativa ( $m = 0,479500$  *logits*) comparado à abordagem tradicional ( $m = 0,200455$  *logits*), sendo esta diferença no ganho de entendimento estatisticamente significativa ( $p = 0,058$ ). Com este resultado, temos evidências de que no ambiente virtual, a abordagem investigativa favorece mais a aprendizagem de conteúdo formal do que a abordagem tradicional.

O ganho de entendimento dos estudantes submetidos ao ambiente material foi maior para aqueles submetidos à intervenção investigativa ( $m = 0,550833$  *logits*) em relação aos estudantes submetidos à intervenção tradicional ( $m = 0,486122$  *logits*), no entanto, essa diferença não é estatisticamente significativa ( $p = 0,690$ ). Neste sentido, o resultado indica que no ambiente material tanto a abordagem investigativa quanto a tradicional favorecem a aprendizagem de conteúdos formais da mesma maneira.

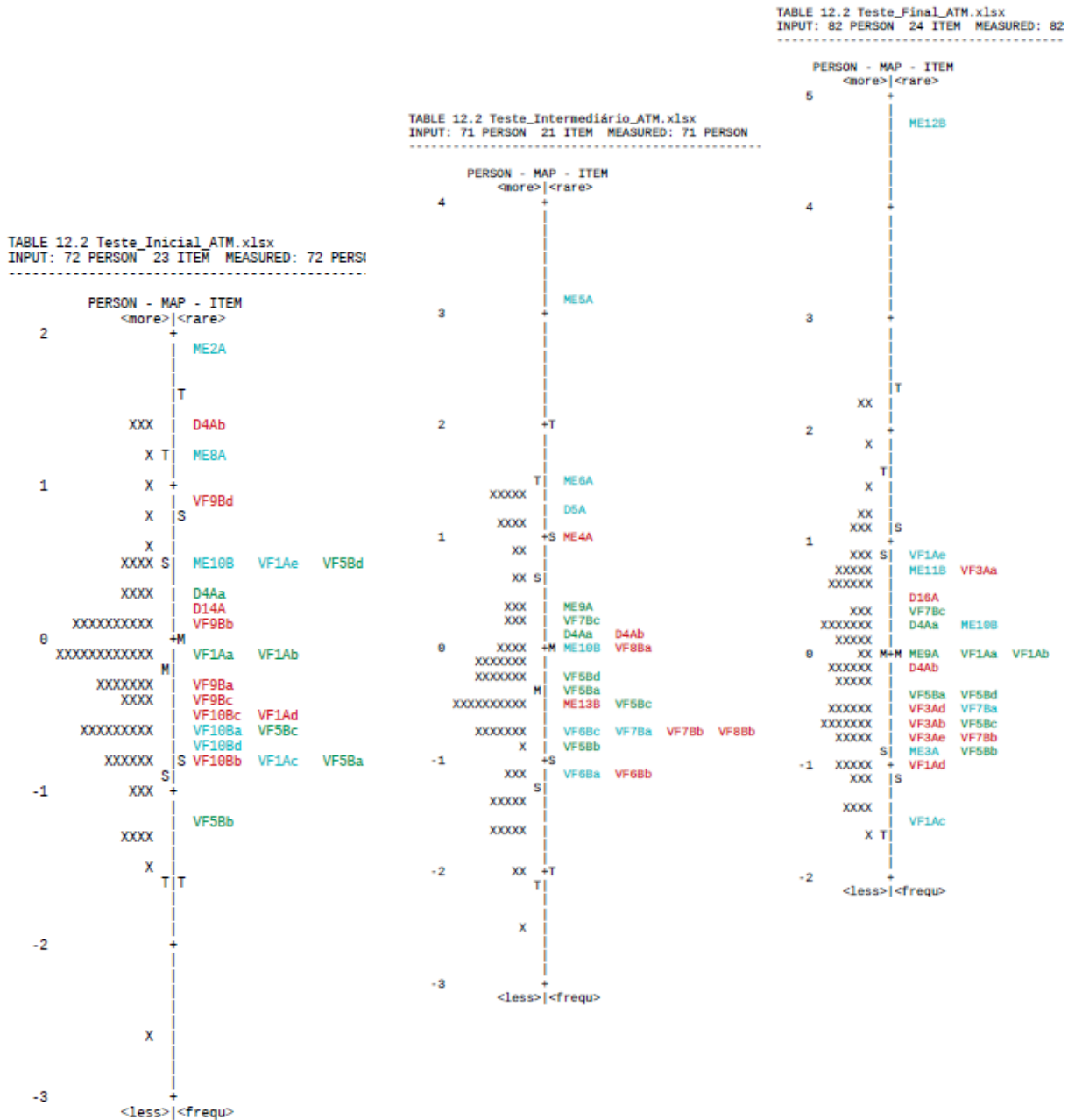
### 10.3.2. Aprendizagem em termos de habilidades específicas

Nesta seção buscamos responder a seguinte pergunta: Como ocorreu a aprendizagem das habilidades específicas no decorrer das intervenções? Para responder esta pergunta, utilizamos como dados secundários os mapas de itens gerados pelo software Winsteps 3.70 (LINACRE, 2010) segundo a modelagem Rasch. Os mapas de itens ordenam pessoas e itens numa mesma régua (escala intervalar de *logits*). As pessoas são organizadas a partir da sua habilidade em relação ao traço latente medido e os itens de acordo com sua dificuldade. A hierarquia de maior habilidade das pessoas e maior dificuldade dos itens é crescente da parte inferior para a parte superior do mapa (LINACRE, 2006), ou seja, itens difíceis e pessoas de alta habilidade estão mais próximos ao topo. Os dados primários são os escores dos estudantes ao responderem os testes de conhecimento inicial, intermediário e final.

Intencionalmente os mapas de itens estão dispostos de modo que as médias das dificuldades dos itens estejam alinhadas (na mesma linha horizontal) para os três testes de conhecimento. Também identificamos os itens de acordo com as dimensões específicas por cores. Os itens na cor azul correspondem aos itens procedimentais, na cor vermelha aos itens conceituais e os itens em verde correspondem aos itens de aplicação da ferramenta matemática.

Os mapas de itens correspondentes à intervenção tradicional material estão apresentados na Figura 16.

Figura 16. Mapas de itens – Intervenção tradicional material

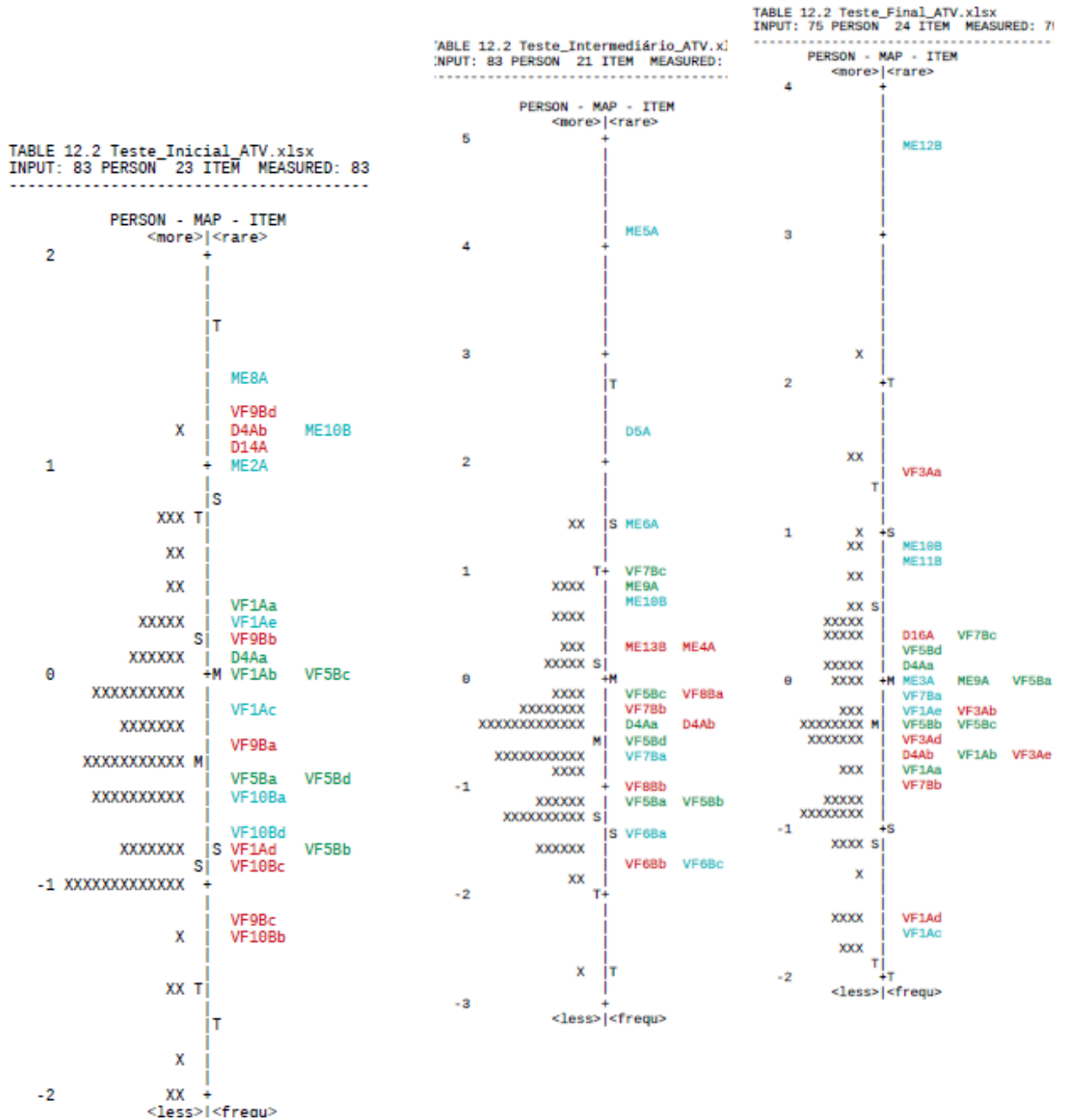


Fonte: dados da pesquisa

No teste inicial percebemos uma boa distribuição dos itens conceituais e procedimentais, porém os itens de ferramenta matemática ficam mais concentrados na parte inferior do mapa, o que indica que estes foram os itens mais fáceis do teste. No teste intermediário fica mais evidente a maior dificuldade dos itens procedimentais, e diminuição da dificuldade dos itens conceituais, o que é um indicativo de aprendizagem dos itens conceituais entre o teste intermediário e teste inicial. No teste final os itens das três dimensões específicas apresentam distribuição semelhante entre si, de modo que temos bem delimitados os itens fáceis, de dificuldade intermediária e difíceis para cada dimensão específica. A exceção corresponde ao item procedimental ME12B que possui dificuldade muito acima do que os demais itens. Uma vez que a média da habilidade das pessoas no teste inicial está abaixo da média da dificuldade dos itens, e essas médias se igualam no teste final, temos indícios de aprendizagem dos estudantes nas três dimensões específicas.

A Figura 17 apresenta os mapas de itens para a intervenção tradicional virtual. No teste inicial os itens conceituais estão bem distribuídos por todo o mapa, ou seja, temos itens conceituais localizados claramente nos três níveis de dificuldade. Os itens de aplicação da ferramenta matemática estão localizados mais concentrados em torno da média das dificuldades e os itens procedimentais se distribuem com dificuldade um pouco mais elevada, não apresentando itens entre os mais fáceis do teste. Já no teste intermediário, temos itens procedimentais entre os mais fáceis do teste, porém no geral continua como os mais difíceis do teste. Entre os testes inicial e intermediário percebemos uma diminuição da dificuldade dos itens conceituais, o que é um indicativo de aprendizagem destes itens entre tais testes de conhecimento. O teste final tem uma distribuição da dificuldade dos itens semelhante à distribuição do teste inicial, assim, como as médias das habilidades dos indivíduos estão mais próximas das médias das dificuldades dos itens no teste final em comparação ao teste inicial, temos indícios de aprendizagem dos itens das três dimensões específicas.

Figura 17. Mapas de itens - Intervenção tradicional virtual



Fonte: dados da pesquisa

Os mapas de itens que correspondem à intervenção investigativa virtual estão representados na Figura 18. No teste inicial apesar de três itens conceituais serem difíceis, todos os outros itens apresentaram como fáceis, já no teste intermediário e final há uma melhor distribuição destes itens em todo o mapa. Nos testes inicial e intermediário fica mais evidente a maior dificuldade dos itens procedimentais. Os itens de aplicação da ferramenta matemática nos três testes apresentam no geral dificuldade variando de média a fácil. Por outro lado, ao considerarmos o teste inicial e teste final, temos que no decorrer da intervenção

as médias das habilidades das pessoas ultrapassaram as médias das dificuldades dos itens, sendo um indício de aprendizagem dos estudantes em todas as habilidades específicas.

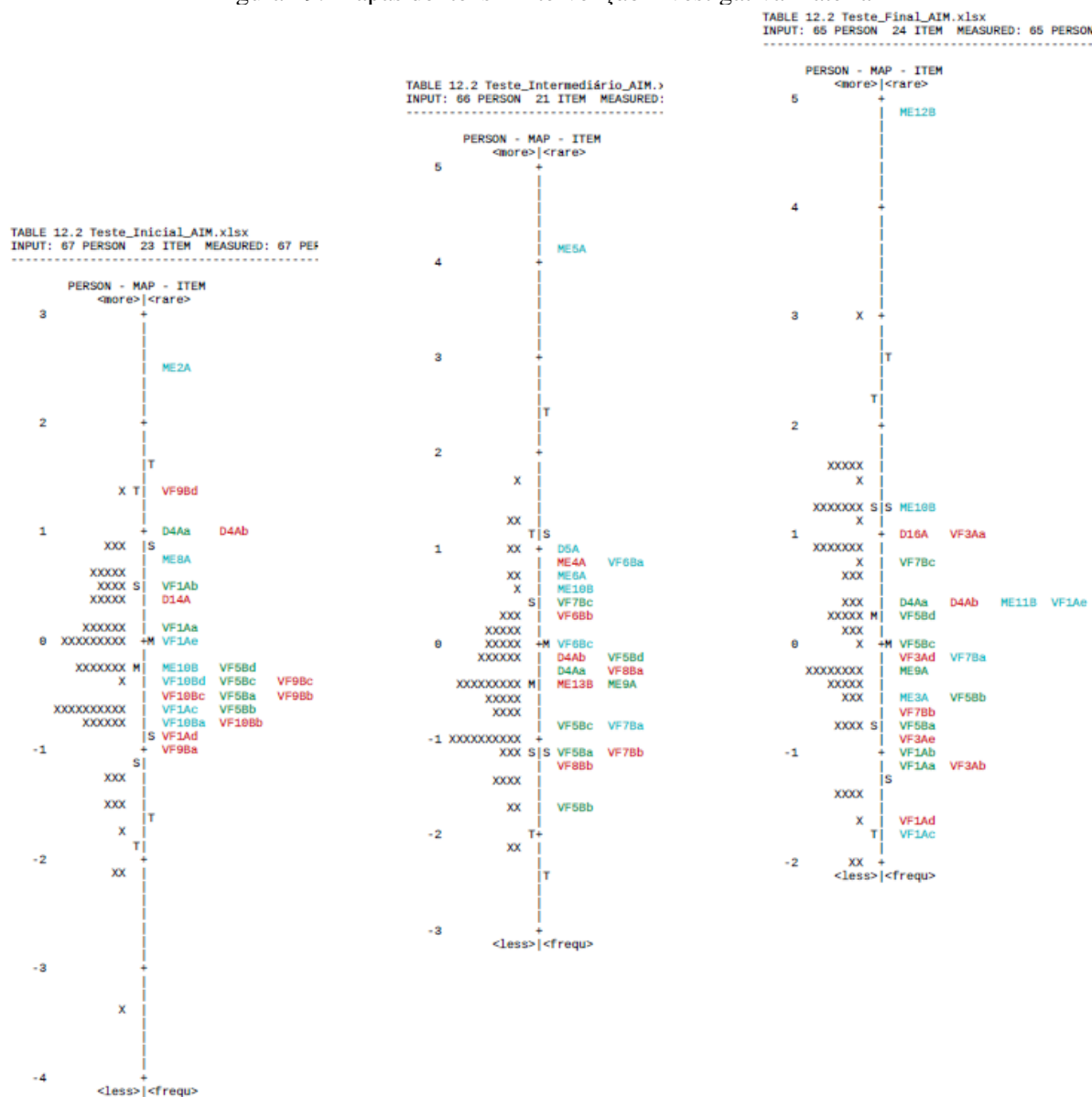
Figura 18. Mapas de itens - Intervenção investigativa virtual



Fonte: dados da pesquisa

A Figura 19 apresenta os mapas de itens referentes à intervenção investigativa material. Para estes mapas de itens, a distribuição das dificuldades das dimensões específicas são praticamente uniformes para os três testes de conhecimento, com itens distribuídos nas três dificuldades, porém com os itens procedimentais apresentando dificuldade acima das outras dimensões específicas. Como a média das habilidades das pessoas superou a média das dificuldades dos itens, comparando os resultados dos testes final e inicial, temos indicativos de aprendizagem dos estudantes para os itens procedimentais, conceituais e de aplicação da ferramenta matemática.

Figura 19. Mapas de itens - Intervenção investigativa material



Fonte: dados da pesquisa

## 11. CONSIDERAÇÕES E APONTAMENTOS

Aqui apresentamos os principais resultados da pesquisa, contribuições e implicações, bem como as limitações e perspectivas futuras.

### 11.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista o consenso sobre a importância dos laboratórios didáticos no ensino de Física e da necessidade de se realizar mais investigações considerando diferentes metodologias de ensino, conduzimos a presente pesquisa, cujo foco foi estudar em que medida as atividades práticas auxiliam na aprendizagem e se, conduzidas em ambientes de ensino diferentes, elas influenciam de maneira distinta na aquisição de habilidades. Acreditamos que um estudo com rigorosos critérios metodológicos, tanto no que diz respeito à construção e validação de testes e intervenção didática, como também nas técnicas de análise, possa contribuir para aprofundar o conhecimento sobre as vantagens e limitações das atividades práticas, na perspectiva investigativa e tradicional, e também no ambiente virtual e material. Neste sentido, procuramos responder a seguinte pergunta: Qual a contribuição do ambiente (virtual e material) e abordagem (investigativa e tradicional) para a aprendizagem de conteúdos formais de Física?

Para atingir o objetivo, responder à questão proposta e buscando obter um padrão de validade dos dados e conseqüentemente evitar conclusões enviesadas, construímos e validamos todos os instrumentos de intervenção e coleta de dados. Como resultados da validação da sequência de ensino por investigação e dos roteiros estruturados, tivemos indicação dos pontos fortes, fragilidades e sugestões que resultaram em ajustes e alterações nas respectivas versões finais. Os itens (banco de itens) que constituem os principais instrumentos de coleta de dados da pesquisa também passaram por uma validação rigorosa e sistemática. Em decorrência disso, obtivemos elementos suficientes para elaborar os três testes de conhecimento (inicial, intermediário e final) com aproximadamente o mesmo nível de dificuldade e que envolvem aproximadamente o mesmo número de itens conceituais, procedimentais e de aplicação da ferramenta matemática (habilidades específicas). Esses procedimentos fazem parte da perspectiva que adotamos nesse trabalho em relação à coerência interna, uma vez que muito tem sido apontado na literatura sobre a necessidade de conduzir pesquisas mais robustas em relação à objetividade e associação entre referencial teórico, objetivos, metodologia e interpretação dos resultados (AMANTES, COELHO e



MARINHO, 2015). Ressaltamos que todos os procedimentos praticados do ponto de vista metodológico foram realizados no sentido de aumentar a confiabilidade no acesso ao que queremos investigar e também fornecer maior coerência interna à pesquisa.

A partir dos dados das intervenções nas doze turmas, além de constatar a validade dos testes de conhecimento enquanto instrumentos para acessar o traço latente “entendimento sobre Pêndulo Simples”, identificamos os primeiros indicativos de aprendizagem devido à intervenção, em virtude dos melhores ajustes de índices estatísticos ao longo das instruções.

Considerando as intervenções como um todo, verificamos que houve ganho de entendimento, o que, para a perspectiva adotada na pesquisa, configura-se em aprendizagem. Estes resultados estão de acordo com diversos pesquisadores que apontam o potencial de aprendizagem dos estudantes participantes em intervenções com atividades investigativas (MILLAR, 2004; TYTLER, 2007; ROBERTS, 2009; GILLIES *et al.*, 2012; CARVALHO, *et al.*, 2014). E por outro lado, apesar de não ser comum encontrarmos pesquisas que apontam explicitamente o ganho de entendimento dos estudantes em intervenções nos laboratórios didáticos com atividades tradicionais, este ainda é o mais comum em todos os níveis de ensino de Física. Esse é um resultado esperado no que diz respeito ao ensino, uma vez que qualquer instrução irá provocar algum tipo de aprendizagem. No nosso caso, como os testes estavam medindo o conhecimento formal, as diferenças estatísticas nos indicaram que o ganho no entendimento foi tipicamente escolar, cujo conteúdo foi instruído nas Sequências Didáticas elaboradas. Para avaliar com mais detalhes a aprendizagem, prosseguimos com a análise por abordagem e por ambiente, investigando quais tipos de habilidades são mais desenvolvidas em cada um.

Além da constatação de aprendizagem em ambas abordagens, também tivemos evidências de que houve maior aprendizagem dos estudantes submetidos à abordagem investigativa em comparação aos estudantes participantes da intervenção com abordagem tradicional. Estes resultados são semelhantes aos de Selçuk (2010), Selçuk, Çaliskan e Şahin (2013) e Morgado *et al.* (2016), que constataram que estudantes submetidos à intervenção investigativa obtiveram melhores resultados (em relação aprendizagem de conteúdos formais) que estudantes submetidos ao ensino tradicional. Já Şahin e Yorek (2009) não identificaram diferença na aprendizagem para os estudantes submetidos à abordagem investigativa e tradicional. No entanto, nossos resultados estão em total desacordo com os resultados obtidos por Klahr e Nigam (2004) que apresentaram evidências de que o ensino com a abordagem tradicional é mais eficiente do que o ensino com abordagem investigativa. Estes resultados

distintos podem decorrer de vários motivos, principalmente metodológicos. No caso dos resultados que estão consoantes com os nossos, em específico nas pesquisas de Selçuk (2010) e Selçuk, Çaliskan e Şahin (2013), as coletas de dados foram realizadas através de testes de conhecimentos que não favorecem a uma abordagem em detrimento da outra (em relação aos conteúdos de eletricidade e magnetismo) e que passaram por meticulosa validação, envolvendo a análise de pares e posterior revisão e aplicação para uma amostra de estudantes. No segundo caso, em que não há diferença entre as abordagens, consideramos que Şahin e Yorek (2009) não utilizaram dados muito confiáveis, já que as análises foram realizadas através das notas de Física (trabalhos de casa, dois testes intermediários e um exame final) dos estudantes obtidos no fim do semestre. No último caso, o mais peculiar tendo em vista seu aspecto contraditório em relação ao resultado, os autores contrapõem estudantes que foram explicitamente instruídos de acordo com os testes aplicados a estudantes que tiveram aulas com roteiros abertos, sem nenhuma orientação para a resolução de exercícios formais. Neste caso, há um descompasso no que diz respeito à instrução e ao instrumento que foi utilizado para avaliar a aprendizagem, o que ao nosso ver, constitui uma incoerência interna. Assim sendo, avaliamos que nossos resultados são mais robustos por se basearem tanto em testes validados como em intervenção validada, o que não ocorreu para essa última pesquisa. Além disso, mesmo com metodologia distinta, nosso trabalho tem resultados sustentados pelas pesquisas de Selçuk (2010), Selçuk, Çaliskan e Şahin (2013) e Morgado *et al.* (2016). Tendo em vista o exposto, consideramos que um dos apontamentos mais importantes diz respeito à maior aprendizagem no ambiente investigativo.

Ao investigarmos a aprendizagem dos estudantes separando-os conforme o laboratório material e virtual, tivemos evidências que houve aprendizagem deles em ambos ambientes. Estes resultados estão em conformidade com Zacharia (2007), ao afirmar que o experimento real e o experimento virtual ganharam a confiança de muitos pesquisadores por sua contribuição para a aprendizagem e instrução. Ao compararmos os resultados dos estudantes submetidos nos dois ambientes, tivemos evidências (diferença estatisticamente significativa) que os estudantes participantes no laboratório material tiveram maior ganho de entendimento, ou seja, maior aprendizagem, comparados aos estudantes participantes da intervenção no laboratório virtual. Essa conclusão está em contradição ao apontado por Finkelstein *et al.* (2005) ao sustentarem que seus resultados mostraram que os estudantes que usaram simulações computacionais no lugar de equipamento de laboratório convencional (material) tiveram melhor resultado no desempenho de questões sobre circuitos simples, e

também Zacharia (2005) ao afirmar que uma análise mais aprofundada mostrou que há diferenças entre grupos utilizando experimentos virtuais e reais, em favor dos experimentos virtuais. Já em outro artigo, Zacharia e Olympiou (2011) afirmaram que as análises revelaram que os resultados de estudantes no laboratório material e virtual foram igualmente eficazes em promover a compreensão dos conceitos no domínio do calor e temperatura. De modo semelhante, estudos de Hawkins e Phelps (2003) apontaram que não houve diferenças significativas nas pontuações “no pré-teste, pós-teste ou no teste prático” de estudantes que utilizaram o laboratório material e virtual. Avaliamos que, nesse caso, os resultados distintos podem ser devido às diferenças de conteúdo investigado (para alguns conteúdos o ambiente material seria mais adequado e, para outro o ambiente virtual seria o que mais provoca aprendizagem) como também às diferenças na metodologia e no que se está considerando como indicativo de aprendizagem. Em nossa pesquisa, considerando a aprendizagem como o ganho no entendimento formal, identificamos que para o conteúdo de Pêndulo Simples, o laboratório que mais mostrou eficaz foi o material. Isso pode ser devido ao apelo sensorial motor que o experimento tem, pois algumas habilidades nesse caso são adquiridas a partir da forma como se manipula o Pêndulo, o que não pode ser feito a partir de um objeto de aprendizagem virtual. Para analisar essa hipótese, contudo, é necessário um desenho de pesquisa que possa captar esse tipo de diferença.

As últimas análises se referem à investigação da aprendizagem dos estudantes submetidos às intervenções associando a abordagem (investigativa e tradicional) e o laboratório (material e virtual). Tivemos evidência de aprendizagem para os estudantes participantes em todas as intervenções, isto é, da intervenção tradicional material, intervenção tradicional virtual, intervenção investigativa virtual e intervenção investigativa material.

Ao considerarmos a intervenção com abordagem tradicional, o maior ganho de entendimento foi para os estudantes participantes no laboratório material em comparação ao laboratório virtual. Assim, tivemos evidências de que na abordagem tradicional, o laboratório material favorece mais a aprendizagem de conteúdo formal do que o laboratório virtual. Ou seja, estes resultados sugerem que, se o professor propõe a utilização do laboratório didático com uma intervenção tradicional, é mais apropriado que o faça no laboratório material, levando em consideração o conteúdo de Pêndulo Simples na estrutura como proposta nessa pesquisa.

Na abordagem investigativa, tivemos indícios de maior aprendizagem também para o ambiente material comparado ao ambiente virtual, contudo esta diferença não teve

significância estatística. Assim, o resultado encontrado sugere que, para a abordagem do tipo investigativa, a aprendizagem de conteúdo formal é a mesma para intervenção no laboratório material e virtual. Isto é, este resultado indica que o professor, ao planejar uma intervenção do tipo investigativa no laboratório didático, ele terá o mesmo resultado (em termos de ganho de entendimento) se usar o laboratório virtual ou o laboratório material.

Considerando as intervenções no laboratório virtual, o maior ganho de entendimento dos estudantes foi para a abordagem investigativa comparado à abordagem tradicional, sendo esta diferença no ganho de entendimento estatisticamente significativa. Assim, tivemos evidências de que no laboratório virtual, a abordagem investigativa favorece mais a aprendizagem de conteúdo formal do que a abordagem tradicional, levando-se em consideração o conteúdo de Pêndulo Simples. E como implicação direta para o ensino, esse resultado sugere que, se o professor dispõe de uma simulação computacional para auxiliar no ensino de conteúdos formais, é mais vantajoso que faça a intervenção com abordagem investigativa.

Para os estudantes submetidos à intervenção no laboratório material, o ganho de entendimento foi maior para aqueles submetidos à intervenção investigativa em relação aos estudantes submetidos à intervenção tradicional, no entanto, essa diferença não foi estatisticamente significativa. Neste sentido, o resultado indica que no laboratório material tanto a abordagem investigativa quanto a tradicional favorecem a aprendizagem de conteúdos formais da mesma maneira. Assim, se o professor planeja uma intervenção no laboratório material, tanto uma abordagem investigativa quanto uma abordagem tradicional serão igualmente favoráveis para o ensino de conteúdo formais.

Nossos resultados apontam que se deve ter cautela em relação a algumas perspectivas de adoção de um único laboratório didático em detrimento do outro, pois evidenciamos que determinados ambientes (materiais ou virtuais) são mais adequados para um tipo de abordagem (investigativa ou tradicional).

Por outro lado, ao examinar a aprendizagem das habilidades específicas dos estudantes nas duas abordagens, tivemos que, no geral os itens conceituais e de aplicação da ferramenta matemática foram mais fáceis que os itens procedimentais. Também tivemos indícios de que os itens conceituais foram mais acertados pelos estudantes submetidos à abordagem tradicional, e os itens de aplicação da ferramenta matemática mais acertados pelos estudantes da abordagem investigativa. Já ao investigar a aprendizagem das habilidades específicas dos estudantes submetidos aos dois ambientes, os itens procedimentais também

aparecem como os mais difíceis, porém tivemos indicativos de que estes itens foram mais fáceis para os estudantes submetidos ao laboratório virtual em comparação aos estudantes que tiveram intervenção no laboratório material. A dificuldade dos itens da dimensão específica, aplicação da ferramenta matemática, foi aproximadamente a mesma para os dois ambientes. Já para a dimensão específica conceitual, os resultados apontaram maior facilidade em resolver os itens pelos estudantes submetidos à intervenção no laboratório material. Contudo em nenhuma análise da aprendizagem das dimensões específicas houve diferença estatisticamente significativa. Contudo, mesmo que aqui não houve evidências, essas indicações são importantes para um primeiro estudo dessa natureza, que poderá ser investigado e aprofundado em pesquisas futuras.

Ao verificarmos a aprendizagem das habilidades específicas para as intervenções separando os estudantes submetidos a associação da abordagem (investigativa e tradicional) ao laboratório (material e virtual), não foi possível identificar grandes diferenças de aprendizagem das dimensões específicas conceitual, procedimental e aplicação da ferramenta matemática.

Em suma, no que diz respeito às habilidades específicas, podemos dizer que os itens procedimentais foram os mais difíceis no início e assim permaneceram até o final, independentemente do tipo de abordagem e do laboratório. Isto é esperado, tendo em vista que essa habilidade é mais complexa, pois subtende a associação entre entendimentos conceituais, raciocínio lógico para interpretação de situações problemáticas e em alguns casos aplicação de ferramenta matemática. Isto indica que devemos ter mais atenção ao ensino desse tipo de habilidade em sala de aula ao abordarmos conteúdos de alto nível de abstração.

## 11.2. CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO, PERSPECTIVAS FUTURAS E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Consideramos que a investigação conduzida traz diversas contribuições para pesquisadores da área de ensino de ciências, professores e estudantes. A primeira delas são os resultados de pesquisa apresentados. Contudo, tais resultados não se encerram em si mesmos, mas abre diferentes possibilidades e provoca muitas questões relacionadas à aprendizagem de conteúdos formais. Não intencionamos propor um final, mas abrir precedentes em relação à identificação das contribuições das abordagens investigativa e tradicional, laboratório material e virtual e suas associações na aprendizagem dos estudantes. Outra contribuição é do ponto de vista metodológico. A decisão de construirmos e validarmos os instrumentos de pesquisa, bem

como os procedimentos adotados antes de se realizar as intervenções e/ou coleta de dados, apresentam uma forma coerente e consistente que pode ser adotada em outras investigações. Para aplicação direta em sala de aula, disponibilizamos a sequência de ensino por investigação, o roteiro estruturado para o laboratório material, o roteiro estruturado para o laboratório virtual, a sugestão de aula expositiva e os testes de conhecimento (ou os itens), todos validados pela pesquisa.

Por outro lado, é possível que as intervenções investigativas ou tradicionais levem ao desenvolvimento de outros tipos de habilidades que não foram contemplados nos instrumentos de coleta de dados utilizados, por exemplo: pensar criticamente sobre a resolução de problemas, capacidade de formular hipóteses, argumentar e desenvolver raciocínios lógicos mais generalizados, etc. Para uma verificação neste sentido, seria necessário conduzir outra pesquisa e desenvolver outros tipos de instrumentos para mensurar tais facetas da aprendizagem. Bem como o laboratório material e virtual podem levar ao desenvolvimento de diferentes habilidades, como por exemplo a capacidade em utilizar corretamente ferramentas/instrumentos nos laboratórios didáticos, realizar medições, dentre outros.

Em continuação à pesquisa desenvolvida, aplicamos um teste de retenção<sup>26</sup> para parte da nossa amostra, para investigação dos efeitos tardios na aprendizagem dos estudantes. Tal investigação mostra-se promissora e é rara na literatura atual sobre educação científica. Também temos dados<sup>27</sup> para realizar uma análise da metacognição dos estudantes no decorrer da intervenção ao responderem os itens dos testes de conhecimento.

Por fim, o modelo psicométrico desenvolvido foi validado de modo que, além de mensurar a aprendizagem do conteúdo de Pêndulo Simples, podemos dimensionar também diferentes habilidades desenvolvidas pelos estudantes. Consideramos que os resultados da pesquisa não ficam restritos ao conteúdo de Pêndulo Simples, mas podem ser estendidos a outros conteúdos no ensino de Física e Ciências.

---

<sup>26</sup> Aplicados de quatro a cinco meses após as intervenções.

<sup>27</sup> Em cada item dos três testes de conhecimento, solicitamos que os estudantes assinalassem o nível de segurança ao qual responderam o item, numa escala de 5 níveis: muito seguro, seguro, neutro, inseguro e muito inseguro.

## 12. REFERÊNCIAS

ACKERMAN, T. A. Using Multidimensional Item Response Theory to Understand What Items and Tests Are Measuring. **Applied Measurement In Education**, London, v. VII, n. 5, p. 255-278, 1994.

ADÁNEZ, G. P.; VELASCO, A. D. Construção de um teste de visualização a partir da psicologia cognitiva: Desenho cognitivo de um teste de visualização. **Avaliação Psicológica**, v. 1, p. 39-47, 2002.

ALMIRO, P. A.; SIMÕES, M. R. Estudo da versão portuguesa do EPQ-R: uma aplicação do Modelo Rasch. In: GOLINO, H. G., et al. **Psicometria Contemporânea: Compreendendo os Modelos Rasch**. 1º. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, v. I, 2015. Cap. 8, p. 242-281.

ALVIM, T. R. **Desenvolvimento da habilidade técnica de titulação em um laboratório escolar de química..** Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 131. 2011.

AMANTES, A. **O entendimento de estudantes do Ensino Médio sobre Movimento Relativo e Sistema de Referência.** Universidade Federal de Minas Gerais. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte, p. 183. 2005.

AMANTES, A. **Contextualização no Ensino de Física: efeitos sobre a evolução do entendimento dos estudantes.** Universidade Federal de Minas Gerais. Tese de doutorado. Belo Horizonte, p. 275. 2009.

AMANTES, A. et al. **An analytical tool to evaluate conceptual understanding.** Conference of the European Science Education Research Association. Chipec: [s.n.]. 2013.

AMANTES, A.; COELHO, G. Modelos Politômicos. In: GOLINO, H. F., et al. **Psicometria Contemporânea**. 1ª. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2015. Cap. 5, p. 156-183.

AMANTES, A.; COELHO, G. R.; MARINHO, R. A medida nas pesquisas em educação: empregando o modelo Rasch para acessar e avaliar traços latentes. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 17, n. 3, p. 657-684, Setembro 2015.

AMANTES, A.; OLIVEIRA, E. A construção e o uso de sistemas de categorias para avaliar o entendimento dos estudantes. **Ensaio**, Belo Horizonte, v. 14, n. 2, p. 61-79, Maio 2012.

ANDRADE, D. F.; TAVARES, R.; VALLE, R. C. **Teoria de Resposta ao Item**. 1ª. ed. [S.l.]: [s.n.], 2000.

ANDRICH, D. A rating formulation for ordered response categories. **Psychometrika**, v. 43, n. 4, p. 561-573, 1978.

ANDRICH, D. **Rasch Models for Measurement**. [S.l.]: Sage University Paper, 1988.

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de física: Usando simulações do PhET. **Física na Escola**, v. 11, n. 1, p. 27-31, 2010.

ARAÚJO, M. S. T.; ABID, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 176-194, Junho 2003.

BASER, M.; DURMUS, S. The Effectiveness of Computer Supported Versus Real Laboratory Inquiry Learning Environments on the Understanding of Direct Current Electricity among Pre-Service Elementary School Teachers. **Eurasia Journal of Mathematics, Science e Technology Education**, v. 6, n. 1, p. 47-61, 2010.

BÍBLIA. **Bíblia Sagrada**: Livro Josué. 11<sup>o</sup>. ed. Santo André: Geográfica, 2008.

BIGGS, J.; COLLIS, K. **Evaluating the quality of learning**: the SOLO Taxonomy (Structure of the Observed Learning Outcome). New York: Academic Press, 1982.

BOND, T. G.; FOX, C. M. **Applying the Rasch model**: fundamental measurement in the human sciences. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2001.

BOND, T. G.; FOX, C. M. Important Principles of Measurements Made Explicit. In: BOND, T. G.; FOX, C. M. **Applying the Rasch Model**: Fundamental Measurement in the Human Sciences. 2<sup>o</sup>. ed. London: LEA, 2007. Cap. 2, p. 15-25.

BOONE, J.; STAVER, J. R.; YALE, M. S. **Rasch Analysis in The Human Sciences**. [S.l.]: Springer, 2014.

BORGES, T. A. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, Dezembro 2002.

BORSBOOM, D. Latent Variable Theory. **Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives**, Amsterdam, p. 25-53, 2008. ISSN 1536-6367.

BRASIL. **Portal do Professor**. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/index.html>>. Acesso em: 3 Maio 2017.

BRASIL. **Projeto SB2000 Condições de Saúde Bucal da População Brasileira no ano 2000**. Ministério da Saúde. Brasília, p. 31. 2001.

BRASIL. Lei n<sup>o</sup> 11.892, de 29 de Dezembro de 2008. **Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, Cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia**, 2008. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2008/lei/111892.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/111892.htm)>. Acesso em: 8 Julho 2017.

BRIGGS, J.; WILSON, M. An introduction to multidimensional measurement using Rasch Models. In: SMITH, E.; SMITH, R. **Introduction to Rasch measurement**: Theory, models and applications. Maple Grove: Jam Press, 2004. p. 322-341.

BYRNE, B. M. **Structural Equation Modeling with AMOS**: Basic concepts, Applications, and programming. 2<sup>a</sup>. ed. London: Routledge, 2009.

CARVALHO, A. M. P. et al. **Calor e Temperatura**: Um ensino por investigação. 1<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

COELHO, G. R. **A evolução do entendimento dos estudantes em eletricidade: Um estudo longitudinal**. Universidade Federal de Minas Gerais. Tese de doutorado. Belo Horizonte, p. 174. 2011.

COELHO, R.; BORGES, O. O entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz em um currículo recursivo.. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 1, p. 63-87, Abril 2010.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, n. 20, p. 37-46.



COMMONS, L.; MILLER, P. M. Prefácio. In: GOLINO, H. F., et al. **Psicometria Contemporânea: Compreendendo os Modelos Rasch**. 1ª. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2015. p. VII-IX.

COMPADRE. **Resources and Services for Physics Education**. Disponível em: <<https://www.compadre.org/>>. Acesso em: 3 Junho 2017.

COSTA, A. L. P. D. Resenha: computadores e linguagens nas aulas de Ciências. In: GIORDAN, M. **Computadores e linguagens nas aulas de Ciências: uma perspectiva sociocultural para compreender a construção de significados**. Belo Horizonte: Revista Ensaio, v. 12, 2010. p. 153-156.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para Psicologia**. 5ª. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. Introdução à análise de fatores. In: DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para Psicologia**. 5º. ed. Porto Alegre: Penso, v. I, 2013. Cap. 14, p. 450-483.

DAWSON, T. L. Stage-like patterns in the development of conceptions of energy. In: LIU, X.; BOONE, W. **Applications of Rasch measurement in Science education**. Maple Grove: JAM Press, 2006. p. 111-136.

DAWSON, T. L.; STEIN, Z. Cycles of research and application in education: Learning Pathways for energy concepts. **Mind, Brain e Education**, Cambridge, v. 2, n. 2, p. 90-103, 2008.

DAWSON, T. L.; XIE, Y.; WILSON, M. Domain-general and domain-specific developmental assessments: do they measure the same thing? **Cognitive Development**, v. 18, p. 61-78, 2003.

DEMETRIOU, A.; KYRIAKIDES, L. The functional and developmental organization of cognitive developmental sequences. **British Journal of Education Psychology**, v. 76, n. 2, p. 209-242, 2006.

DORNELES, P. F. T.; ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de Eletromagnetismo em Física geral. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 99-122, 2012.

FABRIGAR, L. R.; WEGENER, D. T. **Exploratory Factor Analysis (Understanding Statistics)**. New York: Oxford University Press, 2011.

FERRACIOLI, L. Aspectos da construção do conhecimento e da aprendizagem na obra de Piaget. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 2, p. 180-194, Agosto 1999.

FERREIRA, H. D. C. Instituto Politécnico de Bragança. **A teoria Piagetiana da equilíbrio e as suas consequências educacionais**, 2018. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/208/1/55%2520-%2520A%2520teoria%2520piagetiana%2520da%2520equilibra%25C3%25A7%25C3%25A3o%2520e%2520as%2520suas%2520consequ%25C3%25A7%2520educacionais.pdf>>. Acesso em: 05 Março 2018.

FILHO, N. H.; TEIXEIRA, M. A. P. Uso do modelo Rating Scale na construção de uma escala para avaliar traços de psicopatia: uma ilustração metodológica. In: GOLINO, H. F., et al. **Psicometria Contemporânea: Compreendendo os Modelos Rasch**. 1º. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, v. I, 2015. Cap. 10, p. 340-359.

FINCH, W. H.; FRENCH, B. F. Confirmatory Factor Analysis. In: FINCH, W. H.; FRENCH, B. F. **Latent Variable Modeling with R**. New York: Routledge, 2015. Cap. 3, p. 37-57.

FINCH, W. H.; FRENCH, B. F. Exploratory factor analysis. In: FINCH, W. H.; FRENCH, B. F. **Latent Variable Modeling with R**. 1ª. ed. New York: Routledge, 2015. Cap. 2, p. 9-35.

FINCH, W. H.; FRENCH, B. F. **Latent Variable Modeling with R**. 1ª. ed. New York: Routledge, 2015.

FINKELSTEIN, et al. When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer: simulations for laboratory equipment. **Physics Education Research**, p. 1-8, 2005.

FISCHER, K. W. A Theory of Cognitive Development : The Control and Construction of Hierarchies of Skills. **Psychological Review** , v. 87, n. 6, p. 477-531, November 1980.

FISHER, W. P. Rating scale instrument quality criteria. **Rasch Measurement Transactions**, v. 21, n. 1095, 2007.

FONSECA, R.; SILVA, ; SILVA, R. Acordo inter-juízes: O caso do coeficiente kappa. **Laboratório de Psicologia**, Lisboa, v. 5, n. 1, p. 81-90, 2007.

GILLIES, R. M. et al. The effects of two strategic and meta-cognitive questioning approaches on children's explanatory behaviour, problem-solving, and learning during cooperative, inquiry-based science. **International Journal of Educational Research**, v. 53, p. 93-106, 2012. ISSN 0883-0355.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química nova na escola**, n. 10, p. 43-49, Novembro 1999.

GIORDAN, M. O computador na educação em Ciências: Breve revisão crítica acerca de algumas formas de utilização. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 2, p. 279-304, 2005.

GIORDAN, M. Diseño de ambientes virtuales de aprendizaje de la química bajo una perspectiva sociocultural. **Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales**, v. 69, p. 52-66, Julio 2011.

GIORDAN, M. Análise e Reflexões sobre os Artigos de Educação em Química e Miltimídia Publicados entre 2005 e 2014. **Química Nova Escola**, São Paulo, v. 37, p. 154-160, 2015.

GIORDAN, M.; GOIS, J. Entornos virtuales de aprendizaje em química: una revisión de la literatura. **Educación química**, v. De aniversario, p. 301-313, Julio 2009.

GOLINO, H. F. Introdução. In: GOLINO, H. F., et al. **Psicometria Contemporânea: Compreendendo os modelos Rasch**. 1ª. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2015. p. 1-9.

GOLINO, H. F.; GOMES, C. M. A. Investigando estágios de desenvolvimento do raciocínio indutivo usando a Análise Fatorial Confirmatória, o Modelo Logístico Simples de

Rasch e o Modelo de Teste Logístico Linear (Rasch Estendido). In: GOLINO, H. F., et al. **Psicometria Contemporânea: Compreendendo os Modelos Rasch**. 1ª. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, v. I, 2015. Cap. 9, p. 284-337.

GOLINO, H. F.; GOMES, C. M. A. O Modelo Logístico Simples de Rasch para dados dicotômicos. In: GOLINO, H. F., et al. **Psicometria contemporânea: Compreendendo os Modelos Rasch**. 1ª. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, v. I, 2015. Cap. 4, p. 112-153.

GOLINO, H. F.; GOMES, C. M. A. Teoria da Medida e o Modelo Rasch. In: GOLINO, H. F., et al. **Psicometria Contemporânea: Compreendendo os Modelos Rasch**. 1ª. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2015. Cap. 1, p. 14-45.

GRECA, I. M. Discutindo aspectos metodológicos da pesquisa em Ensino de Ciências: algumas questões para refletir. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 1, p. 73-82, 2002.

GUTTMAN, L. A basis for scaling qualitative data. **American Sociological Review**, v. 2, n. 9, p. 139-150, 1944.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HATTIE, J. A. C.; BROWN, G. T. L. **Cognitive processes in assessment. The SOLO taxonomy**. University of Auckland. Auckland. 2004. (n.43).

HAWKINS, ; PHELPS, A.. Virtual laboratory vs. traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry? **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, p. 516-523, July 2003.

HIBBARD, J. et al. The development and testing of a measure assessing clinician beliefs about patient self-management, Health Expectations. **International Journal of Public Participation in Health Care & Health Policy**, v. 13, n. 1, p. 65-72, March 2010.

HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. **Enseñanza de las Ciências**, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

HOHENFELD, D. P. **A natureza quântica da luz nos laboratórios didáticos convencionais e computacionais no ensino médio**. Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana. Tese de doutorado. Salvador, p. 146. 2013.

HOHENFELD, D. P.; PENIDO, M. C. M.; LAPA, J. M. A formação do professor de física e as tecnologias da informação e comunicação. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, v. 2, n. 1, p. 31-44, 2012.

HOHENFELD, D. P.; PENIDO, M. C. M.; LAPA, J. M. **Análises dos significados construídos pelos estudantes sobre a simulação computacional do Interferômetro de Mach-Zehnder no Ensino Médio Tecnológico**. IX Congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias. Girona: [s.n.]. 2013. p. 1754-1758.

HOLMES, K. Analysis of Asynchronous Online Discussion using the SOLO Taxonomy. **Australian Journal of Educational and Developmental Psychology**, Newcastle, v. 5, p. 117-127, 2005.

HU, L.; BENTLER, P. M. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. **Structural Equation Modeling**, v. VI, p. 1-55, 1999.

IAN, A.; MILLAR, R. Does practical work really work? a study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. **International Journal of Science Education**, v. 30, n. 14, p. 1945-1969, November 2008.

IBM\_CORP. **IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0**. IBM Corp. New York. 2011.

KENNEDY, C. **Models and Tools for Drawing Inferences from Student Work**. Annual Meeting of the American Education Research Association. Montreal: Berkeley Evaluation & Assessment Research. 2005.

KLAHR, ; NIGAM,. The Equivalence of Learning Paths in Early Science Instruction: Effects of Direct Instruction and Discovery Learning. **Psychological Science**, v. 15, n. 10, p. 661-667, 2004.

KLINE, P. **Personality: the psychometric view**. London: Routledge, 1993.

LABURÚ, E.; SILVA, O. H. M. O laboratório didático a partir da perspectiva da multimodalidade representacional. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 3, p. 721-734, 2011.

LABVIRT. **Laboratório Didático Virtual**. Disponível em: <<http://www.labvirt.fe.usp.br/indice.asp>>. Acesso em: 18 Abril 2017.

LANDEIRO, V. L. **Introdução ao uso do programa R**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. [S.l.], p. 50. 2011.

LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159-174, 1977.

LEÓN, D. A. D. **Análise Fatorial Confirmatória através dos Softwares R e Mplus**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 97. 2011.

LINACRE, J. M. **A User's Guide to WINSTEPS MINISTEPS Rasch Model Computer Programs**. Chicago: [s.n.], 2006.

LINACRE, J. M. WINSTEPS 3.68.0. **Rasch measurement computer program**. Chigago, 2009. Disponível em: <Winsteps.com>.

LINACRE, J. M. WINSTEPS 3.70. **Rasch measurement computer program**, Chicago. Winsteps.com, 2010. Disponível em: <Winsteps.com>.

LINACRE, J. M. Reliability and separation of measures. **Winsteps & facets Rasch Software**, 2017. Disponível em: <<http://www.winsteps.com/winman/reliability.htm>>. Acesso em: 16 Fevereiro 2017.

LINACRE, M. Rasch measurement forum. **Help with interpretation**, 2014. Disponível em: <<http://raschforum.boards.net/thread/164/help-interpretation>>. Acesso em: 17 Janeiro 2017.

LOPES, B. et al. Bioestatísticas: conceitos fundamentais e aplicações práticas. **Revista brasileira de oftalmologia**, v. 73, n. 1, p. 16-22, 2014.

MARAIS, I. Ajuste das respostas ao Modelo Rasch. In: GOLINO, H. F., et al. **Psicometria Contemporânea**. 1. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, v. 1, 2015. Cap. 6, p. 186-207.

MAROCO, J.; GARCIA-MARQUES, T. Qual a fiabilidade do alfa de Conbrach? Questões antigas e soluções modernas?. **Laboratório de Psicologia**, Lisboa, v. IV, n. 1, p. 65-90, 2006.

MARTINS, G. A. Sobre confiabilidade e validade. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, São Paulo, v. VIII, n. 1, p. 1-12, Janeiro 2006.

MASTERS, G. N. A Rasch model for partial credit scoring. **Psychometrika**, v. 47, n. 2, p. 149-174, 1982.

MEC. **Banco Internacional de Objetos Educacionais**, 2008. Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/>>. Acesso em: 15 Maio 2017.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações computacionais no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 77-86, Junho 2002.

MERLOT. **Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching**, 1997. Disponível em: <<https://www.merlot.org/merlot/index.htm>>. Acesso em: 5 Março 2017.

MILLAR, R. **The role of practical work in the teaching and learning of science**. University of York. Washington, p. 24. 2004.

MILLAR, R. Practical Work. In: OSBORNE, J.; DILLON, J. **Good practice in science teaching: What research has to say**. 2º. ed. New York: McGraw-Hill, 2010. Cap. 6, p. 108-134.

MILLAR, R.; LIM BEH, K. Students understanding of voltage in simple parallel electric circuits. **International Journal of Science Education**, Amsterdam, v. XV, n. 4, p. 351-361, 1993.

MORGADO, S. et al. Ensino orientado para a aprendizagem baseada na resolução de problemas e ensino tradicional: um estudo centrado em "transformação de matéria e energia". **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 18, n. 2, p. 73-97, mai-ago 2016.

NUNNALLY, J. C. **Psychometric theory**. 2ª. ed. New York: McGraw-Hill, 1978.

OTRANTO, C. R. Criação e implantação dos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia - IFETs. **Revista RETTA**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 89-110, Jan-Jun 2010.

PANIZZON, D. Using a cognitive structural model to provide new insights into students understandings of diffusion. **International Journal of Science Education**, Amsterdam, v. 25, n. 12, p. 1427-1450, 2003.

PARZIALE, J.; FISCHER, K. W. The Practical Use of Skill Theory in Classrooms. In: STERNBERG, R. J.; WILLIAMS, W. M. **Intelligence, Instruction and assessment: Theory Into Practice**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 1998. p. 95-110.

PASQUALI, L. Psicometria. **Revista da escola de Enfermagem da USP**, v. 43, p. 992-999, 2009.

PAULINO, C. ; PESTANA, D.; BRANCO, J. Glossário Inglês-Português de Estatística, 2013. Disponível em: <<http://glossario.spestatistica.pt/>>. Acesso em: 21 Setembro 2017.

PEREIRA, S. S. **Modelagem de Equações Estruturais no Software R**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 89. 2013.

PHET. **Physics Educational Technology**, 2002. Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/)>. Acesso em: 15 Maio 2014.

PIAGET, J. **Equilíbrio das estruturas cognitivas**. Rio de Janeiro: Zahar. Tradução Marion M. S. Penna, 1976.

PINHO ALVES, J. F. **Atividades experimentais: do método a prática construtivista. Tese de doutorado**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 312. 2000.

POLANYI, M. **The tacit dimension**. Gloucester: Peter Smith, 1983.

PONTONE JUNIOR, R. **Simulações e laboratórios virtuais como recursos mediacionais multimodais nas ações de um professor de Física**. Universidade Federal de Minas Gerais. Tese de doutorado. Belo Horizonte, p. 189. 2016.

PORTO, S. C. C. **Laboratório Virtual X Laboratório Material: Investigando a Natureza do Entendimento Construído em Dois Ambientes de Aprendizagem**. Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana. Dissertação de mestrado. Salvador, p. 135. 2015.

R Development Core Team R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Viena, Áustria. 2011. ISSN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

RAPPOLTS-SCHLICHTMANN, G. et. al. Transient and Robust Knowledge: Contextual support and the dynamics of children's reasoning about density. **Mind, Brain and Education**, Cambridge, v. 1, n. 2, p. 98-108, June 2007.

RASCH, G. Probabilistic models for some intelligence and attainment tests. **Danish Institute for Educational Research**, Copenhagen. Expanded edition, Chicago: University of Chicago Press, 1980. (Original work published 1960).

RAYMUNDO, V. P. Construção e validação de instrumentos: um desafio para a psicolinguística. **Letras de Hoje**, Porto Alegre, v. 44, n. 3, p. 86-93, Jul.-Set. 2009.

REVELLE, W. psych: Procedures for Personality and Psychological Research, 2017. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=psych>>. Acesso em: 14 Junho 2017.

RIVED. **Rede Interativa Virtual de Educação**. Disponível em: <<http://rived.mec.gov.br/>>. Acesso em: 2 Junho 2015.

ROBERTS, R. Can teaching about evidence encourage a creative approach in open-ended investigations? **School Science Review**, v. 90, p. 31-38, 2009.

ROSSELL, Y. Lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. **Journal of Statistical Software**, 2012. Disponível em: <<http://www.jstatsoft.org/v48/i02/>>. Acesso em: 5 Maio 2017.

RUTTEN, N.; JOOLINGEN, W. R. V.; VEEN, J. T. V. D. The learning effects of computer simulations in science education. **Computers & Education**, v. 58, p. 136-153, 2012.

SÁ, E. F.; LIMA, M. E. C. D. C.; AGUIAR JUNIOR, O. G. A construção de sentidos para o termo ensino por investigação no contexto de um curso de formação. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 79-102, 2011.

SAGLAM-ARSLAN, A. Cross-Grade Comparison of Students' Understanding of Energy Concepts. **Journal of Science Educational and Technology**, Netherlands, n. 19, p. 303-313, 2010.

SAHIN, M.; YOREK,. A comparison of problem-based learning and traditional lecture students' expectations and course grades in an introductory physics classroom. **Scientific Research and Essay**, v. 8, n. 8, p. 753-762, August 2009.

SCALISE, K. et al. Student learning in science simulation: design features that promote learning gains. **Journal of Research in science teaching**, v. 48, n. 9, p. 1050-1078, 2011.

SCHWARTZ, M. S.; FISCHER, K. W. Building general knowledge and skill: cognition and microdevelopment in science learning. In: DEMETRIOU, A.; RAFTOPOULOS, A. **Cognitive developmental change: theories, models and measurement**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

SCHWARTZ, M. S.; FISCHER, K. W. Building general knowledge and skill: cognition and microdevelopment in science learning. In: DEMETRIOU, A.; RAFTOPOULOS, A. **Cognitive developmental change: Theories, models, and measurement**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. Cap. 4, p. 157-185.

SELÇUK, G. S. The effects of problem-based learning on pre-service teachers' achievement, approaches and attitudes towards learning physics. **International Journal of the Physical Sciences**, v. 5, n. 6, p. 711-723, June 2010.

SELÇUK, S.; ÇALISKAN, ; ŞAHIN, M. A Comparison of achievement in problem-based, strategic and traditional learning classes in physics. **International Journal on New Trends in Education and Their Implications**, v. 4, p. 154-164, January 2013.

SEMAK, M. R.; DIETZ, R. D. Aspects of Factor Analysis Applied to the Force Concept Inventory. **University of Northern Colorado**, 2014. Disponível em: <<http://www.unco.edu/nhs/physics-astronomy/pdf/2014AAPTS1.pdf>>. Acesso em: 5 Janeiro 2018.

SICK, J. Rasch measurement in language education: Part 1. **Shiken: JALT Testing & Evaluation SIG Newsletter**, Tokyo, v. 12, n. 1, p. 1-6, January 2008.

SICK, J. Rasch measurement in language education: Part 2. Measurement scales and invariance. **Shiken: JALT Testing & Evaluation SIG Newsletter**, Tokyo, v. 12, n. 2, p. 26-31, April 2008.

SICK, J. Rasch measurement in language education: Part 3. The family of Rasch models. **Shiken: JALT Testing & Evaluation SIG Newsletter**, Tokyo, v. 13, n. 1, p. 4-10, January 2009.

SINGER, J. D.; WILLET, J. B. **Applied longitudinal data analysis: modeling change and event occurrence**. New York: Oxford University Press, 2003.

STELMACK, J. et al. Use of Rasch person-item map in exploratory data analysis: A clinical perspective. **Journal of Rehabilitation Research & Development**, v. 41, n. 2, p. 233-242, March/april 2004.

TEZZA, R. **Modelagem Multidimensional para mensurar qualidade em Website de E-Commerce utilizando a teoria de resposta ao item**. Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de doutorado. Florianópolis, p. 182. 2012.

TRAUB, R. E. A priori considerations in choosing an item response model. In: HAMBLETON, R. K. **Applications of item response theory**. Vancouver: Educational Research Institute of British Columbia, 1983.

TYTLER, R. **Re-imagining Science Education: Engaging students in science for Australia's future**. Australian Council for Educational Research. Camberwell, p. 88. 2007. (978-086431-725-4).

VITÓRIA, F.; ALMEIDA, L. S.; PRIMI, R. Unidimensionalidade em testes psicológicos: conceito, estratégias e dificuldade na sua avaliação. **Revista de Psicologia da Vetor Editora**, v. VII, n. 1, p. 1-7, Jan. Jun. 2006.

WRIGHT, B. D.; LINACRE, J. M. **Reasonable mean-square fit values**. **Rasch Measurement Transactions**. 8. ed. [S.l.]: [s.n.], v. 3, 370, 1994.

WRIGHT, B. D.; MASTERS, G. N. **Rating scale analysis: Rasch measurement**. Chicago: MESA, 1982.

WRIGHT, B. D.; STONE, M. H. **Making measure**. Chicago: The Phaneron Press, 2004.

WRIGHT, B.; STONE, M. Item banking. In: WRIGHT, B.; STONE, M. **Measurement Essentials**. 2º. ed. Wilmington: Wide Range, 1999. Cap. 13, p. 107-117.

WU, M.; ADAMS, R. **Applying the Rasch model to psycho-social measurement: A practical approach**. Melbourn: Educational Measurement Solutions, 2007.

ZACHARIA, Z. C. Comparing and combining real and virtual experimentation: an effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 23, p. 120-132, 2007.

ZACHARIA, Z. C.; OLYMPIOU, G. Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. **Learning and Instruction**, v. 21, n. 3, p. 317-331, June 2011.

ZÔMPERO, F.; LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio**, Belo Horizonte, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.



## 13. APÊNDICES

### 13.1. APÊNDICE A: SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO

#### SEQUÊNCIA DE ENSINO POR INVESTIGAÇÃO (SEI)

##### Atividade de laboratório aberto

##### Pêndulo Simples

*“O professor torna-se um orientador em sala de aula: através da proposição de questões, busca que os alunos construam hipóteses acerca de atividade experimental que está sendo estudada, estimula a argumentação e a busca de possíveis explicações causais para os fenômenos observados, incentivando o papel ativo do aluno. O aluno, por sua vez, sai da posição passiva, deixando de ser apenas um observador das aulas, passando a ter grande influência sobre ela, e não é mais um conhecedor de conteúdos, passando a “aprender” atitudes e desenvolver habilidades como pensar, agir, interferir, argumentar, interpretar e analisar, bem como de fazer hipóteses, defender sua explicação perante o grupo da sala de aula, utilizar a teoria aprendida como justificativa de suas ideias. CARVALHO (2014) p. 46”*

**Problematização inicial:** Quais variáveis interferem no tempo de oscilação do pêndulo simples?

O(a) professor(a) poderá iniciar a sequência de ensino apresentando o pêndulo simples (virtual ou material) e em seguida realizar a problematização inicial, fazendo com que os estudantes pensem nas características (grandezas físicas e suas relações) envolvidas na oscilação de um pêndulo simples (também pode-se complementar exemplificando com o relógio de pêndulo e um breve histórico deste -Relógio de pêndulo é um mecanismo para medida do tempo baseado na regularidade da oscilação de um pêndulo. A regularidade no movimento de um pêndulo foi estudada por Galileu Galilei no século XVI, mas a invenção do relógio de pêndulo é atribuída a Christiaan Huygens em 1656.). É importante que o professor copie a problematização inicial no quadro e estimule aos estudantes elaborarem hipóteses. As hipóteses apresentadas pelos estudantes devem ser anotadas no quadro pelo professor, e quando não houver mais suposições, deve ser explicitado que durante as próximas aulas faremos atividades experimentais para investigar questões relacionadas ao conteúdo de pêndulo simples. É interessante que o professor tome nota destas hipóteses para futuras análises.

#### ATIVIDADE 1: PERÍODO E AMPLITUDE

- ✓ *Objetivo:* Fazer com que o estudante conclua que há dependência entre o período e a amplitude de oscilação, e que, ao aumentar a amplitude, aumenta-se também o período.

- ✓ *Problema:* Como se relaciona a amplitude de oscilação e o período (T) no pêndulo simples?
- ✓ *O que os estudantes devem saber/o que deve ser instruído:* Conceitos e/ou definições de período e amplitude, bem como realizar suas medições.
- ✓ *Encaminhamento da atividade:* O(a) professor(a) deverá anotar o problema no quadro. Apresentar o experimento para os estudantes, indicando as variáveis que podem ser alteradas e medidas (tempo, comprimento, amplitude, massa). Ir passando nos grupos e incentivando a investigação, fazer perguntas como: Quais são suas hipóteses para o problema proposto? O que acontece com o período do pêndulo quando variamos a amplitude da oscilação? Como resolveu ou está resolvendo este problema?
  - Solicitar que os alunos respondam aos questionamentos abaixo, após o término da resolução do desafio (uma folha por aluno):
    - i) Quais as hipóteses levantadas pelo grupo?
    - ii) Como o grupo resolveu este problema?
    - iii) Qual a sua explicação/justificativa (pessoal) para esse fenômeno/problema?
  - Recolher as folhas com respostas.
- ✓ *Sistematização:* O(a) professor(a) deve oportunizar que os grupos discutam suas hipóteses com toda a sala, e a partir destas organizar uma resposta que vá de encontro com o objetivo desta atividade. Percebe-se que a variação do período com a amplitude é bastante sutil.

## ATIVIDADE 2: PERÍODO E MASSA

- ✓ *Objetivo:* Fazer com que o estudante conclua a não dependência entre o período de oscilação e a massa do pêndulo.
- ✓ *Problema:* Utilizando o experimento do pêndulo simples, investigue a relação entre o período de oscilação e a massa do pêndulo.
- ✓ *O que os estudantes devem saber/o que deve ser instruído:* Conceitos e/ou definições de período e massa, bem como realizar suas medições.  
*Encaminhamento da atividade:* O(a) professor(a) deverá anotar o problema no quadro. Apresentar o experimento para os estudantes, indicando as variáveis que podem ser alteradas e medidas (tempo, comprimento, amplitude, massa). Ir passando nos grupos e incentivando a investigação, fazer perguntas como: Quais são suas hipóteses para o problema proposto? o que acontece com o período quando variamos a massa do pêndulo? Como resolveu ou está resolvendo este problema?
  - Solicitar que os alunos respondam aos questionamentos abaixo, após o término da resolução do desafio (uma folha por aluno):
    - i) Quais as hipóteses levantadas pelo grupo?
    - ii) Como o grupo resolveu este problema?
    - iii) Qual a sua explicação/justificativa (pessoal) para esse fenômeno/problema?

- Recolher as folhas com respostas.
- ✓ *Sistematização:* O(a) professor(a) deve oportunizar que os grupos discutam suas hipóteses com toda a sala, e a partir destas organizar uma resposta que vá de encontro com o objetivo desta atividade.

### ATIVIDADE 3: PERÍODO E COMPRIMENTO

- ✓ *Objetivo:* Fazer como que o estudante conclua a dependência entre o período e o comprimento do fio (enquanto maior o comprimento, maior o período).
- ✓ *Problema:* Utilizando o experimento do pêndulo simples, investigue a relação entre o período de oscilação e o comprimento do fio (L).
- ✓ *O que os estudantes devem saber/o que dever ser instruído:* Conceitos e/ou definições de período e comprimento, bem como realizar suas medições.
- ✓ *Encaminhamento da atividade:* O(a) professor(a) deverá anotar o problema no quadro. Apresentar o experimento para os estudantes, indicando as variáveis que podem ser alteradas e medidas (tempo, comprimento, amplitude, massa). Ir passando nos grupos e incentivando a investigação, fazer perguntas como: Quais são suas hipóteses para o problema proposto? o que acontece com o período quando variamos o comprimento do pêndulo? Como resolveu ou está resolvendo este problema?
  - Solicitar que os alunos respondam aos questionamentos abaixo, após o término da resolução do desafio (uma folha por aluno):
    - i) Quais as hipóteses levantadas pelo grupo?
    - ii) Como o grupo resolveu este problema?
    - iii) Qual a sua explicação/justificativa (pessoal) para esse fenômeno/problema?
  - Recolher as folhas com respostas.
- ✓ *Sistematização:* O(a) professor(a) deve oportunizar que os grupos discutam suas hipóteses com toda a sala, e a partir destas organizar uma resposta que vá de encontro com o objetivo proposto. Acrescentar a informação que o período é proporcional a raiz quadrada do comprimento do pêndulo ( $T \propto \sqrt{L}$ ).

### ATIVIDADE 4: CALCULANDO A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE LOCAL

- ✓ *Objetivo:* Fazer com que o estudante mobilize seus conhecimentos sobre pêndulo simples e utilize a equação do período para determinar o valor da aceleração da gravidade local, fazendo medições do período e comprimento do pêndulo.
- ✓ *Problema:* Projete uma situação para encontrar a aceleração da gravidade local utilizando o material fornecido. Qual o valor encontrado?
- ✓ *O que os estudantes devem saber/o que dever ser instruído:* relembrar as conclusões das três atividades anteriores, instruir sobre a relação inversa entre o período e a raiz

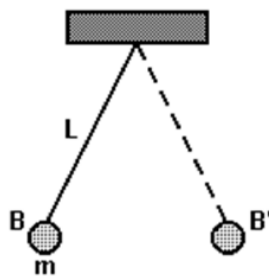
quadrada da aceleração da gravidade  $\left(T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}\right)$ , e que todas essas relações de proporcionalidade tornam-se uma igualdade ao inserir constantes, resultando na equação do período do pêndulo simples:  $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ . (válida para pequenas oscilações e desprezando atrito e resistência do ar).

- ✓ *Encaminhamento da atividade:* O(a) professor(a) deverá anotar o problema no quadro. Realizar as instruções necessárias apresentadas no tópico anterior. Ir passando nos grupos e incentivando a investigação, fazer perguntas como: Como encontrar um valor aproximado da aceleração da gravidade local, a partir do experimento e da equação do período do pêndulo simples? Qual o valor encontrado? Como resolveu ou está resolvendo este problema?
  - Solicitar que os alunos respondam aos questionamentos abaixo, após o término da resolução do desafio (uma folha por aluno):
    - i) Como o grupo resolveu este problema?
    - ii) Qual o valor encontrado?
    - iii) Está próximo do valor “esperado”?
    - iv) Como você interpreta a diferença entre o valor “esperado” e o encontrado?
  - Recolher as folhas com respostas.
- ✓ *Sistematização:* O(a) professor(a) deve oportunizar que os grupos discutam suas hipóteses com toda a sala, e a partir destas organizar uma resposta que vá de encontro com o objetivo desta atividade.

## FECHAMENTO:

### ✓ Questões

- I. (UEM-PR) Suponha que um pequeno corpo, de massa  $m$ , esteja preso na extremidade de um fio de peso desprezível, cujo comprimento é  $L$ , oscilando com pequena amplitude, em um plano vertical, como mostra a figura a seguir. Esse dispositivo constitui um pêndulo simples que executa um movimento harmônico simples. Verifica-se que o corpo, saindo de B, desloca-se até B' e retorna a B, 20 vezes em 10 s. Assinale o que for correto.



- (01) O período deste pêndulo é 2,0 s.
- (02) A frequência de oscilação do pêndulo é 0,5 Hz.

(04) Se o comprimento do fio  $L$  for 4 vezes maior, o período do pêndulo será dobrado.

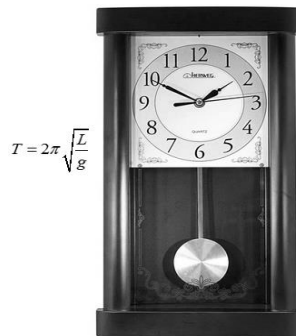
(08) Se a massa do corpo suspenso for triplicada, sua frequência ficará multiplicada por  $\sqrt{3}$ .

(16) Se o valor local de  $g$  for 4 vezes maior, a frequência do pêndulo será duas vezes menor.

(32) Se a amplitude do pêndulo for reduzida à metade, seu período não modificará.

A soma das verdadeiras é?

- II. (UNICAMP-SP) Um antigo relógio de pêndulo é calibrado no frio inverno gaúcho. Considere que o período desse relógio é dado por:



Onde  $L$  é o comprimento do pêndulo e  $g$  a aceleração da gravidade, pergunta-se:

a) Este relógio atrasará ou adiantará quando transportado para o quente verão nordestino?

b) Se o relógio for transportado do nordeste para a superfície da Lua, nas mesmas condições de temperatura, ele atrasará ou adiantará?

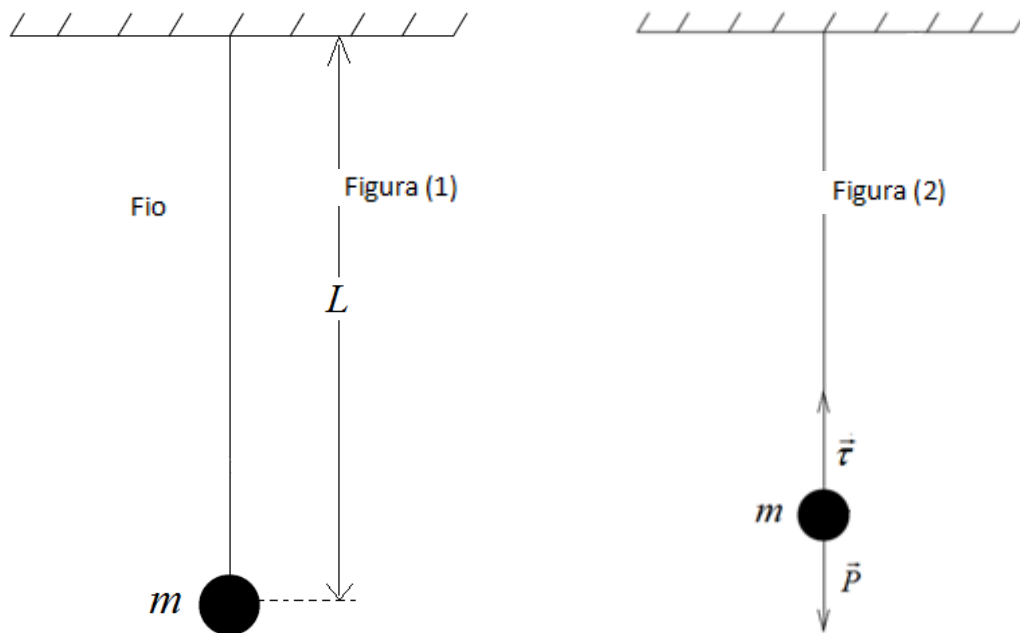
Justifique suas respostas.

## 13.2. APÊNDICE B: SUGESTÃO DE AULA EXPOSITIVA

### PÊNDULO SIMPLES

#### SUGESTÃO DE AULA EXPOSITIVA (Ensino por transmissão) – Ensino Médio

O pêndulo simples é um sistema mecânico ideal constituído por uma partícula de massa  $m$  e suspensa por um fio inextensível e sem massa de comprimento  $L$  (Figura 1).

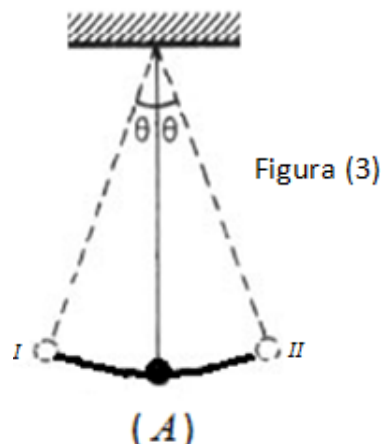


Quando o pêndulo está em repouso, duas forças agem sobre a partícula, o seu peso  $\vec{P}$  exercido pela terra e a tração aplicada pelo fio  $\vec{\tau}$  (Figura 2). Neste caso o peso e a tração se equilibram, portanto,  $\vec{\tau} = -\vec{P}$  ou em intensidade  $\tau = P$ . Como o peso é dado pela massa multiplicado a aceleração da gravidade local ( $g$ ),  $P = m \cdot g$ , podemos afirmar que  $\tau = m \cdot g$ .

Se o pêndulo for afastado de sua posição de equilíbrio (Figura 3), de modo que a direção do fio faça um ângulo  $\theta$  com a vertical (eixo Y), ele irá oscilar, executando um Movimento Harmônico Simples (MHS), desde que o ângulo seja aproximadamente menor ou igual a dez graus ( $\theta \leq 10^\circ$ ), ou de forma que a amplitude do movimento seja muito menor que o comprimento do pêndulo ( $A \ll L$ ).

O Movimento Harmônico Simples é um tipo de movimento oscilatório que surge a partir da existência de forças restauradoras que tendem a trazer ou manter sistemas em certos estados ou posições. Exemplo: Pêndulo simples e sistema massa-mola.

A amplitude ( $A$ ) do movimento é o comprimento do arco de circunferência percorrido pelo pêndulo, conforme mostrado na figura 3. Representada pela distância entre os pontos  $I$  e  $II$ .



Para calcular a amplitude em metros, multiplicamos o ângulo (em radianos) pelo comprimento do fio (em metro), ou seja,  $A = \theta \cdot L$ .

Para transformar ângulos em graus para radianos, basta fazer uma regra de três.

$$180^\circ - \pi(rad)$$

$$y^\circ - x(rad)$$

$y^\circ$  - Valor do ângulo em graus

$x$  - Resposta em radianos (*rad*)

Quando deslocado da posição de equilíbrio, o peso  $\vec{p}$  poderá ser dividido em duas componentes, uma na direção do fio  $\vec{P}_1$  e uma na direção perpendicular ao fio  $\vec{P}_2$ . (Figura 4).

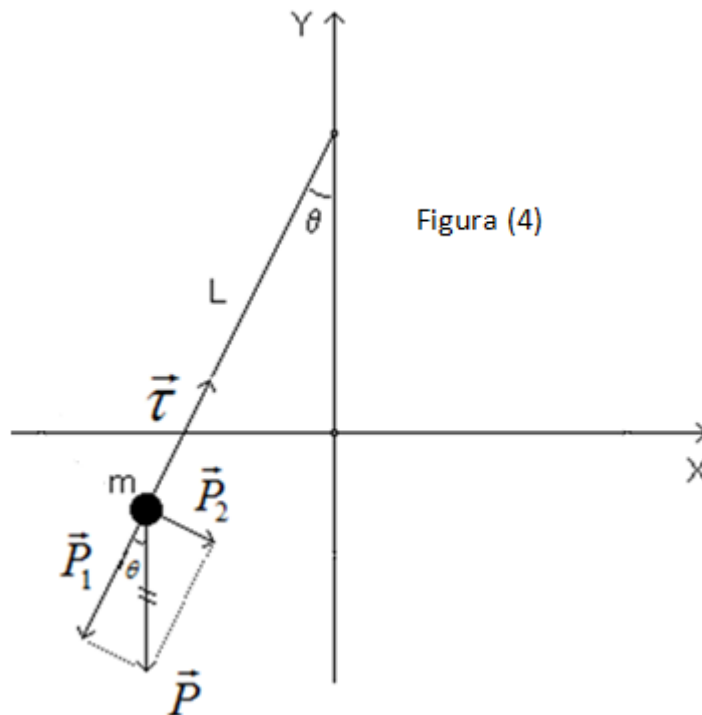


Figura (4)

A intensidade da componente  $\vec{P}_1$  é dado por  $P_1 = P \cdot \cos \theta$  ou  $P_1 = m \cdot g \cdot \cos \theta$ , e da componente  $\vec{P}_2$  é igual a  $P_2 = P \cdot \sin \theta$  ou  $P_2 = m \cdot g \cdot \sin \theta$ .

Sendo o ângulo  $\theta$  o mesmo entre  $\vec{P}$  e  $\vec{P}_1$  (pois  $P$  é paralelo ao eixo Y), e considerando o triângulo retângulo formado pelos catetos  $P_1$  e  $P_2$  e hipotenusa  $P$ , temos que,

$$\sin \theta = \frac{\text{Cateto.oposto}}{\text{hipotenusa}} \rightarrow \sin \theta = \frac{P_2}{P} \rightarrow P_2 = P \cdot \sin \theta \rightarrow P_2 = m \cdot g \cdot \sin \theta$$

Da mesma maneira temos

$$\cos \theta = \frac{\text{Cateto.Adjacente}}{\text{hipotenusa}} \rightarrow \cos \theta = \frac{P_1}{P} \rightarrow P_1 = P \cdot \cos \theta \rightarrow P_1 = m \cdot g \cdot \cos \theta$$

A componente do peso  $\vec{P}_2$ , tangencial ao deslocamento, é a força de restauração desse movimento, pois age no corpo de modo a trazê-lo de volta à sua posição central de equilíbrio. Assim  $\vec{P}_2$  é a responsável por fazer o pêndulo oscilar sob a ação da gravidade.

Todo movimento oscilatório é caracterizado por um período  $T$ , que é o tempo necessário para se executar uma oscilação completa. Para pequenas amplitudes de oscilação, o período do pêndulo simples não depende do ângulo  $\theta$  e é dado pela equação:

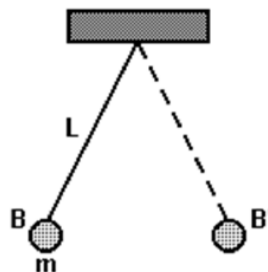
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

A demonstração desta equação requer conhecimento de Matemática de nível superior, no entanto, experimentalmente é simples de ser verificada.

- Apresentar relações de proporcionalidade entre as grandezas na equação;
- Valor da aceleração da gravidade aproximado de  $9,81m/s^2$ . Falar rapidamente que este valor varia minimamente devido a, principalmente, diferentes altitudes, variações na latitude e distribuição de massas do planeta Terra;
- Relação entre período e frequência e definições;

✓ Questões

- I. (UEM-PR) Suponha que um pequeno corpo, de massa  $m$ , esteja preso na extremidade de um fio de peso desprezível, cujo comprimento é  $L$ , oscilando com pequena amplitude, em um plano vertical, como mostra a figura a seguir. Esse dispositivo constitui um pêndulo simples que executa um movimento harmônico simples. Verifica-se que o corpo, saindo de B, desloca-se até B' e retorna a B, 20 vezes em 10 s. Assinale o que for correto.



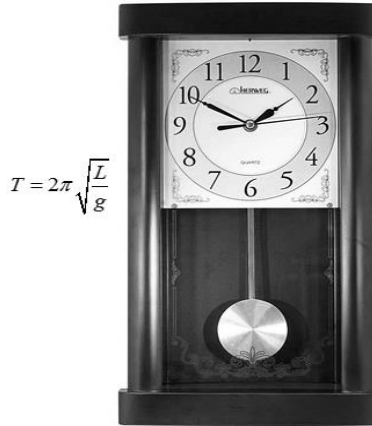
- (01) O período deste pêndulo é 2,0 s.  
(02) A frequência de oscilação do pêndulo é 0,5 Hz.  
(04) Se o comprimento do fio  $L$  for 4 vezes maior, o período do pêndulo será dobrado.  
(08) Se a massa do corpo suspenso for triplicada, sua frequência ficará multiplicada por  $\sqrt{3}$ .  
(16) Se o valor local de  $g$  for 4 vezes maior, a frequência do pêndulo será duas vezes menor.



(32) Se a amplitude do pêndulo for reduzida à metade, seu período não modificará.

A soma das verdadeiras é?

- II. (UNICAMP-SP) Um antigo relógio de pêndulo é calibrado no frio inverno gaúcho. Considere que o período desse relógio é dado por:



Onde  $L$  é o comprimento do pêndulo e  $g$  a aceleração da gravidade, pergunta-se:

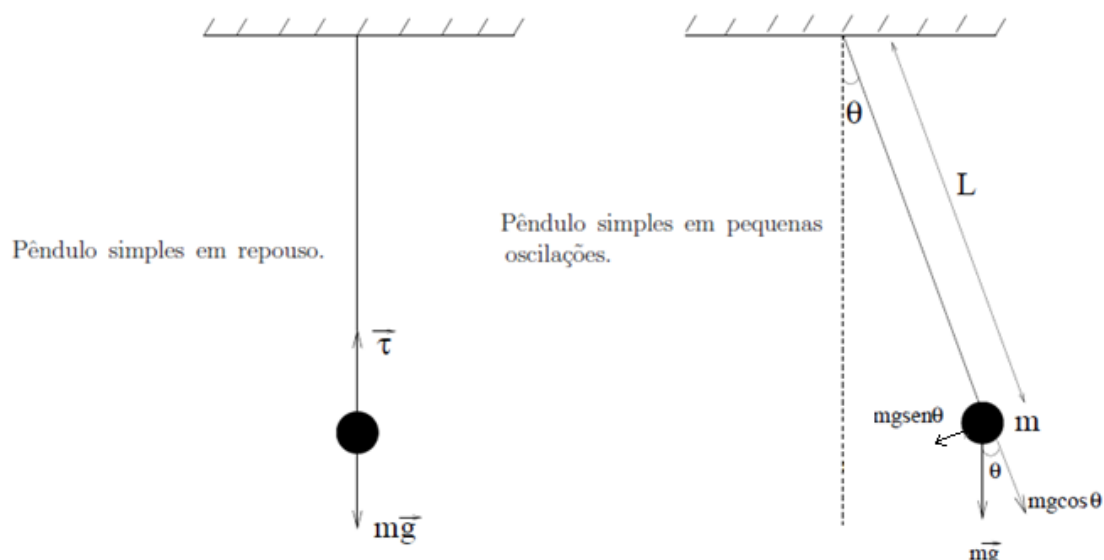
- Este relógio atrasará ou adiantará quando transportado para o quente verão nordestino?
- Se o relógio for transportado do nordeste para a superfície da Lua, nas mesmas condições de temperatura, ele atrasará ou adiantará?

Justifique suas respostas.

### 13.3. APÊNDICE C: ROTEIRO ESTRUTURADO – LABORATÓRIO MATERIAL

Nome: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_  
Curso: \_\_\_\_\_ Instituição de Ensino: \_\_\_\_\_

**INTRODUÇÃO:** O pêndulo simples é um sistema mecânico ideal constituído por uma partícula de massa  $m$  suspensa por um fio inextensível e sem massa de comprimento  $L$ , conforme mostrado na figura abaixo. Quando o pêndulo está em repouso (lado esquerdo da figura), as duas forças que agem sobre a partícula, o seu peso ( $\vec{p} = m\vec{g}$ ) e a tensão aplicada pelo fio ( $\vec{\tau}$ ), se equilibram. Porém, se o pêndulo for afastado de sua posição de equilíbrio (lado direito da figura), de modo que a direção do fio faça um ângulo  $\theta$  com a vertical, o componente do peso perpendicular ao fio, de intensidade  $P = mg \sin \theta$ , agirá no sentido de restaurar o equilíbrio, fazendo o pêndulo oscilar, sob a ação da gravidade.



Fonte: Pêndulo Simples. Roteiros. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.fisica.ufmg.br/~nlandin/fif121/roteiros3.pdf>>. Acesso em: 05 Mai. 2015

MATERIAIS UTILIZADOS: Kit pêndulo simples

- Tripé tipo estrela;
- Haste metálica 81,0cm;
- Fixador metálico com haste;
- Fixador metálico com regulagem do fio;
- Trena de 2,0m;
- Cronômetro;
- Corpo de prova de nylon;
- Corpo de prova de alumínio;
- Corpo de prova de latão;
- Transferidor;

Com o experimento montado, fixe o comprimento do fio em 30,0cm e utilize o corpo de prova de alumínio.

Realize os procedimentos abaixo:

- I- Utilize o cronômetro para medir o tempo de **dez** oscilações completas, de acordo com os ângulos estipulados.

Ângulo	10°	30°	50°	70°
Tempo (t)	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_1 =$
	$t_2 =$	$t_2 =$	$t_2 =$	$t_2 =$
	$t_{Médio} =$	$t_{Médio} =$	$t_{Médio} =$	$t_{Médio} =$

Período (T) $T = \frac{t_{Médio}}{10}$	$T =$	$T =$	$T =$	$T =$
---	-------	-------	-------	-------

Calcule em porcentagem o aumento dos períodos indicados na tabela. Para realizar o cálculo, pode-se utilizar da seguinte equação:  $\left(1 - \frac{T_{Menor}}{T_{Maior}}\right) \times 100 = \text{_____} \%$ .

Ângulos analisados	Entre 10° e 30°	Entre 10° e 50°	Entre 10° e 70°
Varição do valor dos períodos em porcentagem			

O que acontece com o valor do período quando aumentamos o ângulo? E com a variação do valor dos períodos? O que se pode concluir com esses resultados?

II- Abandonando o pêndulo com o ângulo de dez graus (10°) e o comprimento de 30,0cm, preencha a tabela abaixo:

Massa (m)	Corpo de prova de nylon (14,5 g)	Corpo de prova de alumínio (31,5 g) Dados já obtidos no procedimento I	Corpo de prova de latão (98,0 g)
Tempo de <b>dez</b> oscilações completas (t)	t <sub>1</sub> =	t <sub>1</sub> =	t <sub>1</sub> =
	t <sub>2</sub> =	t <sub>2</sub> =	t <sub>2</sub> =
	t <sub>Médio</sub> =	t <sub>Médio</sub> =	t <sub>Médio</sub> =
Período (T) $T = \frac{t_{Médio}}{10}$	T =	T =	T =

A partir dos dados da tabela, o que se pode concluir da relação entre o período (T) e a massa (m)? Justifique sua resposta.

III- Ainda sempre com o ângulo de inclinação de dez graus (10°), e utilizando o corpo de prova de alumínio, preencha a tabela:

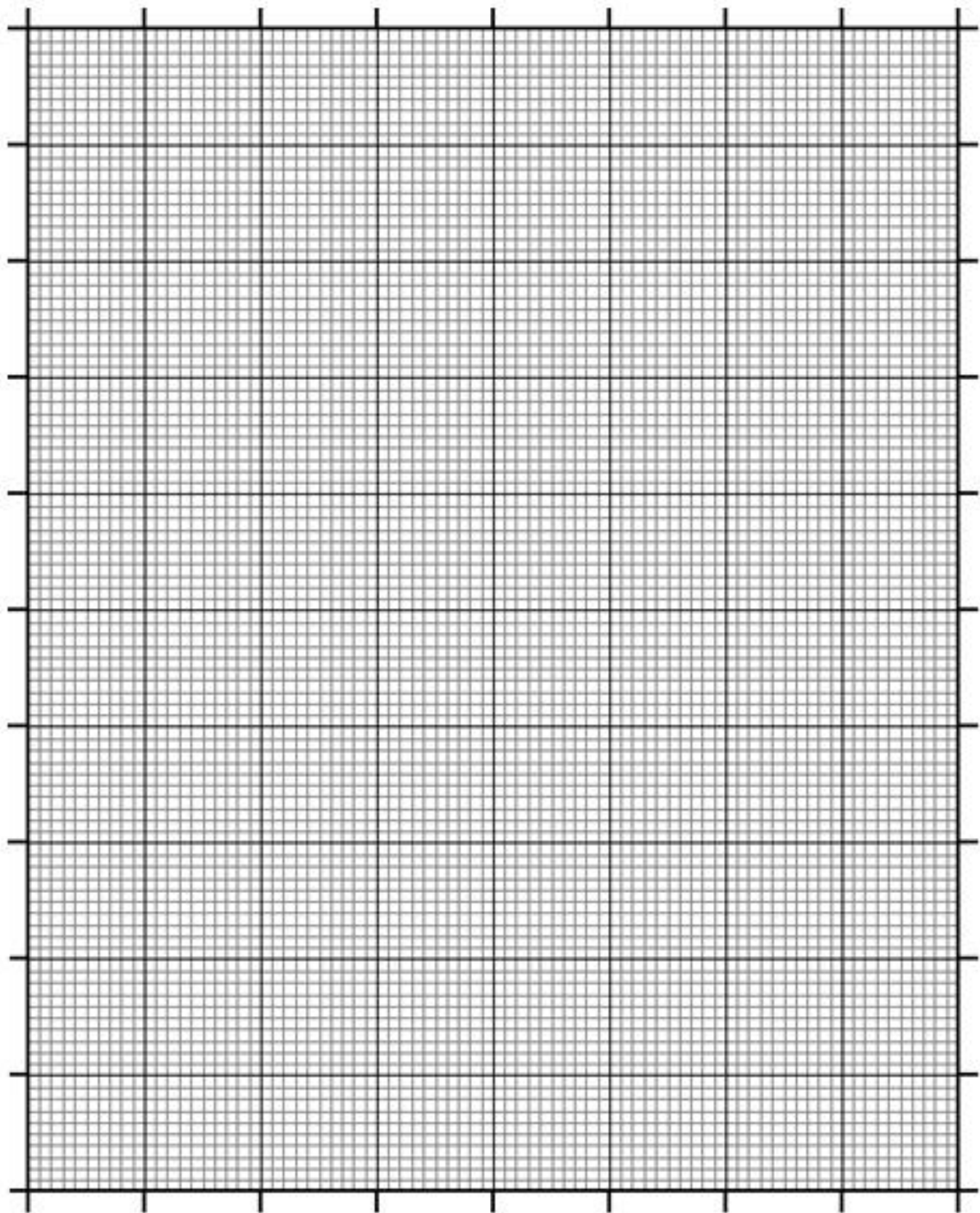
Comprimento do pêndulo (L)	20,0cm	30,0cm Dados já obtidos no procedimento I	40,0cm	50,0cm	60,0cm
Tempo de <b>dez</b> oscilações	t <sub>1</sub> =	t <sub>1</sub> =	t <sub>1</sub> =	t <sub>1</sub> =	t <sub>1</sub> =
	t <sub>2</sub> =	t <sub>2</sub> =	t <sub>2</sub> =	t <sub>2</sub> =	t <sub>2</sub> =

completas ( $t$ )	$t_{M\u00e9dio} =$	$t_{M\u00e9dio} =$	$t_{M\u00e9dio} =$	$t_{M\u00e9dio} =$	$t_{M\u00e9dio} =$
Per\u00edodo ( $T$ ) $T = \frac{t_{M\u00e9dio}}{10}$	$T =$	$T =$	$T =$	$T =$	$T =$

A partir dos dados da tabela, o que se pode constatar da rela\u00e7\u00e3o entre o comprimento do p\u00eandulo e o per\u00edodo?

IV- Utilizando o papel milimetrado da pr\u00f3xima p\u00e1gina, construa o gr\u00e1fico do per\u00edodo ( $T$ ) versus a raiz quadrada do comprimento do p\u00eandulo ( $\sqrt{L}$ ).

$\sqrt{L}$ cm	$\sqrt{20} =$	$\sqrt{30} =$	$\sqrt{40} =$	$\sqrt{50} =$	$\sqrt{60} =$
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	---------------



O que se pode concluir a partir do gráfico? Qual a relação matemática entre o período e a raiz quadrada do comprimento do pêndulo?

V- Uma das formas de calcular o valor da aceleração da gravidade é a partir da equação do período ( $T$ ) do pêndulo simples,  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ , sendo  $L$  o comprimento

do fio e  $g$  a aceleração da gravidade local. Elevando ao quadrado ambos os lados da equação e isolando a aceleração da gravidade, temos,  $g = 4\pi^2 \cdot \frac{L}{T^2}$ . Utilizando esta equação, realize os procedimentos que se seguem para determinar o valor aproximado da aceleração da gravidade local. Utilize  $\pi$  igual a 3,1416 e dê a resposta com 4 casas decimais.

Realize duas novas medições para o período de oscilação do pêndulo simples, todas com o ângulo de  $10^\circ$  e 30,0cm de comprimento do pêndulo.

Medições	1ª medição - já realizada no procedimento I.	2ª medição - já realizada no procedimento I.	3ª medição	4ª medição
Tempo (t) de <b>dez</b> oscilações completas	$t_1 =$	$t_2 =$	$t_3 =$	$t_4 =$
Período (T) $T = \frac{t_n}{10}$	$T_1 =$	$T_2 =$	$T_3 =$	$T_4 =$

Determine o valor médio do período ( $T_{Médio}$ ).

$$T_{Médio} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4}$$

$$T_{Médio} =$$

Utilizando a equação apresentada neste procedimento e o valor médio do período, calcule o valor aproximado da aceleração da gravidade local.

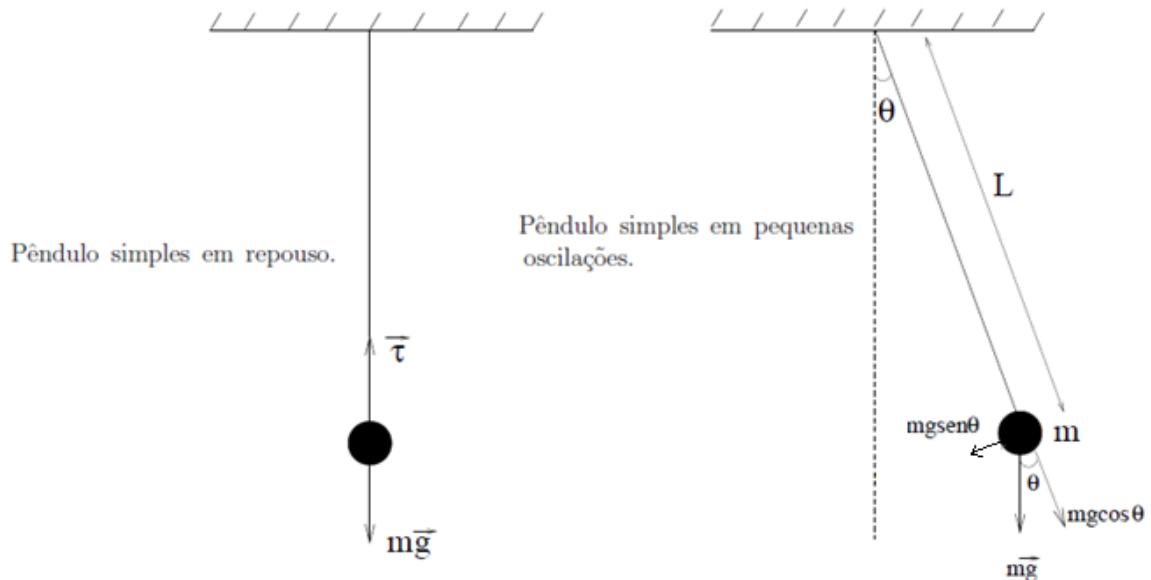
Compare o valor da aceleração da gravidade que você encontrou com o valor esperado, destacando elementos que justifiquem ou expliquem as possíveis diferenças.

#### 13.4. APÊNDICE D: ROTEIRO ESTRUTURADO – LABORATÓRIO VIRTUAL

Nome: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_  
Curso: \_\_\_\_\_ Instituição de Ensino: \_\_\_\_\_

**INTRODUÇÃO:** O pêndulo simples é um sistema mecânico ideal constituído por uma partícula de massa  $m$  suspensa por um fio inextensível e sem massa de comprimento  $L$ , conforme mostrado na figura abaixo. Quando o pêndulo está em repouso (lado esquerdo da figura), as duas forças que agem sobre a partícula, o seu peso ( $\vec{p} = m\vec{g}$ ) e a tensão aplicada

pelo fio ( $\vec{\tau}$ ), se equilibram. Porém, se o pêndulo for afastado de sua posição de equilíbrio (lado direito da figura), de modo que a direção do fio faça um ângulo  $\theta$  com a vertical, o componente do peso perpendicular ao fio, de intensidade  $P = mg \sin \theta$ , agirá no sentido de restaurar o equilíbrio, fazendo o pêndulo oscilar, sob a ação da gravidade.

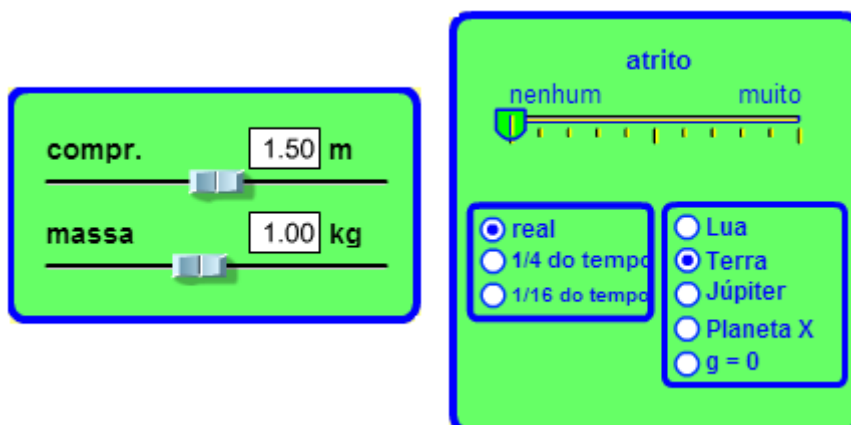


Fonte: Pêndulo Simples. Roteiros. Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.fisica.ufmg.br/~nlandin/fif121/roteiros3.pdf>>. Acesso em: 05 Mai. 2015

#### MATERIAIS UTILIZADOS: **Simulação do pêndulo simples**

- Pêndulo com massas e comprimentos variáveis;
- Indicação dos ângulos em graus;
- Medidor de comprimento e cronômetro (outras ferramentas);
- Régua;

Com o simulador aberto na tela do computador, insira o valor do comprimento do pêndulo (1,5 m), a massa (1,0 kg), sem resistência do ar e atrito, cronômetro em tempo real e gravidade do planeta terra (conforme figuras).



Realize os procedimentos abaixo:

- I- Marque a opção “outras ferramentas” e utilize o cronômetro para medir o tempo de **dez** oscilações completas, de acordo com os ângulos estipulados.

Ângulo	10°	30°	50°	70°
Tempo (t)	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_1 =$
	$t_2 =$	$t_2 =$	$t_2 =$	$t_2 =$
	$t_{Médio} =$	$t_{Médio} =$	$t_{Médio} =$	$t_{Médio} =$
Período (T) $T = \frac{t_{Médio}}{10}$	$\tau =$	$\tau =$	$\tau =$	$\tau =$

Calcule em porcentagem o aumento dos períodos indicados na tabela. Para realizar o cálculo, pode-se utilizar da seguinte equação:  $\left(1 - \frac{T_{Menor}}{T_{Maior}}\right) \times 100 = \text{_____} \%$ .

Ângulos analisados	Entre 10° e 30°	Entre 10° e 50°	Entre 10° e 70°
Varição do valor dos períodos em porcentagem			

O que acontece com o valor do período quando aumentamos o ângulo? E com a variação do valor dos períodos? O que se pode concluir com esses resultados?

Realize os procedimentos abaixo:

- II- Abandonando o pêndulo com o ângulo de **dez graus** (10°) e o comprimento de 1,5m, preencha a tabela abaixo:

Massa ( $m$ )	0,5kg	1,0kg Dados já obtidos no procedimento I	1,5kg
Tempo de <b>dez</b> oscilações completas ( $\tau$ )	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_1 =$
	$t_2 =$	$t_2 =$	$t_2 =$
	$t_{Médio} =$	$t_{Médio} =$	$t_{Médio} =$
Período (T) $T = \frac{t_{Médio}}{10}$	$\tau =$	$\tau =$	$\tau =$

A partir dos dados da tabela, o que se pode concluir da relação entre o período ( $\tau$ ) e a massa ( $m$ )? Justifique sua resposta.



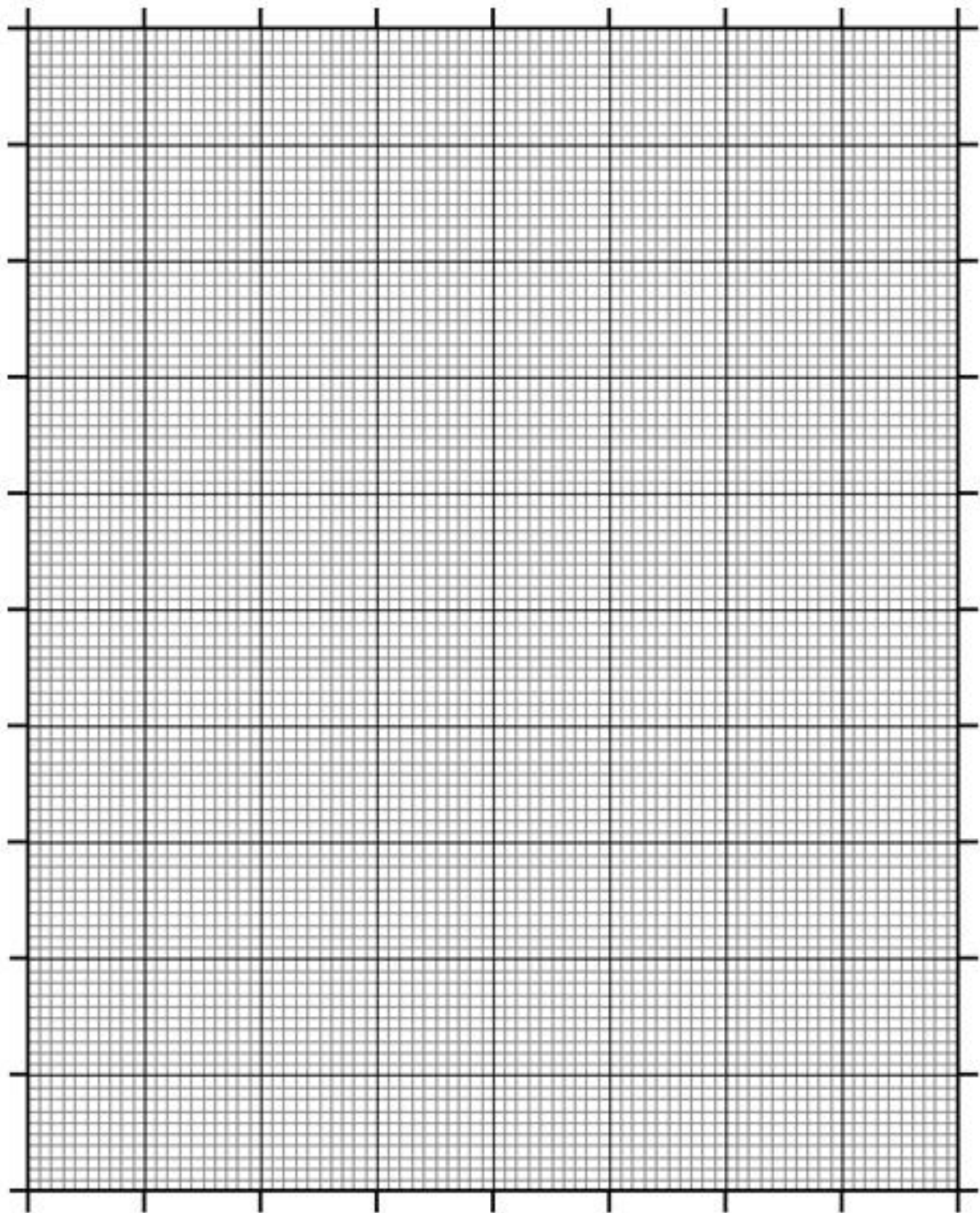
III- Ainda sempre com o ângulo de inclinação de dez graus ( $10^\circ$ ), e utilizando o pêndulo com massa de  $1,0\text{kg}$ , preencha a tabela:

Comprimento do pêndulo ( $L$ )	$0,5\text{m}$	$1,0\text{m}$	$1,5\text{m}$ Dados já obtidos no procedimento I	$2,0\text{m}$	$2,5\text{m}$
Tempo de <b>dez</b> oscilações completas ( $t$ )	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_1 =$
	$t_2 =$	$t_2 =$	$t_2 =$	$t_2 =$	$t_2 =$
	$t_{\text{Médio}} =$	$t_{\text{Médio}} =$	$t_{\text{Médio}} =$	$t_{\text{Médio}} =$	$t_{\text{Médio}} =$
Período ( $T$ ) $T = \frac{t_{\text{Médio}}}{10}$	$T =$	$T =$	$T =$	$T =$	$T =$

A partir dos dados da tabela, o que se pode constatar da relação entre o comprimento do pêndulo e o período?

IV- Utilizando o papel milimetrado da próxima página, construa o gráfico do período ( $T$ ) versus a raiz quadrada do comprimento do pêndulo ( $\sqrt{L}$ ).

$\sqrt{L} \text{ m}$	$\sqrt{0,5} =$	$\sqrt{1,0} =$	$\sqrt{1,5} =$	$\sqrt{2,0} =$	$\sqrt{2,5} =$
----------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------



O que se pode concluir a partir do gráfico? Qual a relação matemática entre o período e a raiz quadrada do comprimento do pêndulo?

V- Uma das formas de calcular o valor da aceleração da gravidade é a partir da equação do período ( $T$ ) do pêndulo simples,  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ , sendo  $L$  o comprimento

do fio e  $g$  a aceleração da gravidade local. Elevando ao quadrado ambos os lados da equação e isolando a aceleração da gravidade, temos,  $g = 4\pi^2 \cdot \frac{L}{T^2}$ . Utilizando esta equação, realize os procedimentos que seguem para determinar o valor aproximado da aceleração da gravidade local. Utilize  $\pi$  igual a 3,1416 e dê a resposta com 4 casas decimais.

Realize duas novas medições para o período de oscilação do pêndulo simples, todas com o ângulo de  $10^\circ$  e  $1,5m$  de comprimento do pêndulo.

Medições	1ª medição - já realizada no procedimento I.	2ª medição - já realizada no procedimento I.	3ª medição	4ª medição
Tempo (t) de dez oscilações completas	$t_1 =$	$t_2 =$	$t_3 =$	$t_4 =$
Período (T) $T = \frac{t_n}{10}$	$T_1 =$	$T_2 =$	$T_3 =$	$T_4 =$

Determine o valor médio do período ( $T_{Médio}$ ).

$$T_{Médio} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4}$$

$$T_{Médio} =$$

Utilizando a equação apresentada neste procedimento e o valor médio do período, calcule o valor aproximado da aceleração da gravidade local.

Compare o valor da aceleração da gravidade que você encontrou com o valor esperado, destacando elementos que justifiquem ou expliquem as possíveis diferenças.

### 13.5. APÊNDICE E: TESTE INICIAL

#### TESTE INICIAL

Nome: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Curso: \_\_\_\_\_ Instituição de Ensino: \_\_\_\_\_

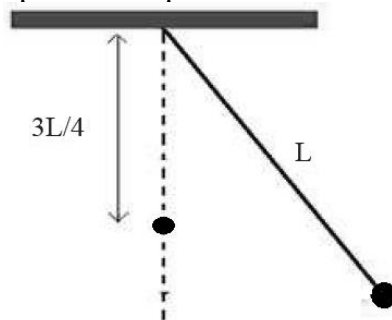
**A seguir têm-se questões de três tipos: discursivas, de verdadeiro e falso e questões de múltipla escolha. Solicitamos que descreva o máximo que puder seu entendimento quando a questão for discursiva. Junto a cada pergunta/alternativa é colocado um quadro que serve para avaliar o grau de segurança que você teve ao responder. Marque**

“Muito Seguro” quando você tiver total segurança sobre a exatidão da resposta dada, “Seguro” quando estiver certo sobre a resposta, mas com algum elemento de dúvida em relação ao que respondeu, “Neutro” quando não souber avaliar sua segurança, “Inseguro” quando julga que a resposta pode ou não estar correta e “Muito Inseguro” quando não souber julgar a exatidão do que respondeu.

**VF9B** - Na Terra, certo pêndulo simples executa oscilações com período de  $1,0s$ . Suponha que esse pêndulo fosse gradativamente removido para regiões livre de ações gravitacionais. Classifique as afirmativas abaixo em verdadeiras (V) ou falsas (F):

- a) ( ) O pêndulo irá oscilar cada vez mais rápido.  
- Muito Seguro    - Seguro    - Neutro    - Inseguro    - Muito Inseguro
- b) ( ) A frequência do pêndulo irá aumentar gradativamente.  
- Muito Seguro    - Seguro    - Neutro    - Inseguro    - Muito Inseguro
- c) ( ) O pêndulo oscilará com períodos cada vez maiores.  
- Muito Seguro    - Seguro    - Neutro    - Inseguro    - Muito Inseguro
- d) ( ) O pêndulo continuará oscilando com período de  $1,0s$ .  
- Muito Seguro    - Seguro    - Neutro    - Inseguro    - Muito Inseguro

**ME10B**- Um pêndulo simples oscila com um período de  $2,0s$ . Se cravarmos um pino a uma distância de  $\frac{3L}{4}$  do ponto de suspensão, na vertical que passa por aquele ponto, como mostrado na figura, o novo período do pêndulo será:



<input type="checkbox"/> - Muito Seguro
<input type="checkbox"/> - Seguro
<input type="checkbox"/> - Neutro
<input type="checkbox"/> - Inseguro
<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro

- a) 1,0 segundo  
 b) 1,25 segundos  
 c) 1,5 segundos  
 d) 1,75 segundos  
 e) Continuará 2,0 segundos

**D4A**- O pêndulo de Foucault – popularizado pela famosa obra de Umberto Eco – consistia em uma esfera de  $28,0kg$ , pendurada na cúpula do Panthéon de Paris por um fio de  $67,0m$  de comprimento. Sabe-se que o período  $T$  de oscilação de um pêndulo simples é relacionado com seu comprimento  $L$  e com a aceleração da gravidade  $g$  pela seguinte expressão:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

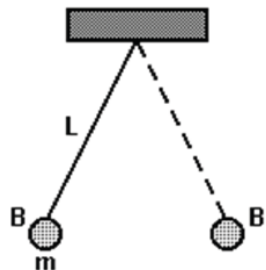
- a) Qual o período de oscilação do pêndulo de Foucault? Despreze as frações de segundo.  
 Adote  $g = 10m/s^2$  e  $\sqrt{10} = \pi$

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

- b) O que aconteceria com o período desse pêndulo se dobrássemos sua massa? Justifique sua resposta.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

**VF1A** - Suponha que um pequeno corpo de massa  $m$ , esteja preso na extremidade de um fio de peso desprezível, cujo comprimento é  $L$ , em um plano vertical, representado na figura. Esse dispositivo constitui um pêndulo simples que executa um movimento harmônico simples, que consideramos estar oscilando com pequena amplitude. Verifica-se que o corpo, saindo de  $B$ , desloca-se até  $B'$  e retorna a  $B$ , 20 vezes em 10 s. Classifique as alternativas em verdadeiras (V) ou falsas (F).



- a)  O período deste pêndulo é 2,0 s .

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

- b)  A frequência de oscilação do pêndulo é 0,5 Hz .

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

- c)  Se o comprimento do fio ( $L$ ) for aumentado de 4 vezes, o seu novo período de oscilação será dobrado

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

- d)  Se a massa do corpo preso a extremidade do fio for triplicada, sua frequência ficará multiplicada por  $\sqrt{3}$  .

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

- e)  Se o local tiver uma aceleração da gravidade “ $g$ ” quatro vezes maior, a frequência do pêndulo será duas vezes menor.

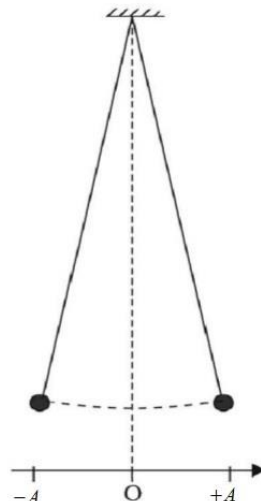
<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

**D14A**- Desprezando a resistência do ar, quais as forças que agem no movimento oscilatório de um pêndulo simples?

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro
<input type="checkbox"/> )- Seguro
<input type="checkbox"/> )- Neutro
<input type="checkbox"/> )- Inseguro
<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro

**VF5B-** Um estudante faz o estudo experimental de um movimento harmônico simples (MHS) com um cronômetro e um pêndulo simples como ilustrado na figura, adotando o referencial nela representado.

Ele desloca o pêndulo para a posição  $+A$  e o abandona no instante  $t = 0$ . Na vigésima passagem do pêndulo por essa posição, o cronômetro marca  $t = 30s$ . Classifique as afirmativas em verdadeiras (V) ou falsas (F):



a) ( ) O pêndulo realiza uma oscilação completa a cada 3,0 segundos.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

b) ( ) O período do pêndulo é 1,5 segundos.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

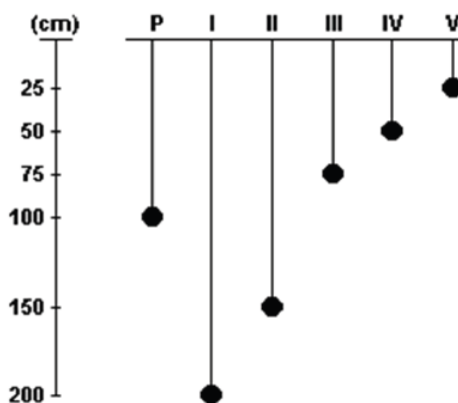
c) ( ) A cada segundo o pêndulo realiza 2/3 de uma oscilação completa.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

d) ( ) A frequência desse pêndulo é de aproximadamente 0,67 Hz.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

**ME2A-** A figura a seguir representa seis pêndulos simples.



Considerando que eles oscilam no mesmo local, e o pêndulo  $P$  executa uma oscilação completa em  $2,0s$ , qual dos outros pêndulos executa uma oscilação em  $1,0s$ ?

- a)  $I$
- b)  $II$
- c)  $III$
- d)  $IV$
- e)  $V$

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro
<input type="checkbox"/> )- Seguro
<input type="checkbox"/> )- Neutro
<input type="checkbox"/> )- Inseguro
<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro

**VF10B-** Suponha que um astronauta levasse um relógio de pêndulo para a Lua, sendo que este foi calibrado na Terra. Sabendo que a aceleração da gravidade lunar é aproximadamente

seis vezes menor que na Terra, analise as proposições abaixo, marcando V se for verdadeira e F se for falsa.

a) ( ) O período do pêndulo aumentaria.

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

b) ( ) E a frequência do pêndulo diminuiria.

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

c) ( ) O relógio se adiantaria.

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

d) ( ) Para acertar o relógio, o astronauta deveria diminuir o comprimento do pêndulo.

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

**ME8A-** Um pêndulo simples, de comprimento  $L$ , tem um período de oscilação  $T$ , num determinado local. Para que o período de oscilação passe a valer  $2T$ , no mesmo local, o comprimento do pêndulo deve ser aumentado em:

- a) 1,5 vezes
- b) 2,0 vezes
- c) 3,0 vezes
- d) 4,0 vezes
- e) 8,0 vezes

( )- Muito Seguro
( )- Seguro
( )- Neutro
( )- Inseguro
( )- Muito Inseguro

### 13.6. APÊNDICE F: TESTE INTERMEDIÁRIO

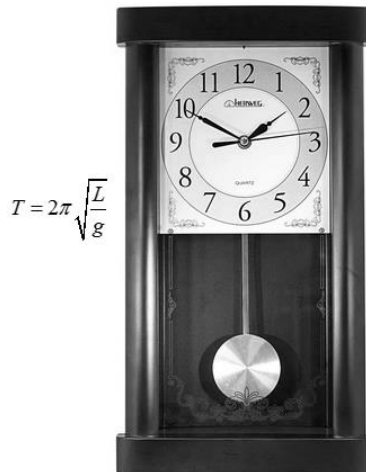
#### TESTE INTERMEDIÁRIO

Nome: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Curso: \_\_\_\_\_ Instituição de Ensino: \_\_\_\_\_

**A seguir têm-se questões de três tipos: discursivas, de verdadeiro e falso e questões de múltipla escolha. Solicitamos que descreva o máximo que puder seu entendimento quando a questão for discursiva. Junto a cada pergunta/alternativa é colocado um quadro que serve para avaliar o grau de segurança que você teve ao responder. Marque “Muito Seguro” quando você tiver total segurança sobre a exatidão da resposta dada, “Seguro” quando estiver certo sobre a resposta, mas com algum elemento de dúvida em relação ao que respondeu, “Neutro” quando não souber avaliar sua segurança, “Inseguro” quando julga que a resposta pode ou não estar correta e “Muito Inseguro” quando não souber julgar a exatidão do que respondeu.**

**VF6B-** Um antigo relógio de pêndulo é calibrado no frio inverno gaúcho. Considere que o período do pêndulo do relógio é dado por:



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Onde  $L$  é o comprimento do pêndulo e  $g$  a aceleração da gravidade. Analise as proposições abaixo, marcando V se for verdadeira e F se for falsa.

- a) ( ) Suponha que no transporte entre o sul do Brasil até o nordeste, a temperatura vá aumentando gradativamente. Consequentemente, no caminho entre essas regiões, o pêndulo do relógio irá oscilar cada vez mais lentamente.

<input type="checkbox"/> - Muito Seguro	<input type="checkbox"/> - Seguro	<input type="checkbox"/> - Neutro	<input type="checkbox"/> - Inseguro	<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro
---	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---

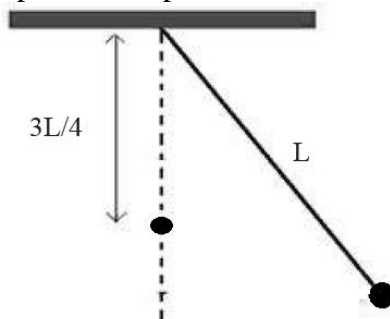
- b) ( ) Este relógio atrasará quando transportado para o quente verão nordestino.

<input type="checkbox"/> - Muito Seguro	<input type="checkbox"/> - Seguro	<input type="checkbox"/> - Neutro	<input type="checkbox"/> - Inseguro	<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro
---	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---

- c) ( ) Se esse relógio for transportado para a superfície da Lua, onde a gravidade é seis vezes menor do que na Terra, ele irá adiantar.

<input type="checkbox"/> - Muito Seguro	<input type="checkbox"/> - Seguro	<input type="checkbox"/> - Neutro	<input type="checkbox"/> - Inseguro	<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro
---	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---

**ME10B-** Um pêndulo simples oscila com um período de  $2,0s$ . Se cravarmos um pino a uma distância de  $\frac{3L}{4}$  do ponto de suspensão, na vertical que passa por aquele ponto, como mostrado na figura, o novo período do pêndulo será:



<input type="checkbox"/> - Muito Seguro
<input type="checkbox"/> - Seguro
<input type="checkbox"/> - Neutro
<input type="checkbox"/> - Inseguro
<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro

- a) 1,0 segundo
- b) 1,25 segundos
- c) 1,5 segundos
- d) 1,75 segundos
- e) Continuará 2,0 segundos

**D4A-** O pêndulo de Foucault – popularizado pela famosa obra de Umberto Eco – consistia em uma esfera de  $28,0kg$ , pendurada na cúpula do Panthéon de Paris por um fio de  $67,0m$  de



comprimento. Sabe-se que o período  $T$  de oscilação de um pêndulo simples é relacionado com seu comprimento  $L$  e com a aceleração da gravidade  $g$  pela seguinte expressão:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

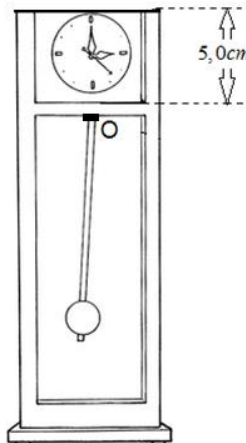
- a) Qual o período de oscilação do pêndulo de Foucault? Despreze as frações de segundo. Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e  $\sqrt{10} = \pi$

)- Muito Seguro    )- Seguro    )- Neutro    )- Inseguro    )- Muito Inseguro

- b) O que aconteceria com o período desse pêndulo se dobrássemos sua massa? Justifique sua resposta.

)- Muito Seguro    )- Seguro    )- Neutro    )- Inseguro    )- Muito Inseguro

**VF7B-** Um estudante pretendia apresentar um relógio de pêndulo numa feira de ciências com um mostrador de  $5,0 \text{ cm}$  de altura, como mostra a figura (fora de escala). Sabendo-se que, para pequenas oscilações, o período de um pêndulo simples, é dado pela expressão  $T = 2\pi \sqrt{L/g}$ , e que o pêndulo está pendurado no ponto O, classifique as assertivas em verdadeiras (V) ou falsas (F). Para facilitar seus cálculos, admita  $g = \pi^2 \text{ m/s}^2$ .



- a)  Sendo o período do pêndulo de  $0,8 \text{ s}$ , este relógio poderá ter altura total de  $15,0 \text{ cm}$ .

)- Muito Seguro    )- Seguro    )- Neutro    )- Inseguro    )- Muito Inseguro

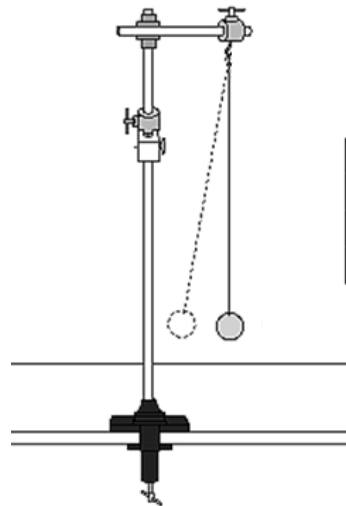
- b)  O relógio pode ter qualquer comprimento, independentemente do período de oscilação.

)- Muito Seguro    )- Seguro    )- Neutro    )- Inseguro    )- Muito Inseguro

- c)  Se o período do pêndulo for de  $5,0 \text{ s}$ , o relógio deverá ter a altura de um prédio de dois andares (um pouco mais de  $6,0 \text{ m}$ ).

)- Muito Seguro    )- Seguro    )- Neutro    )- Inseguro    )- Muito Inseguro

**ME4A-** Em um laboratório de Física, um grupo de alunos (grupo A) realizaram um experimento de Pêndulo Simples. Neste experimento, foram utilizados três pêndulos diferentes (1, 2,3). Os dados obtidos para a frequência, em hertz, estão apresentados na tabela a seguir.



Pêndulo	Frequência (Hz)
1	0,91
2	0,70
3	0,60

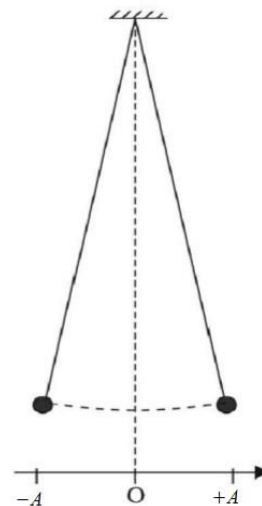
Esses resultados foram passados para um segundo grupo, Grupo *B*, que não compareceu à aula. Uma vez que os alunos do Grupo *B* não viram o experimento, os integrantes desse grupo formularam uma série de hipóteses para interpretar os resultados. Assinale a ÚNICA hipótese correta.

- A massa do pêndulo 1 é menor do que a massa do pêndulo 2 que, por sua vez, é menor do que a massa do pêndulo 3.
- A massa do pêndulo 1 é maior do que a massa do pêndulo 2, que por sua vez, é maior que a massa do pêndulo 3.
- O comprimento  $L$  do fio do pêndulo 1 é maior do que o comprimento do pêndulo 2 que, por sua vez, é maior do que o comprimento do pêndulo 3.
- O comprimento  $L$  do fio do pêndulo 1 é menor do que o comprimento do pêndulo 2 que, por sua vez, é menor do que o comprimento do pêndulo 3.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro
<input type="checkbox"/> )- Seguro
<input type="checkbox"/> )- Neutro
<input type="checkbox"/> )- Inseguro
<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro

**VF5B-** Um estudante faz o estudo experimental de um movimento harmônico simples (MHS) com um cronômetro e um pêndulo simples como ilustrado na figura, adotando o referencial nela representado.

Ele desloca o pêndulo para a posição  $+A$  e o abandona no instante  $t = 0$ . Na vigésima passagem do pêndulo por essa posição, o cronômetro marca  $t = 30s$ . Classifique as afirmativas em verdadeiras (V) ou falsas (F):



- a)  O pêndulo realiza uma oscilação completa a cada 3,0 segundos.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

- b)  O período do pêndulo é 1,5 segundos.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

c) (  ) A cada segundo o pêndulo realiza 2/3 de uma oscilação completa.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

d) (  ) A frequência desse pêndulo é de aproximadamente 0,67 Hz.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

**ME6A-** Comenta-se que o célebre físico e matemático Galileu Galilei, ao observar a oscilação do lampadário da catedral de Pisa, na Itália, concluiu tratar-se de um movimento periódico, semelhante ao que hoje chamamos de pêndulo simples. Para tal conclusão, teria medido o período do movimento, utilizando, como unidade de medida para o tempo, seu próprio batimento cardíaco. Se considerarmos um grande pêndulo simples, de comprimento  $10,0m$ , oscilando num local onde  $g = 10m/s^2$ , e que a frequência dos batimentos cardíacos é de 86 batidas por minuto, o período do movimento desse pêndulo será aproximadamente: (considere  $\pi \approx 3$ ).

- a) 3 batidas
- b) 6 batidas
- c) 9 batidas
- d) 12 batidas
- e) 15 batidas

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro
<input type="checkbox"/> )- Seguro
<input type="checkbox"/> )- Neutro
<input type="checkbox"/> )- Inseguro
<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro

**VF8B** - Um pêndulo simples de comprimento  $L$  e massa  $m$  oscila com período  $T$ . O fio do pêndulo é inextensível, sem peso, e o comprimento  $L$  pode variar convenientemente. Classifique as afirmativas abaixo em verdadeiras (V) ou Falsas (F).

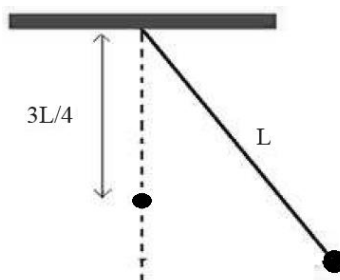
a) (  ) Encurtando o fio, a frequência da oscilação diminui.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

b) (  ) Mantendo o comprimento do pêndulo constante e aumentando a massa  $m$  do pêndulo o período aumenta.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

**D5A-** Um pêndulo simples oscila com um período de  $2,0s$ . Se cravarmos um pino a uma distância de  $\frac{3L}{4}$  do ponto de suspensão, na vertical que passa por aquele ponto, como ilustrado na figura, qual será o novo período do pêndulo?



<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro
<input type="checkbox"/> )- Seguro
<input type="checkbox"/> )- Neutro
<input type="checkbox"/> )- Inseguro
<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro

**ME9A-** Considere um pêndulo simples de 0,4 m de comprimento, executando pequenas oscilações. Desprezando a resistência do ar, adotando  $g = 10\text{m/s}^2$  e  $\pi = 3,1$ , qual das alternativas abaixo correspondem a seu período de oscilação:

- a) 0,62 s
- b) 1,24 s
- c) 1,86 s
- d) 2,48 s
- e) 3,1 s

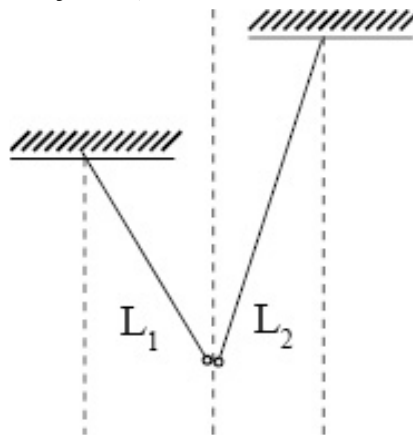
<input type="checkbox"/> - Muito Seguro
<input type="checkbox"/> - Seguro
<input type="checkbox"/> - Neutro
<input type="checkbox"/> - Inseguro
<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro

**ME13B** – Considere um pêndulo simples oscilando num local onde a aceleração da gravidade vale  $g = 9,8\text{m/s}^2$ . Desprezando a resistência do ar, qual alternativa indica as forças que agem no seu movimento oscilatório:

- a) Peso e centrípeta
- b) Peso e tração
- c) Tração e centrípeta
- d) Centrípeta e Normal
- e) Peso e Normal

<input type="checkbox"/> - Muito Seguro
<input type="checkbox"/> - Seguro
<input type="checkbox"/> - Neutro
<input type="checkbox"/> - Inseguro
<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro

**ME5A-** Dois pêndulos de comprimento  $L_1$  e  $L_2$  conforme a figura, oscilam de tal modo que os dois bulbos se encontram sempre que são decorridos 6 períodos do pêndulo menor e 4 períodos do pêndulo maior. A relação  $L_2/L_1$  dever ser:



- a) 9/4
- b) 3/2
- c) 2
- d) 4/9
- e) 2/5

<input type="checkbox"/> - Muito Seguro
<input type="checkbox"/> - Seguro
<input type="checkbox"/> - Neutro
<input type="checkbox"/> - Inseguro
<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro

13.7. APÊNDICE G: TESTE FINAL

**TESTE FINAL**

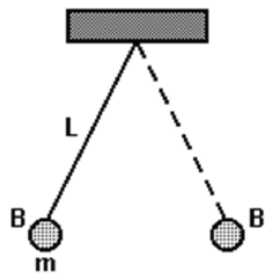
Nome: \_\_\_\_\_ Série: \_\_\_\_\_

Curso: \_\_\_\_\_ Instituição de Ensino: \_\_\_\_\_

A seguir têm-se questões de três tipos: discursivas, de verdadeiro e falso e questões de múltipla escolha. Solicitamos que descreva o máximo que puder seu entendimento quando a questão for discursiva. Junto a cada pergunta/alternativa é colocado um

quadro que serve para avaliar o grau de segurança que você teve ao responder. Marque “Muito Seguro” quando você tiver total segurança sobre a exatidão da resposta dada, “Seguro” quando estiver certo sobre a resposta, mas com algum elemento de dúvida em relação ao que respondeu, “Neutro” quando não souber avaliar sua segurança, “Inseguro” quando julga que a resposta pode ou não estar correta e “Muito Inseguro” quando não souber julgar a exatidão do que respondeu

**VF1A** - Suponha que um pequeno corpo de massa  $m$ , esteja preso na extremidade de um fio de peso desprezível, cujo comprimento é  $L$ , em um plano vertical, representado na figura. Esse dispositivo constitui um pêndulo simples que executa um movimento harmônico simples, que consideramos estar oscilando com pequena amplitude. Verifica-se que o corpo, saindo de  $B$ , desloca-se até  $B'$  e retorna a  $B$ , 20 vezes em 10 s. Classifique as alternativas em verdadeiras (V) ou falsas (F).



a) ( ) O período deste pêndulo é  $2,0s$ .

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

b) ( ) A frequência de oscilação do pêndulo é  $0,5Hz$ .

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

c) ( ) Se o comprimento do fio ( $L$ ) for aumentado de 4 vezes, o seu novo período de oscilação será dobrado

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

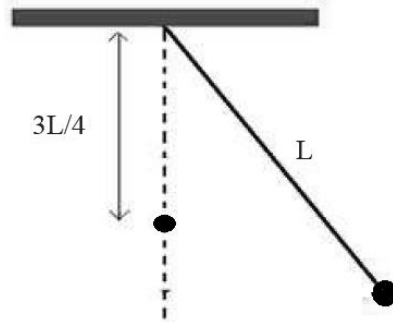
d) ( ) Se a massa do corpo preso a extremidade do fio for triplicada, sua frequência ficará multiplicada por  $\sqrt{3}$ .

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

e) ( ) Se o local tiver uma aceleração da gravidade “ $g$ ” quatro vezes maior, a frequência do pêndulo será duas vezes menor.

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

**ME10B**- Um pêndulo simples oscila com um período de  $2,0s$ . Se cravarmos um pino a uma distância de  $\frac{3L}{4}$  do ponto de suspensão, na vertical que passa por aquele ponto, como mostrado na figura, o novo período do pêndulo será:



<input type="checkbox"/> - Muito Seguro
<input type="checkbox"/> - Seguro
<input type="checkbox"/> - Neutro
<input type="checkbox"/> - Inseguro
<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro

- a) 1,0 segundo
- b) 1,25 segundos
- c) 1,5 segundos
- d) 1,75 segundos
- e) Continuará 2,0 segundos

**D4A-** O pêndulo de Foucault – popularizado pela famosa obra de Umberto Eco – consistia em uma esfera de  $28,0kg$ , pendurada na cúpula do Panthéon de Paris por um fio de  $67,0m$  de comprimento. Sabe-se que o período  $T$  de oscilação de um pêndulo simples é relacionado com seu comprimento  $L$  e com a aceleração da gravidade  $g$  pela seguinte expressão:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

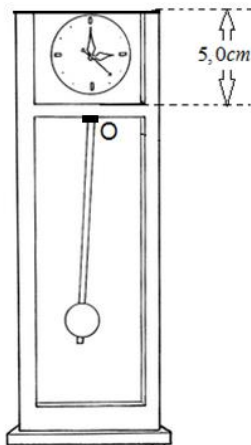
- a) Qual o período de oscilação do pêndulo de Foucault? Despreze as frações de segundo. Adote  $g = 10m/s^2$  e  $\sqrt{10} = \pi$

<input type="checkbox"/> - Muito Seguro	<input type="checkbox"/> - Seguro	<input type="checkbox"/> - Neutro	<input type="checkbox"/> - Inseguro	<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro
---	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---

- b) O que aconteceria com o período desse pêndulo se dobrássemos sua massa? Justifique sua resposta.

<input type="checkbox"/> - Muito Seguro	<input type="checkbox"/> - Seguro	<input type="checkbox"/> - Neutro	<input type="checkbox"/> - Inseguro	<input type="checkbox"/> - Muito Inseguro
---	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---

**VF7B-** Um estudante pretendia apresentar um relógio de pêndulo numa feira de ciências com um mostrador de  $5,0cm$  de altura, como mostra a figura (fora de escala). Sabendo-se que, para pequenas oscilações, o período de um pêndulo simples, é dado pela expressão  $T = 2\pi\sqrt{L/g}$ , e que o pêndulo está pendurado no ponto O, classifique as assertivas em verdadeiras (V) ou falsas (F). Para facilitar seus cálculos, admita  $g = \pi^2 m/s^2$ .



a) ( ) Sendo o período do pêndulo de  $0,8s$ , este relógio poderá ter altura total de  $15,0cm$ .

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

b) ( ) O relógio pode ter qualquer comprimento, independentemente do período de oscilação.

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

c) ( ) Se o período do pêndulo for de  $5,0s$ , o relógio deverá ter a altura de um prédio de dois andares (um pouco mais de  $6,0m$ ).

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

**D16A-** Defina a condição para que dois pêndulos simples de diferentes massas possam ter o mesmo período.

( )- Muito Seguro
( )- Seguro
( )- Neutro
( )- Inseguro
( )- Muito Inseguro

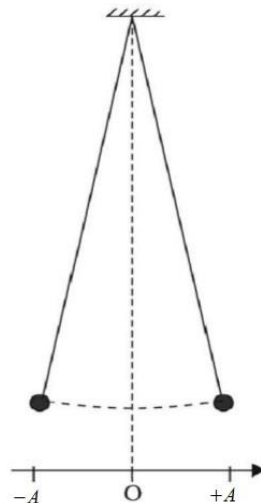
**ME9A-** Considere um pêndulo simples de  $0,4$  m de comprimento, executando pequenas oscilações. Desprezando a resistência do ar, adotando  $g = 10m/s^2$  e  $\pi = 3,1$ , qual das alternativas abaixo correspondem a seu período de oscilação:

- a)  $0,62$  s
- b)  $1,24$  s
- c)  $1,86$  s
- d)  $2,48$  s
- e)  $3,1$  s

( )- Muito Seguro
( )- Seguro
( )- Neutro
( )- Inseguro
( )- Muito Inseguro

**VF5B-** Um estudante faz o estudo experimental de um movimento harmônico simples (MHS) com um cronômetro e um pêndulo simples como ilustrado na figura, adotando o referencial nela representado.

Ele desloca o pêndulo para a posição  $+A$  e o abandona no instante  $t = 0$ . Na vigésima passagem do pêndulo por essa posição, o cronômetro marca  $t = 30s$ . Classifique as afirmativas em verdadeiras (V) ou falsas (F):



a) ( ) O pêndulo realiza uma oscilação completa a cada 3,0 segundos.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

b) ( ) O período do pêndulo é 1,5 segundos.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

c) ( ) A cada segundo o pêndulo realiza  $2/3$  de uma oscilação completa.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

d) ( ) A frequência desse pêndulo é de aproximadamente 0,67 Hz.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

**ME3A-** Um pêndulo simples de comprimento  $L$ , tem um período de oscilação  $T$  num determinado local. Para que o período de oscilação passe a valer  $2T$ , no mesmo local, o comprimento do pêndulo deve ser aumentado para:

- a)  $1L$
- b)  $2L$
- c)  $4L$
- d)  $5L$
- e)  $7L$

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro
<input type="checkbox"/> )- Seguro
<input type="checkbox"/> )- Neutro
<input type="checkbox"/> )- Inseguro
<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro

**VF3A-** Pêndulo simples é um sistema físico constituído por uma partícula material presa na extremidade de um fio, capaz de se mover sem atrito e resistência do ar, em torno de um eixo que passa pela outra extremidade. Analise as proposições abaixo sobre esse sistema físico, marcando V se for verdadeira e F se for falsa.

a) ( ) O período de um pêndulo simples é proporcional à aceleração da gravidade local.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--

b) ( ) Quadruplicando o comprimento de um pêndulo simples seu período também quadruplica.

<input type="checkbox"/> )- Muito Seguro	<input type="checkbox"/> )- Seguro	<input type="checkbox"/> )- Neutro	<input type="checkbox"/> )- Inseguro	<input type="checkbox"/> )- Muito Inseguro
--	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--



d) ( ) Quando afastado de sua posição de equilíbrio e abandonado, o pêndulo simples oscila em um plano vertical por influência da gravidade.

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

e) ( ) Pode-se utilizar um pêndulo simples para medir a aceleração da gravidade de um lugar qualquer.

( )- Muito Seguro	( )- Seguro	( )- Neutro	( )- Inseguro	( )- Muito Inseguro
-------------------	-------------	-------------	---------------	---------------------

**ME12B** - Considere um pêndulo simples de  $12,5\text{cm}$  de comprimento, oscilando com pequena amplitude e período de  $0,7\text{s}$ . Para que este pêndulo dobre o período de oscilação, no mesmo local, e desprezando o atrito e a resistência do ar, o comprimento do fio deverá ser:

- $8,75\text{cm}$
- O mesmo, pois o período do pêndulo independe do comprimento deste.
- $25,0\text{cm}$
- $50,0\text{cm}$
- $1,0\text{m}$

( )- Muito Seguro
( )- Seguro
( )- Neutro
( )- Inseguro
( )- Muito Inseguro

**ME11B** – Ao transportar um relógio de pêndulo simples de uma região quente, por exemplo, Ceará no verão, para uma região fria, por exemplo, Rio Grande do Sul no inverno, ele:

- Atrasará, pois o comprimento do pêndulo irá contrair.
- Atrasará, pois o comprimento do pêndulo irá dilatar.
- Adiantará, pois o comprimento do pêndulo irá contrair.
- Adiantará, pois o comprimento do pêndulo irá dilatar.
- Permanecerá marcando exatamente o mesmo horário.

( )- Muito Seguro
( )- Seguro
( )- Neutro
( )- Inseguro
( )- Muito Inseguro

### 13.8. APÊNDICE H: FOTOS DURANTE AS INTERVENÇÕES









## 14. ANEXOS

### 14.1. ANEXO A: PARECER CONSUBSTANCIADO – COMITÊ DE ÉTICA E PESQUISA

UFBA - ESCOLA DE  
ENFERMAGEM DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA



#### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

##### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** ATIVIDADE VIRTUAL X ATIVIDADE CONCRETA NO LABORATÓRIO DE FÍSICA: LIMITES E POSSIBILIDADES DE INTERVENÇÕES TRADICIONAIS E

**Pesquisador:** Agamenon Pereira Xavier

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 50468315.0.0000.5531

**Instituição Proponente:** Instituto de Física- UFBA

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

##### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 1.762.456

##### **Apresentação do Projeto:**

Trata-se de resposta ao parecer de pendência emitido em 02/12/2015.

Trata-se de um projeto de tese no Programa de Ensino, Filosofia e História das Ciências.

O projeto de pesquisa tem como participantes Estudantes do Ensino Técnico, buscando correlacionar o ensino de conteúdos da Física utilizando a atividade prática como possibilidade de testar uma lei científica, ilustrar idéias e conceitos aprendidos nas 'aulas teóricas', descobrir ou formular uma lei acerca de um fenômeno específico, 'ver na prática' o que acontece na teoria, ou aprender a utilizar algum instrumento ou técnica de laboratório específica.

##### **Objetivo da Pesquisa:**

Investigar a aprendizagem de estudantes do ensino médio sobre o conteúdo de pêndulo simples, a partir da abordagem experimental, tendo como parâmetro duas perspectivas de abordagem metodológica de ensino (i) natureza instrumental: laboratório virtual X laboratório concreto (ii) natureza procedimental: atividade tradicional e atividade investigativa.

Objetivos Secundário:

Endereço: Rua Augusto Viana S/N 3º Andar

Bairro: Canela

CEP: 41.110-060

UF: BA

Município: SALVADOR

Telefone: (71)3283-7615

Fax: (71)3283-7615

E-mail: cepee.ufba@ufba.br

Continuação do Parecer: 1.762.456

Identificar o entendimento dos alunos em diferentes momentos ao longo da aplicação de atividades experimentais de caráter virtual, material, tradicional e investigativa.

Verificar se houve aprendizagem e como ocorreu através do ganho de entendimento em cada perspectiva metodológica de ensino.

Traçar as trajetórias de aprendizagem.

Avaliar os perfis de aprendizagem contrapondo a natureza instrumental e procedimental das metodologias de abordagem.

Delinear e comparar o entendimento dos alunos na atividade tradicional e investigativa no laboratório material;

Delinear e comparar o entendimento dos alunos na atividade tradicional e investigativa no laboratório virtual;  
Identificar, através das múltiplas comparações, possíveis fatores (ou preditores) que influenciam a aprendizagem no ambiente de ensino experimental.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Foram adequadamente descritos pelos pesquisadores.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

O protocolo proposto possui relevância para o campo da pesquisa, trata-se de projeto de tese, no qual os participantes da pesquisa serão estudantes de institutos federais e pode haver menores entre os mesmos. Afirma que "seis testes de conhecimento para cada turma. Um antes das atividades, quatro durante e um teste de retenção", todavia só apresenta três instrumentos de pesquisa.

O pesquisador apresenta a operacionalização da pesquisa, no entanto deve esclarecer se a mesma ocorrerá no turno de atividades habituais dos discentes ou outro.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

**CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO**

O pesquisador apresenta documentação obrigatória.

Os pesquisadores precederam a adequação sinalizadas em parecer prévio, todavia necessita, o formato do "CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO " deve atender a resolução 466/12.

**Recomendações:**

Necessita, ainda, de adequação de formato para que atenda a resolução 466/12 incorporando ao

Endereço: Rua Augusto Viana S/N 3º Andar  
Bairro: Canela CEP: 41.110-060  
UF: BA Município: SALVADOR  
Telefone: (71)3283-7615 Fax: (71)3283-7615 E-mail: cepee.ufba@ufba.br

Continuação do Parecer: 1.762.456

texto cursivo o que aparece na página relativa ao "CONSENTIMENTO DE PARTICIPAÇÃO".

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Recomendo APROVAR o protocolo de pesquisa, face a inadequação dos TCLE e Termo de assentimento.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

A plenária homologa o parecer de APROVAÇÃO emitido pelo relator.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_590926.pdf	07/09/2016 13:54:48		Aceito
Outros	Instrumento_coleta_dados_06.pdf	07/09/2016 13:54:27	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	Instrumento_coleta_dados_05.pdf	07/09/2016 13:54:03	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	Instrumento_coleta_dados_04.pdf	07/09/2016 13:53:24	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_Consentimento_Responsavel.pdf	07/09/2016 13:51:53	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_Consentimento_professor.pdf	07/09/2016 13:50:10	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_Assentimento_Livre_Esclarecido.pdf	07/09/2016 13:49:37	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO_DE_PESQUISA.pdf	07/09/2016 13:49:17	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	Instrumento_de_coleta_de_dados_03.pdf	30/09/2015 15:34:31	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	Instrumento_de_coleta_de_dados_02.pdf	30/09/2015 15:33:22	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	Instrumento_de_coleta_de_dados_01.pdf	30/09/2015 15:31:42	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	Declaracao_orientador.jpeg	30/09/2015 15:25:11	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	Declaracao_concordancia_data.jpeg	30/09/2015	Agamenon Pereira	Aceito

Endereço: Rua Augusto Viana S/N 3º Andar

Bairro: Canela

CEP: 41.110-060

UF: BA

Município: SALVADOR

Telefone: (71)3283-7615

Fax: (71)3283-7615

E-mail: cepee.ufba@ufba.br

UFBA - ESCOLA DE  
ENFERMAGEM DA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA



Continuação do Parecer: 1.762.456

Outros	Declaracao_concordancia_data.jpeg	15:14:46	Xavier	Aceito
Outros	TERMO_DE_CONFIDENCIALIDADE_b.jpeg	30/09/2015 15:06:04	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	TERMO_DE_CONFIDENCIALIDADE_a.jpeg	30/09/2015 15:04:35	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	AUTORIZACAO_IFBA.jpeg	30/09/2015 15:01:49	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Termo_autorizacao_ufba.jpeg	30/09/2015 14:57:22	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	Termo_de_compromisso_pesquisador.jpeg	30/09/2015 14:48:16	Agamenon Pereira Xavier	Aceito
Outros	Manual.pdf	21/09/2015 15:05:16	CLEBER JOSÉ SILVA SALES	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto.pdf	15/09/2015 23:50:02	Agamenon Pereira Xavier	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

SALVADOR, 05 de Outubro de 2016

Assinado por:

CAROLINA DE SOUZA MACHADO  
(Coordenador)

Endereço: Rua Augusto Viana S/N 3º Andar  
Bairro: Canela CEP: 41.110-060  
UF: BA Município: SALVADOR  
Telefone: (71)3283-7615 Fax: (71)3283-7615 E-mail: cepee.ufba@ufba.br



14.2. ANEXO B: ESTATÍSTICA DAS PESSOAS - MODELAGEM RASCH - TESTE INICIAL

TABLE 17.1 Teste\_Inicial.xlsx ZOU766WS.TXT Jan 27 14:39 2018  
 INPUT: 299 PERSON 23 ITEM MEASURED: 299 PERSON 23 ITEM 50 CATS WINSTEPS 3.70.0

-----  
 PERSON: REAL SEP.: 1.01 REL.: .50 ... ITEM: REAL SEP.: 6.22 REL.: .97

PERSON STATISTICS: MEASURE ORDER

ENTRY	TOTAL	TOTAL	MODEL	INFIT	OUTFIT	PT-MEASURE	EXACT	MATCH					
NUMBER	SCORE	COUNT	MEASURE	S.E.	MNSQ	ZSTD	MNSQ	ZSTD	CORR.	EXP.	OBS%	EXP%	PERSON
100	20	23	1.33	.46	.63	-1.3	.80	-.4	.40	.35	87.0	75.0	129
109	20	23	1.33	.46	1.07	.3	1.04	.2	.28	.35	69.6	75.0	139
122	20	23	1.33	.46	1.02	.2	1.16	.5	.34	.35	69.6	75.0	152
289	20	23	1.33	.46	1.41	1.3	1.14	.5	.25	.35	65.2	75.0	362
7	19	23	1.13	.44	1.09	.4	1.31	1.0	.15	.36	73.9	72.8	8
117	19	23	1.13	.44	1.21	.8	1.71	1.9	-.09	.36	65.2	72.8	147
121	18	23	.94	.43	.92	-.2	.91	-.2	.47	.37	65.2	69.5	151
159	18	23	.94	.43	.54	-2.1	.63	-1.4	.69	.37	91.3	69.5	211
163	18	23	.94	.43	1.05	.3	1.08	.4	.35	.37	65.2	69.5	215
29	17	23	.76	.42	.82	-.7	.78	-.8	.64	.38	69.6	67.9	35
70	17	23	.76	.42	.74	-1.1	.83	-.6	.50	.38	69.6	67.9	82
73	17	23	.76	.42	1.08	.4	1.01	.1	.44	.38	69.6	67.9	85
118	17	23	.76	.42	1.05	.3	1.15	.6	.29	.38	60.9	67.9	148
198	17	23	.76	.42	.83	-.6	.93	-.2	.40	.38	69.6	67.9	256
250	17	23	.76	.42	.68	-1.4	.70	-1.2	.63	.38	78.3	67.9	318
286	17	23	.76	.42	1.05	.3	.90	-.3	.48	.38	69.6	67.9	359
293	17	23	.76	.42	1.36	1.4	1.00	.1	.44	.38	60.9	67.9	367
8	16	23	.59	.42	.86	-.5	.96	-.1	.39	.38	73.9	66.1	9
81	16	23	.59	.42	1.00	.1	1.13	.6	.20	.38	56.5	66.1	94
103	16	23	.59	.42	.78	-.9	.76	-1.0	.59	.38	82.6	66.1	132
203	16	23	.59	.42	.69	-1.3	.69	-1.4	.65	.38	73.9	66.1	261
216	16	23	.59	.42	.96	-.1	.84	-.7	.58	.38	73.9	66.1	276
237	16	23	.59	.42	1.41	1.6	1.40	1.6	.07	.38	56.5	66.1	301
270	16	23	.59	.42	1.58	2.1	1.46	1.8	.10	.38	47.8	66.1	340

	272	16	23	.59	.42	.87	-.5	.70	-1.4	.71	.38	73.9	66.1	342	
	281	16	23	.59	.42	1.36	1.4	1.02	.2	.48	.38	65.2	66.1	353	
	284	16	23	.59	.42	.99	.1	.99	.1	.29	.38	65.2	66.1	357	
	20	15	23	.41	.41	.56	-2.1	.66	-1.8	.65	.38	87.0	67.2	24	
	49	15	23	.41	.41	.91	-.3	1.00	.1	.37	.38	69.6	67.2	55	
	86	15	23	.41	.41	.62	-1.8	.61	-2.1	.81	.38	87.0	67.2	100	
	105	15	23	.41	.41	.85	-.5	.93	-.3	.46	.38	69.6	67.2	134	
	111	15	23	.41	.41	.79	-.8	.78	-1.1	.56	.38	69.6	67.2	141	
	127	15	23	.41	.41	.97	.0	1.02	.2	.34	.38	60.9	67.2	157	
	168	15	23	.41	.41	1.50	1.9	1.25	1.2	.30	.38	56.5	67.2	222	
	200	15	23	.41	.41	.75	-1.1	.73	-1.4	.62	.38	69.6	67.2	258	
	208	15	23	.41	.41	1.01	.1	1.14	.7	.22	.38	60.9	67.2	267	
	209	15	23	.41	.41	.58	-2.0	.70	-1.5	.61	.38	87.0	67.2	268	
	262	15	23	.41	.41	1.05	.3	1.01	.1	.45	.38	60.9	67.2	331	
	264	15	23	.41	.41	.70	-1.3	.66	-1.8	.68	.38	78.3	67.2	333	
	271	15	23	.41	.41	.69	-1.3	.65	-1.8	.70	.38	78.3	67.2	341	
	299	15	23	.41	.41	1.03	.2	1.12	.6	.19	.38	60.9	67.2	373	
	22	14	23	.24	.41	1.04	.3	1.01	.1	.46	.38	69.6	65.6	26	
	30	14	23	.24	.41	.74	-1.1	.73	-1.4	.60	.38	78.3	65.6	36	
	37	14	23	.24	.41	1.00	.1	.93	-.3	.52	.38	69.6	65.6	43	
	77	14	23	.24	.41	1.57	2.1	1.39	1.8	.21	.38	56.5	65.6	89	
	78	14	23	.24	.41	.98	.0	1.06	.4	.24	.38	60.9	65.6	90	
	113	14	23	.24	.41	1.27	1.1	1.31	1.5	.08	.38	60.9	65.6	143	
	125	14	23	.24	.41	1.35	1.4	1.17	.9	.31	.38	56.5	65.6	155	
	126	14	23	.24	.41	.76	-1.0	.89	-.5	.37	.38	69.6	65.6	156	
	130	14	23	.24	.41	.89	-.4	.95	-.2	.44	.38	78.3	65.6	160	
	161	14	23	.24	.41	1.15	.7	1.21	1.1	.22	.38	60.9	65.6	213	
	162	14	23	.24	.41	1.72	2.6	1.52	2.3	.10	.38	47.8	65.6	214	
	167	14	23	.24	.41	.98	.0	1.01	.1	.34	.38	69.6	65.6	221	
	169	14	23	.24	.41	.59	-2.0	.67	-1.8	.62	.38	78.3	65.6	223	
	174	14	23	.24	.41	1.19	.9	1.27	1.3	.04	.38	43.5	65.6	229	
	177	14	23	.24	.41	.84	-.6	.90	-.5	.43	.38	69.6	65.6	232	
	197	14	23	.24	.41	.80	-.8	.83	-.8	.49	.38	78.3	65.6	255	
	204	14	23	.24	.41	1.45	1.8	1.27	1.3	.26	.38	65.2	65.6	262	
	206	14	23	.24	.41	.84	-.7	.87	-.6	.45	.38	69.6	65.6	265	
	210	14	23	.24	.41	.76	-1.0	.90	-.5	.37	.38	69.6	65.6	269	
	235	14	23	.24	.41	1.03	.2	1.09	.5	.25	.38	60.9	65.6	299	
	260	14	23	.24	.41	.92	-.3	.96	-.1	.34	.38	60.9	65.6	328	
	291	14	23	.24	.41	.90	-.4	.86	-.7	.57	.38	69.6	65.6	365	

	294	14	23	.24	.41	.82	-.7	.74	-1.4	.69	.38	69.6	65.6	368	
	298	14	23	.24	.41	1.05	.3	.99	.0	.41	.38	60.9	65.6	372	
	9	13	23	.07	.41	.89	-.4	.93	-.3	.37	.37	65.2	64.0	11	
	14	13	23	.07	.41	1.53	2.1	1.50	2.3	.12	.37	52.2	64.0	16	
	39	13	23	.07	.41	.79	-.9	.73	-1.4	.70	.37	65.2	64.0	45	
	56	13	23	.07	.41	.60	-2.0	.65	-2.0	.64	.37	73.9	64.0	64	
	61	13	23	.07	.41	1.08	.4	1.09	.5	.25	.37	56.5	64.0	69	
	80	13	23	.07	.41	.62	-1.8	.63	-2.1	.79	.37	82.6	64.0	92	
	85	13	23	.07	.41	.92	-.3	1.03	.2	.36	.37	56.5	64.0	99	
	97	13	23	.07	.41	1.13	.6	1.12	.7	.19	.37	56.5	64.0	123	
	98	13	23	.07	.41	.57	-2.1	.62	-2.2	.67	.37	73.9	64.0	125	
	110	13	23	.07	.41	1.17	.8	1.00	.1	.43	.37	65.2	64.0	140	
	116	13	23	.07	.41	.95	-.2	.86	-.7	.46	.37	65.2	64.0	146	
	120	13	23	.07	.41	.69	-1.5	.76	-1.3	.51	.37	73.9	64.0	150	
	128	13	23	.07	.41	.97	.0	.97	-.1	.38	.37	65.2	64.0	158	
	133	13	23	.07	.41	.87	-.5	.98	.0	.25	.37	56.5	64.0	164	
	137	13	23	.07	.41	.77	-1.0	.71	-1.6	.73	.37	73.9	64.0	170	
	150	13	23	.07	.41	.83	-.7	.95	-.2	.30	.37	65.2	64.0	192	
	158	13	23	.07	.41	1.09	.4	1.06	.4	.26	.37	65.2	64.0	210	
	176	13	23	.07	.41	.99	.0	1.04	.3	.40	.37	65.2	64.0	231	
	179	13	23	.07	.41	.82	-.8	.84	-.8	.46	.37	65.2	64.0	234	
	202	13	23	.07	.41	.86	-.6	.84	-.8	.60	.37	73.9	64.0	260	
	221	13	23	.07	.41	.99	.0	1.02	.2	.41	.37	65.2	64.0	281	
	225	13	23	.07	.41	1.10	.5	1.00	.1	.44	.37	56.5	64.0	286	
	232	13	23	.07	.41	.70	-1.4	.71	-1.6	.62	.37	82.6	64.0	293	
	265	13	23	.07	.41	.64	-1.7	.72	-1.5	.57	.37	73.9	64.0	334	
	266	13	23	.07	.41	1.19	.9	1.18	1.0	.12	.37	56.5	64.0	335	
	268	13	23	.07	.41	1.24	1.0	1.26	1.3	.04	.37	56.5	64.0	338	
	279	13	23	.07	.41	1.08	.4	1.06	.4	.35	.37	65.2	64.0	351	
	283	13	23	.07	.41	1.23	1.0	1.17	.9	.23	.37	56.5	64.0	356	
	295	13	23	.07	.41	.77	-1.0	.79	-1.1	.52	.37	73.9	64.0	369	
	5	12	23	-.10	.41	1.17	.8	1.07	.4	.22	.37	52.2	62.7	6	
	6	12	23	-.10	.41	1.21	1.0	1.23	1.1	.12	.37	60.9	62.7	7	
	10	12	23	-.10	.41	.96	-.1	1.03	.2	.42	.37	60.9	62.7	12	
	15	12	23	-.10	.41	1.74	2.8	1.60	2.5	.05	.37	56.5	62.7	18	
	24	12	23	-.10	.41	.91	-.3	1.03	.2	.38	.37	69.6	62.7	28	
	25	12	23	-.10	.41	.89	-.4	.94	-.2	.35	.37	60.9	62.7	31	
	26	12	23	-.10	.41	.95	-.1	.82	-.8	.51	.37	78.3	62.7	32	
	34	12	23	-.10	.41	.79	-.9	.80	-1.0	.49	.37	69.6	62.7	40	

	55	12	23	-.10	.41 1.66	2.5 1.43	1.9	.35	.37	56.5	62.7	63	
	60	12	23	-.10	.41 1.10	.5 1.01	.1	.30	.37	60.9	62.7	68	
	90	12	23	-.10	.41  .92	-.3  .96	-.1	.31	.37	60.9	62.7	107	
	91	12	23	-.10	.41  .89	-.4  .86	-.6	.54	.37	60.9	62.7	109	
	95	12	23	-.10	.41  .92	-.3  .98	.0	.22	.37	52.2	62.7	121	
	101	12	23	-.10	.41 1.03	.2 1.14	.7	.22	.37	60.9	62.7	130	
	106	12	23	-.10	.41 1.11	.5 1.07	.4	.33	.37	60.9	62.7	135	
	114	12	23	-.10	.41 1.38	1.6 1.32	1.5	.31	.37	56.5	62.7	144	
	132	12	23	-.10	.41  .85	-.6  .90	-.4	.40	.37	69.6	62.7	163	
	135	12	23	-.10	.41 1.07	.4 1.23	1.1	.07	.37	52.2	62.7	168	
	138	12	23	-.10	.41 1.15	.7 1.28	1.3	.06	.37	52.2	62.7	172	
	143	12	23	-.10	.41 1.25	1.1 1.18	.9	.10	.37	52.2	62.7	179	
	153	12	23	-.10	.41  .90	-.4  .95	-.2	.34	.37	60.9	62.7	198	
	155	12	23	-.10	.41  .70	-1.4  .70	-1.5	.69	.37	78.3	62.7	205	
	172	12	23	-.10	.41 1.23	1.0 1.18	.9	.12	.37	60.9	62.7	227	
	183	12	23	-.10	.41  .79	-.9  .80	-1.0	.57	.37	69.6	62.7	238	
	191	12	23	-.10	.41  .89	-.4  .95	-.2	.51	.37	69.6	62.7	248	
	199	12	23	-.10	.41  .81	-.8  .78	-1.1	.64	.37	69.6	62.7	257	
	214	12	23	-.10	.41  .93	-.2  .88	-.5	.48	.37	78.3	62.7	273	
	227	12	23	-.10	.41 1.20	.9 1.05	.3	.36	.37	52.2	62.7	288	
	236	12	23	-.10	.41  .65	-1.7  .64	-1.9	.68	.37	78.3	62.7	300	
	257	12	23	-.10	.41  .96	-.1 1.07	.4	.15	.37	60.9	62.7	325	
	263	12	23	-.10	.41 1.04	.2 1.06	.4	.33	.37	52.2	62.7	332	
	269	12	23	-.10	.41  .87	-.5  .89	-.5	.38	.37	60.9	62.7	339	
	276	12	23	-.10	.41 1.01	.1 1.04	.3	.37	.37	60.9	62.7	347	
	280	12	23	-.10	.41 1.34	1.4 1.27	1.3	.37	.37	65.2	62.7	352	
	287	12	23	-.10	.41  .88	-.5  .90	-.4	.53	.37	69.6	62.7	360	
	290	12	23	-.10	.41  .89	-.4  .95	-.2	.34	.37	69.6	62.7	364	
	297	12	23	-.10	.41  .88	-.5  .91	-.4	.37	.37	60.9	62.7	371	
	2	11	23	-.27	.42 1.25	1.1 1.06	.3	.34	.36	47.8	61.7	3	
	4	11	23	-.27	.42 1.26	1.1 1.06	.3	.34	.36	47.8	61.7	5	
	42	11	23	-.27	.42  .98	.0 1.02	.2	.39	.36	65.2	61.7	48	
	65	11	23	-.27	.42  .86	-.6  .83	-.7	.56	.36	65.2	61.7	74	
	67	11	23	-.27	.42  .88	-.5  .85	-.6	.53	.36	56.5	61.7	77	
	71	11	23	-.27	.42  .88	-.5  .94	-.2	.35	.36	65.2	61.7	83	
	79	11	23	-.27	.42  .65	-1.7  .65	-1.7	.60	.36	82.6	61.7	91	
	94	11	23	-.27	.42  .90	-.4  .89	-.4	.44	.36	56.5	61.7	117	
	115	11	23	-.27	.42 1.18	.8 1.15	.7	.17	.36	56.5	61.7	145	
	134	11	23	-.27	.42  .80	-.9  .80	-.9	.48	.36	73.9	61.7	165	

140	11	23	-.27	.42	.95	-.2	.98	.0	.43	.36	65.2	61.7	175
141	11	23	-.27	.42	1.20	.9	1.03	.2	.25	.36	56.5	61.7	176
144	11	23	-.27	.42	.67	-1.6	.66	-1.6	.64	.36	82.6	61.7	181
146	11	23	-.27	.42	.73	-1.3	.72	-1.3	.56	.36	73.9	61.7	183
170	11	23	-.27	.42	1.07	.4	1.15	.7	.09	.36	47.8	61.7	224
171	11	23	-.27	.42	.95	-.1	1.07	.4	.24	.36	56.5	61.7	225
182	11	23	-.27	.42	1.15	.7	.98	.0	.31	.36	65.2	61.7	237
192	11	23	-.27	.42	.75	-1.2	.71	-1.3	.70	.36	73.9	61.7	250
193	11	23	-.27	.42	.90	-.4	1.03	.2	.30	.36	65.2	61.7	251
201	11	23	-.27	.42	1.20	.9	1.33	1.4	.00	.36	47.8	61.7	259
205	11	23	-.27	.42	1.20	.9	1.33	1.4	.00	.36	47.8	61.7	264
207	11	23	-.27	.42	.84	-.7	.85	-.6	.34	.36	65.2	61.7	266
215	11	23	-.27	.42	.81	-.8	.78	-.9	.62	.36	73.9	61.7	274
217	11	23	-.27	.42	1.23	1.1	1.12	.6	.18	.36	65.2	61.7	277
218	11	23	-.27	.42	1.24	1.1	1.12	.6	.18	.36	65.2	61.7	278
224	11	23	-.27	.42	.96	-.1	1.03	.2	.33	.36	65.2	61.7	284
229	11	23	-.27	.42	.84	-.7	.84	-.7	.42	.36	65.2	61.7	290
248	11	23	-.27	.42	.80	-.9	.80	-.9	.47	.36	73.9	61.7	314
252	11	23	-.27	.42	.82	-.8	.83	-.7	.44	.36	65.2	61.7	320
253	11	23	-.27	.42	.99	.1	1.03	.2	.37	.36	56.5	61.7	321
255	11	23	-.27	.42	.89	-.5	.86	-.6	.52	.36	56.5	61.7	323
273	11	23	-.27	.42	.84	-.7	.81	-.8	.58	.36	65.2	61.7	344
274	11	23	-.27	.42	1.39	1.6	1.46	1.9	.31	.36	69.6	61.7	345
278	11	23	-.27	.42	1.07	.4	1.20	.9	.08	.36	47.8	61.7	349
1	10	23	-.45	.43	1.07	.4	.93	-.2	.38	.34	69.6	63.2	1
18	10	23	-.45	.43	.79	-.9	.76	-.9	.43	.34	69.6	63.2	21
21	10	23	-.45	.43	.96	-.1	1.01	.1	.39	.34	60.9	63.2	25
27	10	23	-.45	.43	.96	-.1	.93	-.2	.42	.34	52.2	63.2	33
36	10	23	-.45	.43	.81	-.9	.78	-.8	.46	.34	69.6	63.2	42
41	10	23	-.45	.43	1.08	.4	1.16	.7	.07	.34	43.5	63.2	47
50	10	23	-.45	.43	1.22	1.0	.99	.1	.28	.34	65.2	63.2	56
52	10	23	-.45	.43	1.05	.3	1.18	.8	.25	.34	52.2	63.2	60
63	10	23	-.45	.43	.79	-.9	.77	-.9	.43	.34	69.6	63.2	72
66	10	23	-.45	.43	1.00	.1	1.07	.4	.18	.34	60.9	63.2	75
72	10	23	-.45	.43	1.03	.2	1.18	.7	.13	.34	52.2	63.2	84
89	10	23	-.45	.43	1.11	.5	.87	-.4	.43	.34	73.9	63.2	105
123	10	23	-.45	.43	1.05	.3	1.19	.8	.05	.34	52.2	63.2	153
131	10	23	-.45	.43	.96	-.1	.95	-.1	.26	.34	60.9	63.2	162
148	10	23	-.45	.43	.78	-1.0	.75	-1.0	.45	.34	78.3	63.2	190

156	10	23	-.45	.43	1.13	.6	.88	-.4	.55	.34	73.9	63.2	207
157	10	23	-.45	.43	.82	-.8	.78	-.8	.55	.34	69.6	63.2	209
166	10	23	-.45	.43	1.06	.4	1.29	1.1	.00	.34	52.2	63.2	220
178	10	23	-.45	.43	.88	-.5	.83	-.6	.52	.34	60.9	63.2	233
180	10	23	-.45	.43	1.16	.8	1.38	1.4	.10	.34	52.2	63.2	235
185	10	23	-.45	.43	.78	-1.0	.75	-1.0	.49	.34	69.6	63.2	240
212	10	23	-.45	.43	.87	-.5	1.02	.2	.32	.34	69.6	63.2	271
219	10	23	-.45	.43	.96	-.1	.93	-.2	.22	.34	52.2	63.2	279
220	10	23	-.45	.43	1.20	.9	1.34	1.3	.00	.34	43.5	63.2	280
231	10	23	-.45	.43	.80	-.9	.77	-.9	.47	.34	69.6	63.2	292
261	10	23	-.45	.43	.96	-.1	1.01	.1	.39	.34	60.9	63.2	330
3	9	23	-.63	.44	.92	-.3	.99	.1	.41	.33	73.9	63.8	4
11	9	23	-.63	.44	.82	-.8	.77	-.7	.57	.33	65.2	63.8	13
32	9	23	-.63	.44	1.19	.9	1.49	1.5	-.13	.33	56.5	63.8	38
40	9	23	-.63	.44	1.34	1.4	1.19	.7	.15	.33	69.6	63.8	46
43	9	23	-.63	.44	.69	-1.5	.64	-1.3	.60	.33	91.3	63.8	49
53	9	23	-.63	.44	.79	-.9	.72	-.9	.45	.33	73.9	63.8	61
74	9	23	-.63	.44	1.29	1.3	1.58	1.8	-.10	.33	39.1	63.8	86
75	9	23	-.63	.44	.93	-.2	.87	-.4	.27	.33	65.2	63.8	87
76	9	23	-.63	.44	.91	-.3	.86	-.4	.46	.33	47.8	63.8	88
83	9	23	-.63	.44	.93	-.2	.99	.1	.41	.33	65.2	63.8	96
84	9	23	-.63	.44	1.03	.2	1.10	.4	.13	.33	56.5	63.8	98
87	9	23	-.63	.44	.91	-.3	.85	-.4	.43	.33	56.5	63.8	103
102	9	23	-.63	.44	.95	-.2	.90	-.2	.42	.33	56.5	63.8	131
104	9	23	-.63	.44	.96	-.1	1.12	.5	.35	.33	56.5	63.8	133
108	9	23	-.63	.44	1.87	3.2	2.33	3.4	.04	.33	52.2	63.8	138
139	9	23	-.63	.44	.91	-.3	.83	-.5	.45	.33	56.5	63.8	173
142	9	23	-.63	.44	.99	.0	1.05	.3	.33	.33	65.2	63.8	178
145	9	23	-.63	.44	.91	-.3	.86	-.4	.46	.33	56.5	63.8	182
152	9	23	-.63	.44	.90	-.4	.95	-.1	.42	.33	65.2	63.8	197
160	9	23	-.63	.44	1.67	2.6	2.25	3.2	.08	.33	52.2	63.8	212
181	9	23	-.63	.44	.85	-.6	.77	-.7	.52	.33	65.2	63.8	236
184	9	23	-.63	.44	.95	-.1	1.12	.5	.35	.33	65.2	63.8	239
187	9	23	-.63	.44	.93	-.2	.86	-.4	.27	.33	56.5	63.8	242
189	9	23	-.63	.44	.89	-.4	.96	.0	.45	.33	73.9	63.8	244
195	9	23	-.63	.44	1.05	.3	1.23	.8	.08	.33	56.5	63.8	253
234	9	23	-.63	.44	1.06	.3	1.03	.2	.27	.33	47.8	63.8	297
238	9	23	-.63	.44	1.04	.2	1.12	.5	.12	.33	56.5	63.8	303
239	9	23	-.63	.44	.99	.0	.95	-.1	.37	.33	56.5	63.8	304

244	9	23	-.63	.44	.99	.0	.95	-.1	.22	.33	47.8	63.8	309
246	9	23	-.63	.44	.73	-1.2	.68	-1.1	.54	.33	73.9	63.8	312
247	9	23	-.63	.44	1.06	.3	1.23	.8	.23	.33	56.5	63.8	313
249	9	23	-.63	.44	.96	-.1	.92	-.2	.22	.33	65.2	63.8	317
256	9	23	-.63	.44	.81	-.8	.75	-.8	.59	.33	65.2	63.8	324
275	9	23	-.63	.44	.83	-.7	.90	-.2	.39	.33	73.9	63.8	346
277	9	23	-.63	.44	1.31	1.3	1.17	.6	.13	.33	56.5	63.8	348
16	8	23	-.83	.45	1.41	1.6	1.15	.5	.14	.31	65.2	66.3	19
17	8	23	-.83	.45	.89	-.4	.82	-.4	.34	.31	60.9	66.3	20
23	8	23	-.83	.45	1.22	1.0	1.60	1.6	-.04	.31	60.9	66.3	27
35	8	23	-.83	.45	1.02	.2	1.23	.7	.11	.31	60.9	66.3	41
47	8	23	-.83	.45	.88	-.5	.82	-.4	.49	.31	69.6	66.3	53
59	8	23	-.83	.45	.78	-1.0	.71	-.8	.61	.31	78.3	66.3	67
68	8	23	-.83	.45	.79	-.9	.71	-.8	.60	.31	69.6	66.3	79
92	8	23	-.83	.45	.87	-.5	.81	-.5	.50	.31	78.3	66.3	110
112	8	23	-.83	.45	1.43	1.7	1.42	1.2	-.05	.31	65.2	66.3	142
124	8	23	-.83	.45	1.42	1.7	1.15	.5	.28	.31	73.9	66.3	154
147	8	23	-.83	.45	1.06	.3	1.14	.5	.23	.31	60.9	66.3	187
149	8	23	-.83	.45	.79	-.9	.72	-.8	.46	.31	69.6	66.3	191
154	8	23	-.83	.45	.88	-.5	.80	-.5	.49	.31	60.9	66.3	203
173	8	23	-.83	.45	1.06	.3	.98	.1	.28	.31	52.2	66.3	228
194	8	23	-.83	.45	.89	-.4	.80	-.5	.33	.31	69.6	66.3	252
213	8	23	-.83	.45	1.05	.3	1.01	.1	.27	.31	60.9	66.3	272
223	8	23	-.83	.45	.94	-.2	.87	-.2	.27	.31	60.9	66.3	283
226	8	23	-.83	.45	.96	-.1	.89	-.2	.37	.31	69.6	66.3	287
228	8	23	-.83	.45	.99	.0	.92	-.1	.34	.31	69.6	66.3	289
230	8	23	-.83	.45	1.01	.1	.95	.0	.19	.31	60.9	66.3	291
243	8	23	-.83	.45	.95	-.2	.91	-.2	.40	.31	69.6	66.3	308
254	8	23	-.83	.45	1.07	.4	1.16	.6	.21	.31	60.9	66.3	322
258	8	23	-.83	.45	.97	-.1	1.05	.3	.34	.31	69.6	66.3	326
259	8	23	-.83	.45	.87	-.5	.80	-.5	.50	.31	60.9	66.3	327
267	8	23	-.83	.45	1.17	.8	1.29	.9	-.07	.31	52.2	66.3	336
292	8	23	-.83	.45	1.02	.2	.96	.0	.17	.31	60.9	66.3	366
12	7	23	-1.04	.46	.86	-.5	.76	-.5	.50	.30	69.6	70.0	14
13	7	23	-1.04	.46	2.13	3.6	1.61	1.4	.08	.30	78.3	70.0	15
19	7	23	-1.04	.46	1.38	1.5	1.09	.4	.25	.30	73.9	70.0	23
28	7	23	-1.04	.46	1.01	.1	1.29	.8	.23	.30	69.6	70.0	34
31	7	23	-1.04	.46	.87	-.5	.81	-.3	.47	.30	69.6	70.0	37
33	7	23	-1.04	.46	.99	.1	.93	.0	.33	.30	69.6	70.0	39

38	7	23	-1.04	.46	1.17	.7	1.31	.8	.07	.30	69.6	70.0	44
45	7	23	-1.04	.46	.92	-.3	1.03	.2	.37	.30	69.6	70.0	51
48	7	23	-1.04	.46	.82	-.7	.71	-.6	.43	.30	69.6	70.0	54
51	7	23	-1.04	.46	.97	.0	1.09	.4	.31	.30	69.6	70.0	57
58	7	23	-1.04	.46	1.04	.2	1.34	.9	.19	.30	69.6	70.0	66
69	7	23	-1.04	.46	.83	-.6	.73	-.6	.54	.30	69.6	70.0	80
82	7	23	-1.04	.46	.93	-.2	.88	-.2	.40	.30	69.6	70.0	95
93	7	23	-1.04	.46	1.10	.5	1.46	1.1	.12	.30	69.6	70.0	115
99	7	23	-1.04	.46	.94	-.2	1.19	.6	.17	.30	69.6	70.0	127
129	7	23	-1.04	.46	1.17	.7	1.67	1.5	-.02	.30	69.6	70.0	159
165	7	23	-1.04	.46	.89	-.4	.76	-.5	.47	.30	69.6	70.0	217
175	7	23	-1.04	.46	1.16	.7	1.11	.4	-.05	.30	69.6	70.0	230
186	7	23	-1.04	.46	.87	-.5	.76	-.5	.49	.30	69.6	70.0	241
188	7	23	-1.04	.46	.92	-.2	.84	-.3	.42	.30	69.6	70.0	243
190	7	23	-1.04	.46	.89	-.4	.79	-.4	.33	.30	69.6	70.0	247
211	7	23	-1.04	.46	.90	-.3	.81	-.3	.44	.30	69.6	70.0	270
222	7	23	-1.04	.46	.82	-.7	.72	-.6	.42	.30	69.6	70.0	282
46	6	23	-1.26	.49	.98	.0	1.14	.4	.13	.28	73.9	74.2	52
96	6	23	-1.26	.49	.97	.0	.83	-.2	.36	.28	73.9	74.2	122
119	6	23	-1.26	.49	1.70	2.3	1.58	1.2	.00	.28	78.3	74.2	149
136	6	23	-1.26	.49	1.30	1.1	2.29	2.1	-.29	.28	73.9	74.2	169
151	6	23	-1.26	.49	1.04	.2	.95	.1	.26	.28	73.9	74.2	193
164	6	23	-1.26	.49	.91	-.3	.75	-.4	.31	.28	73.9	74.2	216
196	6	23	-1.26	.49	.98	.0	.94	.1	.31	.28	73.9	74.2	254
233	6	23	-1.26	.49	.94	-.1	.82	-.2	.25	.28	73.9	74.2	295
245	6	23	-1.26	.49	1.13	.5	1.37	.8	.07	.28	73.9	74.2	310
288	6	23	-1.26	.49	.86	-.4	.72	-.5	.35	.28	73.9	74.2	361
62	5	23	-1.51	.52	.91	-.2	.77	-.2	.27	.25	78.3	78.4	71
64	5	23	-1.51	.52	1.09	.4	1.61	1.1	-.10	.25	78.3	78.4	73
107	5	23	-1.51	.52	.88	-.3	.70	-.4	.32	.25	78.3	78.4	136
240	5	23	-1.51	.52	1.03	.2	1.06	.3	.21	.25	78.3	78.4	305
242	5	23	-1.51	.52	1.09	.4	1.06	.3	.16	.25	78.3	78.4	307
282	5	23	-1.51	.52	1.84	2.3	6.88	4.8	-.08	.25	82.6	78.4	355
44	4	23	-1.80	.56	.93	-.1	.76	-.1	.35	.23	82.6	82.7	50
285	4	23	-1.80	.56	.92	-.1	.75	-.1	.37	.23	82.6	82.7	358
251	3	23	-2.15	.63	1.17	.5	2.57	1.5	-.21	.20	87.0	87.0	319
296	3	23	-2.15	.63	1.16	.5	2.12	1.3	-.41	.20	87.0	87.0	370
88	2	23	-2.62	.75	.95	.1	.69	.1	.27	.16	91.3	91.3	104
241	1	23	-3.37	1.03	.97	.3	.63	.2	.21	.12	95.7	95.7	306



	54	0	23	-4.61	1.84		MINIMUM MEASURE		.00	.00		100.0	100.0		62	
	57	0	23	-4.61	1.84		MINIMUM MEASURE		.00	.00		100.0	100.0		65	
-----																
	MEAN	10.9	23.0	-.34	.45		1.00	.0		1.03	.0		66.0	66.0		
	S.D.	3.5	.0	.73	.12		.23	.9		.44	1.0		9.7	4.8		
-----																

### 14.3. ANEXO C: ESTATÍSTICA DAS PESSOAS - MODELAGEM RASCH - TESTE INTERMEDIÁRIO

TABLE 17.1 Teste\_Intermediário.xlsx ZOU040WS.TXT Jan 28 10:51 2018  
INPUT: 287 PERSON 21 ITEM MEASURED: 287 PERSON 21 ITEM 44 CATS WINSTEPS 3.70.0

-----  
PERSON: REAL SEP.: 1.26 REL.: .61 ... ITEM: REAL SEP.: 6.69 REL.: .98

#### PERSON STATISTICS: MEASURE ORDER

ENTRY	TOTAL SCORE	TOTAL COUNT	MODEL MEASURE	MODEL S.E.	INFIT MNSQ	INFIT ZSTD	OUTFIT MNSQ	OUTFIT ZSTD	PT-MEASURE CORR.	EXP.	EXACT OBS%	MATCH EXP%	PERSON		
	281	19	21	1.65	.61	.88	-.1	.84	-.1	.52	.45	85.7	84.4	367	
	5	18	21	1.32	.55	.68	-.7	.58	-.9	.69	.45	85.7	80.7	6	
	36	18	21	1.32	.55	1.31	.8	1.45	1.0	.10	.45	76.2	80.7	43	
	100	18	21	1.32	.55	1.09	.4	1.52	1.2	.24	.45	76.2	80.7	134	
	103	18	21	1.32	.55	.98	.1	1.09	.3	.39	.45	76.2	80.7	139	
	108	18	21	1.32	.55	1.06	.3	1.49	1.1	.26	.45	85.7	80.7	148	
	112	18	21	1.32	.55	1.09	.4	1.52	1.2	.24	.45	76.2	80.7	155	
	133	18	21	1.32	.55	.64	-.8	.51	-1.2	.73	.45	85.7	80.7	179	
	256	18	21	1.32	.55	1.03	.2	1.14	.5	.34	.45	76.2	80.7	335	
	276	18	21	1.32	.55	1.06	.3	1.26	.7	.30	.45	76.2	80.7	361	
	92	17	21	1.03	.51	1.40	1.1	.97	.1	.56	.44	81.0	77.4	121	
	107	17	21	1.03	.51	.86	-.3	.84	-.3	.51	.44	76.2	77.4	147	
	114	17	21	1.03	.51	.80	-.4	.72	-.7	.57	.44	76.2	77.4	157	
	151	17	21	1.03	.51	.73	-.7	.68	-.8	.63	.44	85.7	77.4	203	
	203	17	21	1.03	.51	1.23	.7	1.39	1.0	.15	.44	66.7	77.4	268	
	267	17	21	1.03	.51	.88	-.2	.83	-.3	.50	.44	76.2	77.4	351	
	278	17	21	1.03	.51	.93	-.1	.94	.0	.44	.44	76.2	77.4	364	
	16	16	21	.79	.48	.93	-.1	.98	.1	.41	.42	71.4	74.3	18	

21	16	21	.79	.48	1.07	.3	1.30	1.0	.24	.42	71.4	74.3	26
47	16	21	.79	.48	.98	.1	1.13	.5	.34	.42	71.4	74.3	55
80	16	21	.79	.48	.72	-.8	.75	-.7	.61	.42	81.0	74.3	94
99	16	21	.79	.48	1.36	1.1	1.08	.3	.44	.42	76.2	74.3	132
111	16	21	.79	.48	.99	.1	1.19	.7	.32	.42	71.4	74.3	153
159	16	21	.79	.48	1.29	.9	1.00	.1	.44	.42	76.2	74.3	211
268	16	21	.79	.48	.90	-.2	1.09	.4	.41	.42	81.0	74.3	352
274	16	21	.79	.48	.81	-.5	.82	-.5	.53	.42	71.4	74.3	359
1	15	21	.57	.46	.92	-.2	1.09	.4	.38	.41	76.2	69.4	1
6	15	21	.57	.46	.81	-.6	.90	-.2	.50	.41	66.7	69.4	7
17	15	21	.57	.46	.70	-1.1	.67	-1.2	.64	.41	66.7	69.4	19
53	15	21	.57	.46	.65	-1.3	.63	-1.3	.69	.41	76.2	69.4	63
84	15	21	.57	.46	.67	-1.2	.66	-1.2	.67	.41	76.2	69.4	100
96	15	21	.57	.46	.99	.1	1.06	.3	.28	.41	66.7	69.4	129
196	15	21	.57	.46	1.08	.4	1.21	.8	.17	.41	66.7	69.4	258
279	15	21	.57	.46	.70	-1.1	.68	-1.1	.60	.41	76.2	69.4	365
8	14	21	.37	.44	.63	-1.7	.62	-1.5	.65	.40	76.2	64.6	9
31	14	21	.37	.44	1.11	.5	.88	-.3	.49	.40	66.7	64.6	38
71	14	21	.37	.44	.91	-.3	.70	-1.1	.64	.40	76.2	64.6	82
90	14	21	.37	.44	.95	-.1	1.06	.3	.36	.40	66.7	64.6	117
109	14	21	.37	.44	1.06	.3	1.20	.8	.24	.40	57.1	64.6	151
110	14	21	.37	.44	.69	-1.4	.71	-1.0	.58	.40	76.2	64.6	152
157	14	21	.37	.44	1.08	.4	.82	-.6	.53	.40	66.7	64.6	209
165	14	21	.37	.44	1.06	.3	1.17	.7	.16	.40	57.1	64.6	220
173	14	21	.37	.44	1.15	.7	.96	-.1	.44	.40	66.7	64.6	229
192	14	21	.37	.44	.76	-1.0	.74	-.9	.59	.40	66.7	64.6	253
211	14	21	.37	.44	1.46	1.8	2.06	3.0	-.05	.40	47.6	64.6	281
215	14	21	.37	.44	1.23	1.0	1.08	.4	.35	.40	66.7	64.6	287
217	14	21	.37	.44	1.25	1.0	1.42	1.4	.05	.40	38.1	64.6	289
266	14	21	.37	.44	.96	-.1	.99	.1	.37	.40	57.1	64.6	349
271	14	21	.37	.44	.73	-1.1	.73	-.9	.56	.40	76.2	64.6	356
277	14	21	.37	.44	.84	-.6	.88	-.3	.44	.40	76.2	64.6	362
4	13	21	.18	.43	.89	-.5	.90	-.3	.46	.38	61.9	63.3	5
7	13	21	.18	.43	.97	-.1	.96	.0	.38	.38	52.4	63.3	8
9	13	21	.18	.43	1.16	.8	.99	.1	.36	.38	52.4	63.3	10
19	13	21	.18	.43	.77	-1.2	.81	-.6	.48	.38	71.4	63.3	23
48	13	21	.18	.43	1.20	1.0	1.28	1.0	.12	.38	42.9	63.3	56
146	13	21	.18	.43	1.07	.4	.76	-.8	.60	.38	71.4	63.3	194
152	13	21	.18	.43	1.36	1.7	1.16	.6	.26	.38	52.4	63.3	204

154	13	21	.18	.43	.82	-.9	.79	-.7	.54	.38	71.4	63.3	206
161	13	21	.18	.43	1.02	.2	1.18	.7	.18	.38	52.4	63.3	214
184	13	21	.18	.43	.65	-2.0	.67	-1.2	.61	.38	81.0	63.3	242
200	13	21	.18	.43	.99	.0	1.16	.6	.22	.38	61.9	63.3	264
209	13	21	.18	.43	.98	.0	.99	.1	.36	.38	61.9	63.3	277
214	13	21	.18	.43	1.11	.6	1.17	.7	.22	.38	52.4	63.3	286
220	13	21	.18	.43	1.03	.2	1.11	.5	.29	.38	52.4	63.3	292
242	13	21	.18	.43	1.49	2.2	2.32	3.6	-.13	.38	42.9	63.3	320
255	13	21	.18	.43	1.11	.6	1.09	.4	.28	.38	61.9	63.3	334
283	13	21	.18	.43	.96	-.1	.95	-.1	.39	.38	52.4	63.3	369
286	13	21	.18	.43	1.00	.1	1.01	.1	.34	.38	61.9	63.3	372
287	13	21	.18	.43	1.00	.1	1.05	.3	.33	.38	61.9	63.3	373
25	12	21	.00	.42	1.02	.2	.97	.0	.36	.37	61.9	62.3	32
45	12	21	.00	.42	1.00	.1	.80	-.6	.54	.37	71.4	62.3	53
46	12	21	.00	.42	.89	-.7	.81	-.6	.51	.37	71.4	62.3	54
78	12	21	.00	.42	.85	-.9	.94	-.1	.38	.37	61.9	62.3	91
88	12	21	.00	.42	1.16	1.0	1.30	1.0	.09	.37	52.4	62.3	107
101	12	21	.00	.42	1.02	.2	.82	-.6	.53	.37	71.4	62.3	136
118	12	21	.00	.42	1.02	.2	1.17	.6	.19	.37	52.4	62.3	161
132	12	21	.00	.42	1.06	.4	.98	.0	.38	.37	61.9	62.3	178
162	12	21	.00	.42	.84	-1.0	1.06	.3	.24	.37	61.9	62.3	215
167	12	21	.00	.42	1.14	.9	1.02	.2	.38	.37	61.9	62.3	222
171	12	21	.00	.42	.74	-1.7	.69	-1.1	.60	.37	81.0	62.3	227
178	12	21	.00	.42	.76	-1.6	.74	-.9	.57	.37	81.0	62.3	235
179	12	21	.00	.42	.87	-.8	.79	-.7	.52	.37	71.4	62.3	237
198	12	21	.00	.42	.97	-.1	1.08	.4	.24	.37	52.4	62.3	261
199	12	21	.00	.42	1.27	1.6	2.32	3.5	.01	.37	42.9	62.3	262
208	12	21	.00	.42	.93	-.4	1.00	.1	.31	.37	61.9	62.3	274
210	12	21	.00	.42	.73	-1.8	.73	-.9	.55	.37	71.4	62.3	278
235	12	21	.00	.42	1.26	1.5	1.24	.9	.17	.37	52.4	62.3	311
250	12	21	.00	.42	.91	-.5	.78	-.7	.55	.37	71.4	62.3	328
260	12	21	.00	.42	.98	.0	.86	-.4	.47	.37	61.9	62.3	340
261	12	21	.00	.42	1.09	.6	1.12	.5	.26	.37	52.4	62.3	341
282	12	21	.00	.42	1.12	.8	1.05	.3	.31	.37	61.9	62.3	368
2	11	21	-.18	.42	.74	-1.9	.69	-1.0	.55	.36	71.4	61.2	3
18	11	21	-.18	.42	1.06	.5	.97	.0	.36	.36	52.4	61.2	21
24	11	21	-.18	.42	1.10	.7	1.02	.2	.33	.36	52.4	61.2	31
39	11	21	-.18	.42	.94	-.4	.96	.0	.32	.36	52.4	61.2	46
51	11	21	-.18	.42	1.03	.2	.90	-.2	.41	.36	71.4	61.2	61

67	11	21	-.18	.42	1.10	.7	1.03	.2	.31	.36	52.4	61.2	77
69	11	21	-.18	.42	1.07	.5	.96	.0	.36	.36	52.4	61.2	80
70	11	21	-.18	.42	1.03	.3	.90	-.2	.41	.36	61.9	61.2	81
87	11	21	-.18	.42	1.02	.2	.90	-.2	.42	.36	61.9	61.2	105
105	11	21	-.18	.42	1.06	.4	.94	-.1	.37	.36	52.4	61.2	141
106	11	21	-.18	.42	.86	-.9	.85	-.4	.41	.36	61.9	61.2	145
115	11	21	-.18	.42	1.00	.0	.87	-.3	.44	.36	52.4	61.2	158
116	11	21	-.18	.42	.95	-.3	.83	-.5	.49	.36	61.9	61.2	159
117	11	21	-.18	.42	.80	-1.4	.78	-.7	.48	.36	61.9	61.2	160
144	11	21	-.18	.42	.94	-.4	.80	-.6	.50	.36	71.4	61.2	191
155	11	21	-.18	.42	1.30	1.9	1.26	.9	.10	.36	42.9	61.2	207
158	11	21	-.18	.42	.54	-3.7	.62	-1.3	.59	.36	81.0	61.2	210
166	11	21	-.18	.42	.76	-1.8	.90	-.2	.33	.36	71.4	61.2	221
168	11	21	-.18	.42	.90	-.6	.90	-.2	.36	.36	61.9	61.2	223
190	11	21	-.18	.42	.97	-.1	.99	.1	.28	.36	52.4	61.2	251
253	11	21	-.18	.42	.87	-.9	.88	-.3	.40	.36	71.4	61.2	331
258	11	21	-.18	.42	1.10	.7	1.07	.3	.31	.36	61.9	61.2	338
270	11	21	-.18	.42	1.09	.7	.96	.0	.34	.36	52.4	61.2	355
272	11	21	-.18	.42	.94	-.4	.78	-.7	.51	.36	71.4	61.2	357
273	11	21	-.18	.42	.88	-.8	.88	-.3	.39	.36	52.4	61.2	358
280	11	21	-.18	.42	1.07	.5	.95	.0	.36	.36	52.4	61.2	366
10	10	21	-.36	.42	.97	-.1	.81	-.5	.48	.34	66.7	60.5	11
14	10	21	-.36	.42	.88	-.7	.81	-.5	.42	.34	66.7	60.5	16
15	10	21	-.36	.42	1.07	.5	.95	.0	.35	.34	66.7	60.5	17
30	10	21	-.36	.42	1.01	.1	.98	.1	.34	.34	57.1	60.5	37
33	10	21	-.36	.42	1.12	.8	1.26	.8	.19	.34	57.1	60.5	40
40	10	21	-.36	.42	.75	-1.6	.76	-.7	.49	.34	66.7	60.5	48
54	10	21	-.36	.42	.98	.0	.85	-.4	.45	.34	76.2	60.5	64
61	10	21	-.36	.42	.93	-.4	.76	-.7	.52	.34	76.2	60.5	71
64	10	21	-.36	.42	1.01	.1	.85	-.3	.44	.34	66.7	60.5	74
66	10	21	-.36	.42	.60	-2.9	.58	-1.4	.66	.34	85.7	60.5	76
73	10	21	-.36	.42	1.20	1.2	1.00	.1	.30	.34	66.7	60.5	85
76	10	21	-.36	.42	.65	-2.5	.64	-1.1	.61	.34	76.2	60.5	89
79	10	21	-.36	.42	.76	-1.6	.79	-.6	.47	.34	66.7	60.5	92
85	10	21	-.36	.42	.90	-.6	2.59	3.4	.15	.34	66.7	60.5	103
93	10	21	-.36	.42	.94	-.3	1.06	.3	.25	.34	66.7	60.5	122
94	10	21	-.36	.42	1.28	1.7	1.34	1.0	.08	.34	47.6	60.5	123
95	10	21	-.36	.42	1.23	1.4	1.03	.2	.27	.34	57.1	60.5	127
97	10	21	-.36	.42	1.23	1.4	2.78	3.7	.02	.34	47.6	60.5	130

129	10	21	-.36	.42	.91	-.5	.85	-.4	.46	.34	66.7	60.5	175
148	10	21	-.36	.42	.98	-.1	.81	-.5	.47	.34	57.1	60.5	198
156	10	21	-.36	.42	.94	-.3	.95	.0	.40	.34	57.1	60.5	208
160	10	21	-.36	.42	.68	-2.2	.79	-.6	.41	.34	66.7	60.5	212
169	10	21	-.36	.42	.92	-.5	.97	.0	.30	.34	57.1	60.5	224
201	10	21	-.36	.42	.89	-.7	.93	-.1	.33	.34	57.1	60.5	265
207	10	21	-.36	.42	1.12	.8	.90	-.2	.39	.34	66.7	60.5	273
213	10	21	-.36	.42	.83	-1.1	.76	-.7	.54	.34	76.2	60.5	283
218	10	21	-.36	.42	1.11	.8	1.34	1.0	.04	.34	38.1	60.5	290
224	10	21	-.36	.42	1.01	.1	.76	-.7	.52	.34	76.2	60.5	299
232	10	21	-.36	.42	1.14	.9	1.19	.6	.18	.34	47.6	60.5	308
239	10	21	-.36	.42	.85	-.9	.77	-.6	.46	.34	76.2	60.5	317
249	10	21	-.36	.42	.84	-1.0	.77	-.6	.53	.34	66.7	60.5	327
251	10	21	-.36	.42	.91	-.5	1.02	.2	.28	.34	66.7	60.5	329
252	10	21	-.36	.42	.93	-.4	.76	-.7	.52	.34	66.7	60.5	330
257	10	21	-.36	.42	1.15	1.0	1.39	1.2	-.01	.34	38.1	60.5	336
262	10	21	-.36	.42	.74	-1.7	.74	-.7	.50	.34	66.7	60.5	342
265	10	21	-.36	.42	1.42	2.4	1.39	1.2	.01	.34	38.1	60.5	347
3	9	21	-.54	.43	.79	-1.1	.76	-.6	.52	.33	71.4	60.6	4
27	9	21	-.54	.43	1.02	.2	1.11	.4	.25	.33	52.4	60.6	34
29	9	21	-.54	.43	.79	-1.1	.80	-.4	.41	.33	61.9	60.6	36
34	9	21	-.54	.43	1.00	.1	1.08	.3	.27	.33	52.4	60.6	41
35	9	21	-.54	.43	1.13	.7	1.25	.8	.12	.33	52.4	60.6	42
38	9	21	-.54	.43	.75	-1.3	.69	-.8	.57	.33	61.9	60.6	45
43	9	21	-.54	.43	.89	-.6	.88	-.2	.41	.33	61.9	60.6	51
49	9	21	-.54	.43	1.09	.5	1.19	.6	.18	.33	42.9	60.6	57
59	9	21	-.54	.43	.65	-2.0	.64	-1.0	.57	.33	81.0	60.6	69
75	9	21	-.54	.43	.90	-.5	.74	-.7	.47	.33	81.0	60.6	87
82	9	21	-.54	.43	.82	-.9	.81	-.4	.48	.33	71.4	60.6	96
89	9	21	-.54	.43	.86	-.7	.99	.1	.31	.33	61.9	60.6	115
102	9	21	-.54	.43	.73	-1.5	.66	-.9	.60	.33	71.4	60.6	138
104	9	21	-.54	.43	.98	.0	1.27	.8	.04	.33	52.4	60.6	140
127	9	21	-.54	.43	.81	-1.0	.83	-.3	.38	.33	61.9	60.6	173
136	9	21	-.54	.43	.90	-.5	.87	-.2	.41	.33	52.4	60.6	182
137	9	21	-.54	.43	1.08	.5	1.19	.6	.18	.33	52.4	60.6	184
141	9	21	-.54	.43	.78	-1.2	.72	-.7	.54	.33	71.4	60.6	188
145	9	21	-.54	.43	.96	-.1	.96	.0	.33	.33	52.4	60.6	192
149	9	21	-.54	.43	.91	-.4	.98	.1	.26	.33	61.9	60.6	199
153	9	21	-.54	.43	.85	-.8	.82	-.4	.46	.33	71.4	60.6	205

170	9	21	-.54	.43	1.12	.7	.94	.0	.34	.33	52.4	60.6	225
176	9	21	-.54	.43	.87	-.6	.98	.1	.30	.33	52.4	60.6	232
191	9	21	-.54	.43	.88	-.6	.70	-.8	.50	.33	71.4	60.6	252
202	9	21	-.54	.43	.78	-1.2	.78	-.5	.44	.33	61.9	60.6	266
229	9	21	-.54	.43	.91	-.4	.94	.0	.28	.33	52.4	60.6	305
233	9	21	-.54	.43	1.21	1.1	1.52	1.3	.01	.33	42.9	60.6	309
234	9	21	-.54	.43	.95	-.2	.93	-.1	.35	.33	52.4	60.6	310
254	9	21	-.54	.43	1.22	1.1	1.18	.6	.18	.33	61.9	60.6	332
259	9	21	-.54	.43	1.12	.7	1.41	1.1	.11	.33	52.4	60.6	339
41	8	21	-.73	.44	.99	.0	1.29	.8	.20	.31	57.1	61.6	49
62	8	21	-.73	.44	1.03	.2	.77	-.5	.41	.31	76.2	61.6	72
74	8	21	-.73	.44	.76	-1.0	.72	-.6	.45	.31	57.1	61.6	86
81	8	21	-.73	.44	1.05	.3	.77	-.5	.48	.31	76.2	61.6	95
113	8	21	-.73	.44	.96	-.1	1.02	.2	.20	.31	57.1	61.6	156
122	8	21	-.73	.44	.84	-.7	.84	-.3	.34	.31	57.1	61.6	168
124	8	21	-.73	.44	.67	-1.5	.63	-.9	.55	.31	76.2	61.6	170
126	8	21	-.73	.44	.79	-.9	.75	-.5	.48	.31	57.1	61.6	172
130	8	21	-.73	.44	1.12	.6	.93	.0	.29	.31	76.2	61.6	176
139	8	21	-.73	.44	1.03	.2	1.26	.7	.18	.31	47.6	61.6	186
142	8	21	-.73	.44	.99	.0	1.11	.4	.24	.31	47.6	61.6	189
181	8	21	-.73	.44	.72	-1.3	.67	-.7	.56	.31	76.2	61.6	239
186	8	21	-.73	.44	.75	-1.1	.70	-.7	.53	.31	66.7	61.6	244
188	8	21	-.73	.44	.89	-.4	.89	-.1	.37	.31	66.7	61.6	248
189	8	21	-.73	.44	1.08	.4	1.30	.8	.12	.31	57.1	61.6	250
193	8	21	-.73	.44	.78	-.9	.74	-.6	.49	.31	57.1	61.6	254
219	8	21	-.73	.44	1.02	.2	1.05	.3	.22	.31	47.6	61.6	291
226	8	21	-.73	.44	1.10	.5	.88	-.2	.37	.31	66.7	61.6	301
227	8	21	-.73	.44	.90	-.4	.89	-.1	.36	.31	57.1	61.6	303
246	8	21	-.73	.44	.74	-1.1	.70	-.7	.53	.31	66.7	61.6	324
269	8	21	-.73	.44	.75	-1.1	.75	-.5	.37	.31	66.7	61.6	353
28	7	21	-.93	.46	1.01	.1	1.20	.6	.18	.29	66.7	68.9	35
44	7	21	-.93	.46	1.29	1.1	1.10	.4	.20	.29	71.4	68.9	52
50	7	21	-.93	.46	.83	-.6	.78	-.3	.41	.29	66.7	68.9	60
63	7	21	-.93	.46	1.21	.8	.86	-.2	.37	.29	61.9	68.9	73
65	7	21	-.93	.46	.79	-.7	.94	.0	.41	.29	76.2	68.9	75
83	7	21	-.93	.46	.85	-.5	.84	-.2	.38	.29	66.7	68.9	97
123	7	21	-.93	.46	1.17	.7	1.31	.8	.02	.29	57.1	68.9	169
163	7	21	-.93	.46	1.25	.9	1.00	.2	.31	.29	81.0	68.9	216
172	7	21	-.93	.46	1.02	.2	1.23	.6	.16	.29	66.7	68.9	228

174	7	21	-.93	.46	.98	.0	4.06	4.0	.02	.29	76.2	68.9	230
175	7	21	-.93	.46	1.36	1.3	1.12	.4	.11	.29	71.4	68.9	231
177	7	21	-.93	.46	.91	-.2	.86	-.2	.33	.29	66.7	68.9	233
195	7	21	-.93	.46	.84	-.5	.81	-.3	.36	.29	66.7	68.9	257
197	7	21	-.93	.46	.88	-.4	.81	-.3	.26	.29	57.1	68.9	260
204	7	21	-.93	.46	1.04	.3	1.05	.3	.19	.29	57.1	68.9	270
205	7	21	-.93	.46	1.40	1.4	1.10	.4	.16	.29	61.9	68.9	271
216	7	21	-.93	.46	1.42	1.5	1.22	.6	.01	.29	61.9	68.9	288
223	7	21	-.93	.46	1.09	.4	1.16	.5	.12	.29	66.7	68.9	297
228	7	21	-.93	.46	1.07	.3	1.28	.7	.11	.29	57.1	68.9	304
241	7	21	-.93	.46	.82	-.6	.87	-.1	.40	.29	76.2	68.9	319
243	7	21	-.93	.46	1.05	.3	1.26	.7	.13	.29	66.7	68.9	321
244	7	21	-.93	.46	.93	-.2	.91	.0	.30	.29	66.7	68.9	322
245	7	21	-.93	.46	.86	-.4	.86	-.2	.37	.29	66.7	68.9	323
248	7	21	-.93	.46	1.05	.3	1.07	.3	.18	.29	57.1	68.9	326
264	7	21	-.93	.46	.82	-.6	.79	-.3	.42	.29	76.2	68.9	346
275	7	21	-.93	.46	.93	-.2	1.00	.2	.28	.29	76.2	68.9	360
285	7	21	-.93	.46	.88	-.4	1.03	.2	.32	.29	76.2	68.9	371
11	6	21	-1.15	.48	1.39	1.2	1.08	.3	.18	.27	71.4	72.5	12
12	6	21	-1.15	.48	1.00	.1	1.18	.5	.18	.27	66.7	72.5	13
13	6	21	-1.15	.48	.76	-.7	.64	-.6	.46	.27	76.2	72.5	14
20	6	21	-1.15	.48	1.37	1.1	1.05	.3	.21	.27	71.4	72.5	24
26	6	21	-1.15	.48	.96	.0	.97	.1	.24	.27	76.2	72.5	33
32	6	21	-1.15	.48	1.14	.5	1.28	.7	.04	.27	66.7	72.5	39
42	6	21	-1.15	.48	1.27	.9	.90	.0	.32	.27	71.4	72.5	50
55	6	21	-1.15	.48	1.30	1.0	.92	.0	.29	.27	71.4	72.5	65
56	6	21	-1.15	.48	.88	-.3	.81	-.2	.34	.27	66.7	72.5	66
68	6	21	-1.15	.48	.90	-.2	.82	-.2	.33	.27	66.7	72.5	79
140	6	21	-1.15	.48	.96	.0	1.16	.5	.21	.27	76.2	72.5	187
147	6	21	-1.15	.48	.98	.0	1.05	.3	.21	.27	76.2	72.5	197
150	6	21	-1.15	.48	1.17	.6	1.46	.9	-.02	.27	66.7	72.5	202
164	6	21	-1.15	.48	1.00	.1	1.05	.3	.14	.27	76.2	72.5	217
182	6	21	-1.15	.48	.96	.0	.98	.1	.24	.27	76.2	72.5	240
185	6	21	-1.15	.48	.78	-.6	.72	-.4	.44	.27	76.2	72.5	243
187	6	21	-1.15	.48	1.09	.4	1.29	.7	.09	.27	66.7	72.5	247
237	6	21	-1.15	.48	.98	.0	1.17	.5	.19	.27	66.7	72.5	313
240	6	21	-1.15	.48	.92	-.2	.93	.1	.28	.27	66.7	72.5	318
284	6	21	-1.15	.48	1.02	.2	1.49	1.0	.11	.27	76.2	72.5	370
22	5	21	-1.40	.51	.97	.0	.94	.1	.23	.25	76.2	76.9	27

	23	5	21	-1.40	.51	.91	-.1	.74	-.2	.29	.25	76.2	76.9	28	
	37	5	21	-1.40	.51	.86	-.3	.73	-.3	.36	.25	76.2	76.9	44	
	57	5	21	-1.40	.51	.84	-.4	.72	-.3	.38	.25	76.2	76.9	67	
	58	5	21	-1.40	.51	2.06	2.4	1.29	.6	.14	.25	85.7	76.9	68	
	72	5	21	-1.40	.51	1.51	1.4	1.06	.3	.25	.25	81.0	76.9	84	
	91	5	21	-1.40	.51	.95	.0	.93	.1	.25	.25	76.2	76.9	120	
	98	5	21	-1.40	.51	1.04	.2	.99	.2	.12	.25	76.2	76.9	131	
	128	5	21	-1.40	.51	.87	-.3	.75	-.2	.35	.25	76.2	76.9	174	
	135	5	21	-1.40	.51	1.53	1.4	1.08	.3	.23	.25	81.0	76.9	181	
	138	5	21	-1.40	.51	1.00	.1	5.99	4.1	-.09	.25	76.2	76.9	185	
	212	5	21	-1.40	.51	.87	-.3	.83	-.1	.33	.25	76.2	76.9	282	
	225	5	21	-1.40	.51	.80	-.5	.68	-.4	.41	.25	76.2	76.9	300	
	230	5	21	-1.40	.51	.90	-.2	.79	-.1	.28	.25	76.2	76.9	306	
	236	5	21	-1.40	.51	.95	.0	1.21	.5	.20	.25	76.2	76.9	312	
	247	5	21	-1.40	.51	.94	.0	1.21	.5	.20	.25	76.2	76.9	325	
	60	4	21	-1.68	.56	.95	.0	.73	-.1	.26	.23	81.0	81.4	70	
	77	4	21	-1.68	.56	.83	-.3	.67	-.3	.37	.23	81.0	81.4	90	
	86	4	21	-1.68	.56	.79	-.4	.61	-.4	.41	.23	81.0	81.4	104	
	119	4	21	-1.68	.56	.99	.1	1.04	.3	.17	.23	81.0	81.4	165	
	120	4	21	-1.68	.56	1.08	.3	1.06	.3	.10	.23	81.0	81.4	166	
	125	4	21	-1.68	.56	.86	-.2	.68	-.2	.35	.23	81.0	81.4	171	
	143	4	21	-1.68	.56	.95	.0	.81	.0	.26	.23	81.0	81.4	190	
	183	4	21	-1.68	.56	.93	.0	1.08	.4	.21	.23	81.0	81.4	241	
	206	4	21	-1.68	.56	1.00	.1	.94	.2	.19	.23	81.0	81.4	272	
	221	4	21	-1.68	.56	.95	.0	.88	.1	.23	.23	81.0	81.4	293	
	231	4	21	-1.68	.56	.88	-.1	.90	.1	.28	.23	81.0	81.4	307	
	263	4	21	-1.68	.56	.90	-.1	.71	-.2	.30	.23	81.0	81.4	344	
	131	3	21	-2.03	.63	1.09	.4	1.74	1.0	-.02	.20	85.7	85.9	177	
	134	3	21	-2.03	.63	1.04	.3	.94	.2	.14	.20	85.7	85.9	180	
	222	3	21	-2.03	.63	.88	-.1	.66	-.1	.31	.20	85.7	85.9	295	
	238	3	21	-2.03	.63	1.14	.4	1.24	.6	-.03	.20	85.7	85.9	314	
	52	2	21	-2.50	.75	2.22	1.7	2.11	1.1	.03	.16	95.2	90.6	62	
	121	2	21	-2.50	.75	1.03	.3	.87	.3	.14	.16	90.5	90.6	167	
	180	2	21	-2.50	.75	.96	.1	.68	.1	.22	.16	90.5	90.6	238	
	194	2	21	-2.50	.75	1.08	.3	1.02	.4	.06	.16	90.5	90.6	255	
-----															
	MEAN	9.9	21.0	-.41	.46	.98	-.1	1.01	.1			67.0	67.2		
	S.D.	3.7	.0	.77	.06	.20	.9	.45	.8			11.3	7.6		
-----															



14.4. ANEXO D: ESTATÍSTICA DAS PESSOAS - MODELAGEM RASCH - TESTE FINAL

TABLE 17.1 Teste\_Final.xlsx ZOU116WS.TXT Jan 28 11:18 2018  
 INPUT: 293 PERSON 24 ITEM MEASURED: 293 PERSON 24 ITEM 52 CATS WINSTEPS 3.70.0

-----  
 PERSON: REAL SEP.: 1.65 REL.: .73 ... ITEM: REAL SEP.: 7.14 REL.: .98

PERSON STATISTICS: MEASURE ORDER

ENTRY	TOTAL	TOTAL		MODEL	INFIT		OUTFIT		PT-MEASURE		EXACT MATCH		
NUMBER	SCORE	COUNT	MEASURE	S.E.	MNSQ	ZSTD	MNSQ	ZSTD	CORR.	EXP.	OBS%	EXP%	PERSON
266	26	24	2.84	.86	.72	-.1	.53	-.2	.63	.49	95.8	94.1	340
66	25	24	2.26	.68	.64	-.3	.37	-.9	.72	.48	91.7	90.9	85
109	25	24	2.26	.68	.70	-.2	.47	-.6	.66	.48	91.7	90.9	148
137	25	24	2.26	.68	1.68	1.0	.63	-.3	.75	.48	95.8	90.9	179
162	25	24	2.26	.68	.81	.0	.88	.1	.53	.48	91.7	90.9	211
167	25	24	2.26	.68	.80	-.1	.77	-.1	.55	.48	91.7	90.9	220
116	24	24	1.87	.57	.83	-.1	.73	-.3	.52	.46	87.5	87.5	155
163	24	24	1.87	.57	.77	-.2	.67	-.4	.54	.46	87.5	87.5	214
63	23	24	1.58	.51	.64	-.6	.46	-1.2	.70	.44	79.2	81.5	82
74	23	24	1.58	.51	1.01	.2	1.40	.9	.27	.44	79.2	81.5	94
100	23	24	1.58	.51	.87	-.1	.99	.2	.44	.44	79.2	81.5	139
168	23	24	1.58	.51	.66	-.6	.62	-.7	.57	.44	87.5	81.5	221
170	23	24	1.58	.51	.66	-.6	.62	-.7	.57	.44	87.5	81.5	223
268	23	24	1.58	.51	.84	-.2	.99	.1	.46	.44	79.2	81.5	342
274	23	24	1.58	.51	.80	-.3	.78	-.3	.53	.44	79.2	81.5	349
286	23	24	1.58	.51	1.05	.3	.62	-.7	.58	.44	87.5	81.5	364
289	23	24	1.58	.51	.87	-.1	.98	.1	.44	.44	79.2	81.5	367
293	23	24	1.58	.51	.66	-.6	.53	-1.0	.67	.44	79.2	81.5	373
78	22	24	1.35	.46	.88	-.1	.68	-.6	.55	.43	83.3	78.6	100
112	22	24	1.35	.46	.84	-.3	.81	-.3	.53	.43	75.0	78.6	151
183	22	24	1.35	.46	.67	-.7	.66	-.7	.55	.43	83.3	78.6	237
276	22	24	1.35	.46	.88	-.2	.97	.1	.45	.43	75.0	78.6	352

6	21	24	1.15	.43	1.07	.3	1.27	.8	.27	.42	66.7	75.8	8
86	21	24	1.15	.43	.80	-.5	.73	-.6	.54	.42	75.0	75.8	121
105	21	24	1.15	.43	.87	-.3	1.14	.5	.41	.42	66.7	75.8	144
118	21	24	1.15	.43	.90	-.2	1.17	.5	.38	.42	66.7	75.8	157
261	21	24	1.15	.43	1.68	1.7	.85	-.3	.54	.42	83.3	75.8	334
264	21	24	1.15	.43	.83	-.4	.77	-.5	.46	.42	75.0	75.8	338
267	21	24	1.15	.43	1.16	.5	.87	-.2	.57	.42	79.2	75.8	341
281	21	24	1.15	.43	.72	-.8	.59	-1.0	.56	.42	75.0	75.8	358
282	21	24	1.15	.43	.72	-.8	.57	-1.1	.58	.42	75.0	75.8	359
285	21	24	1.15	.43	.71	-.8	.52	-1.3	.65	.42	75.0	75.8	362
287	21	24	1.15	.43	.56	-1.4	.65	-.9	.61	.42	83.3	75.8	365
46	20	24	.97	.41	.80	-.6	1.07	.3	.34	.41	66.7	71.9	55
61	20	24	.97	.41	.94	-.1	.92	-.1	.50	.41	66.7	71.9	80
87	20	24	.97	.41	1.11	.5	1.17	.6	.30	.41	58.3	71.9	122
134	20	24	.97	.41	.94	-.1	.96	.0	.42	.41	66.7	71.9	176
154	20	24	.97	.41	.61	-1.4	.61	-1.1	.63	.41	75.0	71.9	203
161	20	24	.97	.41	.57	-1.6	.60	-1.2	.63	.41	75.0	71.9	210
164	20	24	.97	.41	1.10	.4	.87	-.2	.52	.41	75.0	71.9	215
216	20	24	.97	.41	.63	-1.3	.58	-1.2	.62	.41	75.0	71.9	278
218	20	24	.97	.41	1.07	.3	.80	-.5	.55	.41	75.0	71.9	280
262	20	24	.97	.41	1.09	.4	.72	-.7	.53	.41	79.2	71.9	335
21	19	24	.81	.40	1.17	.7	1.09	.4	.28	.40	62.5	69.8	26
52	19	24	.81	.40	.99	.1	.93	-.1	.42	.40	66.7	69.8	68
96	19	24	.81	.40	.87	-.4	1.09	.4	.28	.40	58.3	69.8	134
108	19	24	.81	.40	.92	-.2	1.15	.5	.22	.40	58.3	69.8	147
113	19	24	.81	.40	.94	-.1	.89	-.2	.49	.40	75.0	69.8	152
114	19	24	.81	.40	.88	-.4	1.13	.5	.29	.40	58.3	69.8	153
117	19	24	.81	.40	1.37	1.4	1.72	1.8	.03	.40	50.0	69.8	156
160	19	24	.81	.40	.88	-.4	.61	-1.2	.64	.40	79.2	69.8	209
173	19	24	.81	.40	.70	-1.2	.88	-.2	.38	.40	75.0	69.8	227
187	19	24	.81	.40	.97	.0	.72	-.8	.52	.40	70.8	69.8	242
199	19	24	.81	.40	1.21	.8	.75	-.7	.58	.40	83.3	69.8	258
207	19	24	.81	.40	1.35	1.3	.94	-.1	.41	.40	66.7	69.8	267
231	19	24	.81	.40	.82	-.6	1.02	.2	.36	.40	66.7	69.8	299
233	19	24	.81	.40	1.46	1.6	2.25	2.8	.00	.40	58.3	69.8	301
245	19	24	.81	.40	1.12	.5	.96	.0	.35	.40	62.5	69.8	318
258	19	24	.81	.40	.78	-.8	1.04	.2	.27	.40	66.7	69.8	331
277	19	24	.81	.40	1.08	.4	1.03	.2	.35	.40	66.7	69.8	353
279	19	24	.81	.40	.74	-1.0	.64	-1.1	.59	.40	83.3	69.8	356

	284	19	24	.81	.40 1.07	.4  .90	-.2	.41	.40	70.8	69.8	361	
	29	18	24	.65	.39 1.16	.7 1.21	.7	.31	.40	62.5	68.7	36	
	70	18	24	.65	.39 1.17	.7 1.08	.4	.33	.40	62.5	68.7	89	
	88	18	24	.65	.39 1.09	.4 1.03	.2	.31	.40	58.3	68.7	123	
	91	18	24	.65	.39  .77	-.9  .75	-.7	.50	.40	66.7	68.7	129	
	101	18	24	.65	.39  .91	-.3 1.13	.5	.20	.40	58.3	68.7	140	
	103	18	24	.65	.39  .81	-.7  .74	-.7	.51	.40	83.3	68.7	142	
	127	18	24	.65	.39  .97	.0 2.36	3.1	.05	.40	66.7	68.7	168	
	157	18	24	.65	.39 1.26	1.0 1.45	1.3	.18	.40	62.5	68.7	206	
	158	18	24	.65	.39 1.43	1.6 1.25	.8	.23	.40	54.2	68.7	207	
	215	18	24	.65	.39  .90	-.3 1.12	.4	.25	.40	66.7	68.7	277	
	223	18	24	.65	.39  .86	-.5  .73	-.8	.56	.40	75.0	68.7	286	
	280	18	24	.65	.39 1.19	.8 1.00	.1	.40	.40	62.5	68.7	357	
	1	17	24	.50	.38 1.52	1.9 1.32	1.0	.20	.39	50.0	64.8	1	
	16	17	24	.50	.38 1.00	.1 1.08	.3	.31	.39	54.2	64.8	19	
	47	17	24	.50	.38  .89	-.4 1.05	.2	.30	.39	54.2	64.8	56	
	65	17	24	.50	.38 1.27	1.1  .90	-.2	.50	.39	66.7	64.8	84	
	73	17	24	.50	.38  .60	-1.8  .78	-.6	.49	.39	79.2	64.8	92	
	107	17	24	.50	.38 1.58	2.1 1.10	.4	.35	.39	58.3	64.8	146	
	111	17	24	.50	.38  .82	-.7  .64	-1.1	.62	.39	70.8	64.8	150	
	152	17	24	.50	.38  .55	-2.0  .70	-.9	.54	.39	79.2	64.8	199	
	166	17	24	.50	.38  .92	-.2  .76	-.7	.52	.39	70.8	64.8	217	
	193	17	24	.50	.38 1.21	.9 1.21	.7	.35	.39	66.7	64.8	252	
	204	17	24	.50	.38 1.28	1.1 1.09	.4	.32	.39	50.0	64.8	264	
	205	17	24	.50	.38  .53	-2.2  .64	-1.1	.58	.39	70.8	64.8	265	
	208	17	24	.50	.38  .87	-.4 1.11	.4	.31	.39	70.8	64.8	268	
	257	17	24	.50	.38 1.30	1.2  .95	.0	.47	.39	58.3	64.8	330	
	288	17	24	.50	.38  .91	-.3 1.08	.3	.34	.39	62.5	64.8	366	
	292	17	24	.50	.38  .72	-1.2  .78	-.6	.51	.39	62.5	64.8	372	
	28	16	24	.35	.38  .91	-.3 1.01	.1	.33	.38	58.3	63.7	35	
	38	16	24	.35	.38  .65	-1.5  .85	-.4	.37	.38	66.7	63.7	46	
	45	16	24	.35	.38 1.24	1.0 3.05	4.2	-.08	.38	50.0	63.7	54	
	51	16	24	.35	.38 1.57	2.0 1.23	.8	.25	.38	45.8	63.7	64	
	60	16	24	.35	.38  .69	-1.3  .71	-.9	.55	.38	75.0	63.7	79	
	77	16	24	.35	.38 1.15	.7 1.58	1.6	.00	.38	50.0	63.7	99	
	90	16	24	.35	.38  .84	-.6  .76	-.7	.54	.38	75.0	63.7	127	
	98	16	24	.35	.38 1.48	1.7 1.09	.4	.36	.38	54.2	63.7	136	
	119	16	24	.35	.38 1.57	2.0 1.26	.9	.21	.38	45.8	63.7	158	
	122	16	24	.35	.38 1.03	.2 1.36	1.1	.07	.38	50.0	63.7	161	

	139	16	24	.35	.38 1.52	1.9 1.15	.6	.31	.38	54.2	63.7	181	
	145	16	24	.35	.38 1.43	1.6 1.05	.3	.40	.38	62.5	63.7	188	
	159	16	24	.35	.38  .79	-.8  .85	-.4	.43	.38	66.7	63.7	208	
	176	16	24	.35	.38  .77	-.9  .85	-.3	.41	.38	66.7	63.7	230	
	178	16	24	.35	.38  .52	-2.2  .65	-1.1	.54	.38	75.0	63.7	232	
	194	16	24	.35	.38  .74	-1.0  .66	-1.1	.59	.38	75.0	63.7	253	
	197	16	24	.35	.38  .88	-.4  .91	-.2	.50	.38	83.3	63.7	256	
	201	16	24	.35	.38  .86	-.5  .78	-.6	.50	.38	66.7	63.7	260	
	211	16	24	.35	.38  .86	-.5  .93	-.1	.36	.38	58.3	63.7	271	
	224	16	24	.35	.38  .84	-.6  .75	-.7	.53	.38	66.7	63.7	287	
	259	16	24	.35	.38  .84	-.6  .90	-.2	.42	.38	66.7	63.7	332	
	269	16	24	.35	.38  .67	-1.4  .66	-1.1	.58	.38	75.0	63.7	343	
	270	16	24	.35	.38  .94	-.2  .85	-.4	.44	.38	66.7	63.7	344	
	14	15	24	.21	.38 1.05	.3  .96	.0	.36	.37	62.5	62.5	17	
	18	15	24	.21	.38  .96	-.1  .98	.1	.35	.37	62.5	62.5	23	
	24	15	24	.21	.38 1.02	.2  .86	-.3	.47	.37	70.8	62.5	31	
	53	15	24	.21	.38  .68	-1.3  .78	-.6	.46	.37	70.8	62.5	69	
	72	15	24	.21	.38  .66	-1.4  .75	-.7	.49	.37	70.8	62.5	91	
	97	15	24	.21	.38 1.17	.7 1.11	.4	.30	.37	54.2	62.5	135	
	125	15	24	.21	.38  .90	-.3  .76	-.7	.56	.37	70.8	62.5	165	
	149	15	24	.21	.38  .84	-.6  .91	-.2	.37	.37	62.5	62.5	194	
	151	15	24	.21	.38  .62	-1.7  .70	-.9	.54	.37	79.2	62.5	198	
	155	15	24	.21	.38  .75	-1.0  .76	-.7	.49	.37	79.2	62.5	204	
	202	15	24	.21	.38  .80	-.7  .82	-.5	.43	.37	70.8	62.5	261	
	206	15	24	.21	.38  .85	-.5 2.77	3.7	.23	.37	70.8	62.5	266	
	209	15	24	.21	.38  .75	-1.0  .66	-1.0	.59	.37	79.2	62.5	269	
	219	15	24	.21	.38  .96	-.1  .87	-.3	.44	.37	54.2	62.5	281	
	247	15	24	.21	.38  .95	-.1  .82	-.4	.48	.37	62.5	62.5	320	
	263	15	24	.21	.38 1.18	.8 1.14	.5	.27	.37	54.2	62.5	336	
	278	15	24	.21	.38  .80	-.7  .75	-.7	.54	.37	70.8	62.5	355	
	283	15	24	.21	.38  .91	-.3  .89	-.2	.41	.37	54.2	62.5	360	
	290	15	24	.21	.38  .91	-.3  .80	-.5	.50	.37	70.8	62.5	369	
	25	14	24	.06	.38  .90	-.3  .91	-.1	.36	.37	58.3	61.2	32	
	35	14	24	.06	.38 1.72	2.4 1.22	.7	.29	.37	45.8	61.2	43	
	44	14	24	.06	.38 1.28	1.1 1.36	1.0	.05	.37	41.7	61.2	52	
	54	14	24	.06	.38  .89	-.4  .86	-.3	.44	.37	58.3	61.2	70	
	81	14	24	.06	.38 1.23	.9 1.15	.5	.23	.37	50.0	61.2	105	
	133	14	24	.06	.38  .75	-1.0  .79	-.5	.44	.37	66.7	61.2	174	
	169	14	24	.06	.38  .73	-1.1  .65	-1.0	.60	.37	83.3	61.2	222	

177	14	24	.06	.38	.83	-.6	.83	-.4	.44	.37	66.7	61.2	231
180	14	24	.06	.38	1.26	1.1	1.17	.6	.21	.37	41.7	61.2	234
181	14	24	.06	.38	.93	-.2	1.12	.4	.27	.37	58.3	61.2	235
227	14	24	.06	.38	.92	-.2	3.17	4.1	.15	.37	58.3	61.2	292
256	14	24	.06	.38	.90	-.3	.89	-.2	.38	.37	58.3	61.2	329
275	14	24	.06	.38	.92	-.3	.90	-.2	.40	.37	58.3	61.2	351
291	14	24	.06	.38	1.00	.1	1.00	.1	.30	.37	50.0	61.2	370
36	13	24	-.09	.39	.97	.0	.96	.0	.35	.36	54.2	59.9	44
49	13	24	-.09	.39	.85	-.5	.91	-.1	.37	.36	70.8	59.9	61
68	13	24	-.09	.39	1.49	1.8	1.05	.3	.42	.36	66.7	59.9	87
89	13	24	-.09	.39	1.22	.9	1.18	.6	.19	.36	54.2	59.9	125
94	13	24	-.09	.39	.99	.0	1.09	.4	.24	.36	54.2	59.9	132
99	13	24	-.09	.39	.73	-1.1	.69	-.8	.55	.36	79.2	59.9	138
102	13	24	-.09	.39	1.21	.9	1.07	.3	.28	.36	45.8	59.9	141
120	13	24	-.09	.39	.83	-.6	.82	-.4	.44	.36	62.5	59.9	159
132	13	24	-.09	.39	1.68	2.3	1.27	.8	.28	.36	50.0	59.9	173
189	13	24	-.09	.39	.84	-.6	.80	-.4	.46	.36	62.5	59.9	247
221	13	24	-.09	.39	.90	-.3	.86	-.3	.44	.36	62.5	59.9	283
255	13	24	-.09	.39	.59	-1.9	.62	-1.0	.59	.36	87.5	59.9	328
7	12	24	-.24	.39	2.18	3.6	1.45	1.1	.24	.35	45.8	60.4	9
15	12	24	-.24	.39	1.23	.9	1.02	.2	.31	.35	54.2	60.4	18
30	12	24	-.24	.39	1.00	.1	1.06	.3	.25	.35	54.2	60.4	37
32	12	24	-.24	.39	.98	.0	1.05	.3	.29	.35	54.2	60.4	40
34	12	24	-.24	.39	.76	-1.0	.73	-.6	.54	.35	79.2	60.4	42
56	12	24	-.24	.39	.85	-.5	1.00	.1	.30	.35	70.8	60.4	74
58	12	24	-.24	.39	.91	-.3	.84	-.3	.40	.35	62.5	60.4	76
71	12	24	-.24	.39	.89	-.4	4.03	4.6	.04	.35	54.2	60.4	90
106	12	24	-.24	.39	1.08	.4	1.11	.4	.21	.35	54.2	60.4	145
121	12	24	-.24	.39	.93	-.2	.95	.0	.33	.35	45.8	60.4	160
142	12	24	-.24	.39	1.00	.1	.98	.1	.34	.35	54.2	60.4	184
146	12	24	-.24	.39	1.17	.7	1.14	.5	.19	.35	45.8	60.4	190
147	12	24	-.24	.39	.92	-.3	.83	-.3	.44	.35	62.5	60.4	191
186	12	24	-.24	.39	.78	-.9	.76	-.5	.51	.35	70.8	60.4	241
195	12	24	-.24	.39	.70	-1.3	.65	-.9	.60	.35	79.2	60.4	254
196	12	24	-.24	.39	.89	-.4	.81	-.4	.43	.35	70.8	60.4	255
203	12	24	-.24	.39	.88	-.4	.81	-.4	.47	.35	70.8	60.4	262
217	12	24	-.24	.39	.99	.0	1.08	.3	.28	.35	54.2	60.4	279
220	12	24	-.24	.39	.81	-.7	.89	-.2	.37	.35	54.2	60.4	282
232	12	24	-.24	.39	.88	-.4	.92	-.1	.40	.35	70.8	60.4	300

	238	12	24	-.24	.39	.95	-.1	.97	.1	.34	.35	62.5	60.4	308	
	239	12	24	-.24	.39	.69	-1.3	.75	-.5	.45	.35	79.2	60.4	309	
	240	12	24	-.24	.39	1.49	1.8	1.52	1.3	-.04	.35	50.0	60.4	311	
	241	12	24	-.24	.39	.76	-1.0	.73	-.6	.53	.35	70.8	60.4	312	
	251	12	24	-.24	.39	.94	-.2	.99	.1	.34	.35	54.2	60.4	324	
	260	12	24	-.24	.39	1.21	.9	1.08	.3	.28	.35	45.8	60.4	333	
	273	12	24	-.24	.39	1.31	1.2	1.12	.4	.24	.35	45.8	60.4	347	
	2	11	24	-.39	.40	.80	-.8	.80	-.3	.43	.34	66.7	61.9	3	
	5	11	24	-.39	.40	1.36	1.4	1.05	.3	.28	.34	54.2	61.9	7	
	8	11	24	-.39	.40	2.10	3.4	1.50	1.2	.26	.34	54.2	61.9	10	
	9	11	24	-.39	.40	1.04	.3	.91	-.1	.35	.34	66.7	61.9	11	
	37	11	24	-.39	.40	.86	-.5	.87	-.2	.41	.34	66.7	61.9	45	
	48	11	24	-.39	.40	.96	-.1	.99	.1	.30	.34	58.3	61.9	57	
	59	11	24	-.39	.40	.78	-.9	.77	-.4	.49	.34	75.0	61.9	77	
	80	11	24	-.39	.40	.75	-1.0	.79	-.4	.43	.34	58.3	61.9	104	
	104	11	24	-.39	.40	.79	-.8	.78	-.4	.48	.34	66.7	61.9	143	
	126	11	24	-.39	.40	1.02	.2	1.10	.4	.23	.34	58.3	61.9	166	
	138	11	24	-.39	.40	.93	-.2	.95	.0	.33	.34	50.0	61.9	180	
	150	11	24	-.39	.40	.93	-.2	.96	.1	.33	.34	58.3	61.9	197	
	156	11	24	-.39	.40	.91	-.3	.90	-.1	.35	.34	50.0	61.9	205	
	171	11	24	-.39	.40	1.06	.3	1.10	.4	.20	.34	41.7	61.9	224	
	172	11	24	-.39	.40	.92	-.2	.95	.0	.34	.34	58.3	61.9	225	
	175	11	24	-.39	.40	.91	-.3	.95	.0	.35	.34	66.7	61.9	229	
	184	11	24	-.39	.40	.87	-.5	4.45	4.6	.21	.34	75.0	61.9	238	
	185	11	24	-.39	.40	.94	-.2	.81	-.3	.45	.34	75.0	61.9	240	
	190	11	24	-.39	.40	.90	-.3	.92	.0	.36	.34	66.7	61.9	248	
	191	11	24	-.39	.40	1.01	.1	1.14	.5	.23	.34	50.0	61.9	250	
	198	11	24	-.39	.40	.91	-.3	.96	.1	.35	.34	66.7	61.9	257	
	213	11	24	-.39	.40	1.06	.3	1.28	.7	.04	.34	50.0	61.9	274	
	214	11	24	-.39	.40	.93	-.2	1.05	.3	.23	.34	58.3	61.9	276	
	228	11	24	-.39	.40	1.08	.4	.99	.1	.31	.34	66.7	61.9	293	
	234	11	24	-.39	.40	.78	-.8	.77	-.4	.48	.34	66.7	61.9	303	
	243	11	24	-.39	.40	.82	-.7	.79	-.4	.42	.34	58.3	61.9	314	
	246	11	24	-.39	.40	.79	-.8	.78	-.4	.48	.34	75.0	61.9	319	
	248	11	24	-.39	.40	.79	-.8	.79	-.4	.48	.34	75.0	61.9	321	
	253	11	24	-.39	.40	1.00	.1	1.12	.4	.24	.34	58.3	61.9	326	
	3	10	24	-.56	.41	1.32	1.2	.94	.0	.41	.33	79.2	62.7	5	
	57	10	24	-.56	.41	1.06	.3	.87	-.1	.36	.33	58.3	62.7	75	
	69	10	24	-.56	.41	1.09	.4	1.17	.5	.15	.33	50.0	62.7	88	

79	10	24	-.56	.41 1.02	.2 1.03	.2	.24	.33	58.3	62.7	103	
85	10	24	-.56	.41 1.04	.3 1.21	.6	.18	.33	50.0	62.7	120	
93	10	24	-.56	.41  .96	.0 1.06	.3	.25	.33	50.0	62.7	131	
124	10	24	-.56	.41  .88	-.4  .89	-.1	.37	.33	66.7	62.7	164	
128	10	24	-.56	.41  .88	-.4  .95	.1	.27	.33	66.7	62.7	169	
131	10	24	-.56	.41  .72	-1.1  .68	-.6	.51	.33	75.0	62.7	172	
135	10	24	-.56	.41 1.20	.8 1.37	.9	.03	.33	41.7	62.7	177	
165	10	24	-.56	.41 1.09	.4 1.24	.6	.14	.33	50.0	62.7	216	
174	10	24	-.56	.41  .96	-.1 1.11	.4	.26	.33	58.3	62.7	228	
179	10	24	-.56	.41  .94	-.2  .96	.1	.31	.33	58.3	62.7	233	
210	10	24	-.56	.41  .84	-.6  .87	-.1	.40	.33	75.0	62.7	270	
242	10	24	-.56	.41  .98	.0 1.03	.2	.26	.33	58.3	62.7	313	
249	10	24	-.56	.41  .86	-.5  .87	-.1	.39	.33	58.3	62.7	322	
272	10	24	-.56	.41  .82	-.7  .79	-.3	.44	.33	58.3	62.7	346	
43	9	24	-.73	.42  .77	-.8  .74	-.4	.47	.32	70.8	66.9	51	
55	9	24	-.73	.42 1.38	1.4 1.34	.8	.18	.32	66.7	66.9	73	
62	9	24	-.73	.42  .74	-1.0  .70	-.5	.46	.32	62.5	66.9	81	
67	9	24	-.73	.42 1.23	.9 1.45	.9	-.01	.32	54.2	66.9	86	
75	9	24	-.73	.42 1.05	.3  .79	-.3	.44	.32	75.0	66.9	96	
83	9	24	-.73	.42 1.05	.3 1.08	.3	.20	.32	54.2	66.9	110	
110	9	24	-.73	.42  .96	-.1 1.00	.2	.28	.32	62.5	66.9	149	
123	9	24	-.73	.42  .91	-.2  .91	.0	.33	.32	62.5	66.9	163	
136	9	24	-.73	.42 1.14	.6  .91	.0	.35	.32	75.0	66.9	178	
144	9	24	-.73	.42 1.02	.2 1.06	.3	.23	.32	62.5	66.9	187	
182	9	24	-.73	.42  .97	.0 1.01	.2	.26	.32	62.5	66.9	236	
200	9	24	-.73	.42  .74	-1.0  .71	-.4	.49	.32	70.8	66.9	259	
212	9	24	-.73	.42 1.18	.7  .92	.0	.32	.32	75.0	66.9	273	
222	9	24	-.73	.42  .86	-.5  .86	-.1	.38	.32	62.5	66.9	284	
225	9	24	-.73	.42  .87	-.4  .96	.1	.35	.32	70.8	66.9	290	
226	9	24	-.73	.42  .92	-.2  .89	.0	.33	.32	62.5	66.9	291	
250	9	24	-.73	.42  .97	.0  .99	.1	.27	.32	54.2	66.9	323	
254	9	24	-.73	.42  .78	-.8  .83	-.2	.44	.32	70.8	66.9	327	
265	9	24	-.73	.42  .96	-.1 1.02	.2	.27	.32	62.5	66.9	339	
271	9	24	-.73	.42 1.51	1.7 1.10	.4	.31	.32	79.2	66.9	345	
4	8	24	-.91	.44 1.57	1.8 1.09	.3	.36	.30	83.3	70.0	6	
13	8	24	-.91	.44  .94	-.1 1.03	.2	.26	.30	75.0	70.0	16	
17	8	24	-.91	.44 1.18	.7  .91	.0	.36	.30	79.2	70.0	21	
27	8	24	-.91	.44  .96	.0 1.14	.4	.24	.30	75.0	70.0	34	
40	8	24	-.91	.44 1.10	.5 1.15	.4	.13	.30	58.3	70.0	48	

41	8	24	-.91	.44	1.14	.6	1.21	.5	.10	.30	58.3	70.0	49
42	8	24	-.91	.44	.79	-.7	.79	-.2	.42	.30	75.0	70.0	50
64	8	24	-.91	.44	1.34	1.2	1.12	.4	.20	.30	70.8	70.0	83
82	8	24	-.91	.44	.98	.0	1.04	.3	.25	.30	66.7	70.0	109
84	8	24	-.91	.44	1.17	.7	1.27	.6	.07	.30	58.3	70.0	115
92	8	24	-.91	.44	1.44	1.5	1.43	.9	.07	.30	79.2	70.0	130
95	8	24	-.91	.44	.98	.0	1.02	.2	.25	.30	75.0	70.0	133
129	8	24	-.91	.44	1.44	1.5	1.17	.5	.13	.30	62.5	70.0	170
188	8	24	-.91	.44	.79	-.7	.79	-.2	.42	.30	75.0	70.0	244
192	8	24	-.91	.44	.86	-.4	.83	-.1	.35	.30	66.7	70.0	251
10	7	24	-1.11	.46	1.07	.3	1.11	.4	.15	.29	70.8	73.1	12
26	7	24	-1.11	.46	1.25	.9	1.40	.8	-.01	.29	62.5	73.1	33
39	7	24	-1.11	.46	1.07	.3	1.04	.3	.18	.29	62.5	73.1	47
50	7	24	-1.11	.46	1.06	.3	1.37	.7	.12	.29	70.8	73.1	62
130	7	24	-1.11	.46	.92	-.2	.88	.0	.31	.29	70.8	73.1	171
141	7	24	-1.11	.46	.97	.0	.88	.0	.28	.29	62.5	73.1	183
153	7	24	-1.11	.46	.93	-.1	.83	-.1	.31	.29	62.5	73.1	202
33	6	24	-1.33	.48	.95	.0	.92	.1	.27	.27	75.0	76.2	41
76	6	24	-1.33	.48	1.01	.1	1.09	.4	.21	.27	75.0	76.2	98
115	6	24	-1.33	.48	.72	-.8	.61	-.4	.48	.27	83.3	76.2	154
140	6	24	-1.33	.48	1.16	.6	1.25	.6	.07	.27	66.7	76.2	182
143	6	24	-1.33	.48	1.03	.2	.89	.1	.23	.27	66.7	76.2	186
230	6	24	-1.33	.48	1.14	.5	1.40	.7	.06	.27	66.7	76.2	297
236	6	24	-1.33	.48	1.35	1.1	.98	.2	.36	.27	87.5	76.2	306
237	6	24	-1.33	.48	1.00	.1	.87	.1	.25	.27	66.7	76.2	307
252	6	24	-1.33	.48	1.16	.6	1.17	.5	.08	.27	66.7	76.2	325
12	5	24	-1.58	.52	.73	-.7	.57	-.3	.47	.25	83.3	79.5	14
19	5	24	-1.58	.52	.96	.0	.95	.2	.24	.25	83.3	79.5	24
23	5	24	-1.58	.52	1.60	1.6	1.59	.9	.18	.25	79.2	79.5	28
31	5	24	-1.58	.52	1.00	.1	.85	.1	.24	.25	75.0	79.5	39
148	5	24	-1.58	.52	1.08	.3	.95	.2	.17	.25	75.0	79.5	193
244	5	24	-1.58	.52	1.07	.3	1.02	.3	.16	.25	75.0	79.5	317
11	4	24	-1.87	.56	.97	.1	.98	.3	.21	.23	83.3	83.5	13
20	4	24	-1.87	.56	.96	.0	1.16	.5	.20	.23	83.3	83.5	25
22	4	24	-1.87	.56	.92	-.1	.90	.2	.26	.23	83.3	83.5	27
229	4	24	-1.87	.56	.96	.0	.96	.2	.22	.23	83.3	83.5	295
235	4	24	-1.87	.56	1.03	.2	1.30	.6	.13	.23	83.3	83.5	305
-----													
MEAN	13.9	24.0	.04	.42	.98	.0	1.00	.1			66.7	67.6	



| S.D.    5.0    .0    .85    .06 | .25    .9 | .42    .8 |                    | 11.3    7.3 |                    |

---

14.5. ANEXO E: MEDIDA DOS ITENS – MODELAGEM RASCH – ANÁLISE GERAL

Teste inicial			Teste intermediário			Teste final		
Itens	Dificuldade	D.padrão	Itens	Dificuldade	D.padrão	Itens	Dificuldade	D.padrão
D14A	1,57	0,1	ME5A	3,30	0,34	ME12B	4,11	0,39
ME2A	1,52	0,16	D5A	1,50	0,17	VF3Aa	1,16	0,14
ME8A	1,18	0,15	ME6A	1,13	0,15	ME10B	0,89	0,13
D4Ab	1,17	0,11	ME4A	0,72	0,14	D16A	0,69	0,07
VF9Bd	1,16	0,15	VF7Bc	0,48	0,13	ME11B	0,56	0,13
ME10B	0,42	0,13	ME10B	0,39	0,13	VF7Bc	0,50	0,13
D4Aa	0,36	0,08	ME9A	0,16	0,13	VF1Ae	0,43	0,13
VF1Aa	0,26	0,12	ME13B	-0,13	0,13	D4Aa	0,37	0,08
VF1Ae	0,06	0,12	D4Aa	-0,14	0,08	VF5Bd	-0,03	0,13
VF1Ab	0,00	0,12	D4Ab	-0,16	0,07	D4Ab	-0,05	0,08
VF5Bd	-0,18	0,12	VF8Ba	-0,24	0,13	ME9A	-0,06	0,13
VF5Bc	-0,21	0,12	VF5Bd	-0,34	0,13	VF5Bc	-0,25	0,13
VF9Bb	-0,28	0,12	VF5Bc	-0,37	0,13	VF7Ba	-0,28	0,13
VF1Ac	-0,47	0,12	VF6Ba	-0,49	0,13	ME3A	-0,38	0,13
VF5Ba	-0,53	0,12	VF7Bb	-0,59	0,13	VF5Ba	-0,40	0,13
VF10Ba	-0,58	0,12	VF6Bb	-0,62	0,13	VF3Ad	-0,45	0,13
F10Bd	-0,61	0,12	VF6Bc	-0,75	0,13	VF5Bb	-0,53	0,13
VF9Ba	-0,65	0,12	VF7Ba	-0,75	0,13	VF3Ae	-0,56	0,13
VF10Bc	-0,70	0,12	VF5Ba	-0,90	0,13	VF7Bb	-0,63	0,13
VF9Bc	-0,77	0,12	VF8Bb	-1,01	0,13	VF1Ab	-0,65	0,13
VF1Ad	-0,85	0,12	VF5Bb	-1,18	0,13	VF3Ab	-0,70	0,13
VF5Bb	-0,94	0,13				VF1Aa	-0,71	0,13
F10Bb	-0,94	0,13				VF1Ad	-1,45	0,15
						VF1Ac	-1,59	0,15

14.6. ANEXO F: MEDIDA DOS ITENS – MODELAGEM RASCH – INTERVENÇÃO INVESTIGATIVA

Teste inicial			Teste intermediário			Teste final		
Itens	Dificuldade	D.padrão	Itens	Dificuldade	D.padrão	Itens	Dificuldade	D.padrão
ME2A	1,73	0,25	ME5A	3,1	0,46	ME12B	4,15	0,52
VF9Bd	1,31	0,22	D5A	1,34	0,24	ME10B	1,32	0,2
D4Ab	1,17	0,15	ME4A	0,84	0,21	VF3Aa	1,32	0,2
ME8A	1,13	0,21	ME6A	0,8	0,21	D16A	1,11	0,1
D14A	0,72	0,15	ME10B	0,43	0,2	VF7Bc	0,67	0,19
D4Aa	0,6	0,12	VF6Ba	0,32	0,19	D4Aa	0,59	0,12
VF1Aa	0,5	0,18	VF7Bc	0,32	0,19	VF1Ae	0,53	0,19
VF1Ab	0,14	0,18	VF6Bb	0,25	0,19	ME11B	0,32	0,19
ME10B	0,11	0,18	D4Aa	-0,11	0,12	D4Ab	0,27	0,11
VF5Bc	-0,07	0,17	D4Ab	-0,15	0,11	VF5Bd	0,08	0,19
VF1Ae	-0,19	0,17	ME13B	-0,21	0,18	VF5Bc	0,01	0,19

VF5Bd	-0,22	0,17	VF6Bc	-0,24	0,18	ME9A	-0,13	0,19
VF5Ba	-0,35	0,17	VF5Bd	-0,28	0,18	VF7Ba	-0,27	0,19
VF10Bd	-0,38	0,17	ME9A	-0,28	0,18	ME3A	-0,31	0,19
VF1Ac	-0,41	0,18	VF5Bc	-0,48	0,18	VF3Ad	-0,45	0,19
VF10Ba	-0,44	0,18	VF8Ba	-0,51	0,18	VF5Bb	-0,49	0,19
VF10Bc	-0,59	0,18	VF7Bb	-0,72	0,19	VF7Bb	-0,53	0,19
VF9Bb	-0,63	0,18	VF7Ba	-0,82	0,19	VF3Ae	-0,53	0,19
VF9Bc	-0,69	0,18	VF5Ba	-1,03	0,19	VF5Ba	-0,68	0,2
VF10Bb	-0,75	0,18	VF8Bb	-1,18	0,19	VF3Ab	-1,06	0,21
VF5Bb	-0,82	0,18	VF5Bb	-1,38	0,2	VF1Ab	-1,2	0,22
VF9Ba	-0,92	0,18				VF1Aa	-1,4	0,23
VF1Ad	-0,95	0,18				VF1Ac	-1,63	0,24
						VF1Ad	-1,69	0,25

14.7. ANEXO G: MEDIDA DOS ITENS – MODELAGEM RASCH –  
INTERVENÇÃO TRADICIONAL

Teste inicial			Teste intermediário			Teste final		
Itens	Dificuldade	D.padrão	Itens	Dificuldade	D.padrão	Itens	Dificuldade	D.padrão
ME2A	1,38	0,22	ME5A	3,53	0,51	ME12B	4,14	0,59
D14A	1,33	0,13	D5A	1,66	0,25	VF3Aa	1,03	0,19
ME8A	1,28	0,22	ME6A	1,49	0,23	ME11B	0,82	0,19
D4Ab	1,23	0,16	VF7Bc	0,62	0,19	ME10B	0,55	0,18
VF9Bd	1,07	0,2	ME4A	0,62	0,19	D16A	0,37	0,09
ME10B	0,8	0,19	ME9A	0,59	0,19	VF1Ae	0,36	0,18
VF1Ae	0,36	0,18	ME10B	0,35	0,18	VF7Bc	0,36	0,18
D4Aa	0,18	0,11	VF8Ba	0	0,18	D4Aa	0,2	0,11
VF9Bb	0,09	0,17	ME13B	-0,07	0,17	ME9A	0,01	0,17
VF1Aa	0,09	0,17	D4Aa	-0,16	0,11	VF5Bd	-0,11	0,17
VF1Ab	-0,09	0,17	D4Ab	-0,17	0,1	VF5Ba	-0,17	0,17
VF5Bd	-0,09	0,17	VF5Bc	-0,28	0,17	VF1Aa	-0,26	0,17
VF5Bc	-0,29	0,17	VF5Bd	-0,4	0,17	VF1Ab	-0,26	0,17
VF9Ba	-0,37	0,17	VF7Bb	-0,49	0,17	VF7Ba	-0,29	0,17
VF1Ac	-0,49	0,17	VF7Ba	-0,7	0,17	D4Ab	-0,3	0,1
VF5Ba	-0,66	0,17	VF5Ba	-0,79	0,17	ME3A	-0,43	0,17
VF10Ba	-0,66	0,17	VF8Bb	-0,88	0,18	VF3Ab	-0,43	0,17
VF1Ad	-0,72	0,17	VF5Bb	-1,04	0,18	VF3Ad	-0,43	0,17
VF10Bc	-0,75	0,17	VF6Ba	-1,23	0,18	VF5Bc	-0,46	0,17
F10Bd	-0,78	0,17	VF6Bc	-1,23	0,18	VF5Bb	-0,55	0,17
VF9Bc	-0,81	0,17	VF6Bb	-1,44	0,19	VF3Ae	-0,58	0,17
VF5Bb	-1,02	0,18				VF7Bb	-0,7	0,17
F10Bb	-1,08	0,18				VF1Ad	-1,3	0,19
						VF1Ac	-1,56	0,2

14.8. ANEXO H: MEDIDA DOS ITENS – MODELAGEM RASCH – AMBIENTE MATERIAL

Teste inicial			Teste intermediário			Teste final		
Itens	Dificuldade	D.padrão	Itens	Dificuldade	D.padrão	Itens	Dificuldade	D.padrão
ME2A	2,15	0,29	ME5A	3,48	0,51	ME12B	4,77	0,72
D4Ab	1,21	0,15	D5A	1,15	0,22	VF3Aa	0,86	0,19
VF9Bd	1,1	0,21	ME6A	1,1	0,22	D16A	0,69	0,09
ME8A	0,98	0,2	ME4A	0,96	0,21	ME10B	0,65	0,18
D4Aa	0,67	0,12	VF7Bc	0,35	0,19	VF1Ae	0,62	0,18
VF1Ae	0,31	0,18	ME10B	0,24	0,19	ME11B	0,62	0,18
D14A	0,27	0,13	D4Ab	0,04	0,11	VF7Bc	0,55	0,18
VF1Ab	0,21	0,18	ME9A	-0,04	0,19	D4Aa	0,31	0,11
ME10B	0,15	0,18	D4Aa	-0,1	0,12	D4Ab	0,05	0,11
VF5Bd	0,12	0,18	VF8Ba	-0,14	0,18	ME9A	-0,09	0,18
VF1Aa	0,02	0,18	VF6Ba	-0,17	0,18	VF5Bd	-0,09	0,18
VF9Bb	-0,18	0,18	VF5Bd	-0,21	0,18	VF7Ba	-0,32	0,18
VF9Bc	-0,4	0,18	VF6Bc	-0,38	0,18	VF3Ad	-0,32	0,18
VF5Bc	-0,46	0,18	VF6Bb	-0,41	0,18	VF5Bc	-0,35	0,18
VF10Bc	-0,53	0,18	ME13B	-0,51	0,18	VF1Aa	-0,42	0,18
F10Bd	-0,53	0,18	VF5Bc	-0,65	0,18	VF1Ab	-0,42	0,18
VF9Ba	-0,63	0,18	VF7Ba	-0,75	0,19	VF5Ba	-0,52	0,18
VF5Ba	-0,66	0,18	VF5Ba	-0,79	0,19	VF7Bb	-0,69	0,19
VF1Ad	-0,7	0,18	VF7Bb	-0,93	0,19	VF5Bb	-0,69	0,19
VF10Ba	-0,7	0,18	VF8Bb	-1	0,19	ME3A	-0,73	0,19
VF1Ac	-0,73	0,18	VF5Bb	-1,26	0,2	VF3Ae	-0,8	0,19
VF10Bb	-0,76	0,18				VF3Ab	-0,83	0,19
VF5Bb	-0,9	0,19				VF1Ad	-1,26	0,21
						VF1Ac	-1,58	0,22

14.9. ANEXO I: MEDIDA DOS ITENS – MODELAGEM RASCH – AMBIENTE VIRTUAL

Teste inicial			Teste intermediário			Teste final		
Itens	Dificuldade	D.padrão	Itens	Dificuldade	D.padrão	Itens	Dificuldade	D.padrão
ME8A	1,46	0,22	ME5A	3,13	0,46	ME12B	3,64	0,46
D14A	1,35	0,14	D5A	1,93	0,28	VF3Aa	1,5	0,22
VF9Bd	1,27	0,21	ME6A	1,16	0,22	ME10B	1,15	0,2
D4Ab	1,21	0,16	VF7Bc	0,59	0,19	D16A	0,69	0,1
ME2A	1,14	0,2	ME10B	0,51	0,19	ME11B	0,5	0,18
ME10B	0,73	0,18	ME4A	0,51	0,19	VF7Bc	0,44	0,18
VF1Aa	0,54	0,18	ME9A	0,34	0,18	D4Aa	0,43	0,11
D4Aa	0,17	0,1	ME13B	0,21	0,18	VF1Ae	0,24	0,18

VF5Bc	0,06	0,17	VF5Bc	-0,13	0,17	VF5Bd	0,02	0,18
VF1Ae	-0,1	0,17	D4Aa	-0,17	0,11	ME9A	-0,04	0,18
VF1Ab	-0,13	0,17	VF7Bb	-0,31	0,17	ME3A	-0,07	0,18
VF1Ac	-0,21	0,17	VF8Ba	-0,34	0,17	D4Ab	-0,15	0,11
VF9Bb	-0,32	0,16	D4Ab	-0,34	0,1	VF5Bc	-0,16	0,18
VF5Ba	-0,37	0,16	VF5Bd	-0,46	0,17	VF7Ba	-0,26	0,18
VF5Bd	-0,37	0,16	VF7Ba	-0,76	0,17	VF5Ba	-0,29	0,18
VF10Ba	-0,43	0,17	VF6Ba	-0,79	0,17	VF3Ae	-0,35	0,18
VF9Ba	-0,62	0,17	VF6Bb	-0,82	0,17	VF5Bb	-0,39	0,18
F10Bd	-0,62	0,17	VF5Ba	-1	0,18	VF7Bb	-0,58	0,18
VF10Bc	-0,79	0,17	VF8Bb	-1,04	0,18	VF3Ab	-0,58	0,18
VF1Ad	-0,93	0,17	VF6Bc	-1,1	0,18	VF3Ad	-0,58	0,18
VF5Bb	-0,93	0,17	VF5Bb	-1,13	0,18	VF1Ab	-0,89	0,19
VF9Bc	-1,05	0,17				VF1Aa	-1,03	0,19
F10Bb	-1,05	0,17				VF1Ac	-1,61	0,22
						VF1Ad	-1,65	0,22