

**GEIDE ROSA COELHO**

**A EVOLUÇÃO DO ENTENDIMENTO  
DOS ESTUDANTES EM  
ELETRICIDADE: UM ESTUDO  
LONGITUDINAL**

**BELO HORIZONTE  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO  
2011**

**GEIDE ROSA COELHO**

**A EVOLUÇÃO DO ENTENDIMENTO  
DOS ESTUDANTES EM  
ELETRICIDADE: UM ESTUDO  
LONGITUDINAL**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação.

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências

Orientador: Prof. Dr. Oto Borges

**BELO HORIZONTE  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO  
2011**

C672e  
T Coelho, Geide Rosa, 1980-  
A evolução do entendimento dos estudantes em  
eletricidade : um estudo longitudinal / Geide Rosa Coelho. -  
UFMG/FaE, 2011.  
173, enc, il.

Tese - (Doutorado) - Universidade Federal de Minas  
Gerais, Faculdade de Educação.

Orientador : Oto Neri Borges.

Bibliografia : f. 124-130.

Anexos : f. 131-173.

1. Educação -- Teses. 2. Física -- Estudo e ensino. 3.  
Eletricidade -- Estudo e ensino.

I. Título. II. Borges, Oto Neri. III. Universidade Federal de  
Minas Gerais, Faculdade de Educação.

CDD- 530.7

**Catálogo da Fonte : Biblioteca da FaE/UFMG**

## **Agradecimentos**

Primeiramente gostaria de agradecer a minha mãe, por todo amor, carinho e incentivo para minha formação e para finalização desse trabalho. A meu pai, já falecido, por todo amor que me deu e, tenho certeza que ficaria feliz por esse momento e contaria a todos a conquista do seu filho, mesmo não entendendo o significado desse título.

Agradeço ao meu orientador Oto Borges, pela confiança no meu trabalho, por lidar com minha ansiedade nesses últimos meses; pela dedicação e paciência diante das minhas falhas. Agradeço a ele pelos momentos tão ricos de aprendizagem que contribuíram imensamente para o meu crescimento profissional e intelectual.

Agradeço ao grupo de orientação, não só pelas ricas discussões realizadas durante as reuniões, mas também pelos momentos de descontração em ocasiões não formais: Amanda, Beth, Rafael, Dilvana, Terezinha, Tereza, Inês, Marciana, Morgana.

Agradeço ao João, Luciana, Robson e Jules pelo apoio e suporte afetivo.

Agradeço a Professora Sônia Victor e ao Professor Jair Ronchi chefes do Departamento de Teorias do Ensino e Práticas Educacionais (DTEPE) do Centro de Educação da UFES, por permitir o meu afastamento para participar de atividades do Doutorado. Ao Professor Alessandro Rodrigues, um amigo com quem eu divido a sala e que muitas vezes também dividi minhas angústias sobre esse trabalho.

Agradeço ao Rogério Drago, amigo, companheiro, uma das grandes conquistas no Espírito Santo. Soube lidar com minha ansiedade nesses últimos momentos da construção desse trabalho.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão desse trabalho.

# Sumário

LISTA DE TABELAS .....	7
LISTA DE GRÁFICOS .....	8
LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE QUADROS .....	10
RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	12
APRESENTAÇÃO DA PESQUISA .....	13
ESTRUTURA DA TESE .....	13
1- INTRODUÇÃO .....	15
1.1-CONTEXTO DA PESQUISA .....	17
1.1.1-A INSTITUIÇÃO DE ENSINO E OS SUJEITOS PARTICIPANTES DA PESQUISA .....	17
1.1.2-O CURRÍCULO EM ESPIRAL .....	18
1.1.3-A ORGANIZAÇÃO DO AMBIENTE DE APRENDIZAGEM NO TERCEIRO NÍVEL DO CURRÍCULO RECURSIVO .....	21
2-REFERENCIAIS TEÓRICOS .....	22
2.1-CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS E AS CONCEPÇÕES DE ELETRICIDADE .....	22
2.2-A NOÇÃO DE ENTENDIMENTO ADOTADO NA PESQUISA .....	25
2.3-A PERSPECTIVA DE EVOLUÇÃO DO ENTENDIMENTO .....	26
2.3.1-A TEORIA DAS HABILIDADES ESPECÍFICAS .....	27
2.4-A CONSTRUÇÃO DE INSTRUMENTOS PARA AVALIAR O ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES EM CIÊNCIAS .....	31
2.5-TRATAMENTO RASCH .....	33
2.5.1-AS ESTATÍSTICAS RESULTANTES DO TRATAMENTO RASCH .....	37
2.5.1.1-A ESTATÍSTICA INFIT .....	37
2.5.1.2-O COEFICIENTE DE SEPARAÇÃO ENTRE AS PESSOAS .....	39
2.5.1.3-ANÁLISE DE VARIÂNCIA .....	39
2.6-O ESTUDO LONGITUDINAL .....	41
2.6.1-O MODELAMENTO MULTINÍVEL EM ESTUDOS LONGITUDINAIS .....	42
2.6.1.1-NÍVEL 1 DO MODELAMENTO- COMO O DESEMPENHO DA PESSOA MUDA AO LONGO DO TEMPO? .....	43
2.6.1.2-NÍVEL 2 DO MODELAMENTO- COMO PODEMOS EXPLICAR AS DIFERENÇAS ENTRE AS PESSOAS AO LONGO DO TEMPO? .....	44
2.6.1.3-AS ESTRUTURAS ALTERNATIVAS PARA A MATRIZ DE COVARIÂNCIA .....	47
2.6.1.3.1-NÃO-ESTRUTURADA (UN) .....	49
2.6.1.3.2-SIMÉTRICA COMPOSTA (CS) .....	49
2.6.1.3.3-SIMÉTRICA COMPOSTA HETEROGÊNEA (CSH) .....	50
2.6.1.3.4-AUTOREGRESSIVA DE PRIMEIRA ORDEM (AR1) .....	50
2.6.1.3.5-AUTOREGRESSIVA DE PRIMEIRA ORDEM HETEROGÊNEA (ARH1) .....	51

2.6.1.3.6-TOEPLITZ (TP).....	51
<b>2.7- FATORES QUE INFLUENCIAM A APRENDIZAGEM DOS ESTUDANTES: DISCUTINDO ALGUNS PREDITORES.....</b>	<b>52</b>
2.7.1-O VOCACIONAMENTO PARA A FÍSICA.....	52
2.7.2-O GÊNERO.....	54
2.7.3-ENGAJAMENTO DOS ESTUDANTES.....	54
2.7.4-O NÍVEL SOCIOECONÔMICO DO ESTUDANTE.....	55
<b>3-DELINEAMENTO METODOLÓGICO.....</b>	<b>56</b>
<b>3.1-A LÓGICA DA INVESTIGAÇÃO.....</b>	<b>56</b>
3.1.1-A MÉTRICA DO TEMPO.....	56
3.1.2-O QUE MUDA AO LONGO DO TEMPO?.....	57
<b>3.2-COLETA DE DADOS.....</b>	<b>57</b>
3.2.1-AS ONDAS DE DADOS.....	59
3.2.1.1-PRIMEIRA ONDA.....	59
3.2.1.2-SEGUNDA ONDA.....	60
3.2.1.3-TERCEIRA ONDA.....	61
<b>3.3-MÉTODO DE ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>63</b>
3.3.1-ANALISANDO OS INSTRUMENTOS QUALITATIVOS: A CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA CATEGÓRICO.....	63
3.3.2- ANALISANDO O INSTRUMENTO QUANTITATIVO: EQUALIZANDO OS DIFERENTES TIPOS DA PROVA TRIMESTRAL.....	69
3.3.3-TRANSFORMANDO DADOS CATEGÓRICOS EM UMA ESCALA DICOTÔMICA.....	72
3.3.4-TRANSFORMANDO OS PREDITORES DA APRENDIZAGEM EM VARIÁVEIS NUMÉRICAS.....	73
3.3.4.1-O GÊNERO E A TURMA.....	74
3.3.4.2-O VOCACIONAMENTO PARA A FÍSICA (CURSO FREQUENTADO PELO ESTUDANTE).....	74
3.3.4.3-O ENGAJAMENTO COMPORTAMENTAL.....	74
3.3.4.4-O ENGAJAMENTO COGNITIVO.....	75
3.3.4.5-O NÍVEL SOCIOECONÔMICO DOS ESTUDANTES (NSE).....	78
3.3.5-PARTICIPANTES DO ESTUDO LONGITUDINAL: UMA DECISÃO METODOLÓGICA.....	81
<b>4-ANÁLISE, RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>82</b>
<b>4.1-A CONSTRUÇÃO DAS MEDIDAS PARA O ESTUDO LONGITUDINAL.....</b>	<b>82</b>
4.1.1-O AJUSTE DA ESCALA REFERENTE ÀS DUAS PRIMEIRAS ONDAS DE DADOS.....	83
4.1.1.1-A ANÁLISE GRÁFICA.....	83
4.1.1.2-A ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	84
4.1.2-O AJUSTE DA ESCALA REFERENTE À TERCEIRA ONDA DE DADOS.....	85
4.1.2.1-A ANÁLISE GRÁFICA.....	85
4.1.2.2-ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	86
4.1.3-O AJUSTE DA ESCALA COMUM PARA AS TRÊS ONDAS DE DADOS.....	88
4.1.3.1-CALIBRAÇÃO DA ESCALA COMUM ÀS TRÊS ONDAS DE DADOS.....	90
4.1.3.2-A ANÁLISE GRÁFICA.....	91
4.1.3.3-A ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	92
4.1.3.4-A “RÊGUA” CONSTRUÍDA PELO MODELAMENTO RASCH.....	93
4.1.3.5-DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	93

4.2-INVESTIGANDO A MUDANÇA NO ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES.....	97
4.2.1-A ANÁLISE EXPLORATÓRIA.....	97
4.2.1.1-INVESTIGANDO COMO O ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES MUDA AO LONGO DO TEMPO. ....	97
4.2.1.2-INVESTIGANDO OS FATORES (PREDITORES) QUE AJUDAM A EXPLICAR AS DIFERENÇAS EVOLUTIVAS DOS ESTUDANTES.....	100
4.2.2-A ANÁLISE MULTINÍVEL: ESTABELECENDO UMA HIERARQUIA DE DOIS NÍVEIS.....	109
4.2.2.1-NÍVEL 1 DO MODELAMENTO MULTINÍVEL- COMO O ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES MUDA AO LONGO DO TEMPO?.....	110
4.2.2.1.1-AJUSTANDO O MODELO COM A ESTRUTURA DE COVARIÂNCIA ALTERNATIVA.....	112
4.2.2.2-NÍVEL 2 DO MODELAMENTO MULTINÍVEL- QUAIS FATORES (PREDITORES) CONTRIBUEM PARA EXPLICAR AS MUDANÇAS NO ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES?.....	114
5-CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
6-IMPLICAÇÕES.....	121
6.1-IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO.....	121
6.2-IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA ACADÊMICA.....	122
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
ANEXO 1- EXEMPLO DE UMA ATIVIDADE REALIZADA PELOS ESTUDANTES NA UNIDADE DE ELETRICIDADE.....	131
ANEXO 2- EXEMPLO DE UM DOS TESTES REALIZADOS PELOS ESTUDANTES AO LONGO DA UNIDADE DE ELETRICIDADE.....	132
ANEXO 3- AS QUATRO VARIAÇÕES DA PROVA TRIMESTRAL (QUESTÕES DE ELETRICIDADE).....	133
ANEXO 4- GRÁFICOS DE AJUSTE DOS ITENS DA ESCALA REFERENTE ÀS DUAS PRIMEIRAS ONDAS DE DADOS.....	144
ANEXO 5- GRÁFICOS DE AJUSTE DOS ITENS DA ESCALA REFERENTE À TERCEIRA ONDA DE DADOS.....	148
ANEXO 6- GRÁFICOS DE AJUSTE DOS ITENS DA ESCALA COMUM ÀS TRÊS ONDAS DE DADOS.....	153
ANEXO 7- MEDIDA DO ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES.....	161
ANEXO 8- TRAJETÓRIAS DE APRENDIZAGEM DOS ESTUDANTES.....	165

## Lista de Tabelas

TABELA 1: EXEMPLO DA TRANSFORMAÇÃO DE DADOS CATEGÓRICOS EM UM SISTEMA DE DADOS DICOTÔMICOS.....	73
TABELA 2: CLASSIFICAÇÃO SOCIOECONÔMICA SEGUNDO CRITÉRIO ABIPEME .....	79
TABELA 3: RESULTADO DA ESTATÍSTICA DE AJUSTE DOS 29 ITENS E DA FIDEDIGNIDADE DA ESCALA .....	84
TABELA 4: RESULTADO DA ESTATÍSTICA DE AJUSTE DOS 33 ITENS E DA FIDEDIGNIDADE DA ESCALA .....	87
TABELA 5: DESVIO PADRÃO PARA A ESTIMATIVA DO PARÂMETRO DOS ITENS E DAS PESSOAS DA ESCALA REFERENTE À PROVA TRIMESTRAL.....	87
TABELA 6: RESULTADO DA ESTATÍSTICA DE AJUSTE DOS 59 ITENS E DA FIDEDIGNIDADE DA ESCALA .....	92
TABELA 7: ESTIMATIVA DOS EFEITOS FIXOS E ALEATÓRIOS E DAS ESTATÍSTICAS DE AJUSTE GLOBAL PARA O MODELAMENTO DE PRIMEIRO NÍVEL .....	110
TABELA 8: AJUSTE GLOBAL DO MODELO DE PRIMEIRO NÍVEL COM DIFERENTES MATRIZES DE COVARIÂNCIA .....	112
TABELA 9: ESTIMATIVA DOS EFEITOS FIXOS COM DIFERENTES ESTRUTURAS DE COVARIÂNCIA .....	113
TABELA 10: RESULTADO DOS MODELOS AJUSTADOS PARA O SEGUNDO NÍVEL DO MODELAMENTO MULTINÍVEL .....	115
TABELA 11: AJUSTE GLOBAL DO MODELO DE SEGUNDO NÍVEL COM DIFERENTES MATRIZES DE COVARIÂNCIA .....	116
TABELA 12: ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DO MODELO C COM DIFERENTES ESTRUTURAS DE COVARIÂNCIA .....	117



## Lista de Gráficos

GRÁFICO 1: EXEMPLO DE UMA CURVA CARACTERÍSTICA DO ITEM .....	37
GRÁFICO 2: CURVA CARACTERÍSTICA DO ITEM PARA OS 23 ITENS DA ESCALA .....	83
GRÁFICO 3: CURVA CARACTERÍSTICA DO ITEM PARA OS 30 ITENS DA ESCALA .....	85
GRÁFICO 4: ANÁLISE DE REGRESSÃO ENTRE OS ITENS COMUNS DAS ESCALAS .....	90
GRÁFICO 5: CURVA CARACTERÍSTICA DO ITEM PARA OS 59 ITENS DA ESCALA .....	91
GRÁFICO 6: TRAJETÓRIAS DOS 135 PARTICIPANTES DO ESTUDO LONGITUDINAL .....	98
GRÁFICO 7: EVOLUÇÃO MÉDIA DOS ESTUDANTES SEGUNDO O GÊNERO .....	102
GRÁFICO 8: EVOLUÇÃO MÉDIA DOS ESTUDANTES SEGUNDO O CURSO .....	102
GRÁFICO 9: EVOLUÇÃO MÉDIA DOS ESTUDANTES SEGUNDO A TURMA.....	104
GRÁFICO 10: EVOLUÇÃO MÉDIA DOS ESTUDANTES SEGUNDO O ENGAJAMENTO COMPORTAMENTAL .....	106
GRÁFICO 11: EVOLUÇÃO MÉDIA DOS ESTUDANTES SEGUNDO O ENGAJAMENTO COGNITIVO	108
GRÁFICO 12: EVOLUÇÃO MÉDIA DOS ESTUDANTES SEGUNDO O NÍVEL SOCIOECONÔMICO ...	108
GRÁFICO 13: EVOLUÇÃO MÉDIA DO ENTENDIMENTO PARA A POPULAÇÃO .....	114
GRÁFICO 14: EFEITO DOS PREDITORES NA EVOLUÇÃO MÉDIA DA POPULAÇÃO.....	117

## Lista de Figuras

FIGURA 1: ESQUEMA DO CURRÍCULO RECURSIVO E ESPIRALADO EM TRÊS NÍVEIS PARA A DISCIPLINA FÍSICA. ADAPTADO DE VILANI (2006) .....	19
FIGURA 2: CICLO DE DESENVOLVIMENTO PARA AS CAMADAS DE REPRESENTAÇÕES E ABSTRAÇÕES. ADAPTADO DE FISCHER (2008) .....	29
FIGURA 3: PROPORÇÃO DA VARIÂNCIA MÁXIMA EXPLICÁVEL PARA ANÁLISE DE DADOS DICOTÔMICOS. ADAPTADO DE LINACRE, 2008 .....	40
FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO DE UM CIRCUITO ELÉTRICO SIMPLES .....	60
FIGURA 5: REPRESENTAÇÃO DA EQUALIZAÇÃO ENTRE AS QUATRO VARIAÇÕES DA PROVA TRIMESTRAL .....	69
FIGURA 6: EXEMPLOS DE TRAJETÓRIAS ESTÁVEIS .....	76
FIGURA 7: EXEMPLOS DE TRAJETÓRIAS OSCILATÓRIAS HARMÔNICAS .....	77
FIGURA 8: EXEMPLOS DE TRAJETÓRIAS OSCILATÓRIAS FORÇADAS .....	77
FIGURA 9: EXEMPLOS DE TRAJETÓRIAS OSCILATÓRIAS AMORTECIDAS .....	78
FIGURA 10: EXEMPLO DE UMA ESTRUTURA DE DADOS NÃO BALANCEADA. ....	81
FIGURA 11: REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO ENTRE AS ESCALAS .....	90
FIGURA 12: MAPA DA COMPLEXIDADE DOS ITENS E DO NÍVEL DE ENTENDIMENTO DOS ESTUDANTES .....	94
FIGURA 13: REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DAS MEDIDAS PARA O ESTUDO LONGITUDINAL .....	96

## Lista de Quadros

QUADRO 1: INTERPRETAÇÃO DOS VALORES DA ESTATÍSTICA INFIT/MNSQ .....	38
QUADRO 2: EXEMPLO DE UMA QUESTÃO DE ELETRICIDADE DA PROVA TRIMESTRAL.....	62
QUADRO 3: TEMAS, ENTENDIMENTOS E RESPOSTAS TÍPICAS DO SISTEMA CATEGÓRICO SOBRE A FÍSICA ENVOLVIDA NO FUNCIONAMENTO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS SIMPLES.....	66
QUADRO 4: ENTENDIMENTO NECESSÁRIO PARA RESOLUÇÃO DE CADA UM DOS ITENS DA PROVA TRIMESTRAL .....	70
QUADRO 5: REPRESENTAÇÃO NUMÉRICA DOS PREDITORES DE APRENDIZAGEM .....	80
QUADRO 6: ITENS COMUNS ENTRE AS ESCALAS DAS TRÊS ONDAS DE DADOS.....	89
QUADRO 7: TAXONOMIA DA PARTE ESTRUTURAL DOS TRÊS MODELOS AJUSTADOS COM A ESTRUTURA DE COVARIÂNCIA ALTERNATIVA .....	115

## Resumo

A pesquisa relatada refere-se à aprendizagem de conceitos físicos de estudantes do Ensino Médio. Procurou-se investigar se os estudantes evoluem no entendimento dos conceitos de eletricidade ao longo da unidade de ensino e também identificar se fatores contextuais como o gênero, a turma, curso, o nível socioeconômico e o estado de engajamento do estudante contribuem para explicar a evolução dos mesmos no domínio investigado. Para atender a esses propósitos um estudo longitudinal com três ondas de dados foi desenvolvido.

Para interpretar o entendimento, analisaram-se tarefas de natureza qualitativa e quantitativa aplicadas aos estudantes ao longo da unidade de eletricidade ministrada na terceira série do Ensino Médio. Métodos qualitativos e quantitativos foram utilizados para análise dos dados. Um sistema categórico baseado na complexidade hierárquica das concepções de eletricidade foi construído para analisar os instrumentos qualitativos. O modelo *Rasch* para análise de dados dicotômicos foi utilizado para a obtenção de uma “régua” para mensurar o entendimento dos estudantes a partir de suas respostas nas tarefas propostas.

Verificou-se que os estudantes evoluíram no entendimento dos conceitos de eletricidade. Entretanto, os estudantes apresentaram padrões evolutivos diferenciados. Constatou-se que o estado de engajamento cognitivo ao longo das aulas constitui o principal fator a explicar as diferenças evolutivas desses estudantes.

## **Abstract**

This study focuses on the learning of physics concepts by high school students. It aimed to a) verify if the students develop their understanding of electricity concepts throughout the taught unit, b) identify if the contextual factors such as gender, the class, the course, the social economic class and the level of students' engagement contribute to explain their development in the concepts researched. In order to achieve the above objectives a longitudinal study with three waves of data collection was developed.

For a better understanding, qualitative and quantitative tasks applied to the third year high school students throughout the teaching of the unity about electricity, were analyzed. A system for categorizing the data based on the hierarchical concept of electricity was created in order to better analyze the qualitative data. The Rasch model was used to analyze the dichotomous data for the elaboration of a "ruler" to measure students understanding based on their tasks' answers.

The results showed that the students developed their understanding about electricity. However, the students demonstrated different levels of development. The main factor found to explain students' development differences was the level of students' cognitive engagement in the classroom.

# **Apresentação da Pesquisa**

## **Estrutura da Tese**

O relato dessa pesquisa foi estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo, a introdução, apresenta os objetivos de pesquisa, os propósitos que motivaram a realização desse estudo, o domínio da Física investigado e o contexto no qual a pesquisa foi realizada.

No segundo capítulo, são apresentados os referenciais teóricos que fundamentaram a construção dos argumentos e a interpretação dos resultados. Esse capítulo está estruturado em sete seções. Na primeira seção é apresentada uma revisão de pesquisas relacionadas às concepções alternativas e as concepções no domínio da eletricidade; na segunda seção é apresentada a noção de entendimento adotado na pesquisa; na terceira é apresentada uma teoria de desenvolvimento cognitivo utilizada para interpretar como o entendimento evolui; na quarta seção são apresentados autores que se basearam nas teorias de desenvolvimento cognitivo para a construção de instrumentos para avaliar a aprendizagem dos estudantes em ciências; na quinta seção é apresentado o mais familiar dos modelos *Rasch* (modelo para análise de dados dicotômicos) e sua importância para a construção de medidas educacionais; na sexta seção são discutidos os pressupostos envolvidos nos estudos que se propõem a investigar mudanças no indivíduo ao longo do tempo e na última seção são discutidos fatores que potencialmente podem influenciar na aprendizagem dos estudantes.

No terceiro capítulo, é apresentado o delineamento metodológico com informações relacionadas à lógica da investigação, aos métodos de coleta e análise de dados. Ao apresentar a lógica de investigação são justificadas as escolhas referentes aos requisitos que devem ser atendidos para desenvolver estudos de mudança. Ao descrever o método de coleta de dados, são apresentados as ocasiões de medida do estudo longitudinal e os instrumentos utilizados para investigar o entendimento dos estudantes do domínio da eletricidade. A descrição dos métodos de análise dos dados foi estruturada em cinco partes. Na primeira parte são

apresentados os procedimentos adotados para análise dos instrumentos qualitativos, inclusive a construção do sistema categórico baseado na hierarquia do entendimento de uma determinada concepção. Na segunda parte são apresentados os procedimentos utilizados para análise de um instrumento quantitativo. Na terceira parte são apresentados os procedimentos adotados para transformar o sistema categórico (escala ordinal) em um sistema de códigos dicotômicos (escala Guttman). Na quarta parte é apresentado o processo de transformação dos preditores em variáveis categóricas ou dicotômicas. Na quinta parte é apresentada a decisão metodológica com relação aos participantes do estudo longitudinal.

No quarto capítulo, são apresentadas as análises desenvolvidas e seus principais resultados. Esse capítulo está estruturado em duas partes. Na primeira parte são apresentados todos os procedimentos envolvidos na construção das medidas para o estudo longitudinal e na segunda parte são apresentados os principais resultados desse acompanhamento longitudinal.

O quinto capítulo corresponde às considerações finais dessa pesquisa. Esse capítulo apresenta as principais conclusões relacionadas à evolução do entendimento dos estudantes e dos fatores que contribuem para produzir esse efeito. No sexto e último capítulo são apresentados as principais implicações dessa pesquisa no âmbito acadêmico e no âmbito escolar.

# 1- Introdução

A pesquisa conduzida refere-se à aprendizagem de conceitos físicos de estudantes do ensino médio. Procurou-se investigar se os estudantes evoluem no entendimento dos conceitos de eletricidade ao longo do curso de Física e também identificar quais os fatores (preditores<sup>1</sup>) que contribuem para explicar a evolução dos mesmos nesse domínio. Para atender a esses propósitos um estudo longitudinal com três ondas de dados<sup>2</sup> foi desenvolvido. Do ponto de vista científico, a pesquisa utiliza um modelo de mensuração bem conhecido na área de desenvolvimento conceitual que é bem estudada qualitativamente, mas com pouco desenvolvimento quantitativo. Do ponto de vista social, a pesquisa pode contribuir para o desenvolvimento ou reformulação de ambientes de aprendizagem e apontar algumas perspectivas curriculares.

Essa pesquisa mantém o caráter longitudinal do estudo desenvolvido no mestrado (COELHO, 2007), no qual analisou-se a evolução no entendimento dos estudantes no domínio da eletricidade e no domínio da óptica e da física moderna. Entretanto, nessa pesquisa o progresso não será avaliado em duas ocasiões de medida, como foi feito anteriormente, mas em três ocasiões como sugerem Singer e Willett (2003) como o mínimo de medidas a serem utilizadas nos estudos longitudinais. Além disso, essa pesquisa utiliza uma estrutura analítica que permite determinar a influência dos contextos e práticas escolares na aprendizagem dos estudantes.

O entendimento dos estudantes a respeito de eletricidade é amplamente estudado por mais de três décadas. Essa pesquisa avança em relação aos estudos sobre concepções alternativas nesse domínio (OSBORNE, 1983; SHIPSTONE, 1984, 1988; DRIVER ET.

---

<sup>1</sup> Os preditores são atributos associados ao contexto e as práticas escolares e também as características dos estudantes e suas relações com o ambiente de aprendizagem.

<sup>2</sup> As ondas de dados estão associadas as ocasiões nas quais os estudantes são medidos em um estudo longitudinal.



AL.1994; COELHO, 2007; COELHO E BORGES, 2006,2008) por apresentar evidências empíricas sobre a sequência de desenvolvimento das concepções de eletricidade, da mesma forma que Liu e Mackegough (2005) e Dawson (2006) apresentaram evidências empíricas para descrever uma sequência de desenvolvimento das concepções envolvidas na conservação da energia mecânica.

Nesse e no próximo parágrafo serão apresentados mais dois argumentos que justificam a escolha dessa temática para essa pesquisa. O primeiro deles está associado a um dos principais resultados do estudo conduzido no mestrado (COELHO, 2007) relacionado à pequena proporção dos estudantes, que depois da instrução, interpretavam o circuito elétrico como um sistema integrado e a condução elétrica sendo explicada pelo modelo de propagação do campo elétrico. No estudo anterior, não foi apresentado nenhuma evidência empírica sobre a complexidade envolvida no entendimento desse tema algo que nessa pesquisa pode ser interpretado lançando mão de uma teoria de desenvolvimento cognitivo. Além disso, esse sistema teórico permite prever uma sequência de desenvolvimento para as concepções de eletricidade.

Outra razão, que justifica o estudo da eletricidade nessa pesquisa é o destaque desse tema nos Parâmetros Curriculares Nacionais- PCNs do Ensino Fundamental e Médio que, de certa forma, sinalizam para a importância da aprendizagem da eletricidade pelos estudantes na educação básica. Segundo os PCNs, do Ensino Fundamental, esse tema deve ser trabalhado no eixo temático “tecnologia e sociedade” e nesse momento o entendimento dos estudantes deve ser focado na geração e transmissão de energia elétrica, o que envolve o estudo de conceitos relacionados a princípios de conservação de energia, transformação de energia mecânica em energia elétrica, corrente elétrica, circuitos elétricos e geradores (BRASIL, 1998). No caso dos PCNs do Ensino Médio, a eletricidade deve ser trabalhado em um dos temas estruturadores do ensino da Física, denominado “equipamentos elétricos e as

telecomunicações”. Os parâmetros sugerem que a abordagem do eletromagnetismo deve centrar-se nos estudos de circuitos elétricos, no estudo do campo elétrico e do campo magnético, com possibilidades de introdução dos conhecimentos básicos de eletrônica e sua relação com a tecnologia (BRASIL, 2006).

## **1.1-Contexto da pesquisa**

### **1.1.1-A instituição de ensino e os sujeitos participantes da pesquisa**

Participaram dessa pesquisa 152 estudantes da 3ª série do ano de 2008 de uma Instituição Federal de Ensino (IFE). A IFE oferta, desde 1998, ensino médio e ensino médio concomitante com o Ensino Tecnológico de nível Médio (ETM) nas modalidades de Eletrônica, Instrumentação, Patologia Clínica e Química<sup>3</sup>. No caso da série investigada, a presença de estudantes repetentes na série era residual. Assim, pode-se assumir que, em geral, os estudantes entraram na escola em 2006 e no ano da coleta possuíam entre 17 e 18 anos de idade. Dos 152 estudantes da série investigada, 75 eram do sexo feminino e 77 do sexo masculino. A série estava organizada em 6 turmas sendo uma para o Ensino Médio (turma 2 com 24 estudantes), uma para os estudantes ETM de Química (turma 6 com 32 estudantes), uma para os estudantes ETM de Patologia Clínica (turma 3 com 28 estudantes) e três turmas mistas com estudantes ETM do curso de Eletrônica e Instrumentação (turmas 1, 4 e 5 com 68 estudantes no conjunto).

Havia duas formas de ingresso nesta escola: concurso público para o curso médio concomitante com o Ensino Tecnológico de Nível Médio (ETM) e por mera progressão do Ensino Fundamental para o Ensino Médio (EM). A última forma só era acessível aos estudantes de uma escola de educação fundamental mantida pela mesma IFE. Além desta, havia uma diferenciação devido a um sistema de cotas socioeconômicas adotado desde 1972.

---

<sup>3</sup> No final do ano de 2008 foi aprovado o curso técnico de Informática, que começou a vigorar a partir do ano letivo de 2009.

Os estudantes que cursavam ETM ingressam na escola sem optar pelas modalidades de cursos técnicos. O currículo da primeira série era comum a todos os cursos e turmas. Ao final da primeira série, os estudantes de ETM optavam por um dos cursos técnicos ofertados e, se necessário, eram selecionados com base nos desempenhos das diversas disciplinas da área científica. A partir da segunda série, a escola adotava um esquema de turmas segundo o curso, tanto nos cursos técnicos quanto no ensino médio. As atividades de ensino médio concentravam-se em um dos turnos e as atividades de ensino técnico no outro. Os currículos para os estudantes de ETM eram diferenciados a partir da segunda série, mas apenas no que diz respeito ao ensino técnico. O ensino médio continuava o mesmo para todas as turmas.

No caso da disciplina Física, os estudantes de todas as turmas de cada série eram ensinados respeitando-se o mesmo programa de conteúdos e de atividades. Ao final da segunda série, os estudantes já haviam estudado todos os conteúdos de Física usuais em programas de ensino médio em um nível compatível com um livro texto de volume único. Em atividades de sala de aula os estudantes da terceira série tinham o equivalente a uma carga horária de 4 horas semanais. Os estudantes eram avaliados por diversos instrumentos, alguns dos quais eram comuns a todas as turmas da série e, além disso, alguns deles eram aplicados na mesma ocasião.

### **1.1.2-O currículo em espiral**

Essa pesquisa foi conduzida em um ambiente curricular, no qual os temas de Física pretendiam ser organizados de forma recursiva e espiralados. A noção de organização do currículo em espiral foi proposta pelo psicólogo Jerome Bruner. Em seu livro “O processo da educação” (1968)<sup>4</sup>, que foi elaborado a partir das discussões ocorridas na famosa conferência

---

<sup>4</sup> O livro é uma tradução do original “The Process of Education” (1960) por Lólio Lourenço de Oliveira pela Companhia Editora Nacional em 1968.

de Woods Hole , o autor aborda quatro temas: a estrutura das disciplinas, a teoria de aprendizagem, a natureza do pensar e a motivação para aprender. Já no prefácio do livro, Bruner afirma:

*“o que inspirou esse encontro foi a convicção de que nos encontrávamos no início de um período de novo progresso e de novo interesse na criação de novos currículos e maneiras de ensinar ciência, e que era o momento de se proceder a uma avaliação geral desse progresso e desse interesse, para melhor orientar os desenvolvimentos futuros.”* (p. XIII).

Nas discussões sobre a teoria da aprendizagem, o autor propõe a ideia do currículo em espiral, partindo da premissa que qualquer assunto pode ser ensinado de forma honesta a qualquer criança em desenvolvimento, respeitando o seu modo de pensar. Sobre o ensino de ciências ele afirma:

*“Se considera crucial a compreensão de número, medida ou probabilidade na busca da ciência, então a instrução nesses assuntos deverá ser iniciada tão cedo e de maneira intelectualmente mais honesta possível e consistentemente com as formas de pensar da criança, deixando que os tópicos sejam desenvolvidos varias vezes em graus posteriores (...).”* (p.49)

O trecho acima capta parte da essência presente na estrutura do currículo recursivo e espiralado.

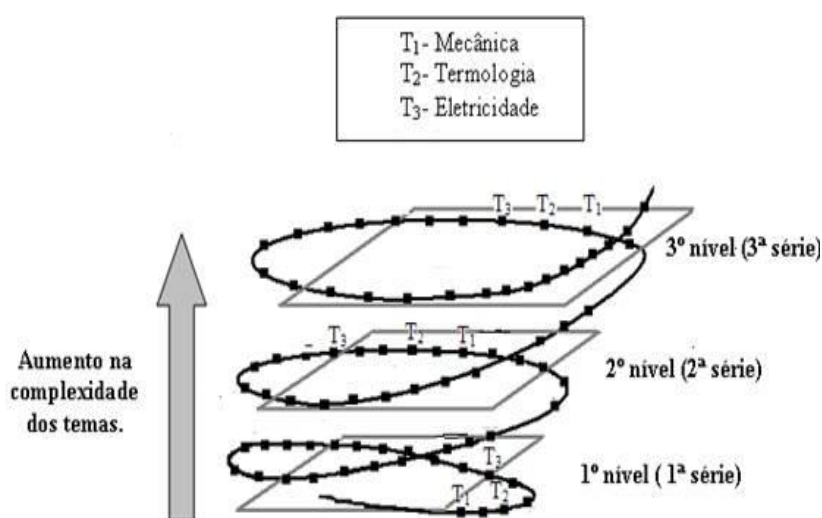


FIGURA 1: Esquema do currículo recursivo e espiralado em três níveis para a disciplina Física. Adaptado de Vilani (2006)

Na IFE, na qual essa pesquisa foi realizada, os conteúdos de Física eram organizados em uma estrutura sequencial de três níveis, com recursividade temática. Dessa forma, nas primeiras duas séries os estudantes deveriam cobrir todo o conteúdo da Física, como contido em um livro de ensino médio de volume único. No entanto, nessas duas séries os temas não foram organizados sequencialmente. Houve uma preocupação em variar os temas e postergar o ensino de conteúdos que exigiam maior competência matemática para o final da primeira série, ou mesmo para a segunda série. Na terceira série os estudantes deveriam rever pelo menos os principais temas da Física, porém com uma abordagem mais aprofundada em cada temática reestudada. O tema eletricidade é abordado nos três níveis do currículo. A figura 1 representa um esquema dessa estrutura curricular considerando, para exemplificação, três temas que são abordados nos três níveis do currículo recursivo<sup>5</sup>.

A instituição na qual foi realizada a pesquisa não é a única a apresentar essa estrutura curricular para a disciplina Física. A partir de 2006, a Secretaria Estadual de Educação de Minas Gerais idealizou, para as suas escolas, uma estrutura curricular recursiva e espiralada para o ensino médio, não somente para a Física, mas para todas as outras disciplinas que compõe a grade curricular nesse nível de ensino (SEE/MG, 2006).

Vaz et. al. (2003) apontam como vantagens dessa estrutura curricular: (i) a possibilidade do estudante ter uma visão geral de toda Física logo no primeiro ano; (ii) o potencial do aumento do interesse e a motivação dos estudantes já que vários assuntos seriam trabalhados- o que permitiria ajustar o conteúdo que estaria sendo ensinado com os interesses dos estudantes; e (iii) maior probabilidade de que os estudantes alcançassem uma acepção científica dos conceitos uma vez que eles retomariam o estudo desses conceitos em diferentes momentos de sua formação.

---

<sup>5</sup> diversos temas são abordados ao longo dos três níveis do currículo, escolheu-se o tema eletricidade para exemplificação, por ser o tema investigado nessa pesquisa. A escolha dos outros dois temas foi aleatória.

### **1.1.3-A organização do ambiente de aprendizagem no terceiro nível do currículo recursivo.**

Durante as aulas de Física da série investigada, o tempo de exposição oral feita pelos professores era pequeno e praticamente todo tempo da aula era dedicado para leitura de textos, discussão do texto com os colegas e com o professor, resolução de atividades individuais ou em grupo. Na maioria das aulas, os estudantes trabalhavam em grupo. O agrupamento era feito pelos próprios estudantes e geralmente esses grupos permaneciam inalterados ao longo do ano. O tamanho dos grupos variavam entre 3 e 6 componentes, dependendo da turma.

No início do ano letivo de 2008, as aulas começavam com um pré-teste<sup>6</sup> que duravam aproximadamente 10 ou 12 minutos. Em seguida os estudantes faziam a leitura dos textos, gastando em média entre 10 a 15 minutos. Depois de realizarem o pré-teste, um tempo era dedicado para a discussão dos textos. Em seguida, os estudantes realizavam uma série de atividades que em algumas situações poderiam ser realizadas em grupo e em outras as atividades deveriam ser realizadas individualmente. Essas atividades eram compostas por questões abertas, que mesclavam problemas numéricos com questões de explicitação de entendimento de determinadas situações ou fenômenos físicos. O número de atividades variava de uma aula para outra e a sequência era comum à todas as turmas.

Ao final da aula um pós-teste, relacionado ao tema estudado na aula era aplicado aos estudantes e tinha a duração de 10 a 20 minutos. A partir da 14ª aula, não havia mais a realização de pré-teste, entretanto os estudantes continuavam a ser avaliados ao final da aula com um pequeno teste, com as mesmas características do pré e pós-testes aplicados no início do ano letivo.

---

<sup>6</sup> O pré-teste, assim como o pós-teste eram testes compostos por uma questão aberta e alguns itens dicotômicos, do tipo V ou F.

## 2-Referenciais teóricos

### 2.1-Concepções alternativas e as concepções de eletricidade

A partir da década de 1970, um grande número de estudos referente ao entendimento dos estudantes sobre temas científicos começou a aparecer na literatura. Nesses estudos, destaca-se a preocupação dos pesquisadores em mapear e interpretar o entendimento dos estudantes sobre os diversos conhecimentos científicos que são ensinados na escola. Surgiu nessa década o movimento das concepções alternativas (MCA).

Fensham (2004) ao apresentar as evidências de progressão em diversas áreas da pesquisa em educação em ciências, discute o progresso nas pesquisas sobre concepções alternativas. Nesse momento, o autor sinaliza para o fato dessas pesquisas surgirem a partir do desdobramento crítico dos trabalhos realizados por Piaget e seus colaboradores. Fensham aponta as considerações feitas por Driver e Easley (1978) sobre a importância das visões das crianças sobre fenômenos científicos e da reformulação das entrevistas clínicas realizadas por Piaget, nas quais, não se considerava a variedade de entendimentos apresentadas pelas crianças.

Encontra-se em Anderberg (2000) uma discussão interessante sobre o significado da palavra concepção. O autor afirma que *“as concepções referem-se a conteúdos de pensamento que dão significado a um referencial intencionado”* (ANDERBERG, 2000, p.92). No mesmo trabalho, o autor considera que a concepção é o resultado de uma relação qualitativa entre o indivíduo e o fenômeno a ser explorado e, além disso, concorda com a definição trazida por Svensson<sup>7</sup> (1989) ao considerar que *“concepções estão relacionadas à forma com que o objeto ou aspecto desse objeto é entendido”* (SVENSSON, 1989 APUD ANDERBERG, 2000).

---

<sup>7</sup> SVENSSON, L. The conceptualisation of cases of physical motion. European Journal of Psychology of Education, vol 4, p. 529–545, 1989.

Os diversos estudos realizados para identificar as concepções dos estudantes sobre conceitos científicos sinalizam que as concepções alternativas das crianças e adolescentes são pessoais, construídas a partir de suas experiências cotidianas em todos os aspectos de sua vida (DRIVER ET AL, 1994, 1996). As concepções alternativas representam entendimentos parciais ou incompletos com relação às acepções científicas de um determinado conceito, que as pessoas utilizam para dar significado ao mundo. Essas concepções são estáveis e resistentes à mudança, de modo que é possível encontrá-las mesmo em estudantes que passaram pela instrução formal, até mesmo entre estudantes universitários (SHIPSTONE, 1984, 1988; VAN ZEE e MCDERMOTT, 1987; SMIT E FINEGOLD, 1995; DUIT e RHONECK, 1998). Além disso, as pesquisas sobre concepções dos estudantes, realizadas em diferentes partes do mundo, mostraram o mesmo padrão de respostas em relação a cada conceito investigado (SHIPSTONE, 1984, 1988; DRIVER *ET AL*, 1994, 1996; CEPNI E KELES, 2006).

Como mencionado anteriormente na introdução dessa pesquisa, o entendimento dos estudantes a respeito de eletricidade é amplamente estudado pelos pesquisadores por mais de três décadas. A maior parte desses estudos, que podem ser divididos em dois grupos, investiga as concepções dos estudantes sobre o funcionamento de circuito elétrico simples.

No primeiro grupo, encontram-se os trabalhos cujo foco está no acesso ao entendimento dos estudantes sobre os conceitos de corrente elétrica e seu fluxo em um circuito elétrico simples (CLOSSET, 1983; GENTNER E GENTNER, 1983; OSBORNE, 1983; SHIPSTONE, 1984, 1988; DRIVER ET AL. 1994; BORGES, 1996; 1999; PACCA ET. AL., 2003; CEPNI E KELES, 2006; BAR E GALILI, 2006).

Ainda relacionado a esse grupo, pode-se encontrar trabalhos que discutem a eficácia de cursos ou atividades desenvolvidas com intuito de promover uma mudança conceitual nos estudantes para alcançarem o modelo científico de corrente elétrica (COSGROVE ET AL, 1985; TALIM E OLIVEIRA, 2001; AFRA, OSTA E ZOUBEIR, 2007). As estratégias



utilizadas nesses cursos geralmente incluem o levantamento das concepções alternativas dos estudantes, para submetê-los a novas experiências que os coloquem diante de um conflito cognitivo. Dessa forma, a necessidade da mobilização de novos conhecimentos que são requeridos para resolver qualquer tarefa, poderia ajudar os estudantes a reestruturar o seu pensamento e, com isso, modificar o seu entendimento sobre um determinado conceito.

Outros estudos chamam a atenção para o fato dos estudantes interpretarem a corrente elétrica como “algo” que flui ao longo do circuito (OSBORNE E FREYBERG’S, 1985; SHIPSTONE, 1988; BORGES, 1999; COELHO E BORGES, 2006, 2008 E COELHO 2007). Nessa perspectiva, os estudantes não fazem distinções entre algumas terminologias como eletricidade, força, tensão e energia para falar sobre a corrente elétrica. Além dessa noção de corrente elétrica, outros modelos podem ser encontrado na literatura como o modelo de choque entre duas correntes elétricas (OSBORNE, 1983; SHIPSTONE, 1984; BORGES, 1999) e modelo de atenuação, no qual a corrente flui em uma única direção de um polo ao outro, mas a sua intensidade diminui ao passar pela lâmpada (OSBORNE, 1983; SHIPSTONE, 1984). Esses dois modelos não são compatíveis com o princípio de conservação da corrente elétrica que é entendido como modelo científico (OSBORNE, 1983; SHIPSTONE, 1984).

No segundo grupo, encontram-se os trabalhos que focalizaram suas investigações no acesso ao entendimento dos estudantes sobre a diferença de potencial e o seu comportamento ao longo do circuito (MILLAR E LIM BEH, 1993; MILLAR E KING, 1993; DUIT E RHONECK, 1998).

Existem outros trabalhos que evidenciam as principais dificuldades dos estudantes na aprendizagem de determinados conceitos, como o de campo elétrico (FURIÓ E GUIASOLA, 1998) e resistência elétrica (VIARD E FRANCOISE, 2001). Outros autores se propuseram a desenvolver estratégias didáticas para a aprendizagem desses conceitos

(MCLLDOWIE, 1998; VIARD E FRANCOISE, 2001; FURIÓ E GUIASOLA, 2001, FURIÓ ET. AL. 2003).

## **2.2-A noção de entendimento adotado na pesquisa**

O conceito de entendimento deve ser diferenciado do conceito de conhecimento. Para Perkins (1993) o ato de entender vai além do ato de conhecer. Por exemplo, o estudante pode ter conhecimento sobre o conceito de força eletromotriz, ou seja, ele pode ser hábil em expressá-lo verbalmente ou apresentar a equação matemática que o define, mas pode não ser capaz de fazer previsões ou utilizar o conceito em determinadas situações físicas (por exemplo, explicar a elevação do potencial da carga no interior de uma fonte de energia), significando que o entendimento desse conceito não foi totalmente desenvolvido por ele. Nessa perspectiva, o entendimento está associado ao desempenho do estudante na resolução de tarefas ou na solução de problemas físicos. Essa noção de entendimento também está presente em algumas investigações na área de ensino de ciências com foco na aprendizagem de conceitos científicos (MILLAR e KING, 1993; MILLAR e LIM BEH, 1993, AMANTES, 2005).

Perkins (1993) chama atenção para o fato de não ser qualquer tarefa que consegue avaliar o entendimento dos estudantes. Segundo o autor, essas tarefas não podem ser pautadas somente em problemas rotineiros que envolvam a memorização de fatos e conceitos e sugere que as tarefas apresentem situações problemáticas que permitam aos estudantes fazer previsões, fazer analogias, estabelecer relações entre diversos conceitos. Essa avaliação é feita partindo-se do pressuposto de que determinadas previsões e relações só são passíveis de serem realizadas se o aprendiz tiver um determinado entendimento sobre o conteúdo em questão.

Tomando como referência a perspectiva de entendimento adotado nessa pesquisa pode-se considerar que a capacidade de solucionar problemas envolvendo determinados conceitos é um forte indicador do estado de entendimento desses conceitos pelo estudante.

### **2.3-A perspectiva de evolução do entendimento**

A ideia de que um entendimento novo é construído a partir de um entendimento já existente na estrutura cognitiva do indivíduo, e de que ele vai aumentando em nível de complexidade<sup>8</sup> são características presentes em várias teorias de desenvolvimento cognitivo (PIAGET E INHELDER, 1969; FISCHER 1980; BIGGS E COLLIS, 1982; FELDMAN, 2004; FISCHER E BIDELELL, 2006; COMMONS E PEKKER, IN PRESS). Essas teorias, guardadas suas diferenças e suas particularidades, partem do pressuposto de que o aumento no desempenho 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.

Nessa pesquisa não serão apresentadas todas as teorias propostas pelos autores citados anteriormente, mas será apresentado com um pouco mais de detalhes a perspectiva de desenvolvimento cognitivo proposta por Fischer (1980), denominada teoria de habilidades específicas. Essa perspectiva teórica foi adotada, por se tratar de uma teoria de domínio específico e por atribuir o mesmo valor para os fatores ambientais e endógenos no processo de aprendizagem. Essa postura promove um balanço entre as concepções piagetianas, centradas no sujeito, e as concepções behavioristas e vygotskianas, ambas centradas no ambiente. Além disso, a teoria de habilidades inspirou autores como Dawson (2005) a descrever sequências de

---

<sup>8</sup> A palavra complexidade é usada para determinar a forma pelo qual o entendimento relacionado a um determinado domínio, aumenta em generalidade ao longo do curso de desenvolvimento.

desenvolvimento em diferentes domínios de conhecimento. Assim como nos trabalhos de Dawson (2005), nessa pesquisa, essa perspectiva teórica auxiliará na construção de um sistema categórico hierárquico para interpretar o entendimento dos estudantes e, dessa forma, estabelecer uma sequência de desenvolvimento das concepções no domínio da eletricidade.

### **2.3.1-A teoria das habilidades específicas**

A perspectiva de desenvolvimento proposta por Fischer, ainda que manifestamente influenciada pela teoria piagetiana, difere dela por ser uma teoria de domínio específico. Desta forma, ela tenta fornecer instrumentos para prever a sequência de desenvolvimento em domínios de conhecimento específicos. Segundo Fischer (1980), essa teoria incorpora elementos presentes da teoria comportamental de Skinner e da epistemologia genética de Piaget, por aceitar que o desenvolvimento do indivíduo é o resultado da combinação de aspectos do ambiente e do organismo e “*a resolução do dilema organismo-ambiente garante alguns progressos para explicar e prever o desenvolvimento cognitivo*” (FISCHER, 1980).

A evolução no entendimento está relacionada à elaboração e reelaboração de significados em diferentes contextos e requer habilidades cognitivas próprias para estender e generalizar um conceito. As habilidades cognitivas na teoria do Fischer estão associadas às ações do indivíduo que permitem controlar elementos do seu comportamento e do seu pensamento em contextos e domínios específicos.

O desenvolvimento de uma habilidade em qualquer domínio ocorre devido a uma coordenação hierárquica de ações (mentais ou motoras) de níveis inferiores para ações de mais alta ordem. O desenvolvimento de uma habilidade específica ocorre através de uma série de três camadas, sendo cada uma delas compostas por quatro níveis que se repetem<sup>9</sup> e se

---

<sup>9</sup> Essa teoria insere aspectos recursivos para tentar fornecer uma ordem interna e coerência na sequência de desenvolvimento cognitivo.

diferenciam pela complexidade das habilidades do indivíduo no curso de seu desenvolvimento. Apesar de ser uma teoria de domínio específico, ela prevê os períodos de idade de emergência de cada um dos níveis<sup>10</sup>. Uma descrição mais detalhada das camadas e dos níveis recursivos presentes em cada uma delas será apresentada nos próximos parágrafos.

A primeira camada é a *sensório-motora* que se desenvolve entre os primeiros momentos de vida e se estende até os doze meses de idade. Nesse período, as habilidades específicas são constituídas por um conjunto de ações motoras, incluindo a percepção de objetos, eventos ou pessoas. Essas ações são exclusivamente práticas: as crianças entendem como agir em uma coisa específica do mundo, pois são capazes de antecipar o resultado de suas ações.

A segunda camada é a *representacional* que se desenvolve entre os dois e dez anos de idade. Nesse período, as crianças conseguem construir representações de objetos, eventos e pessoas independentemente de sua ação imediata. A terceira camada é *abstrata* que se desenvolve a partir dos dez anos de idade. Nesse momento, o indivíduo é capaz de estabelecer relações da mais alta ordem sobre aspectos de objetos e seu pensamento se apoia em conhecimentos teóricos.

O desenvolvimento hierárquico das habilidades está associado à coordenação de habilidades que se encontram em níveis inferiores. Essas habilidades progridem através do ciclo recursivo dos quatro níveis que se encontram em cada uma das camadas da sequência de desenvolvimento. Em cada camada, as habilidades dos indivíduos representadas por cada um dos níveis, apresentam diferenças qualitativas. Esses níveis incluem conjuntos simples, mapas, sistemas e sistemas de sistemas.

---

<sup>10</sup> A idade de emergência corresponde ao período no qual o sujeito opera no nível ótimo em relação a uma determinada habilidade. Por isso, a existência de alguns saltos em relação aos períodos de idade associados ao surgimento das diferentes camadas.

A figura 2 representa a ideia do processo recursivo existente no curso de desenvolvimento do indivíduo. Nessa figura é apresentada a metáfora da construção através de blocos, proposta pelo próprio Fischer, para o desenvolvimento das habilidades nas camadas de representação e abstração. Segundo essa metáfora, a caixa formada no último nível da camada representacional (sistemas de sistemas), através da construção dos blocos que se encontram em níveis inferiores, eventualmente cria um novo tipo e mais complexa forma de construção na camada de abstração (abstração simples), significando que o indivíduo tem a capacidade de agir e pensar de forma abstrata.

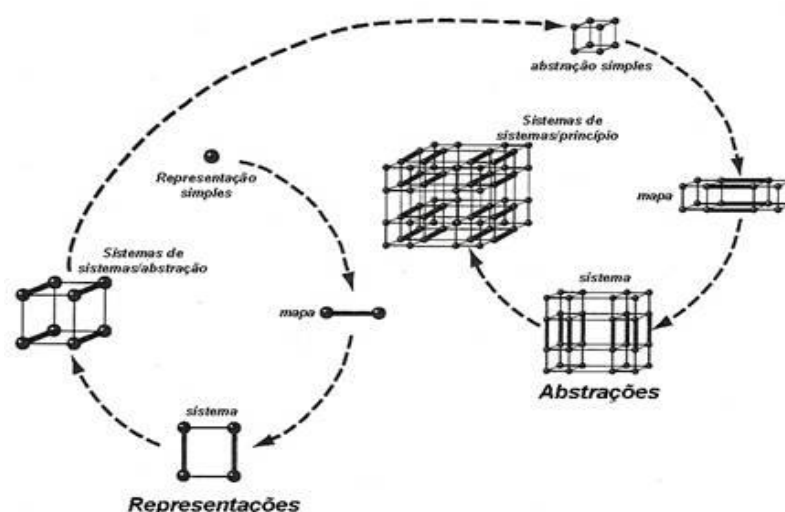


FIGURA 2- Ciclo de desenvolvimento para as camadas de representações e abstrações. Adaptado de Fischer (2008)

Fischer (1980) aponta para existência de habilidades específicas que são inatas ao sujeito, como as habilidades associadas à determinação das propriedades do objeto e do espaço, e apresentam nível ótimo de operação nos primeiros meses de vida. O autor também sinaliza para existência de habilidades específicas mais complexas que vão além da camada de abstração, devido ao caráter recursivo de sua teoria. A literatura não apresenta evidências sobre a existência desses níveis para além da camada de abstração e, por isso, Fischer sugere a realização de novas pesquisas de desenvolvimento cognitivo com adultos.

Parziale e Fischer (1998) consideram que a teoria de habilidades específicas está centrada na estrutura de pensamento do sujeito, o que define suas ações de pensamento em um determinado contexto ou domínio de conhecimento. Para os autores, as 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*” (PARZIALE E FISCHER, 1998).

A mudança qualitativa descrita no parágrafo anterior pode ser interpretada no progresso do entendimento do conceito de corrente elétrica. A corrente elétrica entendida como o fluxo de elétrons livres em um condutor é uma noção mais sofisticada do que a corrente elétrica entendida como movimento de elétrons. Nesse exemplo, ao incorporar a noção de elétrons livres, um novo entendimento<sup>11</sup>, relacionado à estrutura da matéria, é acrescentada ao entendimento anterior.

Além disso, Fischer e Bidell (2006) sugerem que variações dinâmicas são propriedades fundamentais das ações e do pensamento humano e são inerentes às estruturas psicológicas do indivíduo. Segundo os autores, alguns modos de pensamento ou ações podem apresentar crescimento contínuo, crescimento seguido de quedas durante o desenvolvimento ou até mesmo apresentar uma tendência oscilatória.

Outro aspecto a ser considerado durante o desenvolvimento de uma habilidade específica, diz respeito à descontinuidade envolvida no processo. Alguns estudos têm apresentado evidências sobre o padrão de descontinuidade presentes durante o

---

<sup>11</sup> Esse entendimento está associado ao fato de nem todos os elétrons de um sólido participarem da corrente elétrica. Dela só participam aqueles elétrons dos níveis atômicos mais externos e que, devido a um efeito coletivo da interação dos átomos e elétrons que constituem o sólido, são capazes de se moverem livremente por todo o sólido, como se não houvesse uma rede cristalina.

desenvolvimento. Van Geert (1996) <sup>12</sup> apresenta evidências dessa descontinuidade através dos resultados de simulações sobre o padrão de crescimento do desenvolvimento léxico em uma criança e também apresenta evidências de descontinuidade no desenvolvimento do entendimento das crianças sobre o princípio da conservação. Já Dawson (2006) apresenta a evidência de descontinuidade através dos saltos promovidos pela escala *Rasch*, ao determinar a hierarquia entre as concepções referentes ao princípio de conservação da energia mecânica.

## **2.4-A construção de instrumentos para avaliar o entendimento dos estudantes em ciências**

Diversos autores têm se apropriado de diversas teorias de desenvolvimento cognitivo para construir instrumentos para avaliar o entendimento dos estudantes sobre conceitos científicos ou para planejar o ensino de tais conceitos.

Aguiar Jr. (1999, 2001) baseou-se na teoria piagetiana para desenvolver instrumentos para o planejamento do ensino e para avaliar a aprendizagem dos estudantes em ciências. O autor utiliza as etapas propostas por Piaget e Garcia (1987) denominadas INTRA, INTER e TRANS e as suas três formas de equilíbrio para desenvolver esses sistemas. A etapa INTRA está associada à interação entre os esquemas do sujeito e o objeto a assimilar, na etapa INTER o sujeito procura estabelecer formas mais ou menos estáveis de coordenações e transformações entre os objetos assimilados e a última etapa, a TRANS, envolve a

---

<sup>12</sup> Os dados sobre o desenvolvimento léxico das crianças foram obtidos do estudo desenvolvido por Dromi, 1986 (The one-word period as a stage in language development: quantitative and qualitative accounts. In L Levin (Ed.), *Stage and structure. Reopening the debate*. Norwood, NJ: Ablex, 1986) e os dados para simulação da curva de crescimento para o desenvolvimento da noção de conservação têm origem nos estudos conduzidos por Van der Maas, 1993 (*Catastrophe analysis of stagewise cognitive development. Model, method and applications*. Tese de doutorado: University of Amsterdam, 1993).



coordenação dos subsistemas da etapa anterior de forma a construir uma nova totalidade que pode gerar explicações.

As etapas INTRA, INTER e TRANS apresentam uma hierarquia claramente definida em termos de um poder explanatório crescente e categorias de análise cada vez mais abstratas. Esse sistema usa uma categorização única independente do domínio em seus aspectos estruturais, mas que precisa ser adaptada para cada domínio de conhecimento. O autor utilizou esse sistema para avaliar como essas estruturas estão presentes em um material didático de eletricidade básica (AGUIAR JR, 1999).

Dawson (2005) estabeleceu critérios para determinar o nível de desenvolvimento de entendimentos em qualquer domínio de conhecimento. O seu sistema categórico denominado LAS (*Lectical Assessment System*), é diretamente influenciado pela teoria de habilidade específica (FISCHER, 1980) e, assim como o sistema construído por Aguiar Jr (1999), também apresenta certa herança piagetiana, ainda que mais distante e indireta. Ele pretende ser um sistema de avaliação independente do conteúdo.

O LAS é um sistema de avaliação utilizado para analisar o desempenho verbal e apresenta uma escala geral de desenvolvimento. Dawson pretende que essa escala possa ser aplicada a qualquer domínio de conhecimento. Ela argumenta que sua escala utiliza da análise da estrutura central do argumento que incorpora análise da estrutura lógica e da ordem hierárquica de abstração, extrapolando, portanto, à análise da estrutura conceitual. A estrutura lógica está associada ao nível de complexidade dos conceitos incorporados no argumento. Neste nível, analisa-se se os conceitos utilizados pelo indivíduo, em um determinado domínio, estão na camada sensório-motora, representacional ou abstrata. A ordem hierárquica de abstração está associada à maneira como os conceitos utilizados no argumento estão coordenados, analisa-se a coordenação de elementos de dois ou mais conceitos feitas pelo indivíduo, verificando o estabelecimento de mapas, sistemas ou sistemas de sistemas.

No domínio científico escolar, Dawson (2006) utiliza seu sistema de análise para investigar o entendimento dos estudantes sobre o conceito de energia. Segundo a autora, para os estudantes entenderem os processos de transformação de energia eles devem operar em uma lógica abstrata (estrutura lógica do argumento) e devem coordenar ou estabelecer mapas entre as diferentes formas de energia (ordem hierárquica de abstração).

Outros autores têm utilizado teoria de habilidades proposta por Fischer (1980) para avaliar o entendimento dos estudantes em diversos domínios (PARZIALE E FISCHER, 1998; SCHWARTZ E FISCHER, 2005; YAN, 2000). O sistema proposto por esses autores apresentam uma estrutura abstrata que pretende ser independente do domínio, mas que é metodologicamente implementado de forma dependente do conteúdo do domínio.

## **2.5-Tratamento Rasch**

A maioria das pessoas está familiarizada com as medidas no mundo físico. Com uma régua graduada em milímetros é possível medir e comparar os comprimentos de objetos em diferentes momentos. No contexto educacional, a construção de uma “régua” é algo mais complicado justamente por lidar com a complexidade do ser humano e por lidar com construtos que não são diretamente observáveis como, por exemplo, a competência do estudante em matemática ou o entendimento do estudante sobre um determinado conceito físico.

Georg Rasch, na década de 1950, trouxe uma grande contribuição para o desenvolvimento de medidas nas ciências sociais. Segundo Wright e Linacre (1989), Rasch desenvolveu um modelo matemático probabilístico pautado na interação entre o objeto a ser medido (entendimento, competência, habilidade, etc) e o agente de medida (um teste, por exemplo). Dessa forma, os modelos *Rasch* passam a utilizar dados observáveis de forma

qualitativa (o escore obtido nos itens de um teste) para construir medidas intervalares<sup>13</sup> de grandezas não observáveis como o parâmetro da pessoa e o parâmetro do item produzindo, dessa forma, medidas comparáveis. Segundo Francis et. al. (1996) o caráter intervalar e a forte estabilidade temporal produzida pelas escalas resultantes do tratamento *Rasch* fazem com que elas sejam ideais para serem utilizadas nos estudos longitudinais.

A análise do desempenho dos estudantes é extremamente relevante no contexto educacional, por isso, a estrutura e o funcionamento de uma escala devem ser investigados com mais detalhes. Planinic, Ivanjack e Susac (2010) consideram que as características psicométricas de uma escala podem ser investigadas através dos modelos da família *Rasch*. Para os autores, a qualidade de uma escala está associada à distribuição dos itens segundo o seu parâmetro de dificuldade. Uma estrutura mais espaçada<sup>14</sup> entre os itens da escala garantiria uma maior qualidade, pois a escala contemplaria os diferentes níveis de entendimento que os estudantes possam apresentar com relação a um determinado conceito. Com relação à funcionalidade da escala, os autores consideram que as estatísticas resultantes do modelamento *Rasch*<sup>15</sup> fornecem evidências sobre a sua validade e a sua fidedignidade.

O mais familiar dos modelos da família *Rasch* é o modelo para a análise de dados dicotômicos. Ele é utilizado para analisar questões do tipo certo ou errado; verdadeiro ou falso; sim ou não; concordo ou não concordo. Esse modelo introduz uma expressão para estimar a probabilidade da resposta de um determinado sujeito ao item dicotômico em função de dois parâmetros: um que caracteriza a pessoa e outro que caracteriza cada item, sendo

---

<sup>13</sup> Em uma medida intervalar a distância entre os atributos tem significado. Por exemplo, ao medir a temperatura (em Celsius), a distância entre os valores de 30-40 é a mesma distância entre os valores 70-80. O intervalo entre os valores é interpretável (TROCHIM, W.M.K, 2009).

<sup>14</sup> Uma escala espaçada está associada ao espalhamento dos seus itens. Dessa forma, uma boa escala pode ser construída com um conjunto de itens de diferentes graus de dificuldade, desde os muito fáceis até os muito difíceis.

<sup>15</sup> As estatísticas resultantes do tratamento *Rasch* serão apresentadas na próxima seção.

ambos medidos em uma mesma escala logarítmica<sup>16</sup>. Pode-se interpretar o parâmetro do item como a medida de sua dificuldade ou complexidade, pois mantendo-se constante o parâmetro da pessoa, quanto maior o parâmetro do item menor será a probabilidade de acerto.

A formulação do modelo Rasch para a análise desse tipo de dado pode ser expressa através da função:

$$P_{ni}\{x_{ni} = 1 / \beta_n, \theta_i\} = \frac{e^{\beta_n - \theta_i}}{1 + e^{\beta_n - \theta_i}}$$

Onde  $P_{ni}\{x_{ni} = 1 / \beta_n, \theta_i\}$  é a probabilidade da pessoa  $n$  obter score  $x = 1$  no item  $i$ , dados a habilidade da pessoa  $\beta_n$  e a dificuldade do item  $\theta_i$ . Essa probabilidade é igual à base do logaritmo natural ( $e = 2,7183\dots$ ) elevada à diferença entre  $\beta_n$  e  $\theta_i$  e dividida pelo mesmo valor somado à unidade. É importante notar que a probabilidade de uma pessoa  $n$  acertar ou não um item  $i$ , depende da diferença entre a habilidade da pessoa  $\beta_n$  (considerada como a qualidade que está sendo medida pelos itens) e a dificuldade do item  $\theta_i$ .

O princípio da objetividade específica é algo característico dessa família de modelos. Esse princípio permite você comparar a habilidade das pessoas sem fazer referência aos itens específicos que as pessoas responderam, da mesma forma é possível analisar a complexidade dos itens sem a necessidade de especificar o nível de habilidade das pessoas (MEAD, 2008). Dizendo de outra forma, o princípio da objetividade específica assegura que a medida do parâmetro dos itens seja independente da amostra que responde ao teste, da mesma forma que o parâmetro das pessoas seja independente de um ou mais itens específicos do teste.

Outra propriedade importante associada a essa família de modelos é bem descrita por Hagquist et al. (2009). Segundo os autores, Rasch desenvolveu modelos de medidas

---

<sup>16</sup> A unidade de medida dessa escala é conhecida por logit (contração de log odds unit).

unidimensionais que refletem o critério básico da invariância que é uma característica crucial ao realizar medidas.

A unidimensionalidade é desejável para que se possam obter medidas de qualidade. Para isso, a escala deve medir a mesma coisa (ou mesmo atributo) ao longo dos seus vários itens (VITÓRIA, ALMEIDA E PRIMI, 2006). Entretanto, Linacre (2009) chama atenção para o fato dessa propriedade não ser atendida em sua totalidade por nenhuma escala utilizada na vida prática. O desempenho em um teste pode ser influenciado por diversas variáveis cognitivas, pela personalidade do sujeito ou até mesmo fatores inerentes à própria aplicação do teste, como a motivação, a ansiedade, o uso correto de folhas de respostas. Wright e Stone<sup>17</sup> (2004 apud VITÓRIA, ALMEIDA E PRIMI, 2006) afirmam que *“a questão principal não é avaliar se um teste é estritamente unidimensional, mas sim em que medida as dimensões adicionais geram distorções na medida principal do fator dominante que os itens estão mais ou menos relacionados”*. Dessa forma, para falar sobre a dimensionalidade de uma escala deve-se remeter ao seu grau (intensidade) de unidimensionalidade e de como o resultado será utilizado em uma investigação.

O critério da invariância determina que um instrumento deva ser desenvolvido para que seus itens funcionem da mesma forma para todos os indivíduos e nas diferentes ocasiões de medida. Nos estudos longitudinais, por exemplo, mudanças no parâmetro das pessoas podem somente ser interpretadas se as propriedades dos itens de uma escala permanecem invariantes ao longo das diferentes ocasiões de medida. Alguns autores como Hagquist (2007), têm recorrido à análise gráfica para investigar as propriedades de invariância de uma escala e, por isso, utilizam as Curvas Características dos Itens (CCIs). As CCIs são gráficos que mostram como a probabilidade de acerto do item varia segundo o parâmetro da pessoa. Dessa forma, torna-se possível verificar se os itens da escala respeitam a ordem de localização

---

<sup>17</sup> Wright, B. D.; Stone, M. H. Making measures. Chicago: The Phaneron Press (2004).

dos diferentes grupos de desempenho nas curvas características de cada item. Isto significa que a probabilidade de um grupo de baixo desempenho acertar um item mais complexo, deve ser menor do que a probabilidade de um grupo de alto desempenho acertar esse mesmo item. O gráfico 1 apresenta como exemplo a Curva Característica do Item para um item de dificuldade média e, portanto, situado na metade da escala.

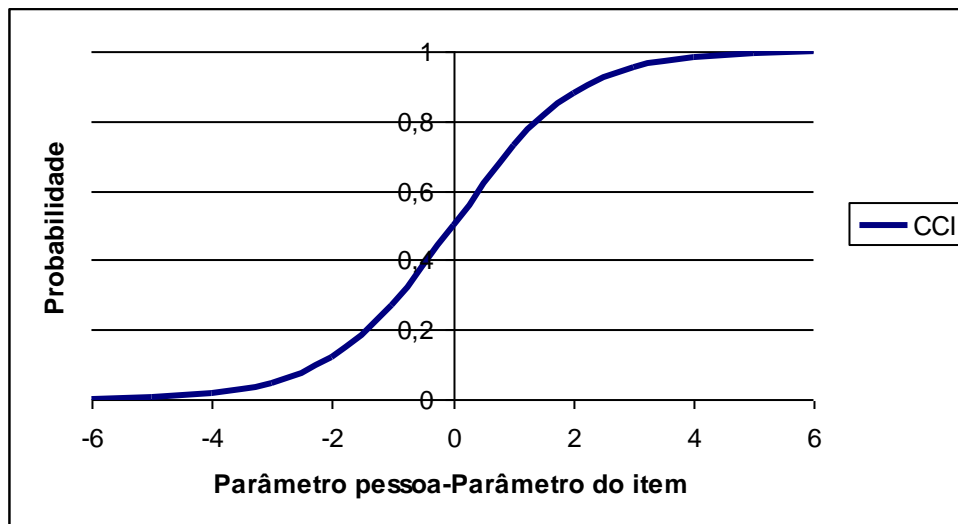


GRÁFICO 1: Exemplo de uma Curva Característica do Item

Além de determinar a probabilidade de acerto de um item, a CCI também pode prever o valor esperado para a dificuldade  $\theta$  do item previsto pelo modelo. Através da curva representada no gráfico 1, percebe-se que sempre quando o parâmetro da pessoa é igual ao parâmetro do item a probabilidade de acerto para o item é de 50%.

## 2.5.1-As estatísticas resultantes do tratamento *Rasch*

### 2.5.1.1-A estatística *INFIT*

Para obtenção de uma boa escala, os itens devem exibir um ordenamento que atenda ao princípio da dupla monotonicidade: as categorias de respostas dos itens devem ser ordenadas segundo sua “dificuldade” e os próprios itens devem se ordenar segundo sua “dificuldade média”, de forma que pessoas que apresentem maior entendimento no domínio

investigado tenham sucesso nos itens mais difíceis. Linacre (2009) sinaliza que esse princípio pode ser verificado pela análise da estatística de ajuste INFIT/MNSQ que foi introduzida por Benjamin D. Wright. Além disso, deve-se considerar que essa estatística é calculada na maioria dos programas de modelamento *Rasch*.

Segundo Linacre (2009), o INFIT/MNSQ é uma estatística mais sensível aos comportamentos desviantes que afetam os itens próximos ao nível médio de habilidade do indivíduo e também é a estatística mais relevante para analisar a qualidade dos itens. Essa análise é baseada na variação entre o padrão de resposta observada e o padrão de resposta esperado pelo modelo desenvolvido.

O MNSQ é a média quadrática da estatística INFIT e determina a significância da análise. Se os valores encontrados nessa estatística não estão no intervalo de confiança desejável, uma revisão no modelo deve ser realizada, antes de estimar seus parâmetros. Entretanto, Draney e Wilson (2008) sugerem que nessas circunstâncias antes de tomar qualquer decisão deve-se considerar a média e a dispersão dos valores da estatística MNSQ e também o número de itens que não se encontram ajustados. Um valor de MNSQ igual a 1 indica ajuste perfeito do item ao modelo. Não se pode esperar um ajuste perfeito para todos os itens de uma escala e, por isso, o quadro 1 apresenta o significado dos valores encontrados para essa estatística.

QUADRO 1: Interpretação dos valores da estatística INFIT/MNSQ

Valor do resultado do INFIT/MNSQ	Significado
Maiores que 2.0	Muito ruído introduzido na medida, fazendo com que a medida seja pouco consistente.
Entre 1.5 e 2.0	Um pequeno ruído é introduzido, mas não torna a medida inconsistente.
Entre 0.5 e 1.5	Corresponde ao intervalo de valores desejáveis, produzindo medidas confiáveis.
Entre 0 e 0,5	Esse intervalo indica que os itens apresentam alta redundância e presibilidade. Pode produzir valores enganosos para fidedignidade.

### **2.5.1.2-O coeficiente de separação entre as pessoas**

O coeficiente de separação entre as pessoas é análogo ao *alfa* de Cronbach, estatística que determina a medida da fidedignidade de uma escala. As duas estatísticas são calculadas em programas como WINSTEPS (LINACRE e WRIGHT, 2000) que conduzem a análise *Rasch*. Entretanto, Linacre (2009) aponta que o coeficiente de separação entre as pessoas produz uma estimativa menos enganosa, uma vez que o *alfa* de Cronbach sempre excede o valor máximo possível para a fidedignidade das medidas resultantes do modelamento *Rasch*. Independentemente do método utilizado, a fidedignidade de uma escala refere-se à estabilidade, a reprodutibilidade, a precisão das medidas obtidas, ou seja, ao grau de consistência dos valores medidos.

Segundo Linacre (2009), falar em fidedignidade adequada significa dizer que existe uma grande probabilidade de que as pessoas (ou itens) que apresentaram altos valores para sua habilidade (ou dificuldade) realmente tenham valores maiores do que as pessoas (ou itens) que apresentaram baixos valores para a sua habilidade (ou dificuldade). O autor considera que a fidedignidade de uma escala está associada ao tamanho da amostra que responde aos itens de um teste e do espalhamento desses itens com relação ao grau de dificuldade. Dessa forma, para alcançar uma fidedignidade adequada, Linacre (2009) recomenda que a escala seja constituída por um conjunto de itens de diferentes graus de dificuldade<sup>18</sup> e/ou que os seus itens sejam respondidos por uma grande amostra de pessoas.

### **2.5.1.3-Análise de variância**

Como os modelos da família *Rasch* pressupõem a unidimensionalidade da escala, a análise de sua dimensionalidade constitui uma ferramenta útil para inferirmos sobre sua qualidade.

---

<sup>18</sup> Mesma recomendação apresentada por Planinic, Ivanjack e Susac (2010).



Vitória, Almeida e Primi (2006) destacam que não existe critério consensual na literatura para definir a dimensionalidade de uma escala, sabe-se que ela é assumida, sobretudo, como uma questão de grau. Entretanto, a dimensionalidade de uma escala pode ser verificada a partir da interpretação da análise de variância dos dados. Se apenas um fator for responsável pelos resultados em um teste, então esse fator explicaria 100% da variância observada, entretanto como foi descrito anteriormente isso é praticamente impossível. Por isso, para aceitar a unidimensionalidade de uma escala deve-se verificar se a primeira dimensão (dimensão *Rasch*) explica a maior parte da variância dos dados. Linacre (2009) sugere que para garantir a unidimensionalidade da escala, a variância explicada na primeira dimensão deve ser superior a 50% ( $R^2 > 0,50$ ).

Apesar de apresentar um limite inferior para assegurar a unidimensionalidade de uma escala, Linacre (2008) chama a atenção para a existência de fatores aleatórios que podem interferir nas estimativas *Rasch* e dependendo do tamanho da amostra, esses fatores podem apresentar grandes repercussões. Segundo Linacre, quando as estimativas dos parâmetros dos itens e das pessoas estão de tal modo concentradas de forma

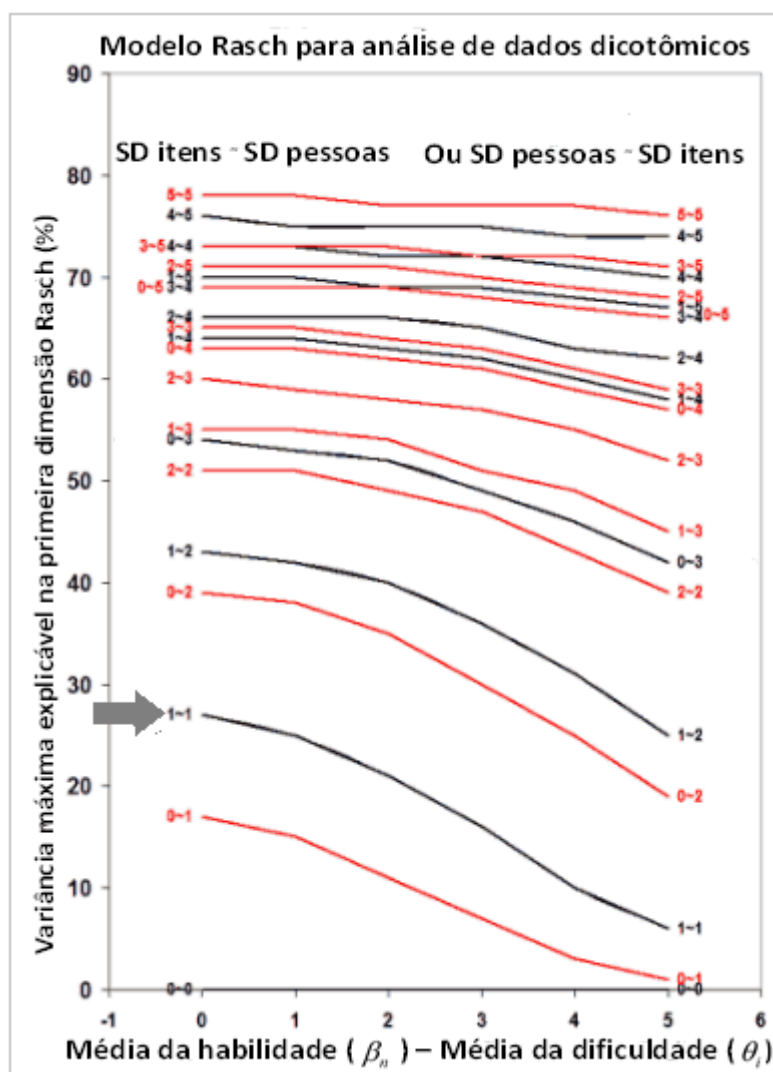


FIGURA 3: Proporção da variância máxima explicável para análise de dados dicotômicos. Adaptado de Linacre, 2008

que os desvios padrão do parâmetro das pessoas e dos itens são próximos de 1 logit e, além disso, considerando que a diferença entre os valores médios desses parâmetros são próximos de zero, torna-se impossível obter uma variância explicada pelas medidas maior que 30%. Na figura 3 a seta indica a variância máxima explicável considerando a situação descrita anteriormente.

Dessa forma, se o modelo explicar somente 30% da variância (devido á distribuição dos parâmetros das pessoas e itens), obter 20% de variância explicada significa que pode-se aceitar a unidimensionalidade da escala, visto que o modelo ajustado explica mais de 50% da máxima variância explicável.

## **2.6-O estudo longitudinal**

A essência dos estudos longitudinais está na tentativa de fornecer evidências sobre mudanças nas pessoas ou entidades ao longo do tempo (WHITE E ARZI, 2005). A coleta de dados nesse tipo de desenho metodológico é pautada no método de medidas repetidas, ou seja, instrumentos associados ao mesmo domínio de conhecimento são aplicados para os mesmos sujeitos em diferentes momentos. Com relação aos instrumentos não significa que os testes, entrevistas ou observações utilizadas na coleta de dados devam ser idênticos, mas eles devem ser comparáveis.

Dentre os estudos longitudinais desenvolvidos para investigar a aprendizagem dos estudantes no domínio da eletricidade, destacam-se os trabalhos de Coelho (2007) e Pollock (2009). A ideia central do primeiro estudo já foi discutida anteriormente e, de certa forma, trouxe implicações importantes para o desenvolvimento dessa pesquisa. Já Pollock (2009) apresenta um estudo que foi desenvolvido no contexto de mudança curricular<sup>19</sup> na

---

<sup>19</sup> Nesse contexto de mudança curricular as disciplinas de Física passaram a utilizar estratégias de ensino baseadas em tutoriais como os desenvolvidos por Lillian Mcdermott (2002). Segundo Pollock,

Universidade do Colorado, especificamente a investigação foi conduzida na disciplina Física II que, tradicionalmente nessa Universidade, discute os temas eletricidade e magnetismo. O autor desenvolveu um estudo longitudinal para acompanhar a evolução conceitual dos estudantes que foram submetidos a diferentes instruções. Ao final da investigação o autor constata que os estudantes que foram submetidos à nova estratégia de ensino (baseada em tutoriais) evoluíram mais que os estudantes que continuaram a ser submetidos à instrução tradicional.

Singer e Willett (2003) destacam que ao desenvolver um estudo longitudinal duas questões devem ser respondidas: (i) Como o desempenho da pessoa muda ao longo do tempo? e (ii) Como podemos explicar as diferenças entre as pessoas ao longo do tempo? A primeira questão é descritiva e caracteriza o padrão de mudança de cada estudante ao longo do tempo. A segunda questão é relacional e é importante para examinar a relação entre preditores e os padrões de mudança observados. Os autores também chamam a atenção a três requisitos que devem ser considerados nos estudos de mudança: (i) a necessidade de múltiplas ondas de dados; (ii) uma métrica significativa de tempo e (iii) o acesso a dados que mudam sistematicamente no tempo.

### **2.6.1-O modelamento multinível em estudos longitudinais**

As questões subjacentes ao estudo longitudinal sugerem que elas sejam respondidas considerando os diferentes níveis em relação aos sujeitos investigados: (i) no primeiro nível, *no indivíduo*, o interesse está em investigar como cada pessoa muda ao longo do tempo e (ii) no segundo nível, *entre os indivíduos*, o interesse está em estabelecer relações entre tendências de crescimento e os preditores.

---

ao utilizar os tutoriais os professores passam a privilegiar o engajamento interativo dos seus estudantes para que eles aprendam importantes conceitos físicos e desenvolvam uma forma de pensar mais científica.

Como se trata de um modelamento estatístico deve-se encontrar o modelo que melhor se ajusta aos dados e, para aprender a esse propósito, muitos métodos de estimação fornecem medidas de “bom ajuste” como, por exemplo, a variância residual e a deviância<sup>20</sup>. Somente depois de verificar o ajuste torna-se possível desenhar conclusões sobre os efeitos hipotetizados para a população<sup>21</sup>.

Esse é um dos métodos mais sofisticados para estabelecer relações entre tendências de crescimento e preditores. Outro argumento favorável ao desenvolvimento desse tipo de modelamento é que ele permite a utilização de dados faltantes em sua estrutura (HEDEKER e GIBBONS, 2006) característica extremamente relevante, pois, o estudo longitudinal lida com medidas repetidas e o sujeito pode não participar de uma das ondas de dados por ter faltado em um dia de teste.

#### ***2.6.1.1-Nível 1 do modelamento- Como o desempenho da pessoa muda ao longo do tempo?***

O modelo de crescimento individual em que a mudança estabelece uma relação linear com o tempo pode ser expresso pela equação:

$$Y_{ij} = [\beta_{0i} + \beta_{1i}(\text{tempo}_{ij})] + [e_{ij}]$$

Essa equação expressa o comportamento médio de uma população sendo que,  $Y_{ij}$ , representa como o entendimento da pessoa  $i$  varia linearmente tempo  $j$ . Este modelo assume a existência de uma linha reta que representa verdadeiramente como cada pessoa muda ao longo do tempo e que qualquer desvio nessa linearidade estaria associado a um efeito aleatório, ou

---

<sup>20</sup> A deviância é uma estatística que define a intensidade com que o modelo se ajusta aos dados (BROWNE, 2009). Para cada modelo construído o valor da deviância é computado. Trata-se de uma estatística que não é interpretada diretamente, mas baseada na comparação entre os valores dos modelos ajustados pela mesma fonte de dados como os modelos lineares hierárquicos. A diferença entre as deviâncias apresentam uma distribuição Chi-quadrado com graus de liberdade iguais a diferença entre o número de parâmetros estimados pelos modelos (SSI, 2010).

<sup>21</sup> Por se tratar de um modelo estatístico, descrevemos o comportamento da população e não da amostra investigada.

seja, um erro de medida  $e_{ij}$ . A primeira parte da equação representa a parte estrutural do modelo de primeiro nível, permitindo a estimação do intercepto  $\beta_{0i}$ , que representa o estado inicial da população e da inclinação  $\beta_{1i}$ , que representa a taxa de crescimento ou decrescimento (dependendo do sinal do parâmetro) da população ao longo do tempo.

A segunda parte da equação representa a parte estocástica e está associada à variância não explicada no primeiro nível, apresentando-se como uma componente residual e aleatória do modelo. Para essa componente aleatória, deve-se invocar um raciocínio sobre a distribuição das componentes residuais de uma ocasião de medida para outra e de um indivíduo para outro indivíduo. Os modelos de regressão usualmente assumem que: os resíduos são independentes e identicamente distribuídos respeitando o princípio da homocedasticidade através das ocasiões e dos indivíduos. Isto implica em reconhecer que cada erro é desenhado independentemente para uma distribuição com média zero e com uma componente residual para a variância. Essa distribuição normal associada aos resíduos do primeiro nível pode ser expressa da seguinte forma:

$$e_{ij} \approx N(0, \sigma_e^2)$$

#### ***2.6.1.2-Nível 2 do modelamento- Como podemos explicar as diferenças entre as pessoas ao longo do tempo?***

O modelamento de segundo nível codifica a relação entre os parâmetros de crescimento individual (parâmetros do primeiro nível) e os preditores para que possa ser investigado a diferença de crescimento *entre os indivíduos* da população e, assim, responder a questão inerente a esse nível do modelamento. As equações descritas abaixo representam o modelamento de segundo nível.

$$\beta_{0i} = g_{00} + g_{01}predictor_i + z_{0i}$$

$$\beta_{1i} = g_{10} + g_{11}predictor_i + z_{1i}$$

Analisando as equações pode-se perceber a presença de seis parâmetros para a população: os quatro parâmetros da regressão ( $g_{00}$ ,  $g_{01}$ ,  $g_{10}$ ,  $g_{11}$ ) e dois parâmetros residuais ( $z_{0i}$ ,  $z_{1i}$ ). A parte estrutural do modelo apresenta os parâmetros que capturam as diferenças entre as trajetórias de mudança dos estudantes, relacionando-as com os preditores de segundo nível. Os parâmetros  $g_{00}$  e  $g_{01}$  são os interceptos de segundo nível, os parâmetros  $g_{10}$  e  $g_{11}$  são as inclinações do segundo nível.

As inclinações (taxas de crescimento) do modelamento de segundo nível são os parâmetros de maior interesse quando o objetivo do estudo está em apresentar evidências sobre os fatores que interferem na aprendizagem, pois elas representam o efeito dos preditores nas trajetórias de aprendizagem dos estudantes.

As componentes aleatórias ou residuais do segundo nível apresentam uma distribuição bivariada com média zero e com duas componentes residuais para a variância. Pode-se expressar esse raciocínio através da *matriz de covariância*:

$$\begin{bmatrix} z_{0i} \\ z_{1i} \end{bmatrix} \approx N \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_0^2 & \\ & \sigma_1^2 \end{bmatrix}$$

Sendo que o parâmetro  $\sigma_0^2$  representa a variância residual do intercepto, o parâmetro  $\sigma_1^2$  representa a variância residual da inclinação e  $\sigma_{10}$  representa a covariância<sup>22</sup> entre os parâmetros do modelo.

---

<sup>22</sup> A covariância determina a medida da associação (relação) linear entre as variáveis aleatórias, no caso estabelece uma relação entre os componentes residuais do intercepto e da inclinação. O sinal da covariância indica o tipo de relação que as duas variáveis possuem, ou seja, um sinal positivo

Apesar de apresentar as equações separadas, para estabelecer a relação entre os parâmetros de primeiro nível e os preditores, é possível que essa relação seja estabelecida através de um modelo composto que apresenta os parâmetros de primeiro e segundo níveis em uma única equação:

$$Y_{ij} = [(g_{00} + g_{01}preditor_i + z_{0i}) + (g_{10} + g_{11}preditor_i + z_{1i})(tempo_{ij})] + [e_{ij}]$$

A parte estrutural do modelo composto é representada pela equação:

$$Y_{ij} \left| \begin{array}{l} \text{componente} \\ \text{estrutural} \end{array} \right. = g_{00} + g_{10}(tempo_{ij}) + g_{01}preditor_i + g_{11}(preditor_i)(tempo_{ij})$$

e a componente aleatória do modelo pode ser expressa da seguinte forma:

$$r_{ij} = Y_{ij} \left| \begin{array}{l} \text{componente} \\ \text{aleatória} \end{array} \right. = z_{0i} + z_{1i}(tempo_{ij}) + e_{ij}$$

Apesar de apresentar um modelamento de crescimento que estabelece uma relação linear entre suas variáveis, uma ressalva deve ser feita com relação à aprendizagem dos estudantes. Esse modelamento assume que quando você tem poucas ondas de dados, fica difícil estabelecer outro modelo que não seja aquele que apresente uma perspectiva de crescimento linear. Isso não implica em dizer que a evolução no entendimento dos estudantes ocorra, necessariamente, de forma linear. Fischer e Bidell (2006) preveem que o indivíduo pode apresentar momentos de queda durante o progresso em um determinado domínio. As quedas podem acontecer quando o sujeito se depara com algum conhecimento novo ou quando ele precisa estabelecer relações entre conhecimentos que já foram aprendidos por eles.

---

indica que elas movem na mesma direção e um sinal negativo indica que elas se movem em direções opostas.

### *2.6.1.3-As estruturas alternativas para a matriz de covariância*

Singer e Willett (2003) chamam a atenção para a complexidade envolvida na estimativa das componentes residuais de segundo nível. Os autores apontam para algumas características do modelo multinível que podem limitar a convergência dos algoritmos para a estimativa das componentes residuais, são elas: (i) a intensidade com que os dados encontram-se desbalanceados ou desiguais<sup>23</sup>; (ii) a complexidade envolvida no modelo; (iii) ao pequeno número de ondas de dados.

Alguns autores têm sinalizado para a modelagem da estrutura de covariância como forma de garantir o bom ajuste da regressão multinível (GOLDSTEIN, HEALY E RASBASCH, 1994; PEUGH E ENDERS, 2005; AL-MARSHADI, 2007). Esses autores também reconhecem a potencialidade do uso das estatísticas AIC (AKAIKE, 1973) e BIC (SCHWARZ, 1978) como forma de identificar o ajuste desses modelos<sup>24</sup>. Essas estatísticas são recomendadas para analisar o ajuste de qualquer par de modelos, inclusive os que não se encontram alinhados, como os que apresentam diferenças na estrutura da matriz de covariância. Além disso, assim como a deviância, essas duas estatísticas são baseadas no teste de razão de verossimilhança.

Singer e Willett (2003) consideram que ao adotar uma estrutura alternativa para a matriz de covariância nos estudos longitudinais, deve-se levar em consideração que as componentes residuais no nível do indivíduo passam a respeitar o princípio da heterocedasticidade entre as ocasiões e que as medidas passam a se correlacionar no tempo. Com relação à distribuição dos resíduos entre os indivíduos, o raciocínio clássico que

---

<sup>23</sup> Ver a discussão sobre dados desbalanceados na seção 3.3.5.

<sup>24</sup> A estatística AIC leva em consideração, para estabelecer o ajuste, o número de parâmetros usados no modelo, enquanto a estatística BIC, além do número de parâmetros leva em consideração o tamanho da amostra.



pressupõe uma distribuição normal com média zero e uma componente residual para a variância, continua válido. O resultado dos diferentes efeitos entre as ocasiões de medida e entre os indivíduos é uma matriz multivariada com distribuição normal, no qual o termo  $\sum r$  representa o somatório das variâncias residuais de cada pessoa nas diferentes ondas de dados. Dessa forma tem-se que:

$$r \approx N \left( 0 \begin{bmatrix} \sum r & & & \\ & 0 & & \\ & & \sum r & \\ & & & 0 & \\ & & & & \sum r \end{bmatrix} \right)$$

Singer e Willett (2003) consideram que nos estudos longitudinais, o princípio da heterocedasticidade tem mais crédito, uma vez que esse princípio sinaliza para as mudanças que ocorrem no indivíduo ao longo do tempo. Para os autores:

*“o raciocínio clássico para matriz de covariância pode ter menos crédito nos estudos longitudinais. Quando a pessoa muda, a estrutura de erro do primeiro nível torna-se mais complexa (...). Como a mesma pessoa é medida em diferentes ocasiões, qualquer efeito na pessoa que não é explicado nos resíduos deverá criar uma correlação através das ocasiões.” (SINGER E WILLETT, 2003, p.55)<sup>25</sup>*

Além disso, os autores destacam que a estimativa dos efeitos fixos do modelo multinível (interceptos e inclinações) não fica comprometida com os limites impostos para a estimativa das componentes residuais. Entretanto, a escolha correta de uma estrutura para a matriz de covariância pode melhorar a precisão das estimativas dos efeitos fixos.

Nas próximas seções, serão apresentadas sucintamente seis estruturas alternativas para a matriz de covariância que podem ser utilizadas nos estudos longitudinais<sup>26</sup>, são elas:

Não-estruturada (UN), Simétrica Composta (CS), Simetria Composta Heterogênea (CSH),

---

<sup>25</sup> Tradução livre

<sup>26</sup> Para um estudo mais aprofundado dessas estruturas alternativas de covariância, ver Singer e Willett, 2003.

Autoregressiva de Primeira Ordem (AR1), Autoregressiva de Primeira Ordem Heterogênea (ARH1) e Toeplitz (TOEP).

#### 2.6.1.3.1-Não-estruturada (UN)

Essa matriz apresenta uma estrutura mais geral onde cada elemento da diagonal principal possui um valor que demanda dos dados. Por exemplo, um estudo longitudinal com três ondas de dados produz uma matriz de covariância com 6 parâmetros: 3 variâncias (uma para cada ocasião de medida) e 3 covariâncias. Pode-se representar essa matriz da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 & \\ \sigma_{13} & \sigma_{23} & \sigma_3^2 \end{bmatrix}$$

Singer e Willett (2003) afirmam que a matriz de covariância não estruturada é mais interessante para ser utilizada quando o estudo possui poucas ondas de dados, pois um número muito grande de medidas pode inviabilizar a estimativa dos parâmetros do modelo.

#### 2.6.1.3.2-Simétrica Composta (CS)

A matriz de covariância simétrica composta requer somente dois parâmetros  $\sigma_1^2$  e  $\sigma^2$ . Os elementos da diagonal principal são homogêneos (com variância  $\sigma^2 + \sigma_1^2$ ) em todas as ocasiões e todos os pares de resíduos têm a mesma covariância.

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 + \sigma_1^2 & & \\ \sigma_1 & \sigma^2 + \sigma_1^2 & \\ \sigma_1 & \sigma_1 & \sigma^2 + \sigma_1^2 \end{bmatrix}$$

Singer e Willett (2003) afirmam que essa estrutura de covariância pode ser mais interessante quando se encontra pouca ou nenhuma variância residual entre as inclinações das trajetórias de mudanças individuais.

#### 2.6.1.3.3-Simétrica Composta Heterogênea (CSH)

Na terceira matriz de covariância, a *Simétrica Composta Heterogênea*, os elementos da diagonal principal, são heterogêneos e respeitam o princípio da heterocedasticidade para às componentes residuais do indivíduo nas diferentes ocasiões de medida. Todos os pares de erros apresentam sua própria covariância. Essa covariância é resultado do produto dos desvios padrão e do parâmetro de autocorrelação do erro  $\rho$ , no qual a sua magnitude é sempre menor ou igual a unidade. Essa matriz pode ser representada da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & \\ \sigma_1 \sigma_2 \rho & \sigma_2^2 & \\ \sigma_1 \sigma_3 \rho & \sigma_2 \sigma_3 \rho & \sigma_3^2 \end{bmatrix}$$

#### 2.6.1.3.4-Autoregressiva de Primeira Ordem (AR1)

A matriz de covariância Autoregressiva de Primeira Ordem apresenta as variâncias residuais de forma homogênea, ou seja, os elementos da diagonal principal são iguais  $\sigma^2$ . As covariâncias são definidas pelo produto da variância residual  $\sigma^2$  com o parâmetro de autocorrelação entre os erros,  $\rho$ . Como o valor do parâmetro de autocorrelação na maioria dos casos é fracionado, o valor da covariância declina com a distância em relação à diagonal principal. Singer e Willett (2003) afirmam que para muitos pesquisadores essa estrutura de

covariância torna-se apropriada para o estudo de processos de crescimento. A matriz é apresentada a seguir:

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 & & \\ \sigma^2 \rho & \sigma^2 & \\ \sigma^2 \rho^2 & \sigma^2 \rho & \sigma^2 \end{bmatrix}$$

#### 2.6.1.3.5-Autoregressiva de Primeira Ordem Heterogênea (ARH1)

A matriz Autoregressiva de Primeira Ordem Heterogênea difere-se da matriz Autoregressiva de Primeira Ordem principalmente devido ao fato dos elementos da diagonal principal respeitarem o princípio da heterocedasticidade. As covariâncias são definidas pelo produto da variância residual  $\sigma^2$  com o parâmetro de autocorrelação entre os erros,  $\rho$ . O valor da covariância também declina quando afasta-se da diagonal principal. Essa estrutura de covariância é apresentada da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & \\ \sigma_2^2 \sigma_1^2 \rho & \sigma_2^2 & \\ \sigma_3^2 \sigma_1^2 \rho^2 & \sigma_3^2 \sigma_2^2 \rho & \sigma_3^2 \end{bmatrix}$$

#### 2.6.1.3.6-Toeplitz (TP)

A matriz Toeplitz apresenta em sua estrutura características comuns da estrutura Autoregressiva. Nessa matriz, assim como na Autoregressiva as variâncias residuais são homogêneas, ou seja, os elementos da diagonal principal são iguais  $\sigma^2$ , entretanto, as

covariâncias não são forçadas a ter nenhuma relação com os elementos da diagonal principal.

Essa estrutura de covariância é apresentada da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \sigma^2 & & \\ \sigma_1 & \sigma^2 & \\ \sigma_2 & \sigma_1 & \sigma^2 \end{bmatrix}$$

## **2.7- Fatores que influenciam a aprendizagem dos estudantes: discutindo alguns preditores.**

Nessa seção serão apresentados alguns preditores que potencialmente podem influenciar a aprendizagem dos estudantes. A escolha dos preditores foi fundamentada em alguns resultados de pesquisas educacionais encontrados na literatura.

### **2.7.1-O vocacionamento para a Física**

Pode-se encontrar em Nogueira (2004) um ponto de partida para discussão da noção de vocação. A autora fala em “formação de vocações” ao discutir sobre as escolhas profissionais dos estudantes e sinaliza para o fato da vocação não ser algo inato ao sujeito relacionado à sua constituição biológica ou psicológica, mas sim algo construído socialmente. Para caracterizar o desenvolvimento de uma vocação, a autora apresenta o exemplo dos filhos de empresários que desde muito cedo são inseridos no mundo empresarial, associando-os a empresa paterna ou abrindo um pequeno negócio, para que eles aprendam a atividade e desenvolvam o gosto ou a paixão pelos negócios.

Assim como a família interfere no desenvolvimento da vocação do indivíduo para a atuação profissional, o espaço escolar também contribui para o desenvolvimento de vocações. No caso da IFE desse estudo, que agrupa seus estudantes segundo o curso que ele frequenta,

verifica-se uma diferença no vocacionamento para o estudo da Física. Isso quer dizer que o curso pode influenciar na disposição cognitiva e afetiva do estudante orientando o seu interesse no sentido de estudar Física.

Na avaliação informal dos professores e considerando uma longa história da escola, a percepção consensual entre os professores de Física era que os estudantes do curso ETM de Instrumentação e Eletrônica apresentavam maior vocacionamento para o estudo da Física. Esses estudantes ingressam na escola por meio de concurso e, além disso, eles lidam em suas disciplinas da área técnica com diversos conceitos físicos em diferentes contextos de aplicação, por exemplo, no domínio da eletricidade, estudam circuitos elétricos através de uma abordagem microscópica para explicar os processos de condução elétrica em dispositivos elétricos e eletrônicos.

Em contrapartida, na avaliação dos professores, os estudantes do Ensino Médio e do curso ETM de Patologia Clínica eram os menos vocacionados para o estudo da Física. Os estudantes do curso de Ensino Médio ingressam na escola através de uma progressão direta da escola de educação fundamental e, além disso, os conceitos físicos estudados por eles ficam restritos as aulas de Física ministradas nas atividades de ensino médio. Os estudantes do curso ETM de Patologia Clínica, apesar de serem selecionados por concurso, lidam em seu curso técnico com disciplinas que enfatizam a Biologia e seus ramos especializados e aplicados.

Estudos anteriores (COELHO 2007; COELHO E BORGES, 2006, 2008, 2010), conduzido na mesma IFE, apontaram que os estudantes dos diferentes cursos comportavam-se diferentemente em relação à evolução no entendimento dos conceitos no domínio da eletricidade. Os resultados desses estudos mostraram que os estudantes do curso ETM de Eletrônica apresentavam padrão evolutivo mais alto quando comparado com estudantes dos outros cursos.

### **2.7.2-O gênero**

Há algumas décadas, os estudos vêm apontando uma nítida diferença no desempenho escolar entre meninos e meninas (CARVALHO, 2004). Outros estudos destacam a influência do gênero no interesse do estudante em ciência. Baram-Tsabari et. al. (2008) fazem uma revisão sobre esses estudos e, a maioria deles, destaca que os meninos possuem um maior interesse em ciência do que as meninas. Segundo os autores, esses estudos apontam que o interesse dos meninos é direcionado para o campo da física e da tecnologia e quando as meninas demonstram interesse pela ciência, ele é direcionado para o campo das ciências biológicas. Essas diferenças no interesse dos estudantes podem influenciar o desempenho escolar dos mesmos em Física.

### **2.7.3-Engajamento dos estudantes**

Fredricks, Blumenfeld e Paris (2004) fazem uma revisão da literatura apresentando os diversos trabalhos que utilizam o engajamento escolar como principal construto a ser investigado. Os autores destacam que há um consenso entre os estudos de que o engajamento surge na interação do sujeito com o contexto e que ele responde às mudanças no ambiente. Os autores destacam também a natureza multifacetada do engajamento escolar que pode ser identificado sob três formas: o engajamento comportamental, engajamento emocional e engajamento cognitivo.

O engajamento comportamental está ligado à noção de participação, o que inclui envolvimento em atividades acadêmicas e é considerado importante para alcançar um bom desempenho acadêmico. O engajamento emocional relaciona-se às reações positivas e negativas do estudante com relação aos seus professores, a sala de aula, a escola o que, segundo Fredricks, Blumenfeld e Paris (2004), influencia na disposição do estudante para realizar uma tarefa. O engajamento cognitivo está relacionado à ideia de investimento

psicológico para a aprendizagem, de manter um esforço cognitivo para entender ideias complexas e desenvolver habilidades difíceis.

Fredricks, Blumenfeld e Paris (2004) consideram que o potencial dos estudos de engajamento escolar está na relação desse construto com a aprendizagem. A relação entre aprendizagem e engajamento escolar foi investigada por Borges, Julio e Coelho (2005). Um dos resultados dessa investigação mostrou que o engajamento cognitivo influenciou positivamente a aprendizagem dos estudantes. Com relação ao engajamento comportamental, os autores esperavam que a sua manutenção no ambiente escolar sustentasse o engajamento cognitivo do estudante e, conseqüentemente, um efeito positivo na aprendizagem seria alcançado. Entretanto, esse efeito somente foi verificado nos estudantes vocacionados para o estudo da Física.

#### **2.7.4-O nível socioeconômico do estudante**

Nogueira e Nogueira (2002) destacam que a partir da década de 1960, devido às contribuições sociológicas de Pierre Bourdieu, mudou-se a concepção de escola e os diversos trabalhos da época passaram a repensar os fatores que potencialmente contribuiriam para garantir o sucesso escolar dos estudantes. Segundo os autores, a partir dessa década foi reconhecido que o sucesso escolar não poderia ser atribuído simplesmente a uma predisposição do sujeito para aprender, mas deveria levar em consideração o pertencimento do estudante a uma determinada classe social, além de considerar as dinâmicas internas das famílias a que pertence. Esse fato é um indício de que o desempenho cognitivo do estudante não é influenciado somente por fatores escolares, outros fatores, como o seu nível socioeconômico (NSE), também influenciam o seu desempenho escolar. Ao introduzir essa variável como um potencial preditor, tem-se o intuito de verificar se a evolução no entendimento dos estudantes é influenciado pelo seu NSE.



## **3-Delineamento metodológico**

### **3.1-A Lógica da investigação**

Um estudo longitudinal foi desenvolvido nessa pesquisa para investigar: (i) se os estudantes evoluem no entendimento dos conceitos de eletricidade ao longo do curso de física e para (ii) identificar os fatores (preditores) que contribuem para explicar a evolução dos mesmos nesse domínio. Nas próximas seções serão discutidos dois requisitos que segundo Singer e Willett (2003), devem ser cuidadosamente considerados nos estudos longitudinais: (i) a escolha da métrica para o tempo e (ii) a escolha dos dados que mudarão sistematicamente no tempo. A discussão sobre as ondas de dados será realizada na seção 3.2 que descreve as fontes dos dados coletados nessa pesquisa.

#### **3.1.1-A métrica do tempo**

Diversas seriam as possibilidades para a unidade temporal do estudo longitudinal desenvolvido nessa pesquisa: dias corridos, dias letivos, número de aulas, etc. O número de dias corridos e dias letivos correspondem a uma métrica aparentemente objetiva, entretanto nenhuma delas captura o tempo pelo qual os estudantes foram submetidos à instrução na disciplina física, tampouco leva em consideração as diferenças temporais relacionadas aos ritmos adotados pelos professores nas diferentes turmas. Já o número de aulas, apesar de não ser uma métrica minuciosa, detalhada e de também não especificar os diferentes ritmos das turmas, tem como vantagem utilizar a organização temporal pela qual os estudantes se guiam durante o ano letivo e que os professores planejam e executam suas atividades didáticas. Diante desse panorama, considera-se que o número de aulas ministradas durante o curso de física corresponde à melhor métrica para o tempo nesse estudo longitudinal.

### **3.1.2-O que muda ao longo do tempo?**

Nessa pesquisa será investigada a mudança no parâmetro que caracteriza as pessoas no modelo *Rasch*. O parâmetro da pessoa é uma estimativa resultante da análise *Rasch* e apresenta-se sob um contínuo de valores. Além disso, o parâmetro das pessoas será interpretado como uma medida do entendimento dos estudantes sobre eletricidade pelas seguintes razões: (i) o conteúdo substancial dos itens (que serão apresentados nas próximas seções) e a perspectiva teórica adotada permite interpretar o parâmetro da pessoa como o entendimento em eletricidade; (ii) se mantido constante o parâmetro do item (que define a sua dificuldade ou complexidade do item) entre as ocasiões de medida, o parâmetro da pessoa pode ser interpretado como a medida do entendimento do estudante em cada uma dessas ocasiões.

Os modelos da família *Rasch* permitem colocar em uma mesma “régua” (em uma mesma escala intervalar) os valores da dificuldade dos itens e do entendimento das pessoas. Como no estudo longitudinal pretende-se verificar mudanças nas pessoas, à obtenção de uma métrica comum e estável ao longo do tempo deve ser alcançada. Por isso, decidiu-se estudar a evolução através da interpretação da mudança nas posições dos estudantes em um contínuo de entendimento (através da construção de uma escala intervalar de entendimento), ao invés de interpretar a evolução do entendimento analisando somente as diferenças qualitativas entre as concepções que eles poderiam apresentar nas diferentes ocasiões de medida.

### **3.2-Coleta de dados**

Os dados coletados para essa pesquisa têm origem nas atividades de Física realizadas pelos estudantes durante as aulas da unidade de eletricidade e nas informações apresentadas pelos estudantes no vestibular de uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES). As

atividades de Física foram utilizadas para fornecer evidências sobre o entendimento dos estudantes em cada uma das ocasiões de medida e para a construção de indicadores de engajamento (tanto o cognitivo quanto o comportamental). As informações fornecidas no vestibular da IFES foram utilizadas para construir o indicador do NSE dos estudantes. Nos próximos parágrafos serão apresentadas as atividades que geraram os dados para a construção dos indicadores descritos anteriormente. As atividades utilizadas para fornecer evidências sobre o entendimento dos estudantes serão apresentadas na próxima seção, juntamente com a caracterização das ondas de dados do estudo longitudinal.

Apesar da importância do engajamento emocional para a aprendizagem dos estudantes, esse estudo não se deteve à construção de indicadores para essa faceta do engajamento, uma vez que nenhum dado coletado permitiu acessar estados afetivos dos estudantes na sala de aula. Para a construção do indicador de engajamento comportamental foram utilizadas as atividades de questões abertas que os estudantes respondiam nas aulas de Física. Essas atividades eram compostas por questões que mesclavam problemas numéricos com questões de explicitação de entendimento em determinadas situações físicas ou fenômenos. Algumas dessas atividades eram realizadas em grupo, outras eram resolvidas individualmente. O exemplo de uma dessas atividades pode ser encontrado no anexo 1.

Para a construção do indicador de engajamento cognitivo, utilizou-se os 7 testes que foram aplicados para os estudantes ao final de cada aula da unidade de eletricidade. Esses testes geralmente eram compostos por questões dicotômicas e envolviam problemas ou situações físicas sobre o tema estudado na aula. Os testes eram realizados individualmente e o anexo 2 apresenta um exemplo de um dos testes utilizados para esse momento da investigação.

Para a construção do indicador do nível socioeconômico dos estudantes foram utilizadas as respostas dos estudantes ao questionário socioeconômico do vestibular da

IFES<sup>27</sup>, pois a maior parte da amostra dessa pesquisa participou desse processo seletivo. Os estudantes ao se inscreverem no vestibular responderam a um questionário socioeconômico com itens associados à renda familiar, a escolaridade do chefe de família, ao nível de conforto doméstico, além de itens relacionados a determinados bens duráveis, dentre outros. As respostas a essas questões permitiram a sua classificação socioeconômica.

### **3.2.1-As ondas de dados**

Singer e Willet (2003) sugerem que os estudos longitudinais sejam desenvolvidos com três ou mais ondas de dados e para atender a esse requisito, essa investigação foi desenhada com três ondas de dados. Em cada onda, atividades ou provas foram aplicadas para os estudantes. Nas duas primeiras ondas de dados, os estudantes responderam à duas questões dissertativas que envolviam uma mesma situação física. Na terceira onda, os estudantes responderam a uma prova com questões fechadas, que apesar de não envolver a elaboração de uma redação como nas atividades das duas primeiras ondas, exigia a recordação de conceitos e teorias, a aplicação de conceitos em uma situação não familiar. Além disso, as questões da prova e das atividades dissertativas abarcavam os conceitos físicos inerentes ao funcionamento de um circuito elétrico. Dessa forma, em todas as atividades os estudantes foram avaliados quanto ao seu entendimento sobre a natureza da corrente elétrica, as transformações de energia e os princípios de conservação envolvidos em um circuito elétrico.

#### ***3.2.1.1-Primeira onda***

Na primeira onda, 128 estudantes responderam a um instrumento qualitativo aplicado antes da unidade de eletricidade ser ministrada na terceira série, período esse correspondente à

---

<sup>27</sup> Os dados foram fornecidos pela Comissão Permanente do Vestibular da IFES.

trigésima (30ª aula) de física do ano de 2008. No instrumento solicitava-se aos estudantes que respondessem a seguinte questão:

*Uma ação cotidiana e corriqueira é apertar um interruptor e acender uma lâmpada, no teto ou no abajur. A figura mostra um modelo mais simples dessa situação: uma pilha comum está ligada a um interruptor e a uma lâmpada de lanterna. Ao pressionar o interruptor a lâmpada acende. Redija um texto explicando, de forma mais clara possível, tudo o que ocorre na pilha, fios, interruptor e na lâmpada quando ela está acesa.*

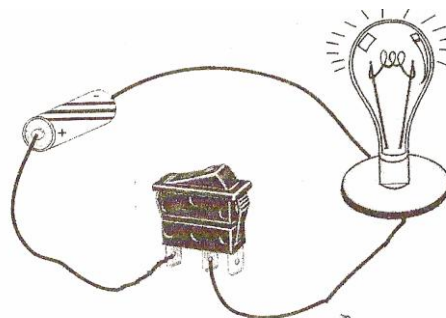


FIGURA 4: Representação de um circuito elétrico simples

Dos 128 estudantes, 66 eram do sexo masculino e 62 do sexo feminino. Na turma de Ensino Médio foram analisados os dados de 24 estudantes, na turma ETM de Química foram analisados os dados de 30 estudantes, na turma ETM de Patologia Clínica foram analisados os dados de 21 estudantes e para as turmas mistas com estudantes do curso ETM de Eletrônica e Instrumentação Industrial, foram analisados os dados de 53 estudantes.

### **3.2.1.2-Segunda onda**

Na segunda onda, 100 estudantes responderam a uma tarefa dissertativa. A atividade foi realizada pelos estudantes na trigésima quinta aula (35ª aula) de física e, nesse momento, a unidade de eletricidade já estava em andamento. Na atividade relacionada à segunda onda, os estudantes responderam a seguinte questão:

*Descreva da forma mais completa possível, as transformações que ocorrem em uma lâmpada incandescente após ela ser ligada.*

Dos 100 estudantes que responderam a questão, 46 eram do sexo masculino e 54 do sexo feminino. Na turma de Ensino Médio foram analisados os dados de 17 estudantes, na turma ETM de Química foram analisados os dados de 24 estudantes, na turma ETM de Patologia Clínica foram analisados os dados de 27 estudantes e para as turmas mistas com

estudantes do curso ETM de Eletrônica e Instrumentação foram analisados os dados de 32 estudantes.

### ***3.2.1.3-Terceira onda***

Na terceira onda, 147 estudantes responderam à prova trimestral que foi aplicada no final do ano de 2008. Essa prova foi realizada na sexagésima sexta aula (66<sup>a</sup> aula) e a unidade de eletricidade já tinha sido finalizada antes dessa aula. A distância temporal entre a segunda e a terceira onda e o fato da unidade de eletricidade ter sido finalizado pouco tempo antes de ser realizada a terceira medida, não comprometem a análise da evolução no entendimento dos estudantes em eletricidade (especificamente eletrodinâmica), isso porque diversos conceitos desse domínio foram utilizados em outros contextos nesse intervalo de tempo, principalmente em eletromagnetismo que foi um dos últimos tópicos a ser ministrado no curso de Física no ano de 2008.

A prova trimestral foi estruturada na forma de um teste do tipo Vou F e os estudantes ainda tinham a possibilidade de responder que não sabiam o item, marcando a terceira opção NS. Apesar da escolha dessa opção pelos estudantes ter sido residual ao marcá-la, considerou-se a resposta do estudante como sendo errada. Outro aspecto prova é que cada questão possuía sempre dois itens associados, ou seja, para um mesmo estímulo fornecido, o estudante deveria responder a dois itens. Esse tipo de teste é conhecido na literatura como “testlet” ou “item bundle” (WILSON E ADAMS, 1995). Apesar da prova apresentar uma estrutura de um “testlet”, esse estudo não o tratou como tal e foi analisado o desempenho dos estudantes em cada item separadamente.

A prova foi composta por questões que contemplavam três temáticas da Física estudadas ao longo do ano: (i) mecânica; (ii) eletricidade e (iii) eletromagnetismo. Como o interesse era investigar o entendimento dos estudantes sobre os conceitos de eletricidade,

foram analisadas somente as questões relacionadas a essa temática. Apesar da prova trimestral apresentar quatro variações (provas A, B, C e D), as questões em cada uma das provas apresentavam a mesma numeração e os mesmos estímulos. Dessa forma, foram analisadas as questões 30 a 41, 54 e 55 e dessas questões foram excluídos os itens 32B, 33B e 39A que apresentavam erros de digitação. No total foram analisados 29 itens de cada prova. O quadro 2 apresenta um exemplo de uma questão de eletricidade pertencente à prova trimestral. As outras questões e as variações da prova trimestral são apresentadas no anexo 3 desse relatório de pesquisa.

**QUADRO 2:** Exemplo de uma questão de eletricidade da prova trimestral

<b>Questão 34 -</b> Sobre um circuito elétrico simples, pode-se afirmar que:				
<b>34A</b>	V	F	NS	Considerando a corrente convencional, se uma quantidade de carga elétrica de 1C atravessa uma fonte de 20V do terminal positivo para o negativo, a corrente retira 20J da fonte.
<b>34B</b>	V	F	NS	Considerando a corrente eletrônica, se uma quantidade de carga elétrica de 1C atravessa uma fonte de 20V do terminal positivo para o negativo, a corrente fornece 20J da fonte.

Dos 147 estudantes que fizeram a prova trimestral, 73 deles eram do sexo feminino e 74 do sexo masculino. Na turma de Ensino Médio foram analisados os dados de 24 estudantes, na turma ETM de Química foram analisados os dados de 32 estudantes, na turma ETM de Patologia Clínica foram analisados os dados de 28 estudantes e para as turmas mistas com estudantes do curso ETM de Eletrônica e Instrumentação, foram analisados os dados de 63 estudantes.

As tarefas utilizadas nessa pesquisa estavam estruturadas de tal forma que elas não somente apresentavam questões de explicitação de conceito, mas também situações problemas associadas à física envolvida no funcionamento de um circuito elétrico e, por isso, pode-se considerar que elas avaliavam o entendimento dos estudantes no domínio da eletricidade.

### **3.3-Método de análise dos dados**

Nas próximas seções as metodologias utilizadas para análise dos dados serão apresentadas. Considerando que os dados foram obtidos por instrumentos de diferentes naturezas, as análises empregadas para a construção de uma escala que mensurasse o entendimento dos estudantes em cada ocasião de medida foram diferenciadas. Os dados resultantes dos instrumentos qualitativos foram analisados levando em consideração um sistema categórico hierárquico construído a partir das respostas dadas pelos estudantes às questões propostas.

O instrumento quantitativo foi analisado levando em consideração o acerto dos estudantes aos itens dicotômicos da prova trimestral. Além disso, esse instrumento foi analisado levando em consideração a equalização dos itens das quatro variações da prova trimestral com o intuito de construir uma medida única que correspondesse ao entendimento dos estudantes ao resolverem as questões dessa prova.

#### **3.3.1-Analisando os instrumentos qualitativos: a construção de um sistema categórico**

Nesse momento, será explicitado o processo envolvido na construção do sistema categórico utilizado para analisar as respostas dos estudantes às duas questões dissertativas que envolviam situações físicas relacionadas ao funcionamento do circuito elétrico simples. O sistema categórico construído permite acessar o entendimento dos estudantes sobre os conceitos envolvidos no fenômeno físico descrito.

O sistema categórico foi construído inspirado na análise da estrutura lógica e na ordem hierárquica de abstração proposto por Dawson (2005) em seu LAS, entretanto devido a brevidade das respostas dadas pelos estudantes às questões dissertativas, analisou-se a ordem hierárquica de entendimentos presentes na estrutura conceitual dos seus argumentos. Apesar



das diferenças existentes entre o LAS e o sistema categórico construído nesse estudo, ambos apresentam um sistema de códigos do tipo rubrica para analisar o entendimento do sujeito em relação a um domínio de conhecimento.

Um sistema categórico do tipo rubrica consiste em critérios avaliativos que se utiliza uma escala hierárquica (ordinal) em termos descritivos que permite a discriminação dentre os diferentes tipos de entendimento, qualidade ou desempenho do estudante, no qual no extremo inferior dessa escala encontram-se os atributos ou características associadas a menor desempenho na tarefa e no extremo superior encontram-se os atributos associados ao melhor desempenho alcançado pelos estudantes na mesma tarefa. Jonsson e Svingby (2007) consideram que um sistema categórico dessa natureza permite avaliar a complexidade do pensamento do estudante de forma mais acurada. Os autores também consideram que esse sistema avaliativo concilia uma proposta de avaliação formativa, por permitir aos professores avaliarem qualitativamente seus estudantes e, dessa forma, torna possível identificar as suas dificuldades e deficiências, com a avaliação somativa, por permitir a atribuição de uma pontuação na classificação do desempenho dos estudantes.

O sistema categórico apresenta estrutura semelhante ao sistema desenvolvido por Amantes (2009) para analisar o entendimento dos estudantes do ensino médio sobre o princípio de funcionamento da televisão. A construção desse sistema constituiu-se como um processo dinâmico. Antes de iniciar a leitura das respostas dos estudantes um processo de “mascaramento” desses sujeitos foi desenvolvido, ou seja, cada estudante foi identificado através de um código, composto por uma sequência de três números. Esse procedimento foi importante para manter as reais garantias de privacidade e anonimato dos participantes do estudo.

Uma primeira leitura das respostas dos estudantes foi realizada para elencar os principais temas envolvidos em suas explicações na resolução das questões. Os principais

temas mobilizados na explicação da situação física foram: (i) Diferença de potencial entre os polos da fonte, (ii) força eletromotriz, (iii) campo elétrico, (iv) emissão de luz e (v) resistência elétrica. O tema emissão de luz foi dividido em dois tópicos específicos, pois em cada um deles o enfoque dado para explicação da emissão da luz pela lâmpada foi diferenciado. No tópico denominado emissão de luz (a), o foco das explicações dos estudantes estava no fenômeno da incandescência, enquanto que no tópico na emissão de luz (b) o foco das explicações dos estudantes estavam na identificação das transformações de energia que ocorrem na lâmpada.

Em uma segunda leitura foram elencadas as diversas concepções dos estudantes em cada um dos temas descritos anteriormente. Depois do levantamento das concepções dos estudantes, iniciou-se o processo de construção do sistema de rubricas para categorização de suas respostas. Durante o processo de construção do sistema categórico, um diálogo foi estabelecido com alguns trabalhos da área de ensino de física, especificamente com Osborne (1983), Shipstone (1984), Borges (1999), Coelho (2007) e Coelho e Borges (2006,2008) que construíram modelos para analisar o entendimento dos estudantes no domínio da eletricidade.

O entendimento mais complexo evidenciado em um determinado tema, não necessariamente corresponde ao sistema de explicação mais sofisticado encontrado na Física, pois esse sistema categórico foi desenvolvido a partir das explicações dadas pelos estudantes ao problema proposto. O sistema categórico é apresentado no quadro 3, no qual explicita o aumento da complexidade do entendimento em cada um dos temas ao mesmo tempo que algumas respostas típicas, relacionadas a cada uma das categorias, são apresentadas.

QUADRO 3: Temas, entendimentos e respostas típicas do sistema categórico sobre a Física envolvida no funcionamento de circuitos elétricos simples

TEMAS	CONCEPÇÕES	EXEMPLOS
Diferença de potencial nos polos da fonte	DDP1- O estudante entende a pilha como fonte de algo (energia, corrente, carga) que pode fluir no circuito.	<i>“A pilha fornece eletricidade para o fio, que passa pelo interruptor (...)”.</i> (Estudante 134)
	DDP2- O estudante entende a pilha como fonte de energia para o circuito, mas não reconhece a existência de uma diferença de potencial entre os seus terminais.	<i>“Quando fechamos o circuito (ligando o interruptor) a energia liberada pela pilha (...)”.</i> (Estudante 152)
	DDP3- O estudante entende a pilha como fonte de energia para o circuito e menciona a existência de uma diferença de potencial entre os seus terminais.	<i>“A pilha é uma fonte de energia. Devido a DDP elétrons saem do polo negativo com destino ao positivo (...)”.</i> (Estudante 101)
	DDP4- O estudante entende a pilha como fonte de energia para o circuito, menciona a existência de uma diferença de potencial entre os seus terminais e evidencia as transformações de energia que ocorrem em seu interior (energia química em energia elétrica).	<i>“Primeiramente temos uma fonte produtora de energia uma pilha onde irá ocorrer uma redução de oxido-redução entre os elementos químicos os quais ela é composta (...), assim geramos uma diferença de potencial entre seus polos (...)”.</i> (Estudante 104)
Força eletromotriz	Fem1- O estudante sugere que a pilha exerce influência sobre as cargas que a atravessam.	<i>“Ao voltar para a pilha a reação química possibilita que a carga negativa vá do positivo para o negativo dentro da pilha (...)”</i> (Estudante 153).
	Fem2- O estudante considera que a pilha exerce influência sobre as cargas que a atravessam e, essa influência, está associada a energia transferida ou trabalho realizado pela fonte.	<i>“(…) Quando esses elétrons chegam ao polo positivo e a fonte realiza um trabalho sobre os elétrons, fazendo com que os elétrons sejam conduzidos em seu interior para o polo negativo da pilha (...)”</i> (Estudante 226).
Campo elétrico	Ce1- O estudante pressupõe que um campo elétrico é estabelecido no circuito.	<i>“(…) Esta diferença de potencial gera um campo elétrico.”</i> (Estudante 148).
	Ce2- O estudante pressupõe que um campo elétrico é estabelecido no circuito e o associa ao surgimento da corrente elétrica.	<i>“(…) O campo elétrico provoca a movimentação dos elétrons livres do condutor (...)”</i> (Estudante

		209).
Emissão de luz (a) (fenômeno da incandescência)	EL1a- Para explicar o fenômeno da incandescência, o estudante considera que a lâmpada emite energia na forma de luz ou na forma de calor.	<i>“(…) Essa corrente ao passar pelo filamento de tungstênio o aquece seu aquecimento faz com que o material emita luz.” (Estudante 187)</i>
	EL2a- Para explicar o fenômeno da incandescência, o estudante considera que a lâmpada emite energia na forma de luz e na forma de calor.	<i>“(…) A corrente quando chega ao filamento de tungstênio, esse esquenta emitindo energia luminosa e energia térmica (…)”.</i> (Estudante 188)
	EL3a- Para explicar o fenômeno da incandescência, o estudante considera que a energia elétrica é convertida (via efeito Joule) em energia luminosa e calor.	<i>“(…) Quando os elétrons passam pelo filamento da lâmpada eles se chocam com os átomos do filamento e sua energia cinética é transformada em calor, que aquece o filamento e faz com que ele emita luz.” (Estudante 215)</i>
Emissão de luz (b) (Transformações de energia na lâmpada)	EL1b- O estudante considera que a lâmpada emite energia na forma de luz e calor, devido a passagem da corrente elétrica em seu filamento.	<i>“(…) essa corrente quando passa pelo filamento a lâmpada emite luz e calor (…)”</i> (Estudante 115)
	EL2b- O estudante considera que a lâmpada converte energia elétrica em energia luminosa, devido a passagem da corrente elétrica em seu filamento.	<i>“Os elétrons seguem o caminho até a lâmpada, onde a transformação da sua energia elétrica em energia luminosa que permite acender a mesma (…)”</i> (Estudante 140)
	EL3b- O estudante considera que a lâmpada converte energia elétrica em energia luminosa e calor, devido a passagem da corrente elétrica em seu filamento.	<i>“(…) a medida que apertarmos o interruptor a corrente pode passar por todo o circuito e a lâmpada acende devido a transformação de energia elétrica em energia luminosa e térmica (…)”</i> (Estudante 130)
Corrente elétrica como fluxo de cargas elétricas	FCE1- O estudante entende corrente elétrica como algo que flui pelo circuito.	<i>“(…) quando pressionamos o interruptor fechamos o caminho da corrente, assim deixando que ela alcance a lâmpada”</i> (Estudante 111)
	FCE2- O estudante entende corrente elétrica como fluxo de carga elétrica no circuito.	<i>“Quando o interruptor é acionado ele fecha um caminho (…). Assim como esse caminho existe, as cargas vão circular pelo sistema (…)”</i> (Estudante 103)

	<b>FCE3- O estudante entende corrente elétrica como fluxo elétrons no circuito.</b>	<i>“Ao acionarmos o interruptor (...) ocorre o fechamento do circuito, o que permitirá que haja circulação de elétrons pelo fio.” (Estudante 176)</i>
	<b>FCE4- O estudante entende corrente elétrica como fluxo de elétrons livres do circuito.</b>	<i>“(...) O interruptor pressionado faz com que os elétrons livres presentes no fio que o liga à pilha migrem em direção ao polo positivo da mesma.” (Estudante 139)</i>
	<b>FCE5- O estudante entende corrente elétrica como fluxo de elétrons livres do circuito e como meio de transporte de energia.</b>	<i>“(...) Essa energia está contida nos elétrons livres do circuito.” (Estudante 135)</i>
<b>Resistência elétrica</b>	<b>R1- O estudante sugere que existe uma resistência elétrica no circuito.</b>	<i>“Quando essa energia chega a lâmpada ela encontra uma dificuldade em continuar sendo transmitida pelos elétrons (...)” (Estudante 208)</i>
	<b>R2- O estudante considera que existe uma resistência elétrica no circuito.</b>	<i>“(...) ao passar pelo resistor da lâmpada a energia elétrica se transforma em energia luminosa.” (Estudante 126)</i>
	<b>R3- O estudante considera que existe uma resistência elétrica no circuito e a associa à oposição ao fluxo da corrente elétrica.</b>	<i>“A lâmpada é um componente predominantemente resistivo, ou seja, dificulta a passagem da corrente elétrica por ele (...)” (Estudante 109)</i>
	<b>R4- O estudante considera que existe uma resistência elétrica no circuito, associando-a a oposição ao fluxo da corrente elétrica e dependente das propriedades do material e da densidade de carga elétrica.</b>	<i>“Quando a corrente elétrica passa pelo filamento da lâmpada (elemento resistivo), esta feita com materiais como de tungstênio, esta lâmpada gera uma queda de tensão devido a sua resistividade alta (...)” (Estudante 105)</i>

### 3.3.2- Analisando o instrumento quantitativo: equalizando os diferentes tipos da prova trimestral

O interesse em analisar o instrumento quantitativo foi evidenciar o entendimento dos estudantes no domínio da eletricidade. Como os estudantes responderam a quatro tipos de prova (provas tipo A, B, C

e D), uma *equalização*<sup>28</sup> foi realizada para construir uma métrica comum e identificar o entendimento dos estudantes na prova trimestral. Para estabelecer essa *equalização* foram identificados os itens comuns entre os diferentes tipos de prova e foi realizada uma ancoragem interna entre eles. Na ancoragem interna uma associação em série dos itens é desenvolvida, ou seja, coloca-se em uma mesma coluna os itens comuns dos

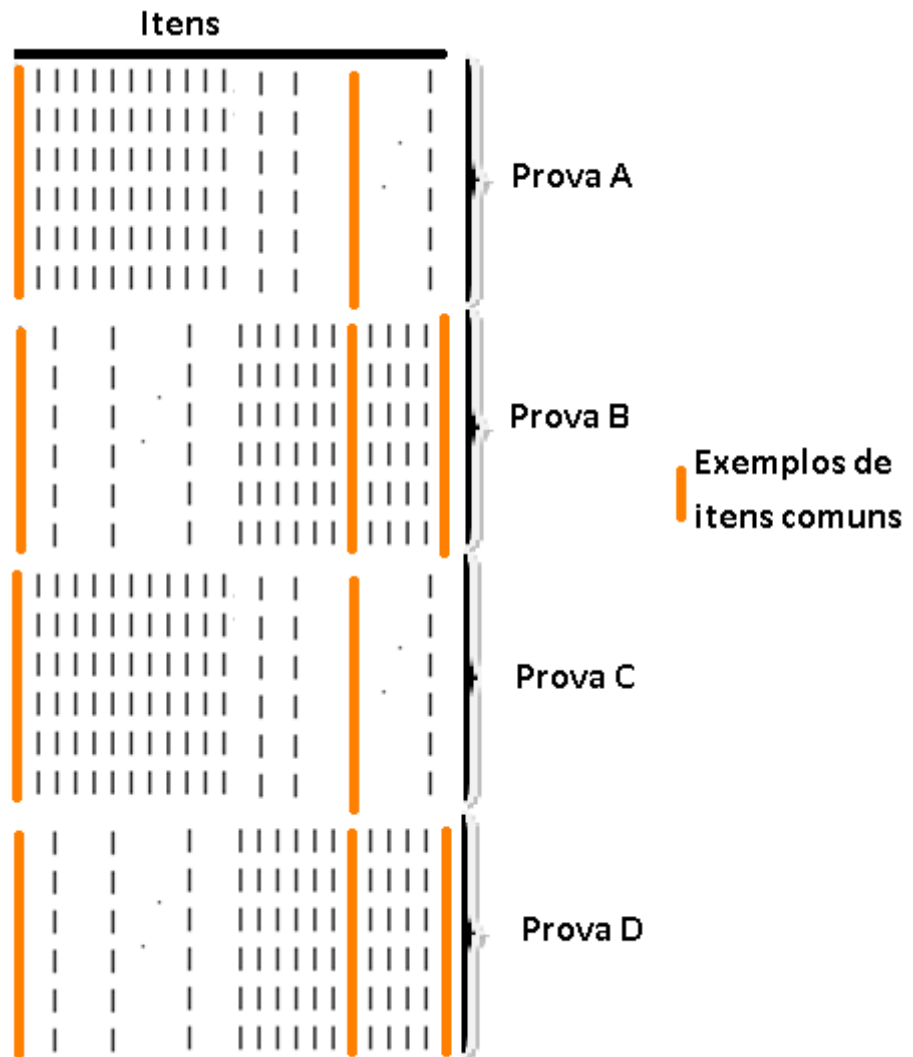


FIGURA 5: Representação da equalização entre as quatro variações da prova trimestral

<sup>28</sup> Silva e Soares (2010), ao apresentarem conceitos básicos sobre medidas educacionais, afirmam que o termo equalização deve ser utilizado quando se comparam os resultados de diferentes formas de um mesmo teste que foi projetado para ser paralelo. Os autores ainda acrescentam que os testes devem possuir os mesmos descritores, a mesma estrutura, mesma forma de aplicação e as populações devem ser equivalentes. Como as variações da prova trimestral apresentam essas características utilizou-se o termo equalização para esse procedimento.

diferentes tipos de prova e os itens distintos são deslocados e associados em paralelo. A Figura 5 exemplifica o formato geral da matriz de dados a serem conectados após o reconhecimento dos itens comuns.

Itens comuns não são simplesmente aqueles que apresentam o mesmo enunciado, são aqueles que exigem do estudante o entendimento dos mesmos conceitos para sua resolução. Por exemplo, a questão 32A da prova tipo A apresenta o mesmo enunciado do item 32 A da prova tipo C, que se distingue do enunciado proposto no item 32A das provas B e D. Entretanto, apesar dessas diferenças nos enunciados referentes ao item 32A, em todas as provas, o item requer que os estudantes explicitem o entendimento sobre o princípio de conservação da corrente elétrica. Os itens e o entendimento que os estudantes precisavam mobilizar para sua resolução estão descritos no quadro 3<sup>29</sup>.

QUADRO 4: Entendimento necessário para resolução de cada um dos itens da prova trimestral

<b>Tipo de Prova/Item</b>	<b>Entendimento necessário para resolução do item</b>
A30A, C30A, B30B,C30B	Determinação do sentido da corrente elétrica em um dispositivo metálico.
A30B, D30B,B30A,D30A	Determinação do sentido da corrente elétrica em um dispositivo iônico.
A31A, B31A,C31A,D31A	Propriedades associadas ao efeito Joule.
A31B,D31B	Determinação da densidade de corrente elétrica em um condutor.
C31B,B31B	Definição da corrente elétrica em um dispositivo iônico.
A32A,B32A,C32A,D32A	Conservação da corrente elétrica em um circuito elétrico simples.
A33A,B33A,C33A,D33A	Determinação da quantidade de energia elétrica transformada em um dispositivo.
A34A, B34A,C34A,D34A	Trabalho não eletrostático estabelecido pela fonte para manter constante a corrente convencional em um circuito.
A34B, B34B,C34B,D34B	Trabalho não eletrostático estabelecido pela fonte para manter constante a corrente eletrônica em um circuito.
A35A,C35A	Efeitos sobre a quantidade de energia disponível no circuito levando em consideração as diferentes associações das fontes.
B35A,D35A	Efeitos sobre a corrente elétrica drenada no circuito levando em

<sup>29</sup> Cada item do quadro está especificado pelo tipo de prova e pela identificação original da questão na prova trimestral. Dessa forma, a letra que antecede o número representa o tipo de prova do qual o item se originou. Por exemplo, o código A31A representa o item 31A da prova tipo A.

	consideração as diferentes associações das fontes.
A35B,B35B,C35B,D35B	Efeitos sobre a potência dissipada no circuito levando em consideração as diferentes associações das fontes.
A36A,B36A,C36A,D36A	Determinação da resistência elétrica em um dispositivo através da análise gráfica.
A36B,B36B,C36B,D36B	Determinação da potência dissipada em um dispositivo através da análise gráfica.
A37A,C37A	Efeitos sobre a corrente elétrica estabelecida em um circuito ao alterarmos as propriedades de uma associação em série de resistores.
D37A,B37A	Efeitos sobre a potência dissipada em dispositivo ao alterarmos as propriedades de uma associação em série de resistores (retirando um resistor).
A37B, B37B,C37B,D37B	Efeitos sobre a potência dissipada em um dispositivo ao alterarmos as propriedades de uma associação em série de resistores (associando um resistor em paralelo)
A38A, C38A	Efeitos sobre a corrente elétrica estabelecida em um circuito ao alterarmos as propriedades de uma associação em paralelo de resistores.
D38A, B38A	Efeitos sobre a potência dissipada em um dispositivo ao alterarmos as propriedades de uma associação em paralelo de resistores (retirando um resistor).
A38B, B38B,C38B,D38B	Efeitos sobre a potência dissipada em um dispositivo ao alterarmos as propriedades de uma associação em paralelo de resistores (associando mais um resistor em paralelo)
A39B, B39B, C39B, D39B	Determinação da diferença de potencial estabelecida nos terminais dos resistores de uma associação mista.
A40A, D40A	Determinação da corrente elétrica drenada levando em consideração a resistência equivalente e a diferença de potencial estabelecida no circuito.
B40A, C40A	Princípio da conservação da corrente elétrica em uma associação mista de resistores (Primeira lei de Kirchhoff- lei dos nós).
A40B, B40B, C40B	Princípio da conservação da energia em um circuito elétrico (Segunda lei de Kirchhoff- lei das malhas)
A41A,B41A,C41A, D41A	Alterações na intensidade da corrente elétrica drenada ao curto-circuitarmos um trecho do circuito.
A41B,B41B,C41B	Alterações na diferença de potencial e na potência dissipada ao curto-circuitarmos um trecho do circuito.
A54A,B54A,C54A,D54A	Alterações na intensidade da corrente causadas pelas mudanças nas condições iniciais de um sistema no qual a resistência nos fios seja desprezível.
A54B,B54B,C54B,D54B	Alterações na diferença de potencial nos terminais dos dispositivos causadas pelas mudanças nas condições iniciais de um sistema no qual a resistência nos fios seja desprezível.
A55A,B55A,C55A,D55A	Alterações na intensidade da corrente causadas pelas mudanças nas condições iniciais de um sistema no qual a resistência nos fios não seja desprezível.
A55B,B55B,C55B,D55B	Alterações na diferença de potencial nos terminais dos dispositivos causadas pelas mudanças nas condições iniciais de um sistema no qual a resistência nos fios não seja desprezível.



### 3.3.3-Transformando dados categóricos em uma escala dicotômica

O sistema categórico permite acessar qualitativamente o entendimento dos estudantes. Entretanto, para posicionar os estudantes em uma escala contínua de entendimento, ou seja, para construir uma “régua” para medir o entendimento deve-se conduzir o modelamento *Rasch*. Para conduzir esse modelamento nos dados referentes às duas primeiras ondas, os dados categóricos foram transformados em um sistema de itens com respostas dicotômicas. Com relação aos dados referentes à terceira onda, nenhuma transformação precisou ser realizada para conduzir o modelamento por causa da estrutura dicotômica da prova trimestral.

A hierarquia entre as categorias de cada tema do sistema categórico (descrito no quadro 3) estão relacionadas a novos elementos que foram incorporados a entendimentos presentes nas categorias menos sofisticadas (aumento da complexidade hierárquica). Por isso, ao transformar os dados categóricos em um sistema de dados dicotômicos, considerou-se que o estudante pontuado como 1 em uma categoria mais sofisticada da escala, também seria pontuado como 1 nas categorias que antecedem. Dessa forma, uma escala do tipo Guttman (GUTTMAN, 1944), que é acumulativa em cada tema analisado, foi construída. Para exemplificar essa transformação pode ser utilizado o argumento presente na resposta do estudante 130 ao explicar o processo de emissão de luz por uma lâmpada. Segundo o estudante “(...) *a medida que apertarmos o interruptor a corrente pode passar por todo o circuito e a lâmpada acende devido a transformação de energia elétrica em energia luminosa e térmica (...)*”.

Para o tema emissão de luz com o foco nas transformações de energia que ocorrem na lâmpada, a resposta do estudante foi interpretada como pertencente à categoria EL3b, que corresponde ao entendimento mais sofisticado desse tema. Dessa forma, por se tratar de uma escala acumulativa, o estudante foi pontuado como 1 nas

categorias E11b e E12b que correspondem a níveis de entendimento menos sofisticados se comparados com a categoria E13b. O exemplo de transformação dos dados pode ser visto na tabela 1.

TABELA 1: Exemplo da transformação de dados categóricos em um sistema de dados dicotômicos

<b>Estudante</b>	<b>Emissão de luz (foco nas transformações de energia na lâmpada)</b>		
	<b>E11b</b>	<b>E12b</b>	<b>E13b</b>
<b>130</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Após a transformação do sistema de categorias hierárquicas em um sistema de respostas dicotômicas, considerou-se que cada uma das categorias passou a corresponder a um item de uma escala, portanto, a escala seria composta por 23 itens pontuados como 0 ou 1 (correspondendo aos 23 códigos utilizados para categorizar as respostas dos estudantes durante a análise das questões dissertativas). Com relação à prova trimestral, o estudante poderia ser pontuado com 1 se respondesse corretamente ao item e pontuado com 0 se o item for respondido de forma incorreta. Dessa forma, a escala dicotômica resultante da prova trimestral seria composta por 30 itens.

### **3.3.4-Transformando os preditores da aprendizagem em variáveis numéricas**

Para investigar os fatores que contribuem para explicar as diferenças nas trajetórias de aprendizagem dos estudantes em Física, precisa-se estabelecer uma relação entre a variável independente (tempo) e os preditores da aprendizagem. Nessa seção, serão apresentados os processos de transformação dos preditores, descritos no capítulo 2, em variáveis categóricas ou dicotômicas.

#### ***3.3.4.1-O gênero e a turma***

Para o preditor gênero construiu-se um indicador dicotômico no qual as meninas foram representadas como 0 e os meninos representados como 1. As seis turmas foram identificadas por números que vão de 1 a 6.

#### ***3.3.4.2-O vocacionamento para a Física (curso frequentado pelo estudante)***

Na instituição que a pesquisa foi realizada, tradicionalmente os estudantes são agrupados em turmas relacionadas ao curso que ele frequenta. Entretanto, no ano de 2008 foram construídas turmas mistas (1,4 e 5) agrupando, em cada uma delas, estudantes do curso ETM de Eletrônica e Instrumentação. Como nesse momento o foco era identificar o curso de cada estudante, foi necessária a construção de outro indicador, além do que foi construído para a turma apresentado anteriormente.

Os estudantes das três turmas compostas por estudantes do curso ETM de Eletrônica e Instrumentação foram agrupados e passaram a constituir uma única categoria. Essa categoria foi construída com o intuito de verificar se os estudantes que frequentavam esses cursos apresentavam diferenças evolutivas em Física se comparados com os estudantes dos outros cursos. Dessa forma, construiu-se um indicador categórico de maneira que os estudantes ETM de Eletrônica e Instrumentação pertenceriam a categoria 1, os estudantes do curso de Ensino Médio pertenceriam a categoria 2, os estudantes do curso ETM de Patologia Clínica pertenceriam a categoria 3 e na categoria 4 seriam agrupados os estudantes do curso ETM de Química.

#### ***3.3.4.3-O engajamento comportamental***

Com relação ao engajamento comportamental, o foco estava em verificar a participação dos 147 estudantes na realização das atividades cotidianas, por isso, o

indicador para essa faceta do engajamento foi construído levando em consideração a média de atividades realizadas pelos estudantes durante a unidade de eletricidade. Foram propostas 24 atividades durante a unidade e a uma realização média de 21 atividades. Dessa forma, foram construídas duas categorias para o engajamento comportamental: (i) a categoria de baixo engajamento comportamental contemplava os estudantes que realizaram um número menor ou igual a 21 atividades. Essa categoria era composta por 67 estudantes; (ii) a categoria de alto engajamento comportamental contemplava os estudantes que realizaram mais do que 21 atividades. Essa categoria era composta por 80 estudantes.

#### ***3.3.4.4-O engajamento cognitivo***

O engajamento cognitivo está associado a um maior investimento intelectual do estudante com o objeto de ensino, por isso, para construir um indicador para essa faceta do engajamento, foi analisado o desempenho dos estudantes nos 7 testes aplicados no final de cada aula, no período em que a unidade de eletricidade foi ministrada. Ao invés de comparar a média de cada estudante nos testes, decidiu-se por analisar as trajetórias individuais dos estudantes, tomando como base o desempenho dos mesmos em cada um dos testes. Essa estratégia foi utilizada por Yan (2000) para definir diferentes padrões de aprendizagem dos estudantes na utilização de um software estatístico.

Foram construídas as trajetórias somente dos estudantes que realizaram todos os testes, por isso, foram traçadas 86 trajetórias. Depois de traçar as 86 trajetórias, foram identificadas 4 trajetórias padrões que descreveriam o comportamento dos estudantes com relação ao seu engajamento cognitivo ao longo da unidade de eletricidade:

**Estável (E):** Nessa categoria, a trajetória aproxima-se de uma linha reta e descreve o comportamento regular do estudante quanto ao seu desempenho nos testes e, conseqüentemente, determina uma regularidade em relação ao seu engajamento cognitivo. Vale ressaltar que os 14 estudantes que apresentaram esse perfil alcançaram alto desempenho nos testes e, por isso, mantiveram o nível elevado para o engajamento cognitivo. Os estudantes 102 e 204 apresentaram uma trajetória estável com pequenas flutuações com relação ao seu engajamento cognitivo ao longo das aulas.

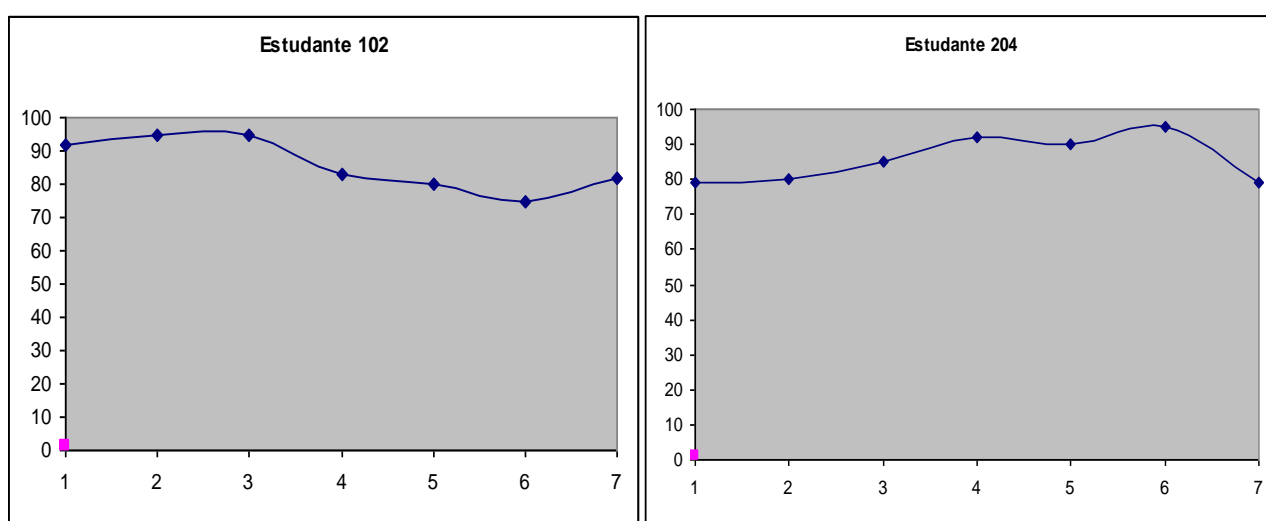


FIGURA 6: Exemplos de trajetórias estáveis

**Oscilatória Harmônica (OH):** Nessa categoria, a trajetória aproxima-se da curva resultante de um gráfico posição versus tempo de um oscilador harmônico. Isso significa que o desempenho do estudante no teste oscila periodicamente ao longo da unidade de eletricidade e, conseqüentemente, determina uma instabilidade em relação ao seu engajamento cognitivo, apresentando momentos de alto engajamento e outros de baixo engajamento. 28 estudantes apresentaram esse perfil. Os estudantes 109 e 196 apresentaram esse tipo de comportamento instável em relação ao engajamento cognitivo.

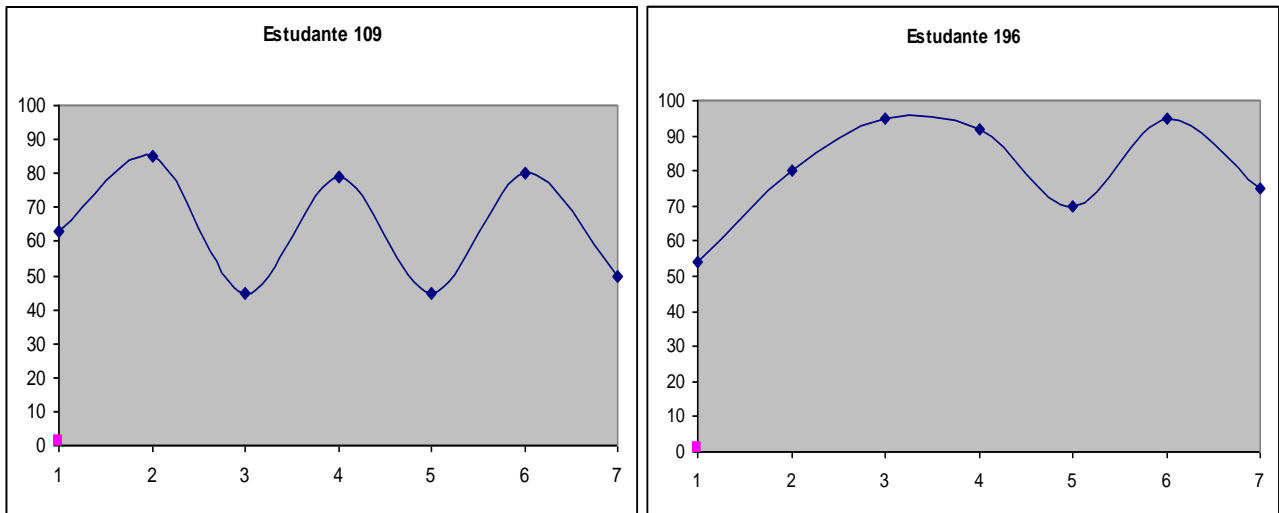


FIGURA 7: Exemplos de trajetórias oscilatórias harmônicas

**Oscilatória Forçada (OF):** Nessa categoria, a trajetória aproxima-se de uma curva resultante de um gráfico posição versus tempo de um oscilador sobre o qual foi realizado um trabalho positivo e, conseqüentemente, ocorre um aumento na amplitude de oscilação do sistema. Isso significa que o desempenho do estudante torna-se cada vez mais instável à medida que se aproxima do final da unidade de eletricidade. 21 estudantes apresentaram esse perfil. Os estudantes 156 e 234 apresentaram esse tipo de comportamento associado ao aumento da instabilidade em relação ao engajamento cognitivo.

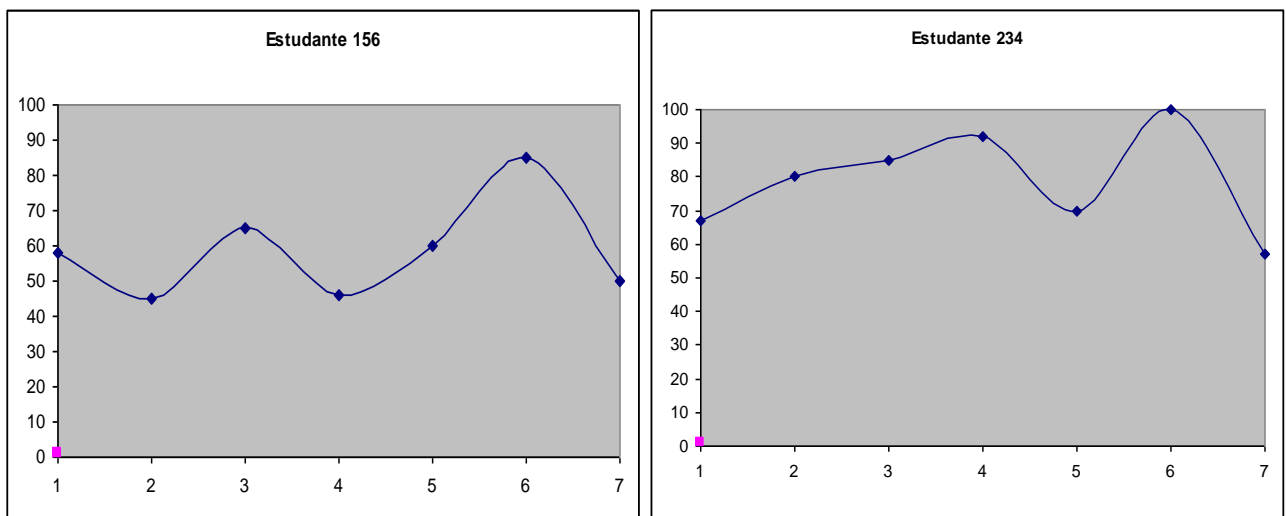


FIGURA 8: Exemplos de trajetórias oscilatórias forçadas

**Oscilatória amortecida (O.A):** Ao contrário das trajetórias que descrevem uma oscilação forçada, nessa categoria, a trajetória aproxima-se de uma curva resultante de um gráfico posição versus tempo de um oscilador sobre o qual foi realizado um trabalho negativo e, por isso, observa-se uma redução na amplitude de oscilação do sistema. Isso significa que o engajamento cognitivo do estudante torna-se cada vez mais estável à medida que se aproxima do final da unidade de eletricidade. 23 estudantes apresentaram esse perfil. Os estudantes 205 e 239 apresentaram esse tipo de comportamento associado a redução da instabilidade em relação ao engajamento cognitivo.

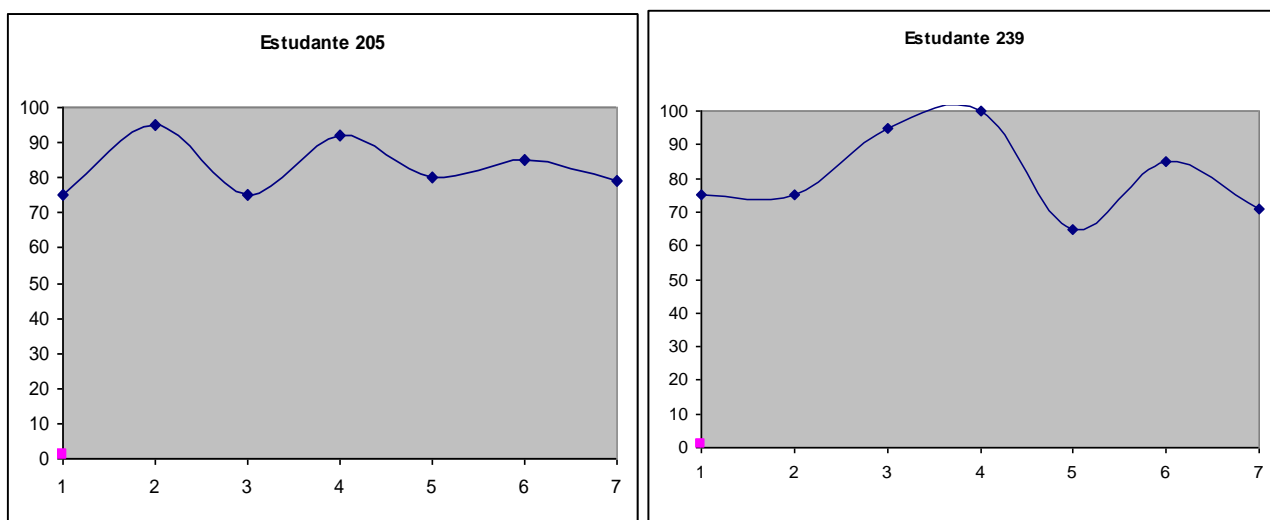


FIGURA 9: Exemplos de trajetórias oscilatórias amortecidas

### 3.3.4.5-O nível socioeconômico dos estudantes (NSE)

Para criar o indicador do NSE, a partir das respostas dadas por 127 estudantes a um questionário socioeconômico, adotou-se o critério ABIPEME (ALMEIDA e WICKERHUSER<sup>30</sup>, 1991 apud JANNUZZI e BAENINGER, 1995) que leva em consideração a renda familiar da família como um dos principais componentes para defini-lo. Segundo esse critério, as respostas às questões estão associadas a uma

<sup>30</sup> Almeida, P. M.; Wickerhauser, H. O critério ABA/ABIPEME: em busca de uma atualização, 1991 (mimeo).

pontuação e somando-as pode-se determinar a posição socioeconômica do estudante, como mostra a tabela 2.

TABELA 2: Classificação socioeconômica segundo critério ABIPEME

Classe	A	B	C	D	E
Pontos	89 ou mais	59 a 88	35 a 58	20 a 34	0 a 19

Dentre os 127 estudantes que responderam ao questionário socioeconômico, não foi encontrado nenhum pertencente a classe A. Dessa forma, os estudantes foram reagrupados em duas categorias: os 61 estudantes das classes D e E correspondem a categoria 1 e apresentam o menor NSE, enquanto os 66 estudantes das classes B e C correspondem a categoria 2 e apresentam o maior NSE. Como o intuito era transformar dados qualitativos em dados numéricos, foi construído um indicador dicotômico para o NSE do estudante. Assim os estudantes da categoria 1 foram pontuados como 0 e os estudantes da categoria 2 foram pontuados como 1. O quadro 5 sintetiza os preditores que serão testados na tentativa de explicar as diferenças evolutivas dos estudantes no entendimento de conceitos físicos.



QUADRO 5: Representação numérica dos preditores de aprendizagem

<b>Preditor</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Tipo de variável</b>	<b>Representação da variável</b>
Curso	Curso ETM Eletrônica e Instrumentação; ETM de Química; ETM de Patologia Clínica; Ensino Médio	categórica	1-ETM Eletrônica e Instrumentação 2-Ensino Médio 3-ETM de Patologia Clínica 4-ETM de Química
Turma	1,2,3,4,5,6	categórica	1,2,3,4,5,6
Gênero	meninas, meninos	dicotômica	0- menina. 1- menino.
Engajamento comportamental (engajcomp)	Baixo engajamento comportamental; Alto engajamento comportamental	dicotômica	0-Baixo engajamento comportamental 1- Alto engajamento comportamental
Engajamento Cognitivo (engajcog)	Estável (E); Oscilatório Harmônico (OH); Oscilatório Forçado (OF); Oscilatório Amortecido (O.A).	categórica	1-engacogest 2-engajcogoh 3-engajcogof 4-engajcogoa
Nível socioeconômico (NSE)	Baixo NSE (classes B e C); Alto NSE (classes D e E).	dicotômica	0-Baixo NSE 1-Alto NSE

### 3.3.5-Participantes do estudo longitudinal: uma decisão metodológica

Um fato comum associado aos estudos longitudinais está na variabilidade da amostra dos estudantes testados ao longo das ocasiões de medida. Na primeira onda foram coletados os dados de 128 estudantes, na segunda onda foram coletados os dados de 100 estudantes, enquanto que na última onda foram coletados os dados de 147 estudantes. Uma solução para desenvolver o estudo longitudinal seria considerar somente os estudantes que participaram das três ondas, fazendo com que a amostra da pesquisa reduzisse de 152 para 86 estudantes. Entretanto, a redução do número de participantes poderia acarretar na redução do poder dos testes estatísticos que serão

realizados durante o acompanhamento longitudinal, principalmente na condução do modelamento multinível. Dessa forma, decidiu-se por desenvolver o estudo longitudinal com estudantes que participaram de pelo menos duas ocasiões de medida.

Ao tomar essa decisão, o estudo longitudinal foi conduzido com 135 estudantes, sendo que 86 deles participaram das três ondas de dados e 49 participaram de pelo menos duas ondas. Desses 135 estudantes, 73 eram do sexo masculino e 62 do sexo feminino. Em relação às turmas 23 estudantes eram da turma de Ensino Médio, 27 da turma ETM de Patologia Clínica, 53 pertenciam as três turmas de ETM de Instrumentação e Eletrônica e 32 estudantes pertencentes a turma ETM de Química.

Precisa-se ressaltar que ao tomar essa decisão os dados ficam organizados de forma não balanceada, devido ao fato dos estudantes não apresentarem o mesmo número de observações ao longo do acompanhamento longitudinal (figura 10). Uma consequência dessa estrutura de organização dos dados está na dificuldade de estimar as componentes residuais do modelamento multinível (SINGER e WILETT, 2003). Entretanto, a estimativa da parte estrutural do modelo, que fornece evidências sobre a mudança no entendimento dos estudantes e os fatores que explicam essas mudanças, não ficam comprometidas

	A	B	C	D
1		Proficiência		
2	Estudante	onda 1	onda 2	onda 3
3	101	-0,6914	-5,2368	0,8442
4	102	-0,6914	-5,2368	2,6876
5	103	-0,4191	-2,9051	1,6535
6	104	-0,4191		0,6394
7	105	1,0244	-2,9051	0,8442
8	106	0,084		1,947
9	107		-2,286	0,3782
10				
11				dado faltante
12				

FIGURA 10: Exemplo de uma estrutura de dados não balanceada

## 4-Análise, Resultados e Discussões

Esse capítulo foi dividido em duas partes. Na primeira parte, será apresentado o processo de construção das medidas para o estudo longitudinal. Na segunda parte, será investigado como ocorre a mudança no entendimento dos estudantes e os fatores que contribuem para explicar essas mudanças. Em cada uma das partes serão apresentados os resultados das análises e as discussões correspondentes.

### 4.1-A Construção das medidas para o estudo longitudinal

Essa seção apresenta o processo de ajuste das escalas desenvolvidas para estimar o entendimento dos estudantes nas diferentes ocasiões de medida. Para a construção dessas escalas foi conduzida a análise *Rasch* para dados dicotômicos utilizando o software WINSTEPS (LINACRE e WRIGHT, 2000). Para verificar o ajuste dessas escalas atentou-se para 4 critérios: (i) o critério da invariância da escala, (ii) o ajuste dos itens ao modelo desenvolvido, (iii) a fidedignidade da escala<sup>31</sup> e (iv) a unidimensionalidade da escala. O primeiro critério foi analisado pela Curva Característica do Item (CCI) para os itens das escalas através da posição dos diferentes grupos de desempenho nessas curvas. Os outros critérios foram analisados levando em consideração as estatísticas resultantes da análise *Rasch* (a estatística INFIT/MNSQ, o coeficiente de separação entre as pessoas e a análise da variância).

---

<sup>31</sup> Wiethaeuper et. al. (2005) e Fisher (2008) sugerem que o índice recomendado seja superior a 0,60 para que se possa considerar como adequada a fidedignidade de uma escala. Em contrapartida, autores como Parker, Taylor e Bagby (2003) recomendam índices superiores a 0,70. Nessa pesquisa, levando em consideração a amostra reduzida, o valor 0,60 será adotado como limite inferior para assegurar a fidedignidade da escala.

## 4.1.1-O ajuste da escala referente às duas primeiras ondas de dados

### 4.1.1.1-A análise gráfica

Um dos critérios necessários para determinar a qualidade da escala refere-se à invariância na propriedade dos itens entre os diferentes grupos e entre os diferentes momentos de medida. Dessa forma, foi analisada a localização dos diferentes grupos de desempenho em cada uma das duas ocasiões de medida no conjunto dos 23 itens da escala (análise global) e também em cada item separadamente. Foram identificados 6 grupos de desempenho para a primeira onda e 4 grupos para a segunda onda, pois esta última apresentava um menor número de estudantes. Os grupos foram construídos baseados no score bruto dos estudantes ao responder os 23 itens da escala e o agrupamento foi realizado com aproximadamente o mesmo número de integrantes.

O gráfico 2, apresenta a CCI que estabelece o resultado da análise global da escala considerando inicialmente que todos os itens apresentam as mesmas propriedades nas duas ocasiões de medida.

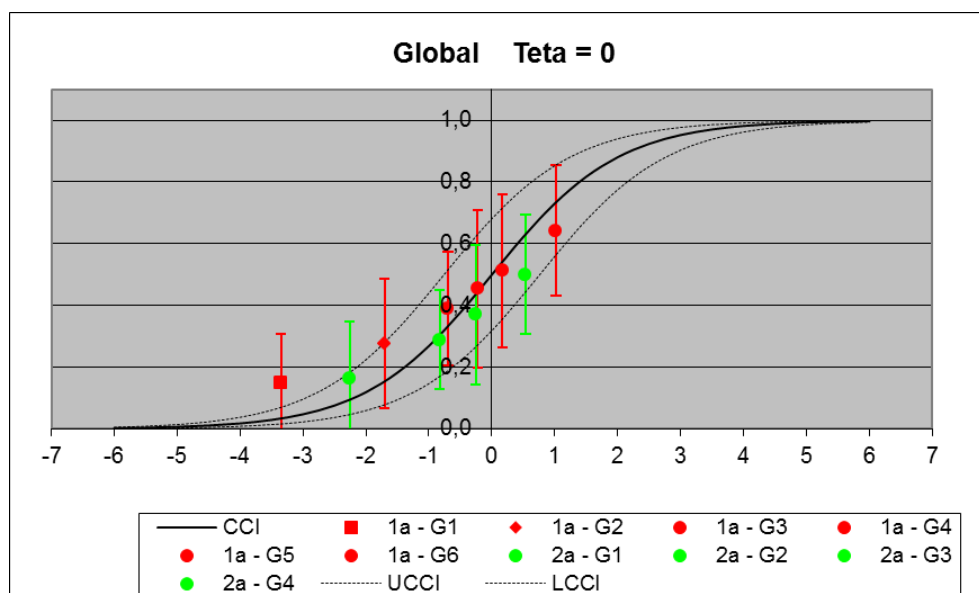


GRÁFICO 2: Curva Característica do Item para os 23 itens da escala

O gráfico mostra a CCI (linha cheia) com o intervalo de confiança de 95% (linhas pontilhadas, UCCI e LCCI limites superior e inferior, respectivamente) para os itens da

escala que apresentam dificuldade média centrada em zero ( $\theta = 0$ ). Da mesma forma, a localização dos grupos de desempenho é apresentada com o intervalo de confiança de 95% (representado pelas barras de erro) com relação aos escores médios. Globalmente os itens da escala encontram-se bem ajustados, uma vez que todos os grupos de desempenho estão localizados dentro do intervalo de confiança desejado (os grupos estão localizados próximos à curva característica que representa o valor esperado para a probabilidade de acerto dos itens) e não foi encontrado o desordenamento na localização dos grupos em nenhuma das duas ocasiões de medida.

Entretanto, ao analisar separadamente cada um dos 23 itens notou-se que alguns deles encontravam desajustados e dessa forma, alguns itens foram descartados e em outras situações foram desfeitos os *links* (ancoragem interna) estabelecidos previamente. No final desse processo, a escala resultante das duas primeiras ondas de dados foi composta por 29 itens. As CCIs que descrevem a análise global da escala e seus 29 itens estão apresentadas no anexo 4.

#### 4.1.1.2-A análise estatística

A tabela 3 apresenta o resultado da análise estatística da escala referente às duas primeiras ondas de dados.

TABELA 3: Resultado da estatística de ajuste dos 29 itens e da fidedignidade da escala

<b>Itens (29 medidas)</b>	<b>Parâmetro de dificuldade (escala logarítmica)</b>	<b>Contagem</b>	<b>INFIT/MNSQ</b>
<b>Média (MS)</b>	<b>0,00</b>	<b>228</b>	<b>1,01</b>
<b>Desvio padrão (SD)</b>	<b>1,99</b>	<b>0</b>	<b>0,14</b>

**Coefficiente de separação entre as pessoas= 0,74**

A análise INFIT/MNSQ médio para os 29 itens foi igual a 1,00 com um desvio padrão igual a 0,11 e também não foi encontrado nenhum dos itens fora do intervalo desejável de ajuste ( $0,50 \leq \text{INFIT/MNSQ} \leq 1,50$ ). O coeficiente de separação entre as pessoas, que corresponde à medida de fidedignidade da escala, foi igual a 0,74 e apresentou-se adequada. Com relação à dimensionalidade da escala, aproximadamente 90% da variância dos dados é explicada na primeira dimensão *Rasch*, por isso, pode-se considerar que a escala atende ao critério da unidimensionalidade.

#### 4.1.2-O ajuste da escala referente à terceira onda de dados

##### 4.1.2.1-A Análise gráfica

Nesse momento, a invariância na propriedade dos itens foi testada levando em consideração o comportamento dos diferentes grupos de desempenho nos diferentes tipos de prova. Para atender a esse propósito foram criados dois grupos de desempenho, com aproximadamente 20 estudantes, para cada um dos quatro tipos de prova. Os grupos de desempenho foram construídos levando em consideração o escore bruto dos estudantes na prova trimestral. O gráfico 3 apresenta o resultado da análise global com relação a cada uma das provas.

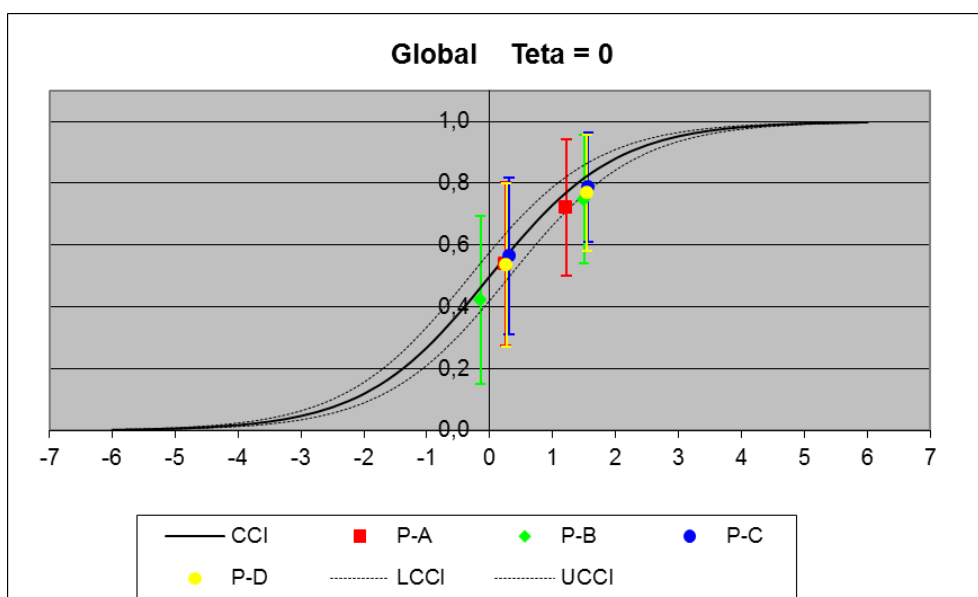


GRÁFICO 3: Curva Característica do Item para os 30 itens da escala

O gráfico mostra a Curva Característica do Item (linha cheia) com o intervalo de confiança de 95% (linhas pontilhadas, UCCI e LCCI limites superior e inferior, respectivamente) para os itens da escala que apresentam dificuldade média centrada em zero ( $\theta=0$ ). O gráfico também apresenta a localização dos dois grupos de desempenho referentes a cada tipo de prova, com o intervalo de confiança de 95% (representado pelas barras de erro) com relação ao escore médio. Pode-se perceber que globalmente os itens da escala encontram-se bem ajustados, uma vez que todos os grupos de desempenho estão localizados dentro do intervalo de confiança desejado e não foi verificado nenhum desordenamento dos grupos em cada um dos tipos de prova. Ressalta-se também o fato dos grupos de desempenho, em cada uma das provas, estarem localizados praticamente no mesmo ponto da CCI, um indício de que a localização dos grupos independe do tipo de prova.

Ao analisar separadamente cada um dos 30 itens da escala, percebeu-se que alguns itens não funcionavam da mesma forma para os diversos grupos de desempenho nas diferentes versões da prova trimestral. Neste caso, os itens não foram tratados como sendo comuns ao teste, mas como específicos de cada versão, ainda que apresentassem a mesma descrição. Dessa forma, a ancoragem estabelecida entre os itens nos quais foram verificadas diferenças entre suas propriedades foram desfeitos e a escala passou a ser composta por 33 itens. O anexo 5 apresenta as CCIs que descrevem a análise global da escala e o ajuste dos seus 33 itens.

#### ***4.1.2.2-Análise estatística***

A tabela 4 apresenta o resultado da análise estatística da escala referente à terceira onda de dados.

TABELA 4: Resultado da estatística de ajuste dos 33 itens e da fidedignidade da escala

<b>Itens (33 medidas)</b>	<b>Parâmetro de dificuldade (escala logarítmica)</b>	<b>Contagem</b>	<b>INFIT/MNSQ</b>
<b>Média (MS)</b>	<b>0,00</b>	<b>147</b>	<b>1,00</b>
<b>Desvio padrão (SD)</b>	<b>0,81</b>	<b>0</b>	<b>0,08</b>

**Coefficiente de separação entre as pessoas= 0,60**

Analisando a tabela pode-se inferir que os itens encontram-se bem ajustados ao modelo, uma vez que as medidas INFIT/MNSQ médio estão dentro do intervalo desejável ( $0,50 \leq \text{INFIT/MNSQ} \leq 1,50$ ) e seu valor médio foi igual a 1,00 com desvio padrão igual a 0,08. O coeficiente de separação entre as pessoas foi igual a 0,60, um valor considerado adequado para assegurar a fidedignidade de uma escala.

Os resultados mostraram que 24,9 % da variância foram explicadas na primeira dimensão, valor que se encontra distante do valor limite de 50% para a variância explicada sugerido por Linacre (2009) para garantir a unidimensionalidade de uma escala. Entretanto, quando se analisa os limites impostos pela distribuição dos parâmetros das pessoas e dos itens sobre o valor máximo da variância explicada, pode-se sustentar o argumento da unidimensionalidade da escala. A tabela 5 apresenta as medidas dos desvios das estimativas dos itens e das pessoas na prova trimestral.

TABELA 5: Desvio padrão para a estimativa do parâmetro dos itens e das pessoas da escala referente à prova trimestral

<b>Prova Trimestral</b>	<b>Desvio Padrão (SD)</b>
Parâmetro dos itens	0,8149
Parâmetro das pessoas	0,8849



Levando em consideração os argumentos apresentados por Linacre<sup>32</sup> (2008), pode-se inferir que a maior parte da variância dos dados está sendo explicada na primeira dimensão. Isso porque para os dados dessa investigação, o limite superior para a variância explicada é de 30% (Lembrando que o desvio padrão do parâmetro das pessoas e o desvio padrão do parâmetro dos itens estão próximos de 1 logit). Dessa forma, aproximadamente 83% da variância dos dados estão sendo explicadas na primeira dimensão (considerando a razão entre os 24,9% e o valor limite de 30% imposto pelo tratamento *Rasch*) e com isso, pode-se considerar que a escala satisfaz o critério de unidimensionalidade.

#### **4.1.3-O ajuste da escala comum para as três ondas de dados**

A investigação da evolução no entendimento dos estudantes no domínio da eletricidade será conduzida levando em consideração a mudança no entendimento ao longo das aulas de Física. Foram construídas duas escalas bem ajustadas nesse estudo: uma para estimar o entendimento dos estudantes nas duas primeiras ondas de dados e outra para estimar o entendimento dos estudantes na terceira onda. Apesar de poder acessar a medida do entendimento dos estudantes nas três ocasiões de medida, a investigação não pode continuar sem a construção de uma métrica comum (uma “régua”) para as três ondas de dados. Para atender a esse propósito, as três escalas foram *calibradas*<sup>33</sup>.

---

<sup>32</sup> Ver capítulo 2 na seção 2.5.1.3.

<sup>33</sup> Retomando as discussões sobre conceitos relacionados a medidas educacionais propostas por Silva e Soares (2010), o termo calibrar deve ser utilizado para definir mecanismos de conexão entre testes que não são tão rigorosos, no que diz respeito, por exemplo, a mesma estrutura e descrição dos itens. Apesar das diferenças, os autores ressaltam que na calibração os testes medem o mesmo conteúdo, assim como as escalas referentes as três ondas de dados que medem o entendimento dos estudantes em eletricidade.

Para *calibrar* as escalas foram identificados os itens comuns entre elas e, esses itens, foram ancorados segundo os critérios estabelecidos por Linacre (2009). O autor sugere que para considerar os itens de diferentes escalas como sendo comuns, eles devem estar relacionados ao mesmo conteúdo e, ao mesmo tempo, esses itens devem apresentar valores próximos para o parâmetro de dificuldade ( $\theta$ ), indicando o mesmo nível de complexidade envolvido na solução do item. Dessa forma, considerou-se comuns os itens que apresentavam diferenças absolutas para o parâmetro de dificuldade menor ou igual a 0,70 logits. O quadro 6 apresenta os itens que atenderam a esses critérios.

QUADRO 6: Itens comuns entre as escalas das três ondas de dados

Itens			
Escala 1 (1ª e 2ª ondas)	Escala 2 (3ª onda)	Diferença entre a dificuldade dos itens ( $\Delta\theta$ )	Conteúdo/Entendimento mobilizado
Fem2	34B	0,63	Os itens estão associados ao trabalho não eletrostático realizado por uma fonte de energia, para manter a continuidade da corrente elétrica em um circuito.
EI3a	BD31A	0,06	Os itens estão associados ao efeito térmico da corrente elétrica, especificamente referem-se ao efeito joule.
R3	ABCD55A	0,18	Os itens estão associados a relação entre a resistência elétrica e a corrente elétrica estabelecida em um determinado trecho do circuito.

Além dos critérios apontados por Linacre, uma análise de regressão linear entre os parâmetros de dificuldade dos itens foi conduzida. O gráfico 4 apresenta o resultado da análise de regressão para os três itens considerados comuns que foram descritos no quadro 6.

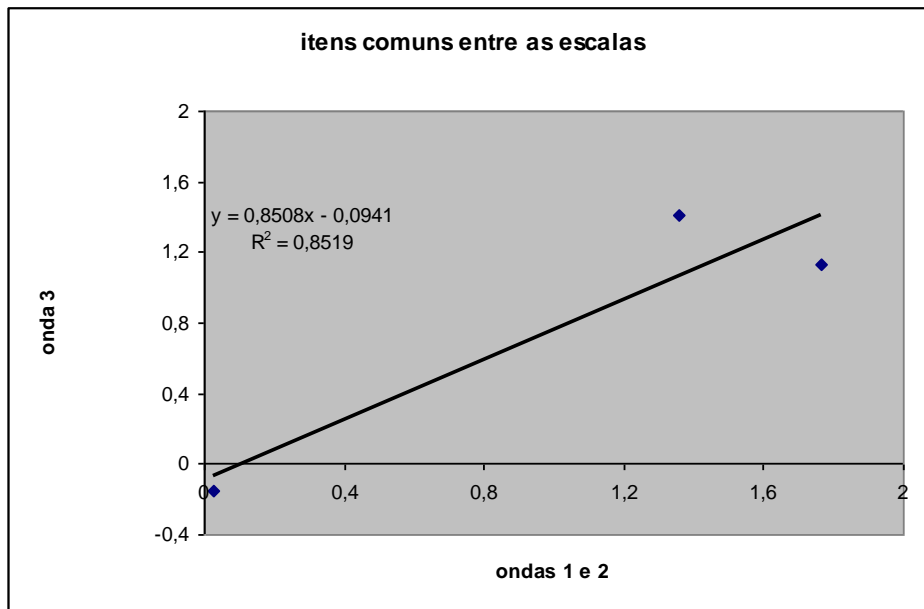


GRÁFICO 4: Análise de regressão entre os itens comuns das escalas

Para afirmar que os três itens são comuns precisa-se verificar a correlação linear entre o parâmetro de dificuldade desses itens nas diferentes escalas. Pode-se determinar o coeficiente de correlação a partir do valor do parâmetro  $R^2$  que determina o percentual da variância que é explicada pelos dados e, portanto, a correlação entre os itens é igual a  $\sqrt{R^2} = \sqrt{0,8519} = 0,9229$ . O alto índice de correlação entre os parâmetros de dificuldade dos itens reforça o argumento de que eles são comuns às duas escalas.

#### 4.1.3.1-Calibração da escala comum às três ondas de dados

O estabelecimento da *calibração* entre a escala referente às duas primeiras ondas e a escala referente à terceira onda, resultou em uma escala comum às três ondas composta por 59 itens. O próximo passo será verificar a qualidade dessa escala. A figura 11 representa o modelo

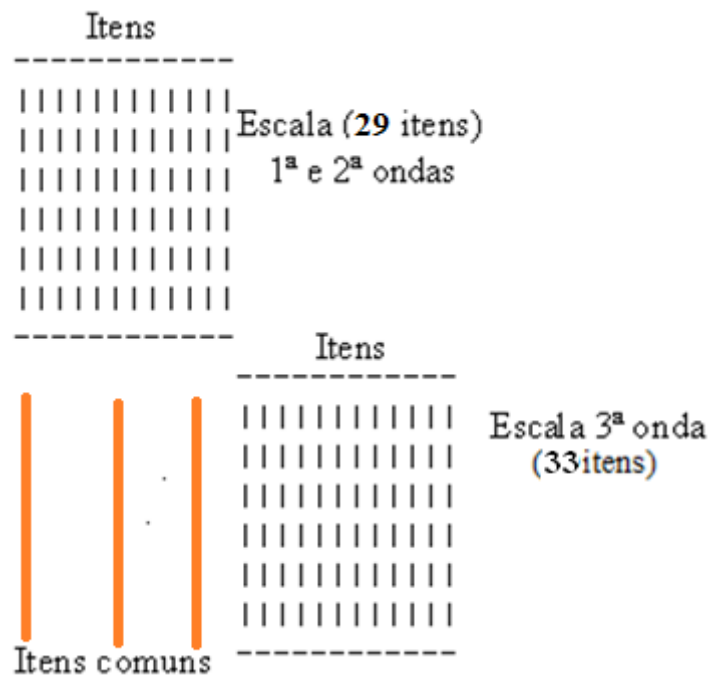


Figura 11: Representação do processo de calibração entre as escalas

de matriz de dados para o estabelecimento da *calibração* entre as escalas.

#### 4.1.3.2-A análise gráfica

A análise gráfica foi conduzida para verificar a invariância na localização dos diferentes grupos de desempenho em relação às três ondas de dados. Para atender a esse propósito, foram mantidos os mesmos grupos de desempenho desenvolvidos para analisar a escala referente às duas primeiras ondas de dados (10 grupos de desempenho) e referente a terceira onda de dados (2 grupos de desempenho para cada tipo de prova). O ajuste global da escala foi analisado e assim como o ajuste de cada item separadamente. O gráfico 5 apresenta o resultado da análise global com relação à escala comum para as três ondas de dados.

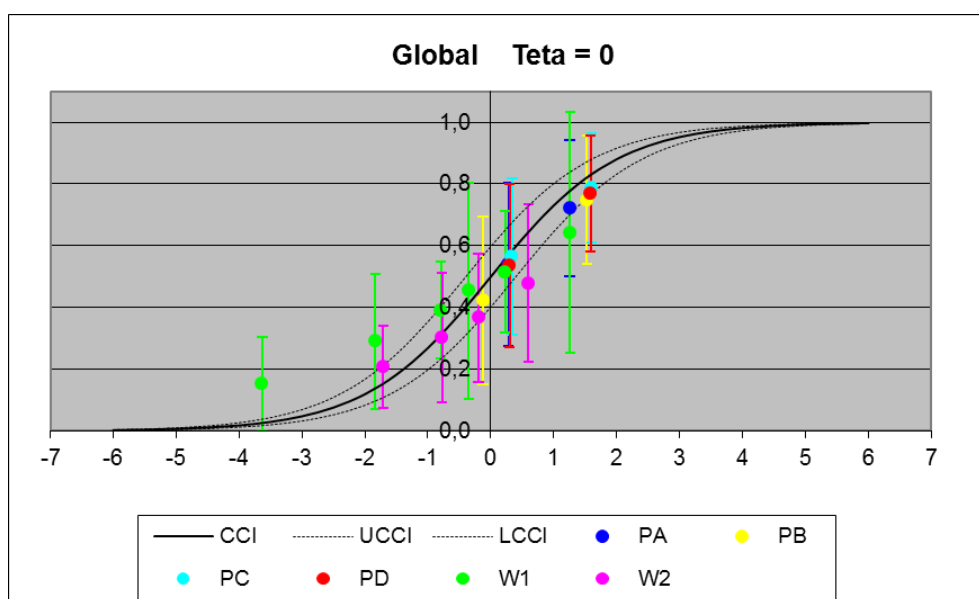


GRÁFICO 5: Curva Característica do Item para os 59 itens da escala

Pode-se perceber que globalmente os itens da escala encontram-se bem ajustados, uma vez que todos os grupos de desempenho, referentes a cada uma das ondas de dados, estão localizados dentro do intervalo de confiança desejado e não apresentam nenhum desordenamento entre eles. Analisando os gráficos dos 59 itens descritos no anexo 6, percebe-se que nem todos os itens apresentam um ajuste perfeito,

entretanto, pode-se dizer que construiu-se uma escala de qualidade. A análise gráfica exige parcimônia, pois o seu caráter dinâmico faz com que as alterações realizadas na estrutura dos itens reflitam na qualidade do ajuste global da escala que pode ficar comprometida com tantas modificações em sua estrutura inicial.

#### 4.1.3.3-A análise estatística

A tabela 6 apresenta o resultado da análise estatística para a escala comum as três ondas de dados.

TABELA 6: Resultado da estatística de ajuste dos 59 itens e da fidedignidade da escala

<b>Itens (59 medidas)</b>	<b>Parâmetro de dificuldade (escala logarítmica)</b>	<b>Contagem</b>	<b>INFIT/MNSQ</b>
<b>Média (MS)</b>	<b>0,00</b>	<b>375</b>	<b>1,00</b>
<b>Desvio padrão (SD)</b>	<b>1,53</b>	<b>0</b>	<b>0,11</b>

**Coefficiente de separação entre as pessoas= 0,82**

Analisando a tabela percebe-se que os itens da escala encontram-se bem ajustados, uma vez que as medidas INFIT/MNSQ médio estão dentro do intervalo desejável ( $0,50 \leq \text{INFIT/MNSQ} \leq 1,50$ ) e seu valor médio foi igual a 1,00 com desvio padrão igual a 0,11. O coeficiente de separação entre as pessoas foi igual a 0,82, um valor elevado e que, sem dúvidas, garante a fidedignidade dessa escala. Quanto a dimensionalidade da escala, os resultados mostram que a escala pode ser considerada unidimensional, pois 86,8 % da variância dos dados foram explicadas na primeira dimensão *Rasch*.

#### **4.1.3.4-A “régua” construída pelo modelamento Rasch**

O tratamento *Rasch* permite que a medida do parâmetro dos itens e a medida do parâmetro das pessoas estejam em uma mesma métrica, ou dizendo de outra forma, permite colocar sob uma mesma “régua” a medida desses parâmetros. A figura 12 apresenta essa “régua” para a escala referente às três ondas de dados.

A estimativa do parâmetro dos estudantes (entendimento em eletricidade) é mostrada no lado esquerdo da figura e as estimativas para os itens<sup>34</sup> (complexidade ou dificuldade dos itens) são mostradas na direita. As siglas apresentadas no lado direito da figura denotam cada um dos 59 itens que compõe a escala. As marcas M, S e T, representam a média e as distâncias da dificuldade dos itens e do entendimento dos estudantes em relação ao valor médio. A marca M representa o valor médio da dificuldade dos itens e do entendimento dos estudantes, S indica que os parâmetros estão deslocados da média em um desvio padrão e T indica que os parâmetros estão deslocados da média em dois desvios padrão.

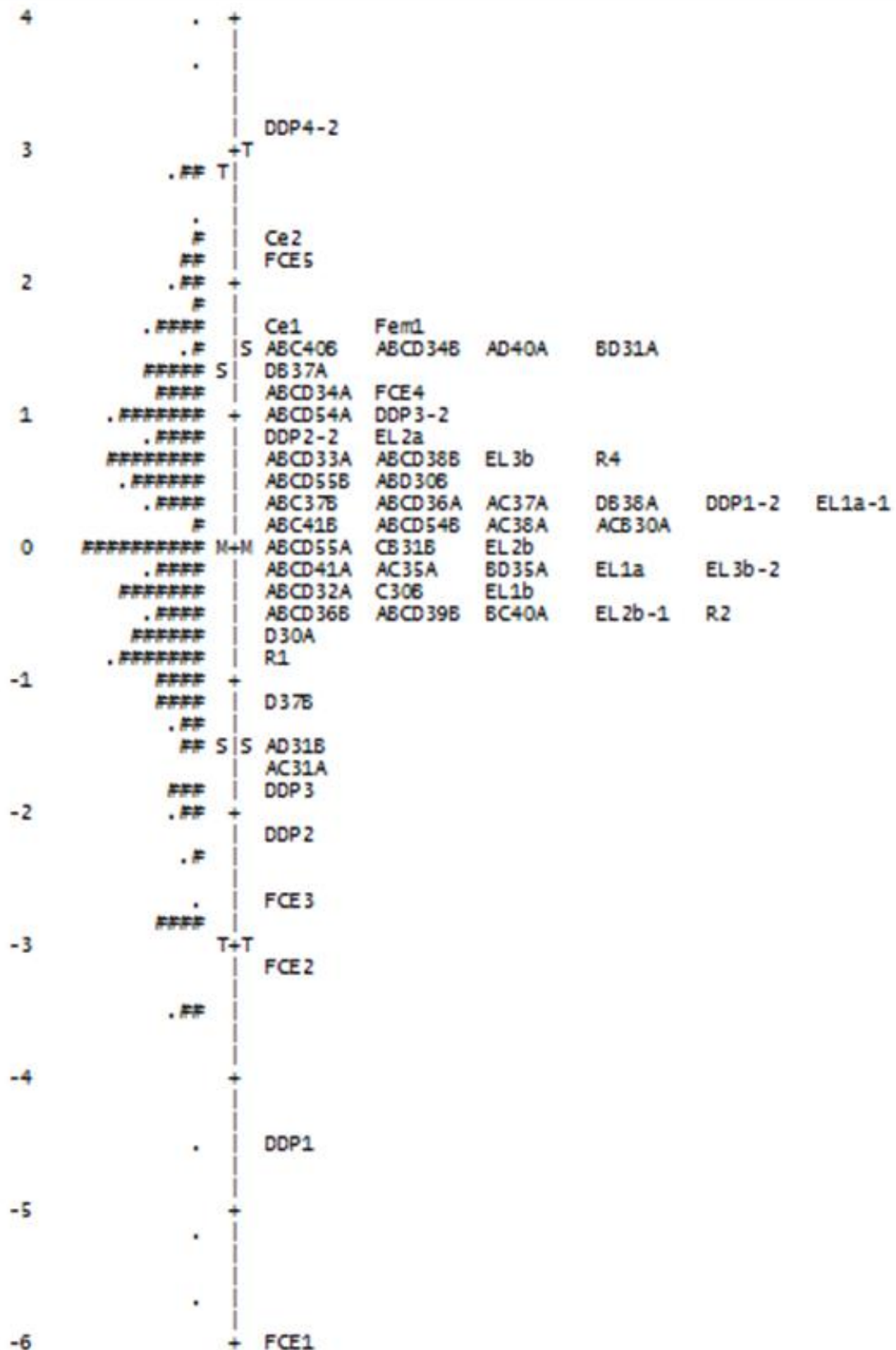
#### **4.1.3.5-Discussão dos resultados**

Na primeira parte foram apresentadas diversas evidências relacionadas ao bom ajuste da escala construída para estimar entendimento dos estudantes em cada uma das três ondas de dados. Uma escala bem ajustada permite que o entendimento dos estudantes seja estimado em uma métrica comum apresentando forte estabilidade temporal. A partir desse momento, pode-se dar continuidade ao estudo longitudinal e investigar como o entendimento dos estudantes muda ao longo do tempo e também investigar quais fatores contribuem para explicar essas mudanças. Analisando a figura 12 pode-se perceber que os itens apresentam diferentes graus de dificuldades o que

---

<sup>34</sup> Os códigos do lado direito da escala representam os itens que compõe a escala comum as três ondas de dados. Todos os códigos que apresentam um subtópico como, por exemplo, EL2b-1, representam itens que apresentaram diferenças nas propriedades psicométricas entre as duas primeiras ondas e que, por isso, foram desfeitas as ancoragens previamente estabelecidas.

reforça o argumento da qualidade dessa escala. A medida do entendimento de cada estudante, nas três ondas de dados, está descrita no anexo 7.



Cada (#) representa 3 estudantes e cada (.) representa 2 estudantes.

FIGURA 12: Mapa da complexidade dos itens e do nível de entendimento dos estudantes

A localização dos itens da figura 12 especifica a complexidade envolvida no entendimento de uma determinada concepção no domínio da eletricidade. Dessa forma, os itens que estão localizados no extremo inferior da escala, apresentam menor índice de dificuldade e representam conceitos de menor complexidade e os itens que estão localizados no extremo superior da escala, apresentam maior índice de dificuldade e representam conceitos de maior complexidade.

Nesse momento, podem-se discutir aspectos relacionados à complexidade envolvida no entendimento de determinados conceitos. As categorias FCE1 e DDP1 apresentadas no extremo inferior da escala são reconhecidas na literatura como concepções alternativas e apresentam um menor nível de complexidade. No extremo superior da escala encontra-se a categoria Ce2, que apresenta um alto nível de complexidade por apresentar uma noção mais sofisticada (do sistema categórico) sobre o modelo de condução elétrica ao considerar a propagação do campo elétrico no interior do metal. Para o entendimento desse conceito, o estudante precisa coordenar dois outros conceitos abstratos: o de campo elétrico e o de corrente elétrica. Para finalizar a primeira parte desse capítulo, será apresentada uma figura (Figura 13) que sintetiza os procedimentos envolvidos na construção das medidas para o estudo longitudinal.



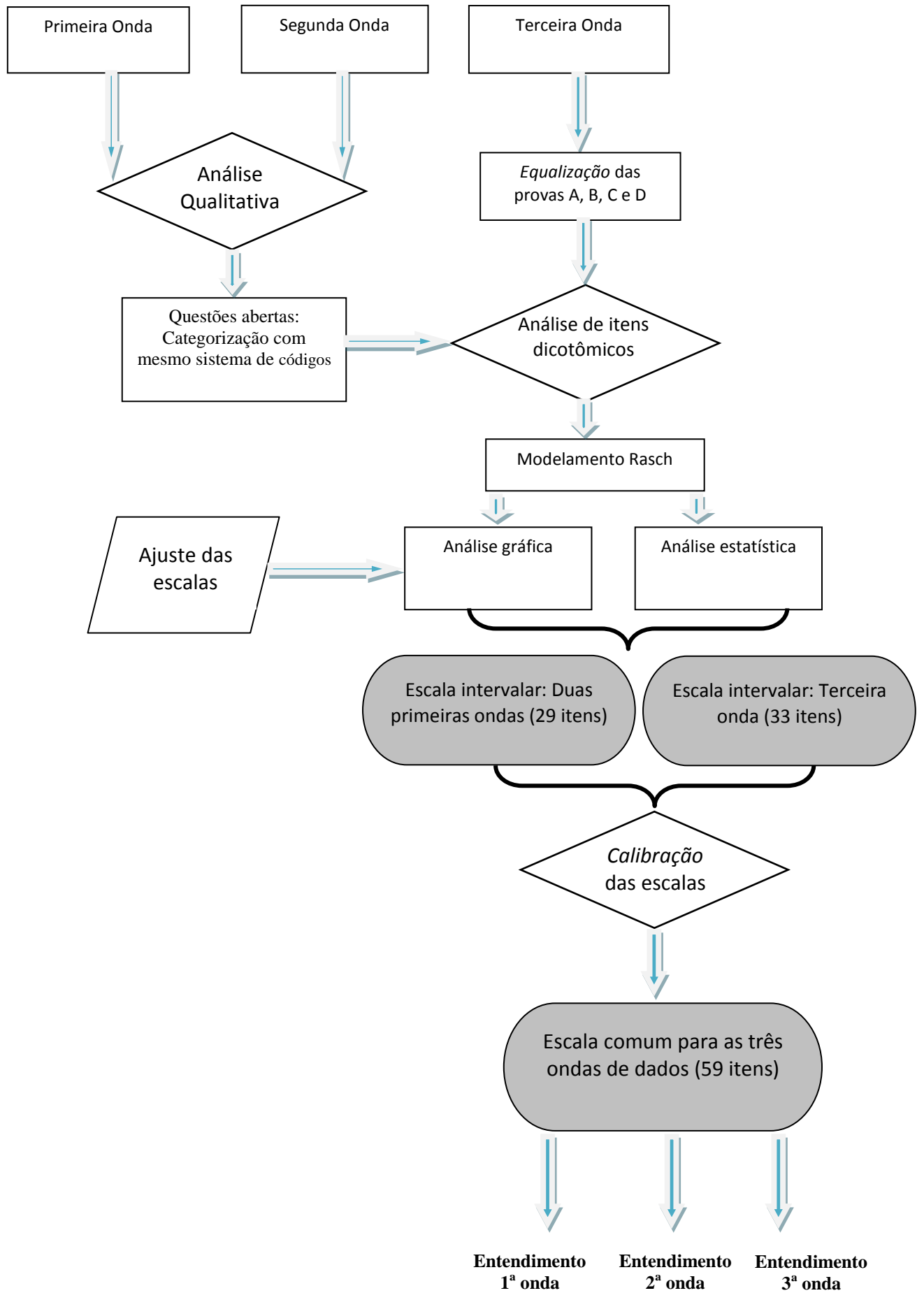


FIGURA 13: Representação do processo de construção das medidas para o estudo longitudinal

## **4.2-Investigando a mudança no entendimento dos estudantes**

### **4.2.1-A análise exploratória**

A análise exploratória permite descrever o comportamento da amostra. Ela pode fornecer valiosos *insights* para a formulação dos modelos estatísticos que serão construídos para descrever o comportamento da população.

#### ***4.2.1.1-Investigando como o entendimento dos estudantes muda ao longo do tempo.***

Traçou-se o perfil de mudança dos 135 estudantes participantes do estudo longitudinal. Esse perfil consiste na descrição de trajetórias, resultantes de uma regressão linear simples<sup>35</sup> no qual considerou-se como variável dependente o entendimento dos estudantes e como variável independente o tempo. Tratando os dados dessa forma, pode-se considerar que o intercepto define o entendimento inicial do estudante enquanto a inclinação define a taxa na qual o estudante evolui ao longo do tempo.

A variável tempo está associada ao número de aulas ministradas no curso de Física e para que o intercepto pudesse ser interpretado como o entendimento inicial do estudante em eletricidade, a escala para essa variável foi reescalada para variar no intervalo de 0 a 1. Dessa forma, o ponto zero (o intercepto da regressão) corresponderia a trigésima aula (30ª aula), ocasião na qual foi realizada a primeira medida e o ponto 1, ou seja, o extremo superior da escala corresponderia a sexagésima sexta aula (66ª aula) ocasião na qual foi realizada a última medida dos estudantes. A medida intermediária

---

<sup>35</sup> A justificativa para o uso da regressão linear nesse momento é a mesma utilizada quando argumentou-se no capítulo 2 sobre a regressão resultante do modelamento multinível: com apenas três ondas de dados, outras trajetórias que não fossem lineares seriam difíceis de serem consideradas. Além disso, a regressão linear permite descrever de maneira simples o comportamento dos estudantes através de dois parâmetros: o intercepto e a inclinação (taxa de crescimento).

ocorreu na trigésima quinta aula (35ª aula) e adotou-se o ponto 0,1389<sup>36</sup> como o correspondente a segunda onda de dados.

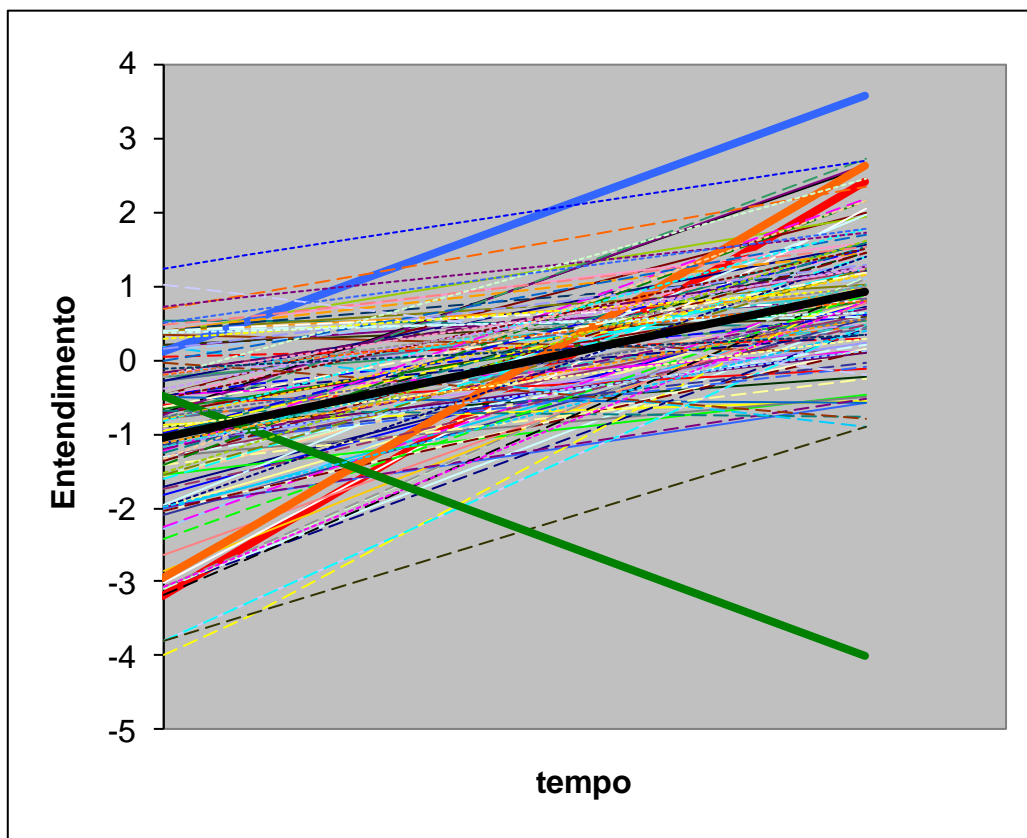


GRÁFICO 6: Trajetórias dos 135 participantes do estudo longitudinal

O gráfico 6 apresenta a trajetória de cada um dos 135 estudantes participantes do estudo longitudinal. A reta preta mais espessa indica a evolução média da amostra ao longo das aulas. Para a construção da reta que descreve o comportamento evolutivo médio da amostra foram seguidos os passos sugeridos por Singer e Willett (2003). Primeiramente foram calculados os valores médios do entendimento em cada uma das três ocasiões de medida. Posteriormente, com os valores médios de cada ocasião foi realizada uma regressão linear com três pontos e através da interação dos parâmetros da

---

<sup>36</sup> O ponto intermediário da escala foi calculado levando em consideração a razão entre a diferença entre o número de aulas entre a segunda e a primeira onda (5 aulas) e a diferença do número de aulas entre a primeira e a terceira onda (36 aulas), ou seja,  $5/36 = 0,1389$ .

regressão (intercepto e inclinação) com o tempo (número de aulas) foi possível determinar a reta que descreve a evolução média dos estudantes.

Analisando o gráfico 6, pode-se dizer que em média os estudantes iniciam a unidade de eletricidade com um nível de entendimento relativamente baixo (-1,048 logits), mas apresentam uma inclinação positiva (1,989 logits) indicando que o entendimento deles aumenta ao longo do tempo. Apesar disso, as trajetórias individuais indicam que os estudantes evoluem a diferentes taxas, com alguns deles apresentando declínio e outros permanecendo estáveis ao longo do tempo. É possível perceber também que há uma reta descendente muito inclinada (reta verde mais espessa) que descreve a trajetória do estudante 219. A reta que descreve a trajetória do estudante 176 (a reta azul mais espessa) destaca-se não por ter apresentado a maior taxa evolutiva, apesar de sua forma ascendente muito inclinada, mas por indicar o maior nível de entendimento alcançado por esse estudante ao final da terceira série do ensino médio. As trajetórias que apresentam as retas ascendentes com maiores inclinações pertencem ao estudante 103 (reta vermelha mais espessa) e ao estudante 204 (reta laranja mais espessa) <sup>37</sup>. Esses quatro casos serão retomados na próxima seção e quem estiver interessado em verificar com mais cuidado o comportamento evolutivo de cada estudante pode consultar as trajetórias descritas no anexo 8.

O resultado da análise das trajetórias individuais indica que estudantes evoluíram a diferentes taxas, por isso, um passo importante será a identificação dos fatores que explicam as diferenças no comportamento evolutivo da amostra. Dizendo de outra forma, deve-se testar a influência dos diferentes fatores educacionais (os preditores) na evolução do entendimento dos estudantes.

---

<sup>37</sup> O valor da inclinação para os dois estudantes foi superior a 2,5 desvios padrão em relação ao valor médio, por isso foram considerados os que apresentaram a maior taxa evolutiva se comparados aos outros estudantes da amostra.

#### ***4.2.1.2-Investigando os fatores (preditores) que ajudam a explicar as diferenças evolutivas dos estudantes***

No capítulo 2 foram apresentados os diversos fatores que podem influenciar na aprendizagem dos estudantes. Esses fatores podem ser considerados como variáveis hipotéticas a serem testadas na tentativa de identificar quais deles interferem na evolução do entendimento dos estudantes. Dentre as diversas variáveis hipotéticas destacam-se: (i) o fato do estudante ser menino ou menina pode influenciar no desempenho em Física (CARVALHO, 2004; BARAM-TSABARI ET. AL., 2008); (ii) o vocacionamento do estudante, tradicionalmente associado ao curso que ele frequenta, pode influenciar em sua aprendizagem (COELHO, 2007; COELHO E BORGES, 2006, 2008, 2010); (iii) os estudantes das diferentes turmas apresentam diferenças no seu desempenho em Física (BORGES, COELHO e JULIO, 2005; AMANTES, 2009) ; (iv) a manutenção do engajamento comportamental e do engajamento cognitivo ao longo das aulas contribui positivamente para a aprendizagem dos estudantes (BORGES, JÚLIO e COELHO, 2005); (v) o nível socioeconômico pode ser um fator a contribuir na explicação do desempenho escolar dos estudantes (NOGUEIRA e NOGUEIRA, 2002).

No gráfico 6, foram apresentados o perfis de mudança dos estudantes, sem levar em consideração os fatores que potencialmente influenciariam nessa mudança. Nesse momento, os fatores de gênero, curso, turma, engajamento comportamental, engajamento cognitivo e nível socioeconômico foram levados em consideração para analisar a evolução média dos estudantes segundo os diferentes grupos identificados por esses fatores. Para descrever a evolução média dos estudantes nos diferentes grupos, uma análise de regressão simples foi conduzida<sup>38</sup> tomando-se como variável dependente

---

<sup>38</sup> Os passos utilizados para descrever a reta que descreve o comportamento evolutivo médio para os diferentes grupos de cada um dos fatores foram os mesmos utilizados na primeira seção para descrever o comportamento evolutivo médio da amostra. Por exemplo, para o

o entendimento médio dos estudantes e como variável independente o tempo (número de aulas ministradas). Além disso, usou-se o procedimento ANOVA<sup>39</sup> para testar a diferença de média do estado inicial e do ganho no entendimento<sup>40</sup> dos diferentes grupos.

Quando se analisa a evolução média no entendimento dos meninos e das meninas da amostra, não é encontrada diferença significativa entre seus perfis de mudança. As retas do gráfico 7, que descrevem o comportamento evolutivo desses dois grupos, praticamente se superpõem, significando que, em média, os estudantes apresentam o mesmo nível de entendimento no início da unidade de eletricidade e apresentam o mesmo ganho ao longo das aulas. Esse resultado é corroborado pelo teste ANOVA que assegura a igualdade entre os ganhos no entendimento alcançados pelos diferentes grupos ( $F_{(1,133)}=0,398$ ;  $p= 0,529$ ) e no entendimento inicial dos meninos e das meninas ( $F_{(1,133)}=0,256$ ;  $p=0,614$ ).

---

fator gênero têm-se dois grupos (meninos e meninas), dessa forma, primeiramente calculou-se os valores médios do entendimento em cada uma das três ocasiões de medida para cada grupo separadamente. Posteriormente realizou-se, para cada grupo, uma regressão linear considerando as três médias para o entendimento e através da interação dos parâmetros da regressão (intercepto e inclinação) com o tempo (número de aulas) foi possível determinar as retas que descrevem a evolução média dos meninos e das meninas.

<sup>39</sup> O procedimento ANOVA permite conduzir, ao mesmo tempo, a análise de equivalência das médias alcançadas pelos estudantes pertencentes a diferentes grupos. Esse procedimento determina a probabilidade das médias serem equivalentes, por isso, em um intervalo de confiança de 95%, a probabilidade maior que 0,05 ( $p>0,05$ ) indica que as médias dos diferentes grupos são todas iguais, em contrapartida uma probabilidade menor que 0,05 ( $p<0,05$ ) indica que pelo menos uma das médias é diferente. Os resultados das regressões e do teste ANOVA serão apresentados e discutidos nos próximos parágrafos.

<sup>40</sup> A medida do ganho é determinada pela subtração do entendimento final pelo entendimento inicial do estudante. A medida do ganho é análoga a medida da taxa evolutiva (inclinação da reta).

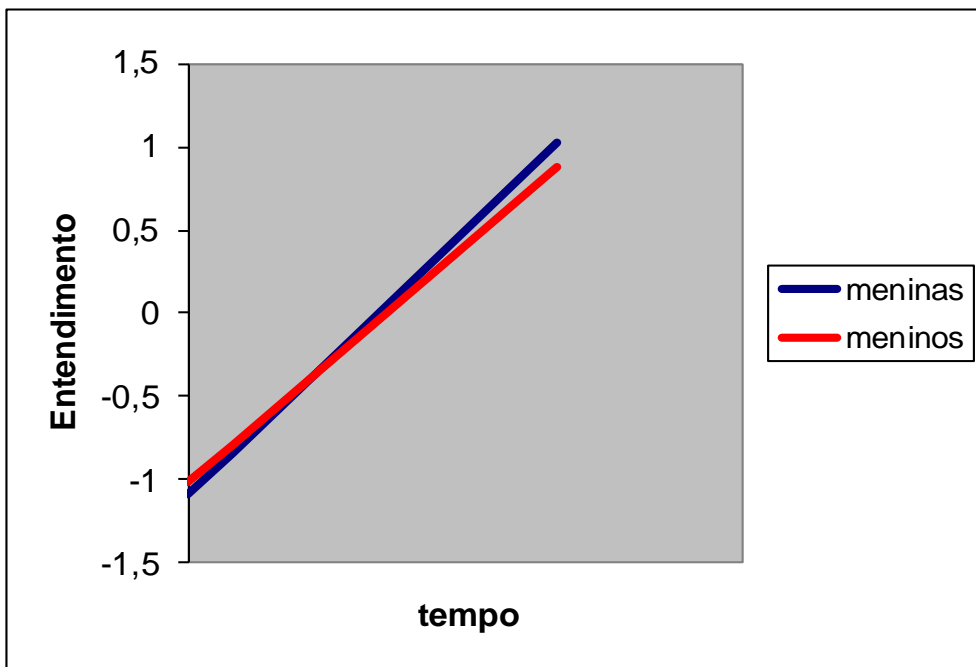


GRÁFICO 7: Evolução média dos estudantes segundo o gênero

A influência do vocacionamento foi testada através da análise do curso do estudante. O gráfico 8 apresenta os perfis dos estudantes dos cursos ETM de Eletrônica e Instrumentação, que na opinião informal dos professores são os cursos que reúnem os estudantes mais vocacionados para o estudo da Física, e os demais cursos (Ensino médio, ETM Patologia Clínica e ETM Química).

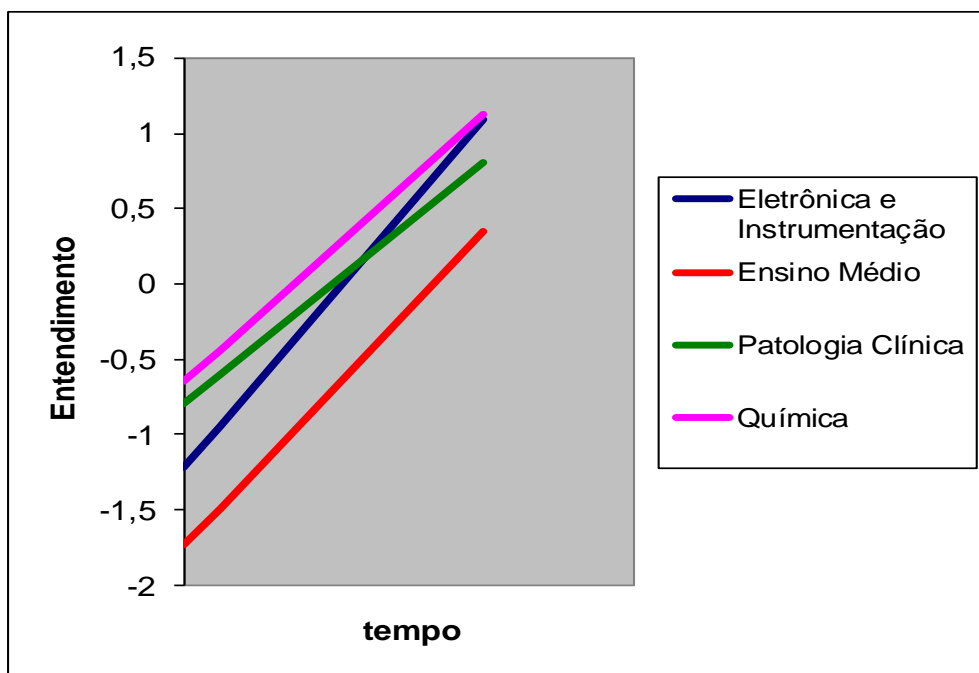


GRÁFICO 8: Evolução média dos estudantes segundo o curso

Analisando o gráfico 8, pode-se perceber que os estudantes do curso ETM de Eletrônica e Instrumentação e os estudantes do curso de Ensino médio, em média, apresentam praticamente a mesma inclinação, ou seja, apresentam o mesmo ganho no entendimento, mas se diferenciam pelo entendimento inicial dos seus estudantes. Em contrapartida, o comportamento dos estudantes desses cursos se difere do comportamento dos estudantes do curso ETM de Química e Patologia Clínica que apresentam um entendimento inicial maior se comparado com os estudantes dos cursos ETM de Eletrônica e Instrumentação e com os estudantes que cursavam somente o Ensino Médio, mas, apesar disso, eles apresentaram uma menor evolução ao longo do tempo.

Para conduzir o procedimento ANOVA e testar a diferença de ganho no entendimento, os estudantes foram reorganizados em dois grupos levando em consideração a semelhança em relação à taxa evolutiva. Um grupo era formado pelos estudantes do curso de Patologia Clínica e Química e outro grupo era formado pelos estudantes do curso de Eletrônica, Instrumentação e Ensino Médio. O teste ANOVA assegura a diferença entre os ganhos alcançados por esses dois grupos ( $F_{(1,133)} = 5,254$ ;  $p = 0,023$ ). Talvez, parte do efeito observado nas trajetórias dos estudantes 103, 176 e 204, que apresentaram inclinações positivas e acentuadas, possa ser explicado pelo curso frequentado por eles. Os três estudantes frequentavam o curso de Eletrônica ou Instrumentação que, em média, apresentaram a maior taxa evolutiva se comparado aos outros cursos.

Com relação ao estado inicial dos estudantes, o procedimento ANOVA assegura a diferença no entendimento inicial entre os estudantes do curso de Patologia Clínica e Química, que apresentaram praticamente o mesmo nível de entendimento no domínio da



eletricidade, e os estudantes dos cursos de Ensino Médio, Eletrônica e Instrumentação ( $F_{(3,133)}=8,473$ ;  $p=0,000$ ).

Quando se agrupa os estudantes pela turma a qual ele pertence, não é possível verificar diferenças na evolução média dos seus estudantes. O teste ANOVA indica que os ganhos no entendimento alcançados pelas turmas são equivalentes ( $F_{(5,129)}=1,360$ ;  $p=0,244$ ). Entretanto, o teste ANOVA indica que há uma diferença no entendimento inicial dos estudantes ( $F_{(5,129)}= 5,437$ ;  $p= 0,000$ ). O gráfico 9, apresenta as retas que definem o comportamento evolutivo médio de cada turma.

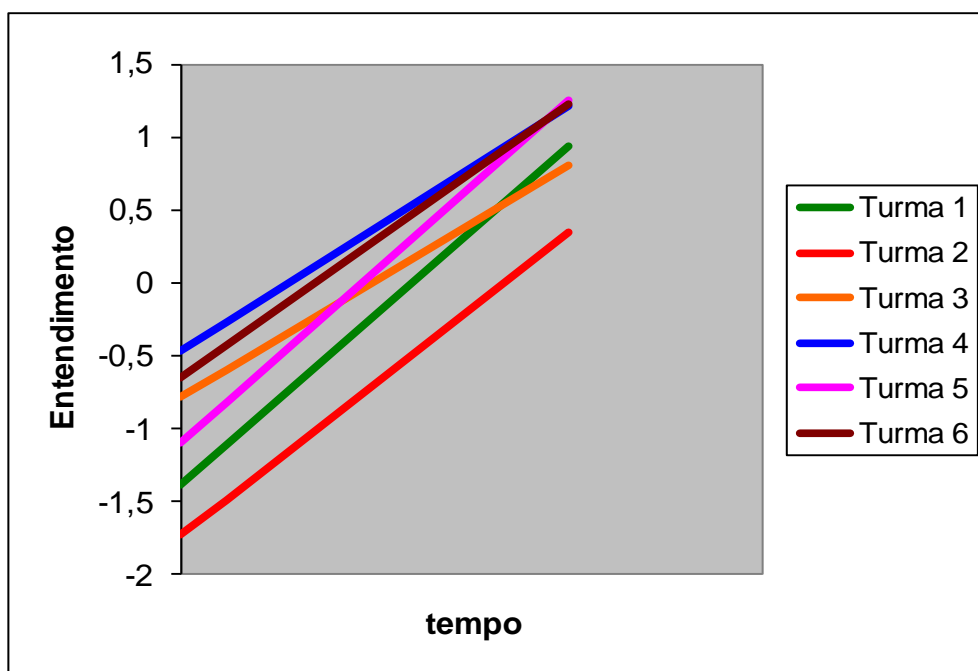


GRÁFICO 9: Evolução média dos estudantes segundo a turma

Vale lembrar que na IFE os estudantes eram organizados em turmas segundo o curso de origem, por isso, a semelhança perceptível do perfil evolutivo dos estudantes quando agrupados pela turma e quando agrupados segundo o curso. A diferença é que nesse momento o foco está na verificação de algum efeito de turma e para atender a esse propósito, os estudantes antes agrupados em uma mesma categoria (os estudantes do

curso de Eletrônica e Instrumentação) foram separados e identificados pela turma que cada um deles frequentava.

Pode-se notar que as turmas 3,4 e 6 apresentaram praticamente o mesmo entendimento inicial, mas os estudantes da turma 3 alcançaram um nível de entendimento menor que os estudantes das turmas 4 e 6 que atingiram elevados níveis de entendimento, juntamente com a turma 5. O entendimento inicial das turmas 1 e 5 difere pouco das turmas 3,4 e 6. Entretanto, o entendimento inicial das turmas 1 e 5 difere bem da turma 2. Considerando que o entendimento inicial esteja associado a aprendizagens passadas, pode-se dizer que apesar do curso de Física apresentar um desenho semelhante para todas as turmas, a turma 2, que agrupa os estudantes que cursam somente o Ensino Médio, foram os que alcançaram menor entendimento no domínio da eletricidade nas duas primeiras séries do ensino médio.

O gráfico 10 indica que apesar dos dois grupos de engajamento comportamental começarem de forma distinta os estudantes dos diferentes grupos alcançam praticamente ao mesmo entendimento final. Entretanto, o procedimento ANOVA indica que não existe diferença entre entendimento inicial dos diferentes grupos ( $F_{(1,133)} = 1,849$ ;  $p=0,176$ ) e também não verificou diferença no ganho de entendimento alcançado pelos dois grupos ( $F_{(1,133)}=1,780$ ;  $p=0,184$ ). Esse resultado é um indício que não basta os estudantes manterem-se engajados comportamentalmente para apresentar uma maior aprendizagem em Física.

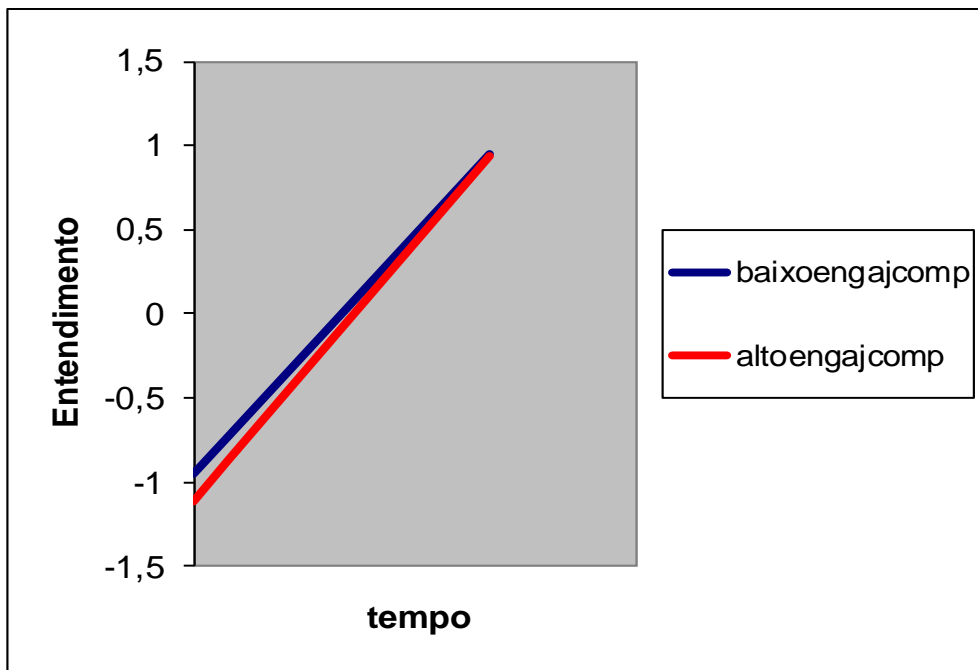


GRÁFICO 10: Evolução média dos estudantes segundo o engajamento comportamental

Com relação ao engajamento cognitivo, a diferença entre a evolução média dos diferentes grupos é significativa, pois a análise ANOVA aponta para uma diferença entre os ganhos no entendimento alcançados pelos diferentes grupos de engajamento cognitivo ( $F_{(2,83)} = 5,950$ ;  $p = 0,004$ )<sup>41</sup>, apesar de não verificar influência no estado inicial dos estudantes ( $F_{(2,83)} = 2,5633$ ;  $p = 0,083$ ). Isso significa que em média os estudantes iniciam a unidade da mesma forma, mas devido às diferenças no engajamento cognitivo alcançam diferentes níveis de entendimento no final do curso. Analisando o gráfico 11, pode-se perceber que os estudantes que se mantiveram cognitivamente engajados ao longo da unidade de eletricidade (engajcogest), apresentaram um maior ganho (evoluíram a uma maior taxa) e mesmo apresentando um menor entendimento inicial, esses estudantes alcançaram altos níveis de entendimento no final do curso.

<sup>41</sup> Como os estudantes que mantiveram um comportamento instável com relação ao seu engajamento cognitivo (engajcogoh) ao longo do curso e os que desenvolveram uma maior instabilidade no final do curso (engajcogof) apresentaram um comportamento evolutivo médio parecido, essas duas categorias foram organizadas em um único grupo para a realização do procedimento ANOVA. Dessa forma o procedimento foi conduzido para testar a diferença entre três grupos de engajamento cognitivo sendo que o primeiro grupo corresponderia a categoria engajcogest, o segundo grupo as categorias engajcogoh e engajcogof e o terceiro grupo corresponderia a categoria engajcogoa.

O fato dos estudantes 103 e 204<sup>42</sup> terem mantido o engajamento cognitivo ao longo da unidade de eletricidade, talvez ajude a explicar a maior taxa evolutiva alcançada por eles se comparados aos outros estudantes da amostra. Apesar de não acessar o estado de engajamento cognitivo do estudante 219 ao longo da unidade de eletricidade, talvez o declínio no entendimento desse estudante possa ser explicado pelo argumento previsto por Fischer e Bidell (2006) ao considerarem que períodos de decrescimento (regressões) podem anteceder à construção de novo entendimento.

. Um efeito controverso parece ser descrito pelos estudantes do grupo engajado. Os estudantes desse grupo evoluíram, mas apresentaram a menor taxa evolutiva se comparada aos outros grupos de engajamento. Esperava-se que eles evoluíssem mais que os estudantes que mantiveram um comportamento completamente instável ao longo das aulas, uma vez que ao final da unidade de eletricidade eles apresentavam uma tendência de estabilidade do engajamento cognitivo e, como foi verificado anteriormente, a estabilidade no engajamento contribui para uma maior aprendizagem dos estudantes.

---

<sup>42</sup> Nenhuma hipótese foi levantada nesse momento para estabelecer uma relação entre o estado de engajamento cognitivo e a taxa de evolução dos estudantes 176 e 219 devido à falta de informações sobre o estado de engajamento cognitivo deles. Vale ressaltar que para a construção do indicador de engajamento cognitivo foram considerados somente os dados dos 86 estudantes que responderam aos 7 testes propostos ao longo do curso de eletricidade.

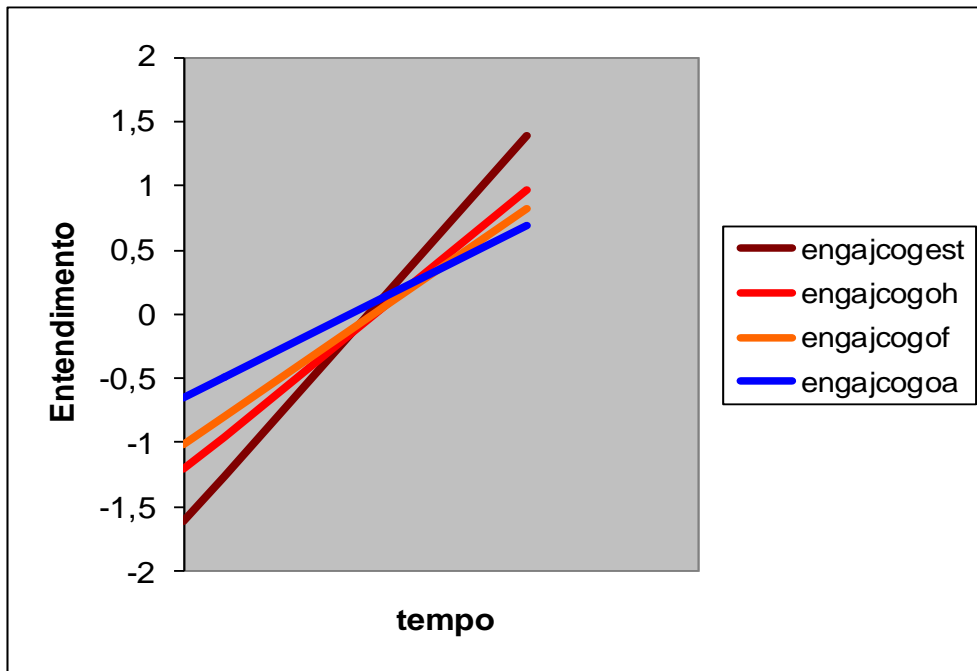


GRÁFICO 11: Evolução média dos estudantes segundo o engajamento cognitivo

O gráfico 12 apresenta a evolução média dos estudantes pertencentes a diferentes níveis socioeconômicos. Aparentemente a diferença dos dois grupos está no entendimento inicial dos seus estudantes que foi maior para os estudantes de menor nível socioeconômico. Entretanto, a análise ANOVA aponta para uma equivalência do entendimento inicial ( $F_{(1,124)}=0,514$ ;  $p=0,475$ ) e dos ganhos alcançados pelos dois grupos ( $F_{(1,124)}=0,088$ ;  $p=0,767$ ). Esse resultado indica que o comportamento evolutivo dos estudantes não é influenciado pelo seu pertencimento a um determinado grupo socioeconômico.

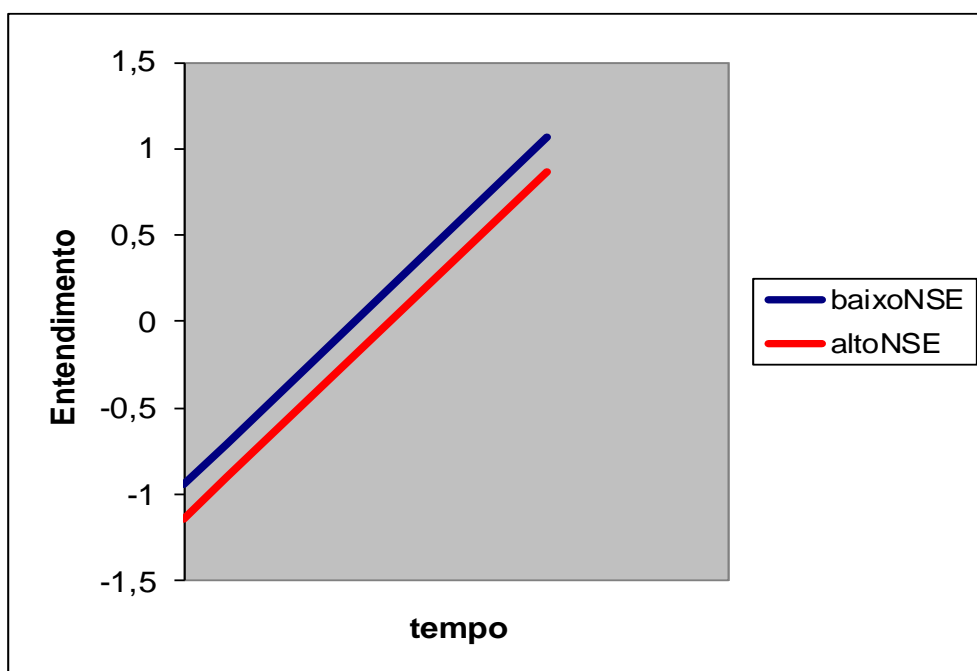


GRÁFICO 12: Evolução média dos estudantes segundo o nível socioeconômico 108

#### 4.2.2-A análise multinível: estabelecendo uma hierarquia de dois níveis

A análise multinível estruturada em dois níveis poderá trazer um refinamento para o estudo da evolução iniciada na análise exploratória, uma vez que esse modelo possibilita a definição de parâmetros que possam explicar tanto a evolução média quanto a evolução de cada um dos participantes. O interesse nesse momento é verificar o comportamento da população em relação à mudança no entendimento no domínio da eletricidade e os fatores hipotetizados que ajudam a explicar essas mudanças.

O primeiro nível representa a mudança individual do entendimento de cada estudante ao longo do tempo. O segundo nível estabelece a relação entre os preditores (fatores ou contextos educacionais) e os parâmetros de crescimento do primeiro nível. Nesse momento da investigação os preditores hipotetizados para investigar o comportamento da população são os mesmos utilizados na análise exploratória, exceto as variáveis que especificam o gênero, o engajamento comportamental e o nível socioeconômico do estudante, isso porque foi constatado na análise exploratória que esses fatores não contribuem para explicar as diferenças evolutivas dos estudantes. Diante disso, o modelo que estabelece a relação entre os parâmetros de primeiro e segundo nível é:

$$Y_{ij} \left| \begin{array}{l} \text{componente} \\ \text{estrutural} \end{array} \right. = g_{00} + g_{10}(\text{tempo}_{ij}) + g_{02}(\text{curso}_i) + g_{12}(\text{curso}_i)(\text{tempo}_{ij}) + g_{03}(\text{turma}_i) + g_{15}(\text{engajcog}_i)(\text{tempo}_{ij})$$

$$r_{ij} = Y_{ij} \left| \begin{array}{l} \text{componente} \\ \text{aleatória} \end{array} \right. = z_{0i} + z_{1i}(\text{tempo}_{ij}) + e_{ij}$$

#### 4.2.2.1-Nível 1 do modelamento multinível- Como o entendimento dos estudantes muda ao longo do tempo?

A análise foi conduzida inicialmente no software MLwiN versão 2.16 (RABASCH et.al., 2009) que permite a presença de dados faltantes em sua estrutura. Vale ressaltar que a métrica do tempo utilizada no modelamento multinível foi a mesma utilizada na análise exploratória.

O modelo de primeiro nível foi desenvolvido considerando que o intercepto (o estado inicial do estudante) possui um componente fixo ( $\beta_{0i}$ ) e apresenta uma componente aleatória no segundo nível ( $s_0^2$ ). A inclinação (representa o parâmetro de mudança no tempo) apresenta um componente fixo ( $\beta_{1i}$ ) e um componente aleatório no nível 2 ( $s_1^2$ ). A tabela 7 apresenta os resultados das estimativas para o intercepto e para a inclinação e das componentes residuais para o modelo padrão de regressão. Foi utilizado o algoritmo IRLS (“Iterative Generalized Least Square”), pois esse algoritmo produz estimativas de máxima verossimilhança (ML) para os parâmetros e componentes da variância (DEL PINO, 1989).

TABELA 7: Estimativa dos efeitos fixos e aleatórios e das estatísticas de ajuste global para o modelamento de primeiro nível.

	Parâmetros	Estimativa	Erro padrão	Estatística t
Parte estrutural (efeitos fixos)	Intercepto ( $\beta_{0i}$ )	-1,056	0,087	-12,138
	Inclinação ( $\beta_{1i}$ )	1,995	0,136	14,669
Variância residual-Nível 1	$s_e^2$	1,414	0,133	
Variância residual-intercepto nível 2	$s_0^2$	0,061	0,087	
Variância residual-inclinação nível 2	$s_1^2$	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	
Covariância	$s_{01}$	0,000	0,000	
Deviância	<b>1148,107</b>			

A estatística  $t$  é usada para testar a significância de cada um dos parâmetros para o modelo adotado. Essa estatística é determinada pela razão entre a estimativa e o desvio padrão da estimativa e testa se o valor estimado do parâmetro é significativamente diferente de zero. Para testar se o valor estimado para o parâmetro de interesse é significativamente diferente de zero tem que comparar o valor encontrado com o valor crítico de  $t$ , para o nível de significância escolhido. Nessa pesquisa o nível de significância adotado é de 95% o que fornece um  $t$  crítico igual a 1,96. Dessa forma, se o valor encontrado pela estatística for maior que 1,96, há evidência para aceitar que o parâmetro estimado é diferente de zero.

Analisando os dados da tabela percebe-se que as estimativas dos parâmetros fixos são significativas ( $t = -12,138$  para o intercepto e  $t = 14,669$  para a inclinação) e seus valores são próximos aos valores dos parâmetros da reta que descreve a evolução temporal média da amostra, evidenciada na análise exploratória. Entretanto, a componente residual para o intercepto do segundo nível não convergiu ( $S_1^2 = 0,000$ ). Esse resultado pode estar associado aos limites impostos às estimativas das componentes residuais, discutidos anteriormente na seção 2.6.1.3.

Nesse estudo é pouco provável que variância residual para a inclinação de segundo nível seja nula, uma vez que na análise exploratória foram identificadas diferenças nas trajetórias individuais dos estudantes e principalmente foi verificada a influência de preditores (o engajamento cognitivo e o curso frequentado pelo estudante) no ganho do entendimento dos estudantes. Na tentativa de ultrapassar os limites impostos pelo modelo com a estrutura de covariância padrão e tendo em vista a possibilidade de aumentar a precisão nas estimativas dos efeitos fixos, decidiu-se por modelar a estrutura de covariância e reconduzir a regressão de primeiro nível.



#### 4.2.2.1.1-Ajustando o modelo com a estrutura de covariância alternativa

O modelamento de primeiro nível foi reajustado com as seis estruturas alternativas para a matriz de covariância. As estatísticas AIC e BIC foram utilizadas para selecionar o modelo com melhor ajuste. Além disso, como a parte estocástica (aleatória) da regressão multinível foi modelada, a análise foi reconduzida no software SPSS no modo “modelos mistos”, pois o MLwiN (RABASCH et.al., 2009) não realiza esse procedimento.

Na estimação dos parâmetros do modelo com a estrutura de covariância padrão utilizou-se o método de verossimilhança (ML). Para os modelos com a matriz de covariância alternativa, as componentes da variância foram estimadas utilizando-se o método de máxima verossimilhança restrita (REML). Hedeker e Gibbons (2006) afirmam que o método REML mantém as demais propriedades do ML, entretanto, apresenta-se como sendo mais adequado para testar o ajuste dos efeitos aleatórios de um modelo, uma vez que esse método reduz o viés (negativo) associado à estimativa dos componentes de variância residual.

A tabela 8 apresenta o resultado do ajuste da regressão de primeiro nível para os modelos construídos com as seis estruturas de covariância alternativa e também para a estrutura de covariância padrão<sup>43</sup>.

TABELA 8: Ajuste global do modelo de primeiro nível com diferentes matrizes de covariância

Estatísticas	Estrutura da matriz de covariância						
	Padrão	UN	CS	CSH	AR1	ARH1	TP
AIC	1154,173	<b>1117,395</b>	1157,826	1126,243	1156,659	1122,958	1154,410
BIC	1169,650	<b>1140,611</b>	1165,565	1151,721	1164,397	1148,436	1166,018

<sup>43</sup> Nesse momento, os parâmetros do modelo com a estrutura de covariância padrão foram estimados com o algoritmo REML.

Mesmo alterando o algoritmo para a estimativa dos parâmetros, não houve convergência para a estimativa das componentes residuais para o modelo com a estrutura de covariância padrão. Analisando a tabela 8, pode-se perceber que o modelo com a matriz de covariância Não-estruturada (UN) foi a que apresentou o melhor ajuste (menor valor das estatísticas AIC e BIC se comparado às outras estruturas de covariância). Como foi desenvolvido um estudo longitudinal com três ondas de dados, não foi produzido um número grande de estimativas para as componentes aleatórias (apenas 6 estimativas) para essa estrutura de covariância, dessa forma, nenhuma dificuldade computacional seria imposta a ponto de limitar as estimativas dessas componentes.

As estimativas dos parâmetros fixos mantiveram-se significativos ( $t = -11,240$  para o intercepto e  $t = 16,172$  para a inclinação) e se comparados com os parâmetros estimados com a estrutura de covariância padrão, não houve uma mudança significativa entre seus valores como pode ser percebido na tabela 9. Além disso, pode-se perceber que os erros padrões das estimativas diminuem quando ajustamos o modelo com a estrutura de covariância Não-estruturada, sinalizando para uma melhor representação do modelo.

TABELA 9: Estimativa dos efeitos fixos com diferentes estruturas de covariância

		<b>Estimativa produzida com a estrutura de covariância padrão</b>	<b>Estimativa produzida com a estrutura de covariância Não-estruturada</b>
Efeitos fixos	intercepto ( $\beta_{0i}$ )	-1,049 (0,100)	-1,048 (0,093)
	inclinação ( $\beta_{1i}$ )	1,989 (0,127)	1,997 (0,123)
Estatísticas de ajuste	Deviancia	<b>1146,173</b>	<b>1105,395</b>
	AIC	<b>1154,173</b>	<b>1117,395</b>
	BIC	<b>1169,650</b>	<b>1140,611</b>

O resultado da análise do modelamento de primeiro nível ajustado com a estrutura de covariância Não-estruturada indica que os estudantes iniciam a unidade de eletricidade com um entendimento relativamente baixo (-1,048 logits) e apresentam uma inclinação positiva (1,997 logits). Isso significa que o entendimento da população aumenta ao longo do tempo, como pode ser observado no gráfico 13 que apresenta uma reta ascendente.

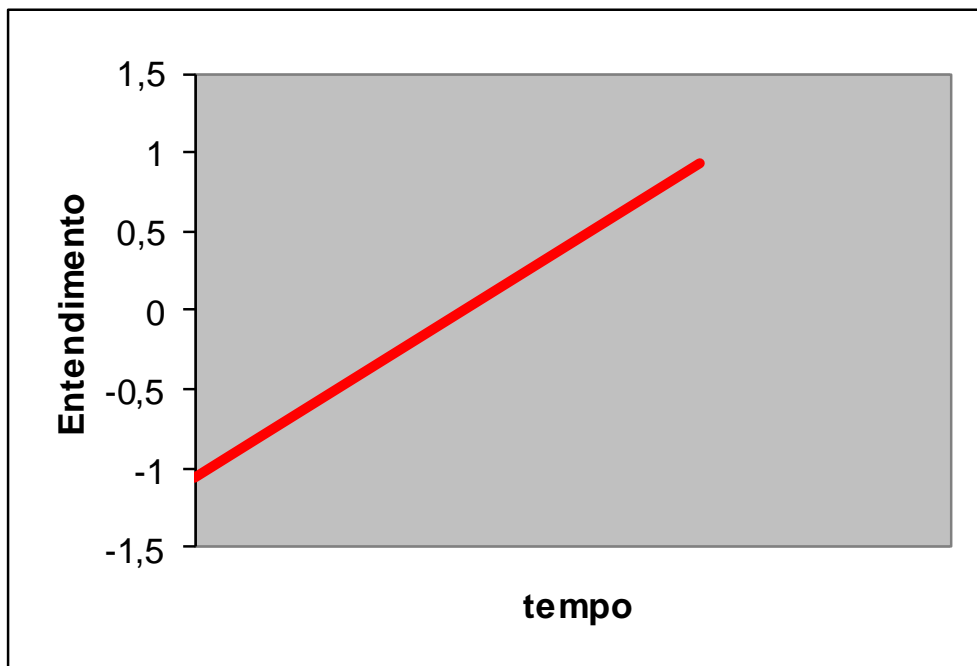


GRÁFICO 13: Evolução média do entendimento para a população

#### ***4.2.2.2-Nível 2 do modelamento multinível- Quais fatores (preditores) contribuem para explicar as mudanças no entendimento dos estudantes?***

Constatou-se que a população evoluiu no entendimento dos conceitos no domínio da eletricidade. A partir desse momento precisam-se identificar os fatores (preditores) que ajudam a explicar as diferenças nas taxas evolutivas alcançadas pelos estudantes. Para estabelecer a relação entre os efeitos fixos do primeiro nível (intercepto e inclinação) e os preditores engajamento cognitivo, turma e curso, utilizou-se uma estrutura de covariância alternativa para a construção do submodelo de segundo nível. Esse procedimento também foi conduzido no software SPSS versão 16.

Para descrever o comportamento da população, foram construídos diferentes modelos de crescimento individual acrescentando os preditores descritos anteriormente um de cada vez. Esses modelos foram testados primeiramente com a estrutura de covariância Não-estruturada por apresentar o melhor ajuste na estrutura de primeiro nível. Verificou-se que três desses modelos mantiveram uma estrutura hierárquica com todos os seus parâmetros significativos. O quadro 7 apresenta a parte estrutural desses modelos e a tabela 10 apresenta os resultados das estatísticas de ajuste (Deviância, AIC e BIC) e dos parâmetros dos efeitos fixos para esses três modelos.

QUADRO 7: Taxonomia da parte estrutural dos três modelos ajustados com a estrutura de covariância alternativa

Modelo	Modelo Composto (parte estrutural)
A	$Y_{ij} = g_{00} + g_{10}(tempo_{ij})$
B	$Y_{ij} = g_{00} + g_{10}(tempo_{ij}) + g_{15}(engajcogest_i)(tempo_{ij})$
C	$Y_{ij} = g_{00} + g_{10}(tempo_{ij}) + g_{03}(turma2_i) + g_{15}(engajcogest_i)(tempo_{ij})$

TABELA 10: Resultado dos modelos ajustados para o segundo nível do modelamento multinível

		Parâmetro	Modelo A (estrutura de covariância Não-estruturada)	Modelo B (estrutura de covariância Não-estruturada)	Modelo C (estrutura de covariância Não-estruturada)
Parte estrutural	Estado inicial ( $\beta_{0i}$ )	intercepto $g_{00}$	-1,048 (0,093)	-1,062 (0,115)	-0,935 (0,117)
		turma 2 $g_{03}$			-0,802 (0,158)
		engajcogest $g_{05}$			
	Inclinação ( $\beta_{1i}$ )	intercepto $g_{10}$	1,997 (0,123)	1,928 (0,154)	1,910 (0,155)
		turma 2 $g_{13}$			
		engajcogest $g_{15}$		0,520 (0,247)	0,729 (0,234)
<b>Estatísticas de ajuste</b>	Deviância(D)		<b>1105,395</b>	<b>681,662</b>	<b>663,389</b>
	AIC		<b>1117,395</b>	<b>693,662</b>	<b>675,389</b>
	BIC		<b>1140,611</b>	<b>714,185</b>	<b>695,886</b>

Analisando a tabela 10 constata-se que à medida que os preditores são inseridos no modelo de primeiro nível melhora-se o ajuste. O modelo C é o que apresenta o melhor ajuste por alcançar um menor valor para a deviança e para as estatísticas AIC e BIC. Entretanto, precisa-se testar se o modelo C com a estrutura alternativa Não-estruturada realmente apresenta um ajuste melhor do que se o modelo fosse construído com qualquer das outras 5 estruturas de covariância alternativa. A tabela 11 apresenta o resultado do ajuste do modelo C com as diferentes estruturas para a matriz de covariância.

TABELA 11: Ajuste global do modelo de segundo nível com diferentes matrizes de covariância

Estatísticas	Estrutura da matriz de covariância					
	UN	CS	CSH	AR1	ARH1	TP
AIC	675,389	693,926	674,990	693,952	684,813	695,917
BIC	695,886	700,758	688,654	700,785	698,478	706,165

Analisando a tabela 11, pode-se perceber que o modelo C com a estrutura de covariância Simétrica Composta Heterogênea (CSH) ajusta-se melhor do que quando o modelo foi testado com a estrutura de covariância Não-estruturada ( $AIC_{CSH} < AIC_{UN}$ ;  $BIC_{CSH} < BIC_{UN}$ ). A tabela 12 apresenta as estimativas dos parâmetros do modelo C com as duas estruturas de covariância. Pode-se perceber que os valores dos parâmetros estimados são praticamente os mesmos para as duas estruturas de covariância. Entretanto, quando os parâmetros foram estimados com a estrutura CSH houve uma redução dos erros padrões. O ajuste do modelo com a estrutura de covariância Simétrica Composta Heterogênea pode ser representado pela equação:

$$Y_{ij} = -0,917 + 1,887(\text{tempo}_{ij}) - 0,822(\text{turma}2_i) + 0,741(\text{engajcogest}_i)(\text{tempo}_{ij})$$

TABELA 12: Estimativa dos parâmetros do modelo C com diferentes estruturas de covariância

				<b>Estimativa produzida com a estrutura de covariância Não-estruturada (UN)</b>	<b>Estimativa produzida com a estrutura de covariância Simétrica Composta Heterogênea (CSH)</b>
Efeitos fixos	intercepto ( $\beta_{0i}$ )	intercepto	$g_{00}$	-0,935 (0,117)	-0,917 (0,110)
		turma2	$g_{03}$	-0,802 (0,158)	-0,822 (0,157)
	inclinação ( $\beta_{1i}$ )	intercepto	$g_{10}$	1,910 (0,155)	1,887 (0,147)
		engajcogest	$g_{15}$	0,729 (0,234)	0,741 (0,233)
Estatísticas de ajuste	AIC			<b>675,389</b>	<b>674,990</b>
	BIC			<b>695,886</b>	<b>688,654</b>

O gráfico 14 apresenta o efeito das variáveis predictoras- engajamento cognitivo estável (engajcogest) e turma2- na evolução média da população.

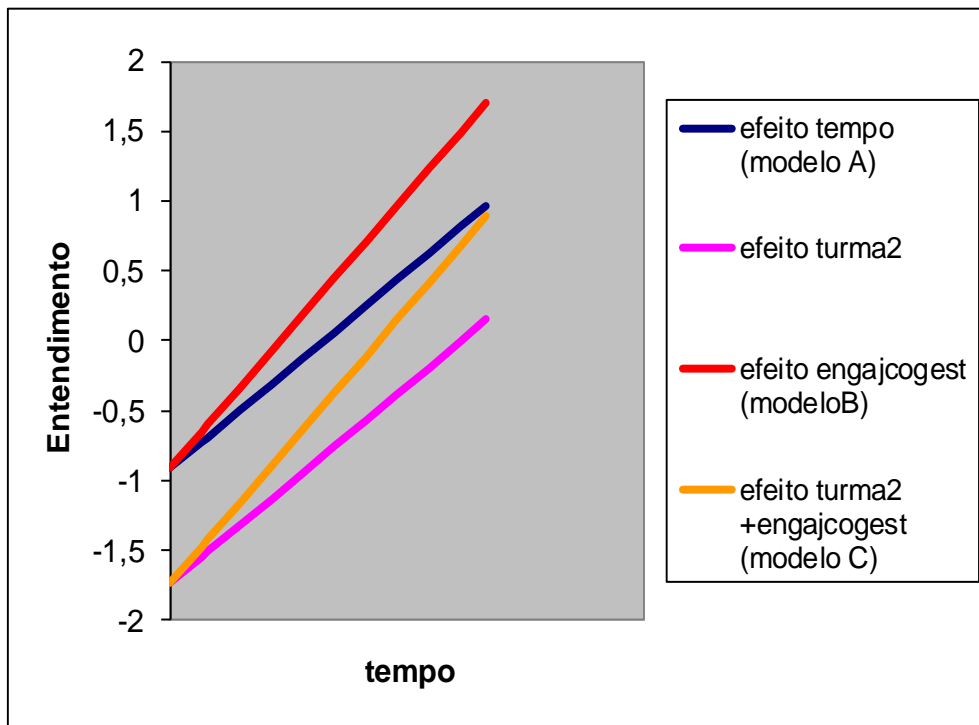


GRÁFICO 14: Efeito dos preditores na evolução média da população

Analisando o gráfico 14, pode-se notar que a manutenção do engajamento cognitivo é fator determinante para uma maior evolução no entendimento dos estudantes, visto que as retas- laranja e vermelha- são as que apresentam as maiores inclinações se comparadas à reta azul que descreve o comportamento da evolução média da população sem a inserção dos preditores. Além disso, o fato do estudante pertencer a turma 2 não apresenta efeitos sobre a taxa evolutiva dos mesmos, visto que não houve mudança na inclinação da reta rosa em relação a reta azul. Entretanto, esse resultado sinaliza para o fato dos estudantes das diferentes turmas apresentarem diferentes entendimentos sobre eletricidade no início da unidade. Dizendo de outra forma, os estudantes diferenciam-se pelo entendimento prévio em eletricidade e, nesse estudo, os estudantes da turma 2 foram os que apresentaram o menor entendimento prévio se comparado as outras turmas.

## **5-Considerações finais**

Essa pesquisa investigou se os estudantes evoluem no entendimento dos conceitos de eletricidade e também procurou identificar os fatores contextuais (preditores) que contribuem para explicar a evolução dos mesmos. Verificou-se que os estudantes evoluíram no entendimento dos conceitos de eletricidade, um indício que houve aprendizagem desses estudantes ao longo da unidade de eletricidade ministrada na terceira série do Ensino Médio. Além disso, constatou-se que a manutenção do engajamento cognitivo durante as aulas contribuiu positivamente para uma maior aprendizagem em Física.

Apesar de alguns estudos sinalizarem para a diferença no desempenho em ciências entre meninos e meninas e também para a influência do nível socioeconômico no desempenho escolar, nessa investigação esses indicadores não contribuíram para explicar a diferença na evolução do entendimento dos estudantes. Com relação ao gênero, o resultado se deve às características culturais da instituição investigada, que seleciona seus estudantes levando em consideração o desempenho dos mesmos na área das ciências exatas, independentemente do gênero. Com relação ao nível socioeconômico é reconhecido a sua influência no desempenho escolar dos estudantes, mas esse estudo não identificou uma correlação entre o NSE e a aprendizagem em Física.

Em estudos anteriores foram encontradas relações entre o vocacionamento dos estudantes e a aprendizagem em Física (COELHO, 2007; COELHO e BORGES, 2006, 2008, 2010). Nessa pesquisa, essa relação foi amenizada uma vez que os estudantes aprenderam independentemente do curso ou da turma que eles frequentavam. Entretanto, verificou-se que os estudantes das diferentes turmas diferenciam-se pelos



seus entendimentos iniciais. Os estudantes que cursavam somente o Ensino Médio e pertenciam a turma 2, foram os que apresentaram um menor entendimento inicial (se comparado aos estudantes dos outros cursos que foram organizados nas outras turmas), o que diminuiu as chances dos mesmos alcançarem altos níveis de entendimento no final da terceira série. Além disso, deve-se ressaltar que o entendimento inicial é um reflexo das aprendizagens desses estudantes nas séries anteriores e, de alguma forma, o fato do estudante ter pertencido ao curso de Ensino Médio fez toda a diferença.

Essa pesquisa identificou a relação entre o engajamento e a aprendizagem dos estudantes. Entretanto, constatou-se que não basta que os estudantes simplesmente resolvam as atividades cotidianas mantendo-se, dessa forma, o engajamento comportamental. É necessário que os estudantes estejam dispostos cognitivamente a entender os conceitos físicos, ou seja, é preciso que eles se engajem cognitivamente e que consigam manter esse engajamento ao longo da unidade de ensino.

O ambiente de aprendizagem projetado para o curso de Física da terceira série do Ensino Médio, de certa forma, conseguiu manter o engajamento comportamental dos estudantes, entretanto, foram encontrados diferentes comportamentos dos mesmos com relação ao engajamento cognitivo. Apesar dessa pesquisa não apresentar evidências sobre os fatores que contribuem para a manutenção do engajamento cognitivo dos estudantes, algumas hipóteses podem ser levantadas para explicar esse efeito: (i) o interesse pessoal com a disciplina Física; (ii) a tomada de consciência sobre a necessidade de melhora no entendimento em um determinado tema e (iii) componentes extrínsecos que norteiam o sistema escolar como o vestibular.

Pode-se considerar que os indicadores de engajamento comportamental e engajamento cognitivo desenvolvidos nessa pesquisa foram de melhor qualidade se comparados com os indicadores construídos em um estudo anterior (BORGES, JULIO

E COELHO, 2005). A análise apresentada nesse estudo aponta para o potencial da utilização do conceito de engajamento acadêmico como um dos fatores a ser investigado no ambiente de aprendizagem.

## **6-Implicações**

### **6.1-Implicações para o ensino**

O ambiente projetado para a terceira série, no qual se dedicou um menor tempo de exposição oral do professor e, mantendo as aulas centradas no trabalho em grupo e na resolução das atividades pelos estudantes, promoveu a aprendizagem dos mesmos. Além disso, percebe-se que esse ambiente consegue manter o engajamento comportamental dos estudantes. Entretanto, a manutenção do engajamento comportamental não reflete diretamente na aprendizagem em Física e, portanto, é preciso que o ambiente garanta uma dose certa de tensão para aumentar e manter o engajamento cognitivo dos estudantes.

O sistema categórico (sistema de rubricas) desenvolvido nessa pesquisa constitui um bom instrumento para o professor acompanhar o desenvolvimento da aprendizagem em eletricidade dos seus estudantes. Com esse sistema avaliativo e com os outros que serão desenvolvidos para os outros campos da Física, o professor poderá analisar em um determinado momento, qual nível de entendimento dos seus estudantes em um domínio específico da Física e dependendo dos resultados dessas medidas, ele poderá agir de forma imediata em sua prática com intuito de promover uma melhor aprendizagem dos seus estudantes.

A perspectiva teórica adotada nessa pesquisa corrobora com o fato do entendimento de noções mais complexas de um tema depender do entendimento inicial do estudante e, de certa forma, essa pesquisa apresentou evidências empíricas que

sustentam esse argumento. Dessa forma, ao desenvolver uma proposta de ensino deve-se levar em consideração o nível de entendimento que o estudante possui. Uma proposta que englobe noções mais abstratas sobre um determinado tema, deve ser dirigida a sujeitos que já tenham certa familiaridade com o tema. No domínio da eletricidade, autores como Lijnsee (1995) acreditam que os modelos microscópicos dos processos físicos deveriam ser introduzidos depois que os estudantes estivessem familiarizados com os modelos macroscópicos.

A organização do currículo de Física com diferentes níveis de recursividade pode contemplar os diferentes níveis de complexidade envolvidos para o entendimento de um determinado conceito. Dessa forma, a unidade eletricidade, que na maioria das instituições de ensino (o que não corresponde a IFE na qual a pesquisa foi conduzida) é tradicionalmente abordado na terceira série do ensino médio, deveria ser introduzido nas primeiras séries do ensino médio e até mesmo ser introduzido no ensino fundamental. No ensino fundamental, quando os estudantes já conseguem estabelecer representações (camada representacional) sobre um determinado conceito, a abordagem deveria ser focada nos efeitos observáveis e no entendimento de modelos macroscópicos associados ao circuito elétrico simples e no final da escolarização básica o foco deve ser em uma abordagem de ensino que envolva noções mais sofisticadas como o modelo de condução elétrica nos metais levando em consideração a propagação de campo elétrico no circuito.

## **6.2-Implicações para a pesquisa acadêmica**

Apesar da especulação sobre alguns fatores associados à manutenção do engajamento cognitivo dos estudantes, nessa pesquisa não foram apresentadas evidências empíricas sobre esses fatores. Novos estudos devem ser conduzidos levando

em consideração a busca dessas fontes de evidência na tentativa de construir uma trama conceitual estabelecendo uma relação entre motivação intrínseca e extrínseca, o engajamento cognitivo e a aprendizagem em Física.

Essa pesquisa manteve parte do caráter instrumental utilizado em estudos anteriores (COELHO, 2007 e COELHO E BORGES, 2006, 2008), com diferenças em relação às categorias de interpretação das respostas dos estudantes. Nesse momento, procurou-se fundamentar o sistema categórico em termos de uma teoria de desenvolvimento cognitivo. O esforço futuro será em desenvolver e validar instrumentos qualitativos e quantitativos que envolvam as principais áreas da Física como: (i) eletromagnetismo, (ii) energia mecânica, térmica e elétrica, (iii) explicação newtoniana do movimento, (iv) ótica geométrica e física (v) física ondulatória.

Com relação aos instrumentos qualitativos a ideia é prosseguir levando em consideração o desenvolvimento de questões dissertativas e fundamentar as suas categorias de interpretação em termos de uma estrutura hierárquica entre as concepções apresentadas pelos estudantes em suas respostas, da mesma forma que foi realizada nessa pesquisa. Quanto aos instrumentos quantitativos, a construção de testes padronizados com itens fechados é uma metodologia bem conhecida e seguirá os métodos desenvolvidos na análise da prova trimestral dessa pesquisa.

O desenvolvimento desses instrumentos se faz necessário, pois, para analisar a evolução conceitual dos estudantes do ensino médio e do ensino superior nos principais campos da Física é preciso ter instrumentos que permitem acessar os diferentes domínios de conhecimento em diversas ocasiões de medida. Os resultados dessas medidas podem ser relacionados para analisar os aspectos associados à aprendizagem de diferentes conceitos físicos e a relação da aprendizagem com o ambiente da sala de aula de Física.

## Referências Bibliográficas

AFRA, N.C.; OSTA, I; ZOUBEIR, W. Students alternative conceptions about electricity and effect of inquiry-based teaching strategies. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v.7, p. 103- 132, 2007.

AGUIAR JR., O. As três formas da equilibração e a mudança conceitual: análise do material didático de um curso de eletricidade básica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 72-91, 1999.

AGUIAR JR., O. Modelo de ensino para mudanças cognitivas: um instrumento para o planejamento do ensino e a avaliação da aprendizagem em ciências, 2001. **Tese de Doutorado** (Doutorado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

AKAIKE, H. Information theory as an extension of the maximum likelihood principle. In. PETROV, B. N. E CSAKIF, (eds). **Second International symposium information theory**, Budapest, Hungary: Academiai Kiado, 1973.

AL-MARSHADI, A.H., The new approach to guide the selection of the covariance structure in mixed model. **Research. Journal of Medicine and Medical Sciences**, v.2, p.88-97, 2007. Disponível em: <http://www.insipub.com/rjmms/2007/88-97.pdf>, Acessado em 15/05/2010.

AMANTES, A. O entendimento de estudantes do Ensino Médio sobre Movimento Relativo e Sistema de Referência, 2005 **Dissertação de Mestrado** (Mestrado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

AMANTES, A. Contextualização no ensino de Física: Efeitos sobre a evolução do entendimento dos estudantes, 2009. **Tese de Doutorado** (Doutorado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

ANDERBERG, E. Word meaning and conceptions. An empirical study of relationships between students' thinking and use of language when reasoning about a problem. **Instructional Science**, v. 28, p. 89–113, 2000.

BAR, V.; GALILI, I. Learning electricity in elementary school. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v.4, p. 45-71, 2006.

BARAM-TSABARI, A.; SETHI, R. J.; BRY, L.; YARDEN, A. Asking scientists: a decade of questions analyzed by age, gender and country. **Science Education**, 93, v. 1, p. 131-160, 2008.

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

BORGES, A.T. Mental Models of Electromagnetism, 1996. **Tese de Doutorado** (Doutorado em Educação) -Department of Science and Technology Education, Reading University, UK.

BORGES, A.T. Como evoluem os modelos mentais. **Revista ensaio**, v.1, n.1, p. 85-125, 1999.

BORGES, O; COELHO, G. R.; JULIO, J.M. Avaliando a aprendizagem atendendo às diferenças individuais. Simpósio Nacional de Ensino de Física, XVI, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. **IN. Atas.**

BORGES, O; JULIO, J.M.; COELHO, G. R. Efeitos de um ambiente de aprendizagem sobre o engajamento comportamental, o engajamento cognitivo e sobre a aprendizagem. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, V, Bauru, SP, 2005. **IN. Atas.**

BRASIL. Secretaria da Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais:** introdução aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC/SEF, 1998. Disponível em: [ftp://ftp.fnde.gov.br/web/pcn/05\\_08\\_ciencias\\_naturais.pdf](ftp://ftp.fnde.gov.br/web/pcn/05_08_ciencias_naturais.pdf). Acessado em 17 de julho de 2009.

BRASIL Ministério da Educação e Cultura. Secretaria de Educação Básica. **Orientações curriculares para o Ensino Médio:** Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias, 2006. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book\\_volume\\_02\\_internet.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf). Acesso em 17 de julho de 2009.

BROWNE, W. J. **MCMC estimation in MLwiN- Version 2.13.** University of Bristol, 2009.

BRUNER, J. **O Processo da Educação.** Tradução de Lólio Lourenço de Oliveira Companhia editora Nacional. São Paulo, 1968. 97 p. Título original The Process of Education.

CARVALHO, M. P. O fracasso escolar de meninos e meninas: articulações entre gênero e cor/raça. **Caderno Pagu** (online), n.22, p. 247-290, 2004.

CEPNI, S.; KELES, E. Turkish students conceptions about the simple electric circuits. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 4, p.269-291, 2006.

CLOSSET, J.L. Sequential reasoning in electricity, In: **International Workshop of Research on Physics Education**, 1, 26/06-13/07/83, La Londe lês Maures (FR). Proceedings of the. First... Paris: Editions CNRS, p.313-319, 1983.

COELHO, G.R. A evolução dos modelos explicativos dos estudantes sobre circuitos elétricos e sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. 2007. **Dissertação de Mestrado** (Mestrado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

COELHO, G. R.; BORGES, O. A evolução dos modelos sobre circuitos elétricos em um currículo recursivo. Encontro de Pesquisas em Ensino de Física, X, Londrina, PR, 2006. **IN Atas**

COELHO, G. R.; BORGES, O. O entendimento dos estudantes do terceiro nível de um currículo recursivo sobre circuito elétrico simples. Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, XI, Curitiba, PR, 2008. **IN Atas**

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

COMMONS, M. L.; PEKKER, A. Hierarchical Complexity: **A Formal Theory** (manuscrito submetido a publicação). Disponível em [http://www.tiac.net/~commons/Hierarchical%20Complexity%20A%20Formal%20Theory%20\(Commons%20&%20Pekker\).rtf](http://www.tiac.net/~commons/Hierarchical%20Complexity%20A%20Formal%20Theory%20(Commons%20&%20Pekker).rtf). Acessado em 06/02/2009.

COSGROVE, M.; OSBORNE, R. J.; CARR, M. Children's intuitive ideas on electric current and the modification of those ideas. IN DUIT, R. ET AL (Eds) **Aspects of Understanding Electricity**. Kiel: Vertrieb Schmidt and Klauning, p.247-256, 1985.

DAWSON, T.L. **The Lectical™ Assessment System**, 2005. Disponível em <http://www.lectica.info>. Acessado em 23/08/2008.

DAWSON, T. L. Stage-like patterns in the development of conceptions of energy. In X. LIU E W. BOONE (Eds.), **Applications of Rasch measurement in science education** (pp. 111-136). Maple Grove, MN: JAM Press, 2006.

DEL PINO, G. The unifying role of iterative generalized least squares in statistical algorithms. **Statistical Science**, vol.4, p.394-408, 1989.

DRANEY, K.; WILSON, M. A LLTM approach to the examination of teachers' ratings of classroom assessment tasks. **Psychology Science Quarterly**, v. 50, n. 3, p. 417-432, 2008. Disponível em [http://www.psychologie-aktuell.com/fileadmin/download/PsychologyScience/3-2008/08\\_Draney.pdf](http://www.psychologie-aktuell.com/fileadmin/download/PsychologyScience/3-2008/08_Draney.pdf). Acessado em 29/10/2009.

DRIVER, R.; EASLEY, J. Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. **Studies in Science Education**, v.12, p.7-15, 1978.

DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P.; ROBINSON, V. **Making sense of secondary science**. Loudon: Routledge, (1ed), 1994.

DRIVER, R.; GUESNE, E.; TIBERGHIE, A. **Ideas científicas en la infancia y la adolescencia**. Madrid: Ediciones Morata (3 ed), 1996.

DUIT, R.; VON RHÖNECK, C. **Connecting Research in Physics Education with Teacher Education**, 1998. Edited by A. Tiberghien, E.L. Jossem and J. Barajos (International Commission on Physics Education), disponível em <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/C2.html>. Acesso em fevereiro 2007.

FELDMAN, D. H. Piaget's stages: the unfinished symphony of cognitive development. **New Ideas in Psychology**, v.22, p.175-231, 2004.

FENSHAM, P.J. **Defining and identity: The evolution of science education as a field of research**. Kluwer Academic Publishers (1 ed), 2004.

FISCHER, K. W. A theory of cognitive development: The control and construction of hierarchies of skills. **Psychological Review**, v. 87, p. 477-531, 1980.

FISCHER, K. W. Dynamic cycles of cognitive and brain development: Measuring growth in mind, brain, and education. In A. M. BATTRO, K. W. FISCHER & P. LÉNA (Eds.), **The educated brain** (p.127-150). Cambridge U.K.: Cambridge University Press, 2008.

FISCHER, K. W.; BIDELE, T. R. Dynamic development of psychological structures in action and thought. IN R. M. LERNER (Ed.) **Handbook of child psychology**. V. 1: Theoretical models of human development 5th ed., New York: Wiley, p. 467-561, 2006.

FISHER, W. P. The cash value of reliability. **Rasch Measurement Transactions**, v.22, n. 1, 2008. Disponível em <http://www.rasch.org/rmt/rmt221i.htm>. Acesso em abril 2009.

FRANCIS, D. J.; SHAYWITZ, S. E.; STUEBING, K. K.; SHAYWITZ, B. A.; FLETCHER, J. M. Developmental lag versus deficit models of reading disability: a

- longitudinal, individual growth curves analysis. **Journal of Educational Psychology**, v.88, n.1, p.3-17, 1996.
- FREDRICKS, J. A.; BLUMENFELD, P. C.; PARIS, A. H. School Engagement: Potential of the Concept, State of the Evidence. **Review of Educational Research**, v.74, n. 1, p. 59-109, 2004.
- FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. Difficulties in Learning the Concept of Electric Field. **Science Education**, v.82, p.511-526, 1998.
- FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. La enseñanza del concepto de campo eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. **Enseñanza de Las Ciências**, v.19, p. 319-334, 2001.
- FURIÓ, C.; GUIASOLA, J.; ALMUDI, J. M.; CEBERICO, M. Learning the electric field concept as oriented research activity. **Science Education**, v. 87, p. 640-662, 2003.
- GENTNER, D.; GENTNER, D.R. Flowing waters or moving crowd: Mental models of electricity. In D. GENTNER and A. L. STEVENS (Eds.), **Mental Models**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, p. 99-130, 1983.
- GOLDSTEIN, H., HEALY, M. J. R., RASBASH, J. Multilevel time series models with applications to repeated measures data. **Statistics in Medicine**, v.13, p.1643-1655, 1994.
- GUTTMAN, L. A basis for scaling qualitative data. **American Sociological Review**, n.9, p. 139-150, 1944.
- HAGQUIST, C. Psychometric Properties of the Psychosomatic Problems Scale: A Rasch Analysis on Adolescent Data. **Social Indicator Research**, v.86, p.511-523, 2007.
- HAGQUIST, C., BRUCE, M.; GUSTAVSSON, J.P. Using the Rasch model in nursing research: An introduction and illustrative example. **International Journal of Nursing Studies**, v.46, p.380-393, 2009.
- HEDEKER, D.; GIBBONS, R.D. MIXREG: a computer program for mixed-effects regression analysis with autocorrelated errors. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 49, p. 229-252, 1996.
- HEDEKER, D., GIBBONS, R. D. **Longitudinal Data Analysis**, Hoboken, NJ: Wiley. 337p, 2006.
- JANNUZZI, P.M.; BAENINGER R. Qualificação Socioeconômica e demográfica das classes da escala ABIPEME. **Revista de Administração**, v.31, n.3, p.82-90, 1995.
- JONSSON, A.; SVINGBY, G. The use of scoring rubrics: Reliability, validity and educational consequences. **Educational Research Review**, v.2, p.130-144, 2007.
- LIJNSEE, P. L. Developmental research as a way to an empirically based didactical structure of science. **Science Education**, v.79, p.189-199, 1995.
- LINACRE, J. M.; WRIGHT, B. D. **WINSTEPS (Programa de computador)**. Chicago: MESA Press, 2000.
- LINACRE, J. M. Variance in Data Explained by Rasch Measures. **Rasch Measurement Transactions**, v.22, 2008. Disponível em <http://www.rasch.org/rmt/rmt221j.htm>. Acessado em 18 de março de 2010.
- LINACRE, J. M. **A user's guide WINSTEPS and MINISTEPS rasch-model computer program**. 488 p, 2009.



- LIU, X.; MCKEOUGH, A. Developmental growth in students' concept of energy: An analysis of selected items from the TIMSS database. **Journal of Research in Science Teaching**, v.42, n. 5, p. 493-517, 2005.
- MCLLDOWIE, E. Teaching voltage-current relationships without Ohm's law. **Physics education**, v.33, p. 292-295, 1998.
- MEAD, R. A Rasch Primer: The measurement theory of Georg Rasch. **Psychometrics services research memorandum**. Maple Grove, Data Recognition Corporation, 2008.
- MILLAR, R.; KING, T. Students' understanding of voltage in simple series electric circuits. **International Journal of Science Education**, v.15, n. 4, p.339-349, 1993.
- MILLAR, R.; LIM BEH, K. Students' understanding of voltage in simple parallel electric circuits. **International Journal of Science Education**, v.15, n.4, p.351-361, 1993.
- MILLSAP, R. E. Testing measurement invariance using item response theory in longitudinal data: an introduction. **Child Development Perspectives**, v.4, p.5-9, 2010.
- NOGUEIRA, C. M. M.; NOGUEIRA, M. A. A sociologia da educação de Pierre Bourdieu: limites e contribuições. **Educação e Sociedade**, v.23, n.78, p.15-36, 2002.
- NOGUEIRA, M. A. Favorecimento econômico e excelência escolar: um mito em questão. **Revista Brasileira de Educação**, n.26, p.133-144, 2004.
- OSBORNE, R. Towards modifying children's ideas about electric current. **Research in Science and Technology Education**, v.1, n.1, p.73-82, 1983.
- OSBORNE, R.; FREYBERG'S, P. **Learning in science: the implications of children's science**. Heineman, Auckland e London, 1985.
- PACCA, J. L. A.; FUKUI, A.; BUENO, M. C. F.; COSTA, R. E. P.; VALÉRIO, R. M.; MANCINI, S. Corrente elétrica e circuito elétrico: Algumas concepções do senso comum. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n.2, p 151-167, 2003.
- PARKER, J. D. A.; TAYLOR, G. J.; BAGBY, R. M., The 20-Item Toronto Alexithymia Scale III. Reliability and factorial validity in different languages and cultures. **Journal of Psychosomatic Research**, v. 55, p. 277-283, 2003.
- PARZIALE, J.; FISCHER, K. W. The practical use of skill theory in classrooms. IN R. J. STERNBERG & W. M. WILLIAMS (Eds.), **Intelligence, instruction and assessment** (p. 96-110). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.
- PERKINS, D. Teaching for Understanding. **The Professional Journal of the American Federation of Teachers**. v.17 n3, p. 8-28, 1993.
- PEUGH, J. L.; ENDERS, C. K. Using SPSS Mixed Procedure to fit cross-sectional and longitudinal multilevel models. **Educational and Psychological Measurement**, v. 65, n. 5, p. 717-741, 2005.
- PIAGET, J.; GARCIA R. **Psicogênese e História das Ciências**. Trad. Maria F.M.R. Jesuino. Editora Dom Quixote, 1987.
- PIAGET, J.; INHELDER, B. **The psychology of the child**. New York: Basic Books, 1969.
- PLANINIC, M.; IVANJCK, L; SUSAC, A. Rasch model based analysis of the Force Concept Inventory. **Physical Review Special Topica-Physics Education Research**,

v.6, p.1-11, 2010. Disponível em <http://prst-per.aps.org/pdf/PRSTPER/v6/i1/e010103>. Acessado em 01 de fevereiro de 2011.

POLLOCK, S. J. Longitudinal study of student conceptual understanding in electricity and magnetism. **Physical Review Special Topics-Physics Education Research**, v.5, p.1-10, 2009.

RASBASH, J., STEELE, F., BROWNE, W.J.; GOLDSTEIN, H., **A User's Guide to MlwiN – v2.10**, Centre for Multilevel Modelling, University of Bristol, 2009.

SCHWARTZ, M. S.; FISCHER, K. W. Building general knowledge and skill: Cognition and microdevelopment in science learning. In A. DEMETRIOU E A. RAFTOPOULOS (Eds.), **Cognitive developmental change: Theories, models, and measurement** (p.157-185). Cambridge, U.K.: Cambridge University Press, 2005.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of model. **Annals of Statistics**, v. 6, p. 461-464, 1978.

SCIENTIFIC SOFTWARE INTERNATIONAL (SSI). Use of deviance statistics for comparing models. [www.ssicentral.com/.../Use\\_of\\_deviance\\_statistics\\_for\\_comparing\\_models.pdf](http://www.ssicentral.com/.../Use_of_deviance_statistics_for_comparing_models.pdf). Acessado em 24/12/2010.

SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO DE MINAS GERAIS (SEE/MG) Novo plano curricular para o ensino médio, 2006. Disponível em [http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema\\_crv/banco\\_objetos\\_crv/%7BBBBA3B26-D0E7-467E-AC54-DA816E5D605E%7D\\_Novo%20plano%20curricular.pdf](http://crv.educacao.mg.gov.br/sistema_crv/banco_objetos_crv/%7BBBBA3B26-D0E7-467E-AC54-DA816E5D605E%7D_Novo%20plano%20curricular.pdf). Acessado em 01/04/2011.

SHIPSTONE, D. M. A study of children's of understanding of electricity in simple D.C. circuits. **European Journal of Science Education**, v. 6, p.185-198, 1984.

SHIPSTONE,D.M. Pupils understanding of simple electrical circuits. **Physics Education**, v.23, p. 92-96, 1988.

SILVA,W.;SOARES, T. M. Eficácia dos processos de linkagem na avaliação educacional em larga escala. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 21, n. 45, p.191-211, 2010.

SINGER, J. D; WILLETT, J. B. **Applied Longitudinal Data Analysis: Modeling Change And Event Occurrence**. New York: OXFORD, 2003.

SMIT, F. F.A; FINEGOLD, M. Models In Physics: Perceptions Held By Final-Year Prospective Physical Science Teachers Studying At South African Universities. **International Journal of Science Education**, v.17, n.5, p.621-634, 1995.

TALIM, S.; OLIVERIRA, J. A Conservação Da Corrente Elétrica Em Circuito Elétrico Simples- A Demonstração De Ampère. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 18, n. 3, p.376-380, 2001.

TROCHIM, W.M.K. **The Web center for social research methods**. Disponível em "http://www.socialresearchmethods.net". Acessado em maio de 2009.

VAN GEERT, P. Growth dynamics in development. IN PORT, R. F. E VAN GELDER, T.(Eds). **Mind as Motion: explorations in the dynamics of cognition**, p. 313-337, Cambridge, MA: Mit Press, 1996.

VAN ZEE, E. H.; MACDERMOTT, L. C. Investigation of Student Difficulties with Graphical Representations in Physics. **Second International Seminar on**

**Misconceptions and Educational Strategies in Science Mathematics.** Cornell University, Ithaca, NY: p. 531-539, 1987.

VAZ, A.;BORGES, A.T.;TALIM, S.;BORGES,O. **INOVAR-Projeto de ensino: Reformulação Curricular do Curso de Física do COLTEC/UFMG**, 2003.

VIARD, J.; FRANCOISE, K. L. The concept of electrical resistance: how Cassirer's philosophy, and the early developments of electric circuit theory, allow a better understanding of students learning difficulties. **Science and Education**, v. 10, p. 267-286, 2001.

VILANI, C. E. P. **O currículo recursivo.** CECIMIG, Texto mimeografado usado no Curso de Conteúdos e Metodologias do CBC (Curso de Imersão), 2006.

VITÓRIA, F.; ALMEIDA,L.S.;PRIMI,R. Unidimensionalidade em testes psicológicos: conceito, estratégias e dificuldades na sua avaliação. **Revista de Psicologia da Vetor Editora**, v.7, p1-7, 2006.

WHITE, R. T.; ARZI, H. J. Longitudinal studies: Designs, Validity, Practicality, and Value. **Research in Science Education**, v.35, n.1, p. 137-149, 2005.

WIETHAEUPER, D.; BALBINOTTI, M. A. A.; PELISOLI, C.; BARBOSA, M. L. L. Estudos da consistência interna e fatorial confirmatório da Escala Toronto de Alexitimia (ETA-20). **Interamerican Journal of Psychology**, v. 39, n. 2, p.221-230, 2005.

WILSON, M.; ADAMS, R. Rasch models for item bundles. **Psychometrika**, v.60, n.2, p.181-198, 1995.

WRIGHT, B.D.,LINACRE,J.M. **MESA Research Memorandum number 44**, 1989. Disponível em <http://www.rasch.or/memo44.htm>. Acessado em 03/08/2008.

YAN, Z. Dynamic analysis of microdevelopment in learning a computer program.2000. **Tese de Doutorado-** Harvard University, Cambridge, MA, 2000.

## **Anexo 1- Exemplo de uma atividade realizada pelos estudantes na unidade de eletricidade**

Nome: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_

### **Tarefa 58 - Individual**

- 1 - O que é um gás de elétrons livres?
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 2 - Descreva as principais diferenças, do ponto de vista da condução elétrica, entre materiais metálicos e não-metálicos.
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- 3 - Logo após você apertar o interruptor para ligar uma lâmpada, uma corrente elétrica começa a fluir pelo circuito. Estime o tempo necessário para que as cargas elétricas que passam pelo interruptor cheguem ao filamento da lâmpada?

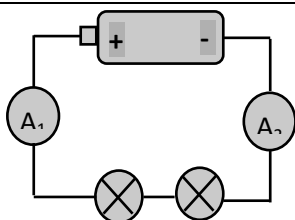
## Anexo 2- Exemplo de um dos testes realizados pelos estudantes ao longo da unidade de eletricidade

### Teste – Atividade 16 Tipo A

Aluno: \_\_\_\_\_

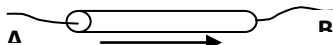
Turma: \_\_\_\_\_

1 - No circuito esquematizado abaixo, o amperímetro  $A_1$  acusa uma corrente de 500mA.



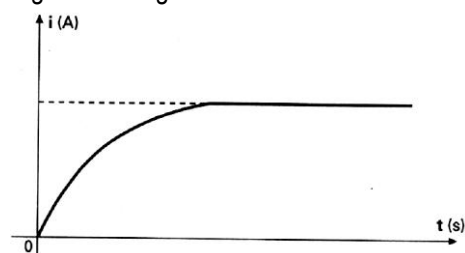
1A	V	F	A corrente que percorre a fonte é maior que 0,5A.
1B	V	F	O amperímetro $A_2$ indica uma corrente de 0,5A.
1C	V	F	Se substituirmos uma das lâmpadas do circuito a corrente diminuirá.
1D	V	F	Se substituirmos uma das lâmpadas do circuito a resistência do circuito diminuirá.

2 - A figura mostra o sentido convencional em que a corrente percorre um certo dispositivo elétrico.



2A	V	F	Se o dispositivo é metálico as cargas positivas (prótons) se deslocam de A para B.
2B	V	F	Se o dispositivo é iônico as cargas positivas (prótons) se deslocam de B para A.
2C	V	F	Se o dispositivo é iônico as cargas negativas (elétrons) de deslocam de A para B.
2D	V	F	Se o dispositivo é metálico as cargas negativas (elétrons) de B para A.

3 - A intensidade da corrente elétrica que percorre um componente eletrônico submetido a uma diferença de potencial constante varia em função do tempo de acordo com o gráfico a seguir:



A resistência elétrica desse componente

3A	V	F	decrece com o passar do tempo.
3B	V	F	aumenta uniformemente ao longo do tempo
3C	V	F	tende para zero para grandes valores de tempo.
3D	V	F	é mínima no instante inicial.

Falso ou verdadeiro?

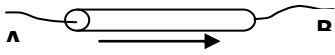
4A	V	F	Se em um fio de $4,0 \text{ mm}^2$ de seção passa uma corrente elétrica de 20A, a densidade de corrente elétrica é $5,0 \text{ A/mm}^2$ .
4B	V	F	Em um fio de cobre de $4,0 \text{ mm}^2$ a densidade de corrente elétrica é $10,0 \text{ A/mm}^2$ . Se dobrarmos o valor da densidade de corrente, a concentração de elétrons livres no fio também dobrará.
4C	V	F	Em um fio de cobre podemos aumentar a velocidade de arraste dos elétrons livres aumentando a corrente elétrica que passa pelo fio.
4D	V	F	Em uma célula iônica a corrente elétrica é transportada por portadores de carga positivos e negativos.

## Anexo 3- As quatro variações da prova trimestral (questões de eletricidade)

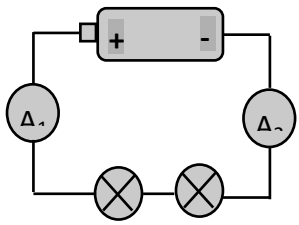
### Prova A

**INSTRUÇÃO:** cada questão desta prova apresenta quatro proposições, relativas à situação e às informações contidas em seu enunciado. Em cada uma das proposições marque **V** se ela for **VERDADEIRA** e **F** se ela for **FALSA**. Cada duas questões marcadas com V ou F e que estejam erradas anulam uma questão certa.

Se você **não sabe a resposta** faça uma marca sobre **NS** (Não Sei). Neste caso ela será contada como uma questão errada mas não contribuirá para anular uma questão certa.

<b>Questão 30</b> - A figura mostra o sentido convencional em que a corrente percorre um certo dispositivo elétrico.				
<b>30A</b>	V	F	NS	Se o dispositivo é metálico as cargas positivas (prótons) se deslocam de A para B.
<b>30B</b>	V	F	NS	Se o dispositivo é iônico as cargas negativas (elétrons) se deslocam de A para B.

<b>Questão 31</b> - Sobre a corrente elétrica, pode-se afirmar que:..				
<b>31A</b>	V	F	NS	O Efeito Joule está relacionado com a colisão dos elétrons livres com a rede de átomos que constituem um condutor.
<b>31B</b>	V	F	NS	Se em um fio de 4,0 mm <sup>2</sup> de seção passa uma corrente elétrica de 20A, a densidade de corrente elétrica é 5,0 A/mm <sup>2</sup> ..

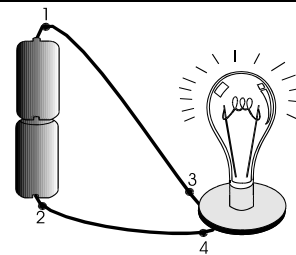
<b>Questão 32</b> - No circuito esquematizado abaixo, o amperímetro A <sub>1</sub> acusa uma corrente de 500mA.				
<b>32A</b>	V	F	NS	A corrente que percorre a fonte é maior que 0,5A.
<b>32B</b>	V	F	NS	Se substituirmos uma das lâmpadas do circuito a corrente diminuirá.

<b>Questão 33</b> - Sobre a energia elétrica, pode-se afirmar que:				
<b>33A</b>	V	F	NS	Para se drenar 240J de uma fonte de energia elétrica, a uma potência constante de 12W, são necessários 20minutos.
<b>33B</b>	V	F	NS	Um chuveiro de 3600W, funcionando durante 10 minutos por dia consome tanta energia quanto 10 lâmpadas de 60W ligadas durante 10 horas.

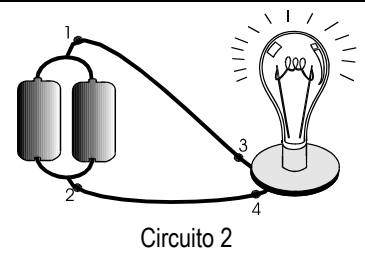
<b>Questão 34</b> - Sobre um circuito elétrico simples, pode-se afirmar que:				
--	--	--	--	--

34A	V	F	NS	Considerando a corrente convencional, se uma quantidade de carga elétrica de 1C atravessa uma fonte de 12V do terminal negativo para o positivo, a corrente retira 12J da fonte.
34B	V	F	NS	Considerando a corrente eletrônica, se uma quantidade de carga elétrica de 1C atravessa uma fonte de 12V do terminal negativo para o positivo, a corrente fornece 12J da fonte.

**Questão 35** - As figuras abaixo mostram duas formas de se ligar uma lâmpada a duas pilhas. As pilhas têm a mesma fem e a mesma resistência interna.



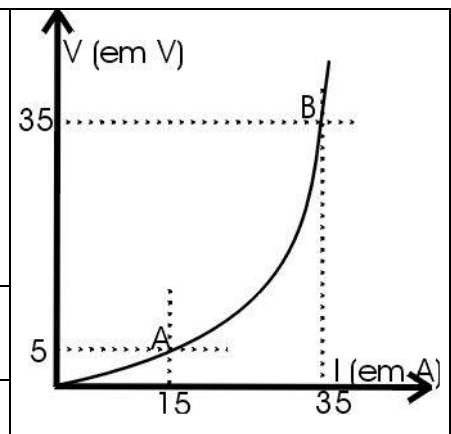
Circuito 1



Circuito 2

35A	V	F	NS	A fem no circuito 1 é duas vezes maior que que no circuito 2.
35B	V	F	NS	A potência fornecida pela fonte no circuito 1 é quatro vezes maior do que a dissipada na lâmpada no circuito 2.

**Questão 36** - A figura exibe a curva característica de certo dispositivo elétrico.



36A	V	F	NS	Entre os pontos A e B a resistência do dispositivo é de 1,5 $\Omega$ .
36B	V	F	NS	A potência dissipada pelo dispositivo no ponto A é 75W.

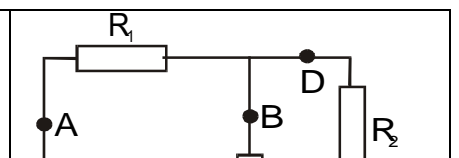
**Questão 37** - Um circuito é formado por uma associação em série de três resistores,  $R_1 = 10\Omega$ ;  $R_2 = 15\Omega$  e  $R_3 = 5\Omega$ ; conectados a uma fonte ideal de fem de 30V.

37A	V	F	NS	Se retirarmos $R_2$ da associação, mas mantendo o circuito fechado, a corrente drenada da fonte diminuirá para a metade do seu valor original..
37B	V	F	NS	Se ligarmos um resistor $R_4 = 10\Omega$ ; em paralelo com $R_1$ , a potência dissipada em $R_3$ dobrará.

**Questão 38** - Um circuito é formado por uma associação em paralelo de três resistores,  $R_1 = 10\Omega$ ;  $R_2 = 15\Omega$  e  $R_3 = 5\Omega$ ; conectados a uma fonte ideal de fem de 30V.

38A	V	F	NS	Se retirarmos $R_2$ da associação, a corrente drenada da fonte diminuirá para a metade do seu valor original..
38B	V	F	NS	Se ligarmos um resistor $R_4 = 10\Omega$ ; em paralelo com $R_1$ , a potência dissipada em $R_3$ dobrará.

**Questão 39** - No circuito ao lado todas as resistências são iguais e a fonte de tensão é ideal.  $I_1$  é a corrente que atravessa  $R_1$ ,  $I_2$  é a corrente que atravessa  $R_2$ , etc...,  $I_A$  a corrente que circula pelo ponto A,  $I_B$  a corrente que circula pelo ponto B, etc.  $V_1$  é a ddp medida nos terminais de  $R_1$ ,  $V_2$  é a ddp em  $R_2$ , etc...  $V_f$  é a ddp da fonte,  $P_1$  é a potência dissipada em  $R_1$ ,  $P_2$  é a potência dissipada em  $R_2$  etc ...

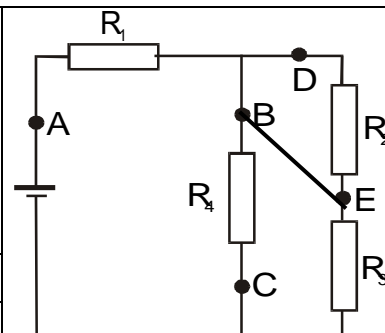


39A	V	F	NS	$I_1 > I_2 < I_3$ e $I_2 > I_3$
39B	V	F	NS	$V_2 = V_3$ e $V_4 > V_1$

Questão 40 - Considere o circuito da questão 39.

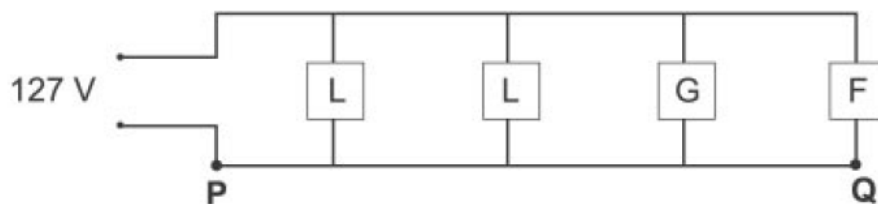
40A	V	F	NS	$I_A = 3V_f / 5R_1$
40B	V	F	NS	$V_f = R_1 I_1 + R_1 I_2 + R_3 I_3$

Questão 41 - No circuito ao lado todas as resistências são iguais e a fonte de tensão é ideal.  $I_1$  é a corrente que atravessa  $R_1$ ,  $I_2$  é a corrente que atravessa  $R_2$ , etc...,  $I_A$  a corrente que circula pelo ponto A,  $I_B$  a corrente que circula pelo ponto B, etc.  $V_1$  é a ddp medida nos terminais de  $R_1$ ,  $V_2$  é a ddp em  $R_2$ , etc...  $V_f$  é a ddp da fonte,  $P_1$  é a potência dissipada em  $R_1$ ,  $P_2$  é a potência dissipada em  $R_2$ , etc ...  
As afirmativas abaixo referem-se ao circuito da questão 39, um fio grosso interliga os pontos B e E. As palavras aumenta(m) e diminui(em) referem-se a comparações com os valores no circuito original.



41A	V	F	NS	$I_1$ e $I_4$ aumentam, $I_2$ e $I_3$ diminuem.
41B	V	F	NS	$P_4$ aumenta e $I_4$ diminui, mas $V_1$ e $P_1$ aumentam.

Questão 54 - O circuito da rede elétrica de uma cozinha está representado, esquematicamente, nesta figura:



Nessa cozinha, há duas lâmpadas **L**, uma geladeira **G** e um forno elétrico **F**. Considere que a diferença de potencial na rede elétrica é constante. Inicialmente, apenas as lâmpadas e o forno estão em funcionamento. Nessa situação, as correntes elétricas nos pontos **P** e **Q**, indicados na figura, são, respectivamente,  $i_P$  e  $i_Q$ . Em um certo instante, a geladeira entra em funcionamento.

54A	V	F	NS	A corrente em P se altera
54B	V	F	NS	O brilho das duas lâmpadas se mantém constante

Questão 55 - Considere a mesma situação da questão anterior, mas considere que a resistência do fio não pode ser desprezada:

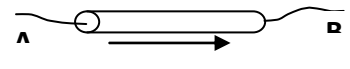
55A	V	F	NS	A corrente em P se altera
55B	V	F	NS	O brilho das duas lâmpadas se mantém constante

## Prova B

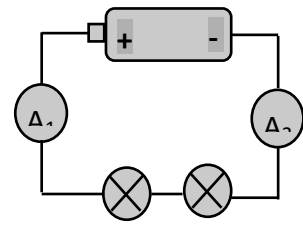
**INSTRUÇÃO:** cada questão desta prova apresenta quatro proposições, relativas à situação e às informações contidas em seu enunciado. Em cada uma das proposições marque **V** se ela for **VERDADEIRA** e **F** se ela for **FALSA**.



Se você **não sabe a resposta** faça uma marca sobre **NS** (Não Sei). Neste caso ela será contada como uma questão errada mas não contribuirá para anular uma questão certa.

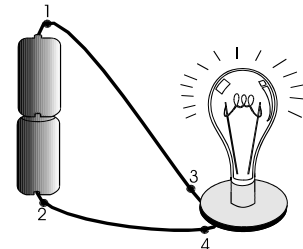
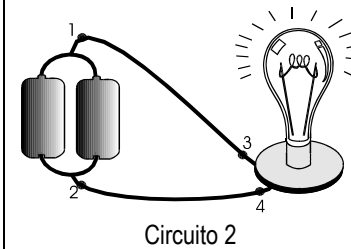
<b>Questão 30</b> - A figura mostra o sentido convencional em que a corrente percorre um certo dispositivo elétrico.				
30A	V	F	NS	Se o dispositivo é iônico as cargas positivas (prótons) se deslocam de B para A.
30B	V	F	NS	Se o dispositivo é metálico as cargas negativas (elétrons) de B para A.

<b>Questão 31</b> - Sobre a corrente elétrica, pode-se afirmar que:				
31A	V	F	NS	Nos supercondutores também há efeito joule.
31B	V	F	NS	Em uma célula iônica a corrente elétrica é transportada por portadores de carga positivos e negativos.

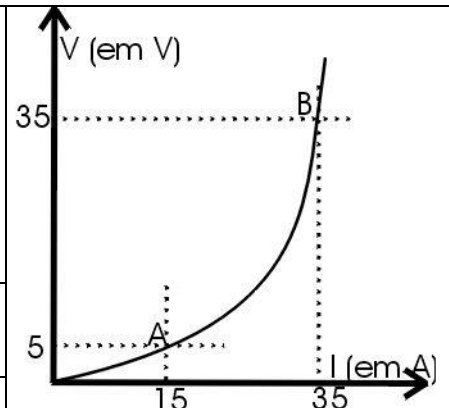
<b>Questão 32</b> - No circuito esquematizado abaixo, o amperímetro $A_1$ acusa uma corrente de 500mA.				
32A	V	F	NS	O amperímetro $A_2$ indica uma corrente de 0,5A.
32B	V	F	NS	Se substituirmos uma das lâmpadas do circuito a resistência do circuito diminuirá.

<b>Questão 33</b> - Sobre a energia elétrica, pode-se afirmar que:				
33A	V	F	NS	Uma lâmpada de 60W, ligada 10h por dia, consome em 1 mês 1,8kWh.
33B	V	F	NS	Um aparelho em stand-by que consome 25W, se permanecer ligado 24h por dia, em um mês ele consumirá pelo menos 1,8kWh.

<b>Questão 34</b> - Sobre um circuito elétrico simples, pode-se afirmar que:				
34A	V	F	NS	Considerando a corrente convencional, se uma quantidade de carga elétrica de 1C atravessa uma fonte de 20V do terminal positivo para o negativo, a corrente retira 20J da fonte.
34B	V	F	NS	Considerando a corrente eletrônica, se uma quantidade de carga elétrica de 1C atravessa uma fonte de 20V do terminal positivo para o negativo, a corrente fornece 20J da fonte.

<b>Questão 35</b> - As figuras abaixo mostram duas formas de se ligar uma lâmpada a duas pilhas. As pilhas têm a mesma fem e a mesma resistência interna.					
35A	V	F	NS	A corrente que flui no circuito 1 é a metade da que flui pelo circuito 2.	Circuito 1
35B	V	F	NS	Cada pilha no circuito 2 fornece metade da potência que cada pilha do circuito 1 fornece.	Circuito 2

**Questão 36** - A figura exibe a curva característica de certo dispositivo elétrico.



36A	V	F	NS	No ponto A a resistência do dispositivo é 3 $\Omega$ .
36B	V	F	NS	A potência dissipada pelo dispositivo no ponto B é 49 vezes maior do que no ponto A.

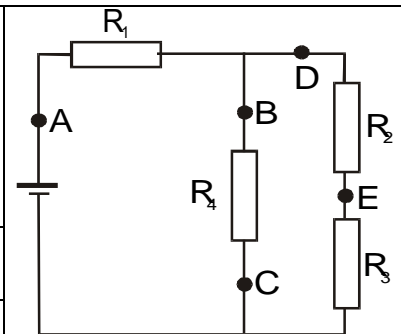
**Questão 37** - Um circuito é formado por uma associação em série de três resistores,  $R_1 = 10\Omega$ ;  $R_2 = 15\Omega$  e  $R_3 = 5\Omega$ ; conectados a uma fonte ideal de fem de 30V.

37A	V	F	NS	Se retirarmos $R_2$ da associação, mas mantendo o circuito fechado, a potência dissipada por $R_1$ dobrará.
37B	V	F	NS	Se ligarmos um resistor $R_4 = 10\Omega$ ; em paralelo com a associação, a potência dissipada em $R_2$ aumentará para 4/3 do seu valor original.

**Questão 38** - Um circuito é formado por uma associação em paralelo de três resistores,  $R_1 = 10\Omega$ ;  $R_2 = 15\Omega$  e  $R_3 = 5\Omega$ ; conectados a uma fonte ideal de fem de 30V.

38A	V	F	NS	Se retirarmos $R_2$ da associação, a potência dissipada por $R_1$ dobrará.
38B	V	F	NS	Se ligarmos um resistor $R_4 = 10\Omega$ ; em série com a associação, a potência dissipada em $R_2$ aumentará para 4/3 do seu valor original.

**Questão 39** - No circuito ao lado todas as resistências são iguais e a fonte de tensão é ideal.  $I_1$  é a corrente que atravessa  $R_1$ ,  $I_2$  é a corrente que atravessa  $R_2$ , etc...,  $I_A$  a corrente que circula pelo ponto A,  $I_B$  a corrente que circula pelo ponto B, etc.  $V_1$  é a ddp medida nos terminais de  $R_1$ ,  $V_2$  é a ddp em  $R_2$ , etc...  $V_f$  é a ddp da fonte,  $P_1$  é a potência dissipada em  $R_1$ ,  $P_2$  é a potência dissipada em  $R_2$ , etc ...

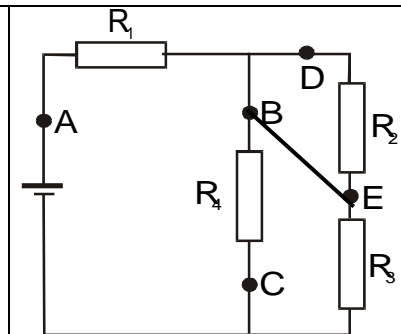


39A	V	F	NS	$I_1 > I_4 > I_2$ e $I_2 = I_3$
39B	V	F	NS	$V_2 = V_3$ e $V_4 > V_1$

**Questão 40** - Considere o circuito da questão 39.

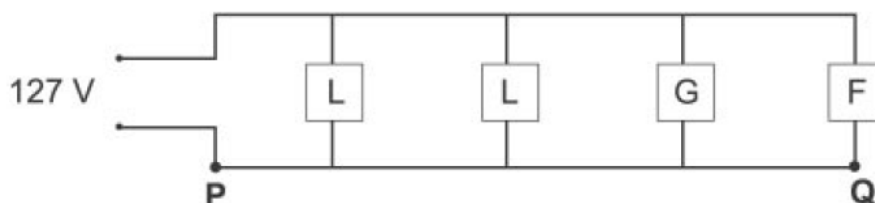
40A	V	F	NS	$I_A = I_B + I_E$
40B	V	F	NS	$V_f = R_1 I_1 + R_1 I_2 + R_3 I_3$

**Questão 41** - No circuito ao lado todas as resistências são iguais e a fonte de tensão é ideal.  $I_1$  é a corrente que atravessa  $R_1$ ,  $I_2$  é a corrente que atravessa  $R_2$ , etc...,  $I_A$  a corrente que circula pelo ponto A,  $I_B$  a corrente que circula pelo ponto B, etc.  $V_1$  é a ddp medida nos terminais de  $R_1$ ,  $V_2$  é a ddp em  $R_2$ , etc...  $V_f$  é a ddp da fonte,  $P_1$  é a potência dissipada em  $R_1$ ,  $P_2$  é a potência dissipada em  $R_2$ , etc ... As afirmativas abaixo referem-se ao circuito da questão 39, um fio grosso interliga os pontos B e E. As palavras aumenta(m) e diminui(em) referem-se a comparações com os valores no circuito original.



41A	V	F	NS	$I_1 > I_4$ e $I_1 < I_3$ , mas $I_2 = 0$ e $I_4 = I_3$
41B	V	F	NS	$P_4$ aumenta e $I_4$ diminui, mas $V_1$ e $P_1$ aumentam.

**Questão 54** - O circuito da rede elétrica de uma cozinha está representado, esquematicamente, nesta figura:



Nessa cozinha, há duas lâmpadas **L**, uma geladeira **G** e um forno elétrico **F**. Considere que a diferença de potencial na rede elétrica é constante. Inicialmente, apenas as lâmpadas e o forno estão em funcionamento. Nessa situação, as correntes elétricas nos pontos **P** e **Q**, indicados na figura, são, respectivamente,  $i_P$  e  $i_Q$ . Em um certo instante, a geladeira entra em funcionamento.

54A	V	F	NS	A corrente em Q se altera
54B	V	F	NS	A ddp no forno elétrico se mantém constante

**Questão 55** - Considere a mesma situação da questão anterior, mas considere que a resistência do fio não pode ser desprezada:

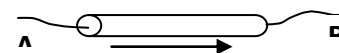
55A	V	F	NS	A corrente em Q se altera
55B	V	F	NS	A ddp no forno elétrico se mantém constante

## Prova C

**INSTRUÇÃO:** cada questão desta prova apresenta quatro proposições, relativas à situação e às informações contidas em seu enunciado. Em cada uma das proposições marque **V** se ela for **VERDADEIRA** e **F** se ela for **FALSA**. Cada duas questões marcadas com V ou F e que estejam erradas anulam uma questão certa.

Se você **não sabe a resposta** faça uma marca sobre **NS** (Não Sei). Neste caso ela será contada como uma questão errada mas não contribuirá para anular uma questão certa.

**Questão 30** - A figura mostra o sentido convencional em que a corrente percorre um certo dispositivo elétrico.



30A	V	F	NS	Se o dispositivo é metálico as cargas positivas (prótons) se deslocam de A para B.
30B	V	F	NS	Se o dispositivo é metálico as cargas negativas (elétrons) de B para A.

**Questão 31** - Sobre a corrente elétrica, pode-se afirmar que:

31A	V	F	NS	O Efeito Joule está relacionado com a colisão dos elétrons livres com a rede de átomos que constituem um condutor.
31B	V	F	NS	Em uma célula iônica a corrente elétrica é transportada por portadores de carga positivos e negativos.

<b>Questão 32</b> - No circuito esquematizado abaixo, o amperímetro $A_1$ acusa uma corrente de 500mA.					
<b>32A</b>	V	F	NS		A corrente que percorre a fonte é maior que 0,5A.
<b>32B</b>	V	F	NS		Se substituirmos uma das lâmpadas do circuito a resistência do circuito diminuirá.

<b>Questão 33</b> - Sobre a energia elétrica, pode-se afirmar que:				
<b>33A</b>	V	F	NS	Para se drenar 240J de uma fonte de energia elétrica, a uma potência constante de 12W, são necessários 20 minutos.
<b>33D</b>	V	F	NS	Um aparelho em stand-by que consome 25W, se permanecer ligado 24h por dia, em um mês ele consumirá pelo menos 1,8kWh.

<b>Questão 34</b> - Sobre um circuito elétrico simples, pode-se afirmar que:				
<b>34A</b>	V	F	NS	Considerando a corrente convencional, se uma quantidade de carga elétrica de 1C atravessa uma fonte de 12V do terminal negativo para o positivo, a corrente retira 12J da fonte.
<b>34B</b>	V	F	NS	Considerando a corrente eletrônica, se uma quantidade de carga elétrica de 1C atravessa uma fonte de 20V do terminal positivo para o negativo, a corrente fornece 20J da fonte.

<b>Questão 35</b> - As figuras abaixo mostram duas formas de se ligar uma lâmpada a duas pilhas. As pilhas têm a mesma fem e a mesma resistência interna.					
<b>35A</b>	V	F	NS		A fem no circuito 1 é duas vezes maior que que no circuito 2.
<b>35B</b>	V	F	NS		Cada pilha no circuito 2 fornece metade da potência que cada pilha do circuito 1 fornece.

<b>Questão 36</b> - A figura exibe a curva característica de certo dispositivo elétrico.					
<b>36A</b>	V	F	NS		Entre os pontos A e B a resistência do dispositivo é de 1,5 $\Omega$ .
<b>36B</b>	V	F	NS		A potência dissipada pelo dispositivo no ponto B é 49 vezes maior do que no ponto A.

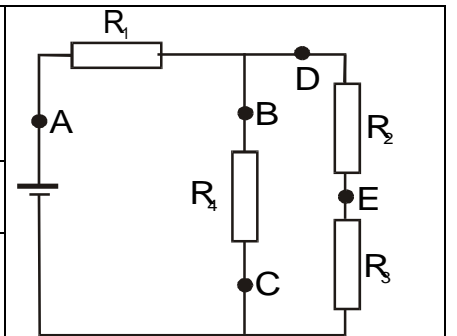
**Questão 37** - Um circuito é formado por uma associação em série de três resistores,  $R_1 = 10\Omega$ ;  $R_2 = 15\Omega$  e  $R_3 = 5\Omega$ ; conectados a uma fonte ideal de fem de 30V.

37A	V	F	NS	Se retirarmos $R_2$ da associação, mas mantendo o circuito fechado, a corrente drenada da fonte diminuirá para a metade do seu valor original..
37B	V	F	NS	Se ligarmos um resistor $R_4 = 10\Omega$ ; em paralelo com a associação, a potência dissipada em $R_2$ aumentará para $4/3$ do seu valor original.

**Questão 38** - Um circuito é formado por uma associação em paralelo de três resistores,  $R_1 = 10\Omega$ ;  $R_2 = 15\Omega$  e  $R_3 = 5\Omega$ ; conectados a uma fonte ideal de fem de 30V.

38A	V	F	NS	Se retirarmos $R_2$ da associação, a corrente drenada da fonte diminuirá para a metade do seu valor original..
38B	V	F	NS	Se ligarmos um resistor $R_4 = 10\Omega$ ; em série com a associação, a potência dissipada em $R_2$ aumentará para $4/3$ do seu valor original.

**Questão 39** - No circuito ao lado todas as resistências são iguais e a fonte de tensão é ideal.  $I_1$  é a corrente que atravessa  $R_1$ ,  $I_2$  é a corrente que atravessa  $R_2$ , etc...,  $I_A$  a corrente que circula pelo ponto A,  $I_B$  a corrente que circula pelo ponto B, etc.  $V_1$  é a ddp medida nos terminais de  $R_1$ ,  $V_2$  é a ddp em  $R_2$ , etc...  $V_f$  é a ddp da fonte,  $P_1$  é a potência dissipada em  $R_1$ ,  $P_2$  é a potência dissipada em  $R_2$ , etc ...

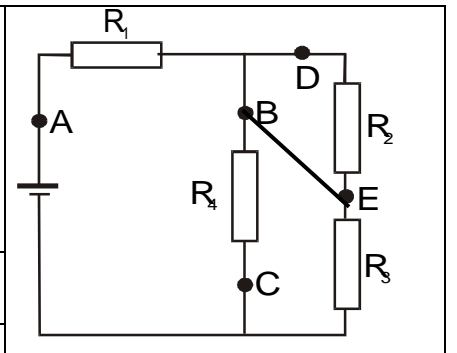


39A	V	F	NS	$I_1 > I_4 > I_2$ e $I_2 = I_3$
39B	V	F	NS	$V_2 = V_3$ e $V_4 > V_1$

**Questão 40** - Considere o circuito da questão 39.

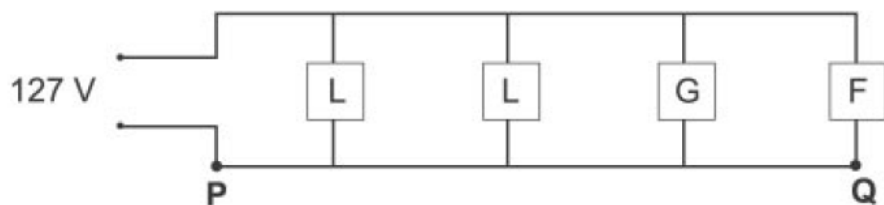
40A	V	F	NS	$I_A = I_B + I_E$
40B	V	F	NS	$V_f = R_1 I_1 + R_2 I_2 + R_3 I_3$

**Questão 41** - No circuito ao lado todas as resistências são iguais e a fonte de tensão é ideal.  $I_1$  é a corrente que atravessa  $R_1$ ,  $I_2$  é a corrente que atravessa  $R_2$ , etc...,  $I_A$  a corrente que circula pelo ponto A,  $I_B$  a corrente que circula pelo ponto B, etc.  $V_1$  é a ddp medida nos terminais de  $R_1$ ,  $V_2$  é a ddp em  $R_2$ , etc...  $V_f$  é a ddp da fonte,  $P_1$  é a potência dissipada em  $R_1$ ,  $P_2$  é a potência dissipada em  $R_2$ , etc ...  
As afirmativas abaixo referem-se ao circuito da questão 39, um fio grosso interliga os pontos B e E. As palavras aumenta(m) e diminui(em) referem-se a comparações com os valores no circuito original.



41A	V	F	NS	$I_1 > I_4$ e $I_1 < I_3$ , mas $I_2 = 0$ e $I_4 = I_3$
41B	V	F	NS	$P_4$ aumenta e $I_4$ diminui, mas $V_1$ e $P_1$ aumentam.

**Questão 54** - O circuito da rede elétrica de uma cozinha está representado, esquematicamente, nesta figura:



Nessa cozinha, há duas lâmpadas **L**, uma geladeira **G** e um forno elétrico **F**. Considere que a diferença de potencial na rede elétrica é constante. Inicialmente, apenas as lâmpadas e o forno estão em funcionamento. Nessa situação, as correntes elétricas nos pontos **P** e **Q**, indicados na figura, são, respectivamente,  $I_P$  e  $i_Q$ . Em um certo instante, a geladeira entra em funcionamento.

54A	V	F	NS	A corrente em P se altera
54B	V	F	NS	A ddp no forno elétrico se mantém constante

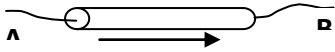
**Questão 55** - Considere a mesma situação da questão anterior, mas considere que a resistência do fio não pode ser desprezada:

55A	V	F	NS	A corrente em P se altera
55B	V	F	NS	A ddp no forno elétrico se mantém constante

## Prova D

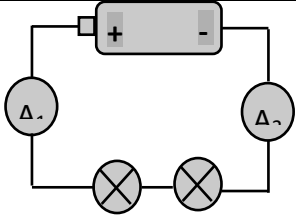
**INSTRUÇÃO:** cada questão desta prova apresenta quatro proposições, relativas à situação e às informações contidas em seu enunciado. Em cada uma das proposições marque **V** se ela for **VERDADEIRA** e **F** se ela for **FALSA**. Cada duas questões marcadas com V ou F e que estejam erradas anulam uma questão certa.

Se você **não sabe a resposta** faça uma marca sobre **NS** (Não Sei). Neste caso ela será contada como uma questão errada mas não contribuirá para anular uma questão certa.

<b>Questão 30</b> - A figura mostra o sentido convencional em que a corrente percorre um certo dispositivo elétrico.				
30A	V	F	NS	Se o dispositivo é iônico as cargas positivas (prótons) se deslocam de B para A.
30B	V	F	NS	Se o dispositivo é iônico as cargas negativas (elétrons) se deslocam de A para B.

**Questão 31** - Sobre a corrente elétrica, pode-se afirmar que:

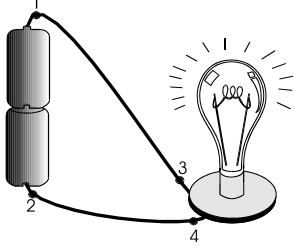
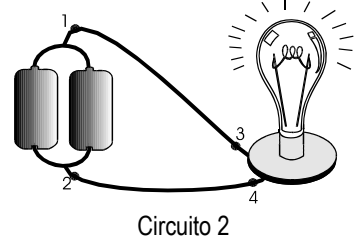
31A	V	F	NS	Nos supercondutores também há efeito joule.
31B	V	F	NS	Se em um fio de $4,0 \text{ mm}^2$ de seção passa uma corrente elétrica de 20A, a densidade de corrente elétrica é $5,0 \text{ A/mm}^2$ .

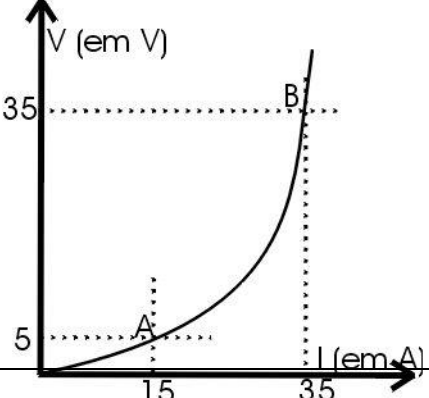
<b>Questão 32</b> - No circuito esquematizado abaixo, o amperímetro $A_1$ acusa uma corrente de 500mA.				
32A	V	F	NS	O amperímetro $A_2$ indica uma corrente de 0,5A.
32B	V	F	NS	Se substituirmos uma das lâmpadas do circuito a corrente diminuirá.

**Questão 33** - Sobre a energia elétrica, pode-se afirmar que:

33A	V	F	NS	Uma lâmpada de 60W, ligada 10h por dia, consome em 1 mês 1,8kWh.
33B	V	F	NS	Um chuveiro de 3600W, funcionando durante 10 minutos por dia consome tanta energia quanto 10 lâmpadas de 60W ligadas durante 10 horas.

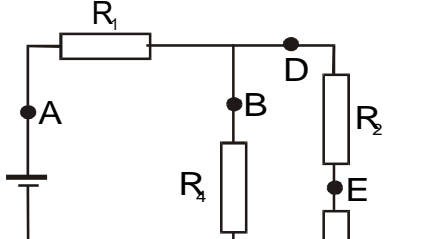
<b>Questão 34</b> - Sobre um circuito elétrico simples, pode-se afirmar que:				
<b>34A</b>	V	F	NS	Considerando a corrente convencional, se uma quantidade de carga elétrica de 1C atravessa uma fonte de 20V do terminal positivo para o negativo, a corrente retira 20J da fonte.
<b>34B</b>	V	F	NS	Considerando a corrente eletrônica, se uma quantidade de carga elétrica de 1C atravessa uma fonte de 12V do terminal negativo para o positivo, a corrente fornece 12J da fonte.

<b>Questão 35</b> - As figuras abaixo mostram duas formas de se ligar uma lâmpada a duas pilhas. As pilhas têm a mesma fem e a mesma resistência interna.				
				
		Circuito 1		
		Circuito 2		
<b>35A</b>	V	F	NS	A corrente que flui no circuito 1 é a metade da que flui pelo circuito 2.
<b>35B</b>	V	F	NS	A potência fornecida pela fonte no circuito 1 é quatro vezes maior do que a dissipada na lâmpada no circuito 2.

<b>Questão 36</b> - A figura exibe a curva característica de certo dispositivo elétrico.				
				
<b>36A</b>	V	F	NS	No ponto A a resistência do dispositivo é 3 Ω.

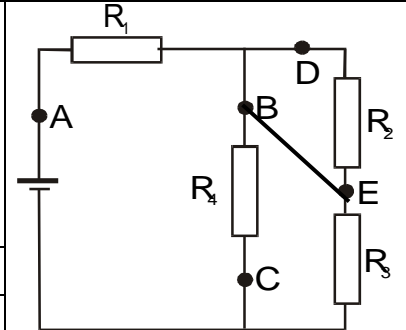
<b>Questão 37</b> - Um circuito é formado por uma associação em série de três resistores, $R_1 = 10\Omega$ ; $R_2 = 15\Omega$ e $R_3 = 5\Omega$ ; conectados a uma fonte ideal de fem de 30V.				
<b>37A</b>	V	F	NS	Se retirarmos $R_2$ da associação, mas mantendo o circuito fechado, a potência dissipada por $R_1$ dobrará.
<b>37B</b>	V	F	NS	Se ligarmos um resistor $R_4 = 10\Omega$ ; em paralelo com $R_1$ , a potência dissipada em $R_3$ dobrará.
<b>36B</b>	V	F	NS	A potência dissipada pelo dispositivo no ponto A é 75W.

<b>Questão 38</b> - Um circuito é formado por uma associação em paralelo de três resistores, $R_1 = 10\Omega$ ; $R_2 = 15\Omega$ e $R_3 = 5\Omega$ ; conectados a uma fonte ideal de fem de 30V.				
<b>38A</b>	V	F	NS	Se retirarmos $R_2$ da associação, a potência dissipada por $R_1$ dobrará.
<b>38B</b>	V	F	NS	Se ligarmos um resistor $R_4 = 10\Omega$ ; em paralelo com $R_1$ , a potência dissipada em $R_3$ dobrará.

<b>Questão 39</b> - No circuito ao lado todas as resistências são iguais e a fonte de tensão é ideal. $I_1$ é a corrente que atravessa $R_1$ , $I_2$ é a corrente que atravessa $R_2$ , etc..., $I_A$ a corrente que circula pelo ponto A, $I_B$ a corrente que circula pelo ponto B, etc. $V_1$ é a ddp medida nos terminais de $R_1$ , $V_2$ é a ddp em $R_2$ , etc... $V_f$ é a ddp da fonte, $P_1$ é a potência dissipada em $R_1$ , $P_2$ é a potência dissipada em $R_2$ , etc ...				
				
<b>39A</b>	V	F	NS	$I_1 > I_2 < I_3$ e $I_2 > I_4$

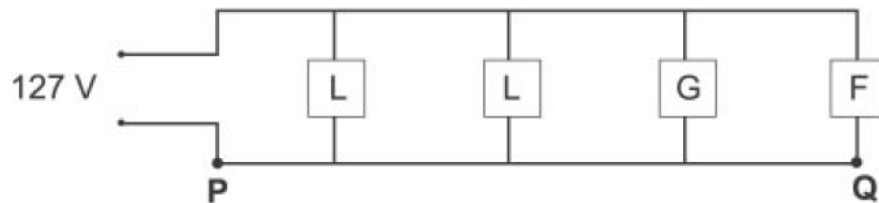
39B	V	F	NS	$V_2=V_3>V_4>V_1$
<b>Questão 40</b> - Considere o circuito da questão 39.				
40A	V	F	NS	$I_A=3V_f/5R_1$
40B	V	F	NS	A resistência equivalente do circuito é $5R_1/3$

**Questão 41** - No circuito ao lado todas as resistências são iguais e a fonte de tensão é ideal.  $I_1$  é a corrente que atravessa  $R_1$ ,  $I_2$  é a corrente que atravessa  $R_2$ , etc...,  $I_A$  a corrente que circula pelo ponto A,  $I_B$  a corrente que circula pelo ponto B, etc.  $V_1$  é a ddp medida nos terminais de  $R_1$ ,  $V_2$  é a ddp em  $R_2$ , etc...  $V_f$  é a ddp da fonte,  $P_1$  é a potência dissipada em  $R_1$ ,  $P_2$  é a potência dissipada em  $R_2$ , etc ...  
As afirmativas abaixo referem-se ao circuito da questão 39, um fio grosso interliga os pontos B e E. As palavras aumenta(m) e diminui(em) referem-se a comparações com os valores no circuito original.



41A	V	F	NS	$I_1$ e $I_4$ aumentam, $I_2$ e $I_3$ diminuem.
41B	V	F	NS	$P_2=0$ e a potência fornecida pela fonte diminui.

**Questão 54** - O circuito da rede elétrica de uma cozinha está representado, esquematicamente, nesta figura:



Nessa cozinha, há duas lâmpadas **L**, uma geladeira **G** e um forno elétrico **F**. Considere que a diferença de potencial na rede elétrica é constante. Inicialmente, apenas as lâmpadas e o forno estão em funcionamento. Nessa situação, as correntes elétricas nos pontos **P** e **Q**, indicados na figura, são, respectivamente,  $i_P$  e  $i_Q$ . Em um certo instante, a geladeira entra em funcionamento.

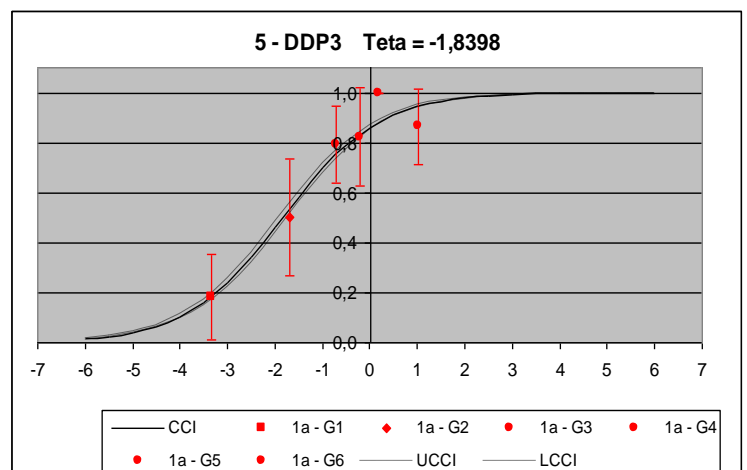
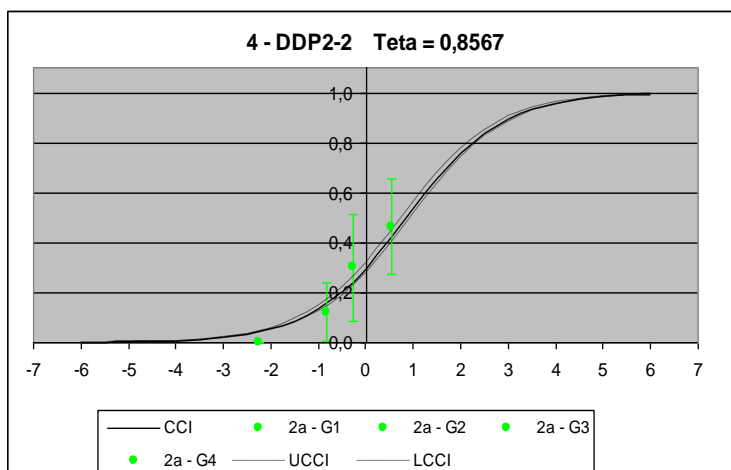
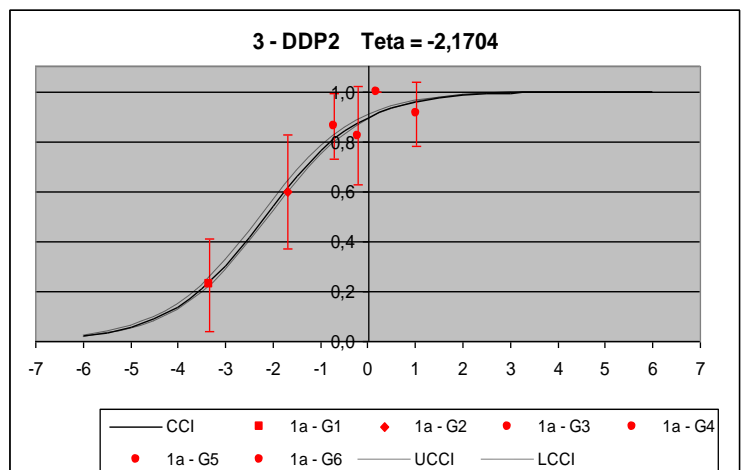
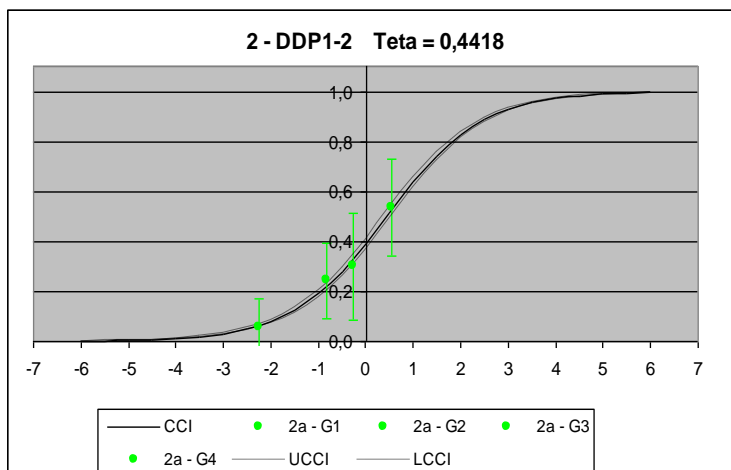
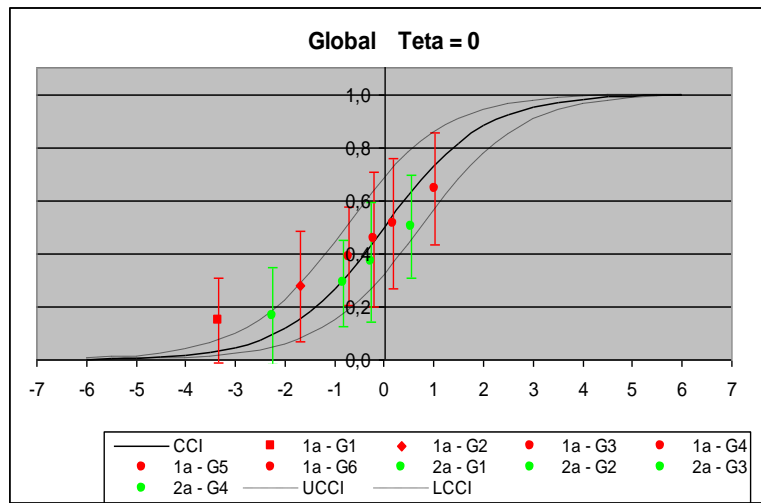
54A	V	F	NS	A corrente em Q se altera
54B	V	F	NS	O brilho das duas lâmpadas se mantêm constante

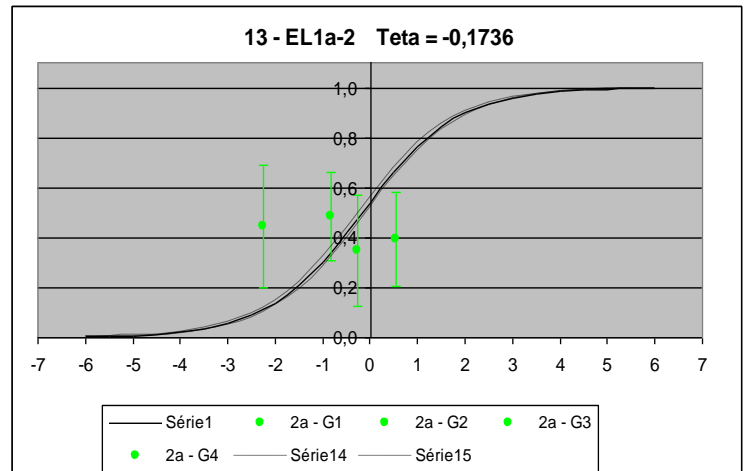
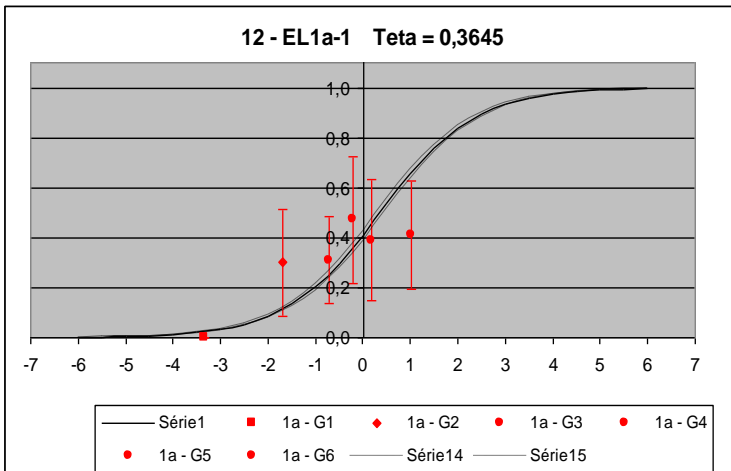
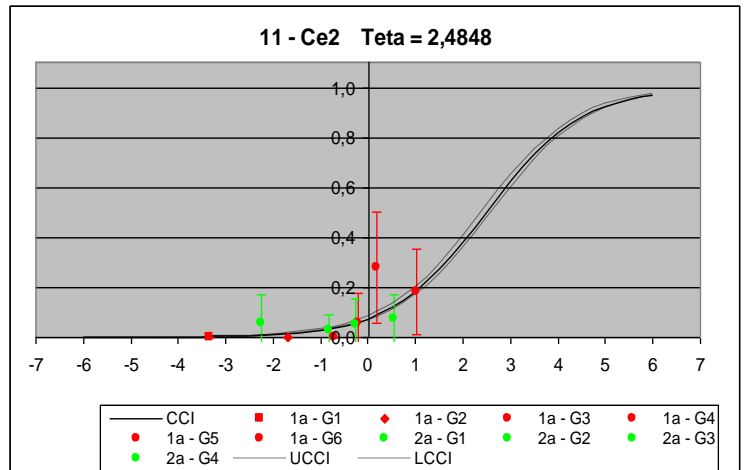
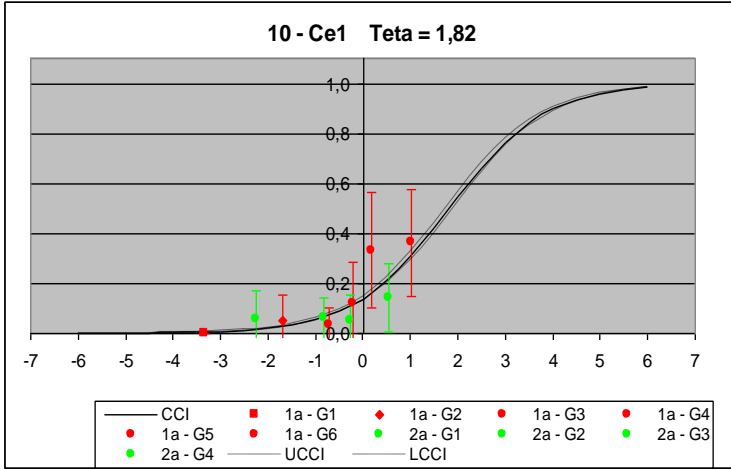
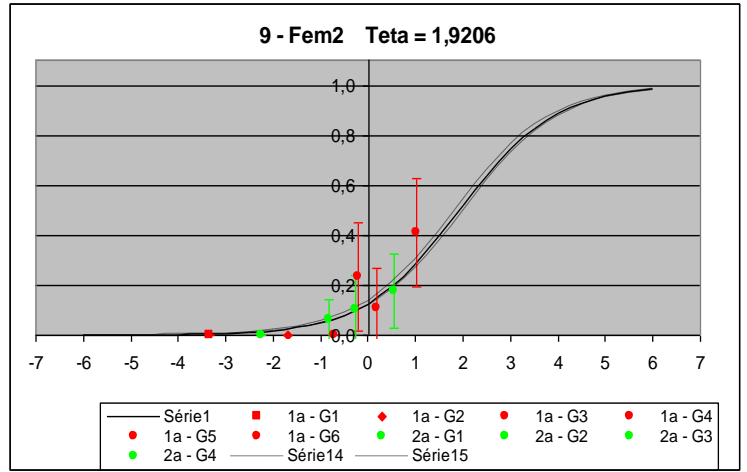
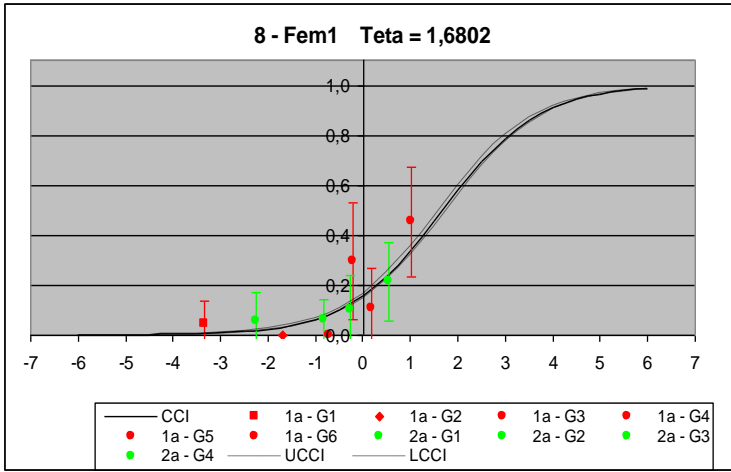
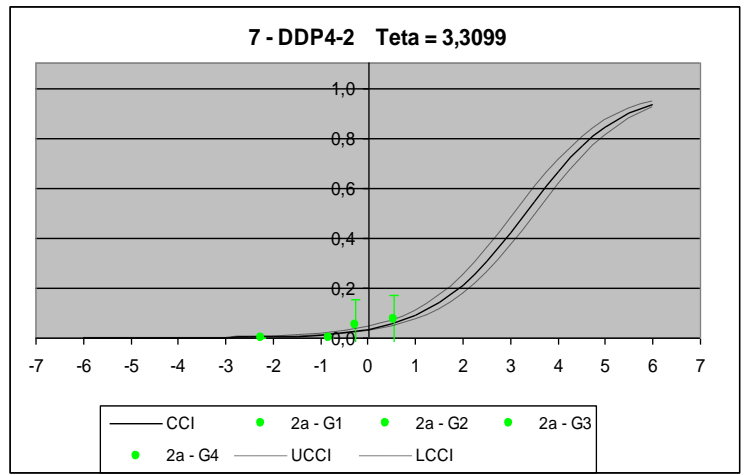
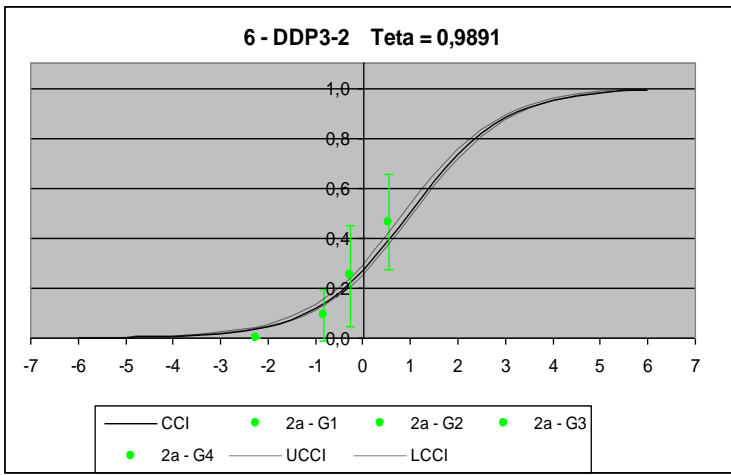
**Questão 55** - Considere a mesma situação da questão anterior, mas considere que a resistência do fio não pode ser desprezada:

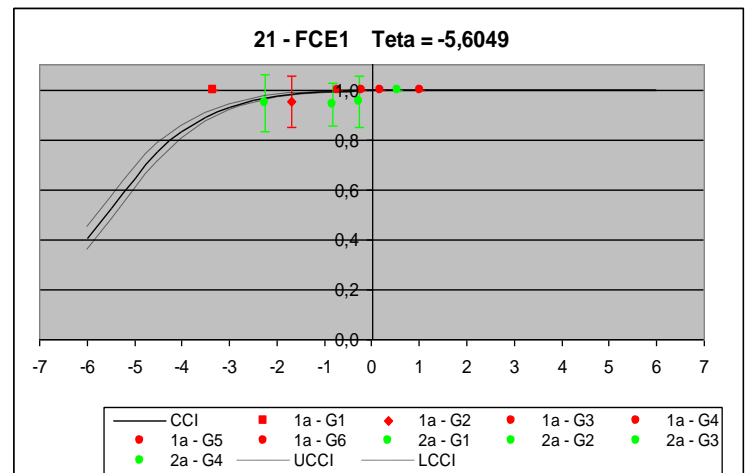
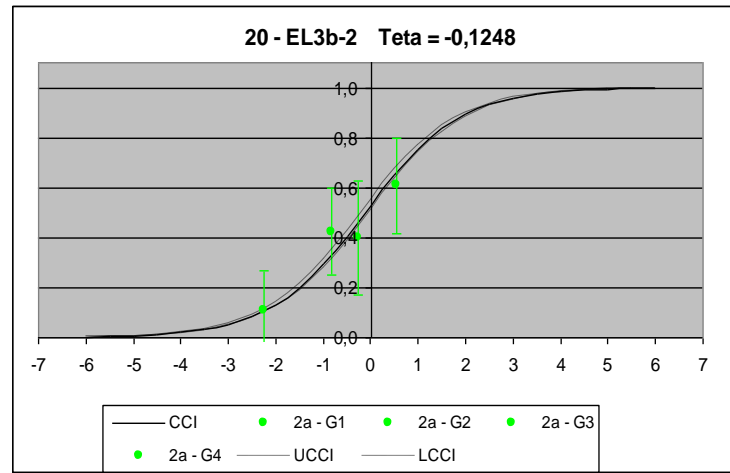
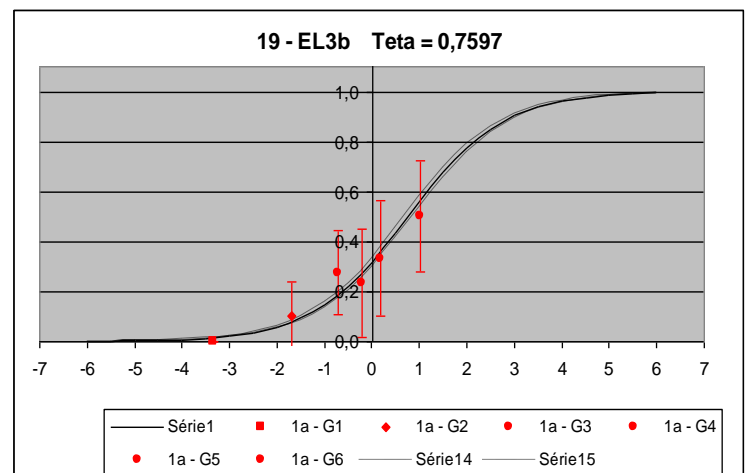
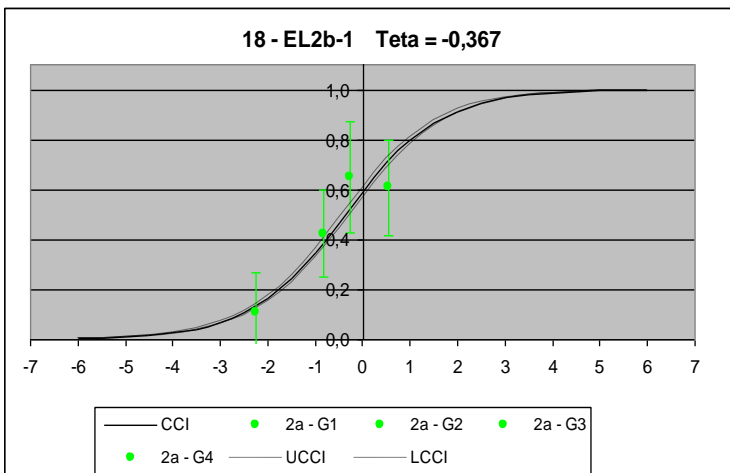
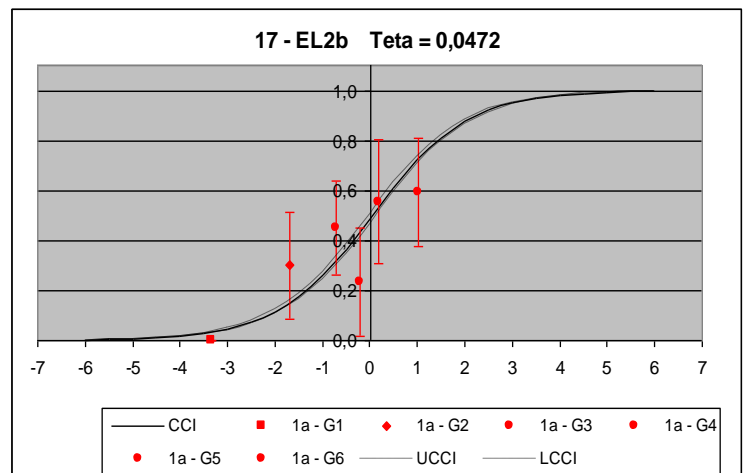
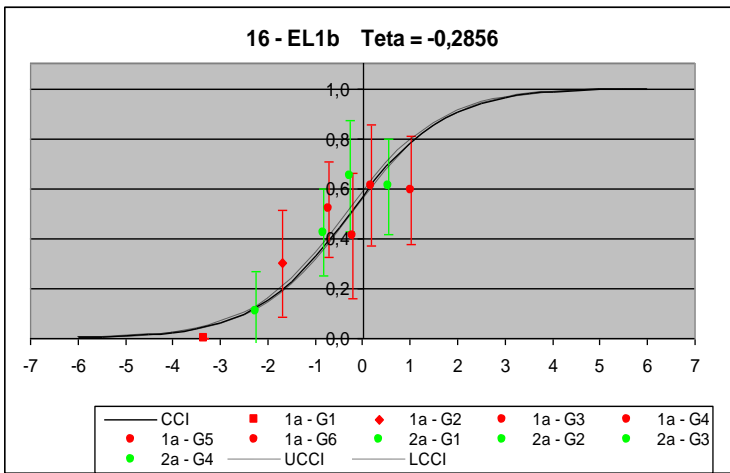
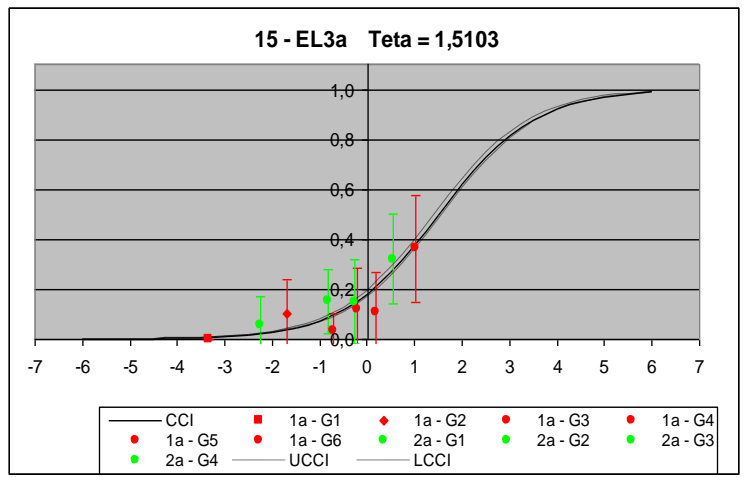
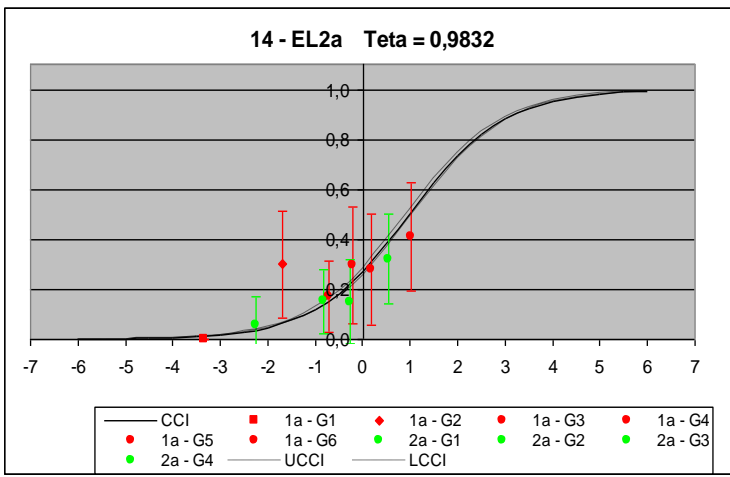
55A	V	F	NS	A corrente em Q se altera
55B	V	F	NS	O brilho das duas lâmpadas se mantêm constante

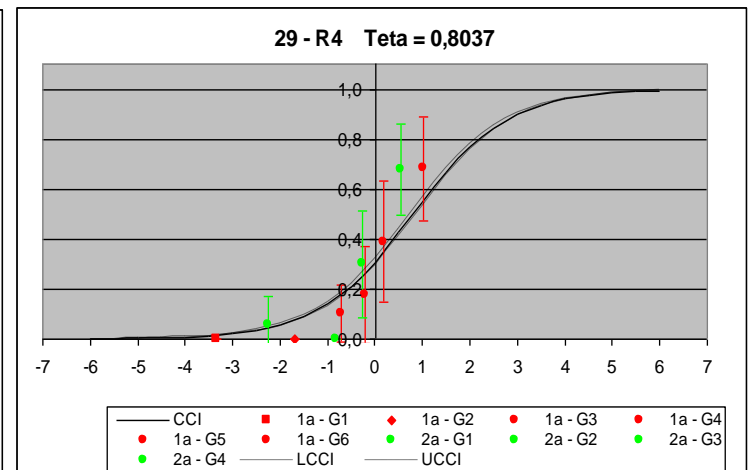
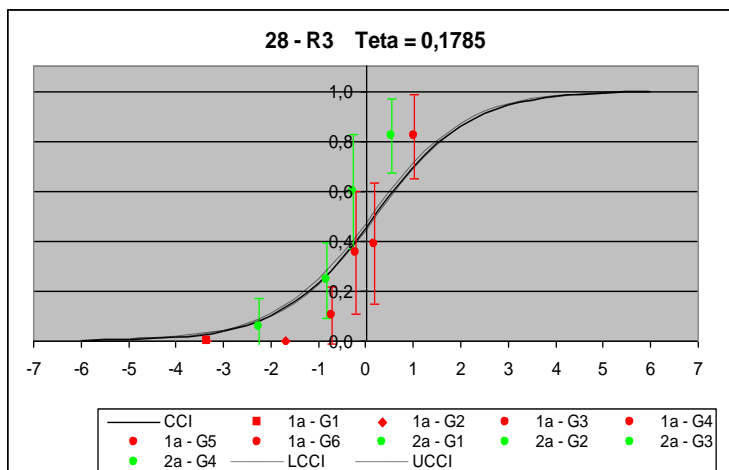
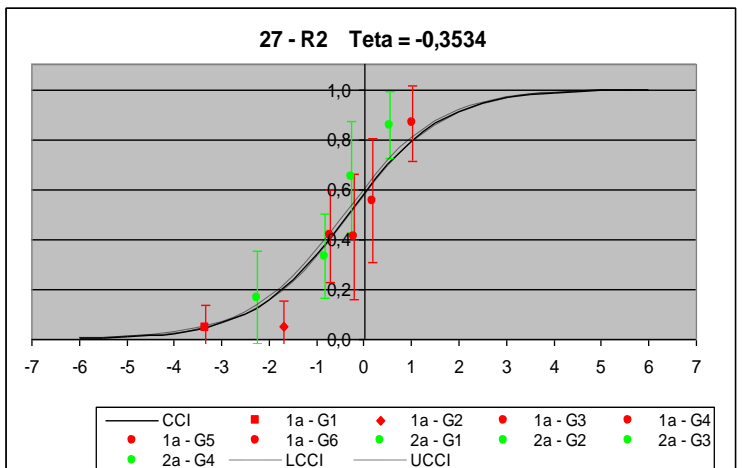
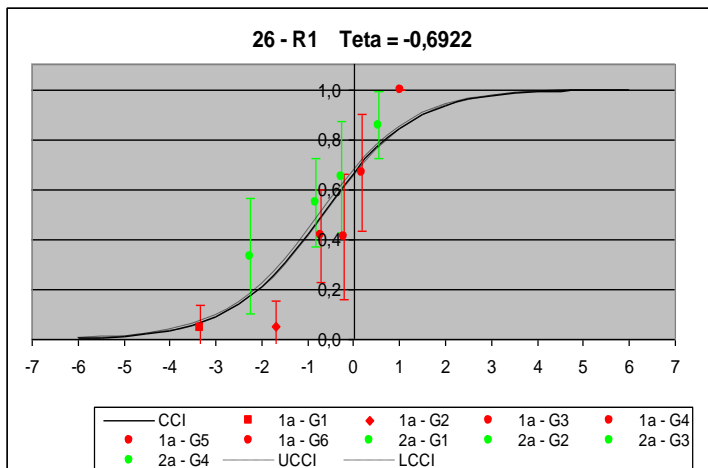
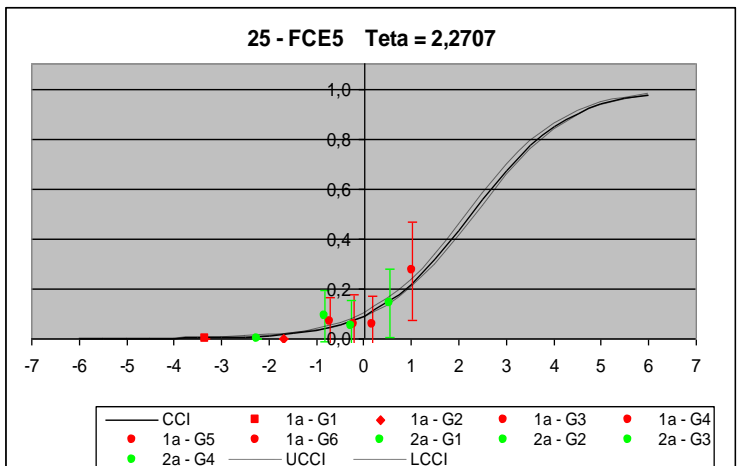
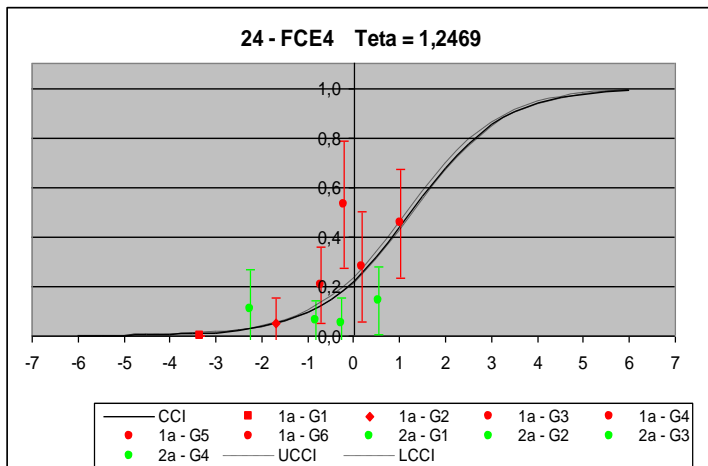
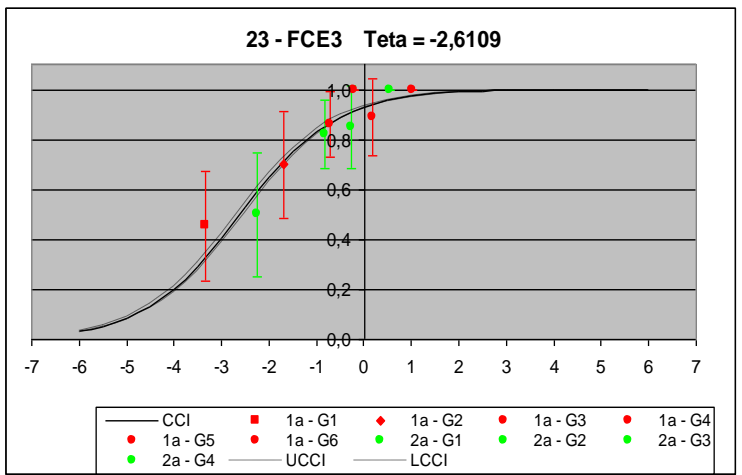
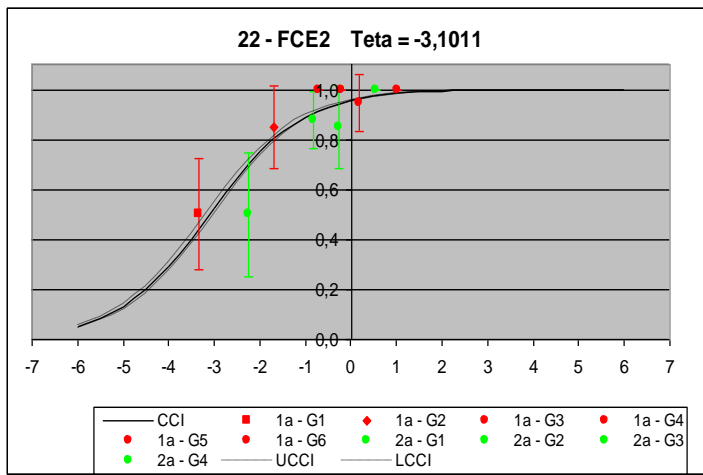


## Anexo 4- Gráficos de ajuste dos itens da escala referente às duas primeiras ondas de dados

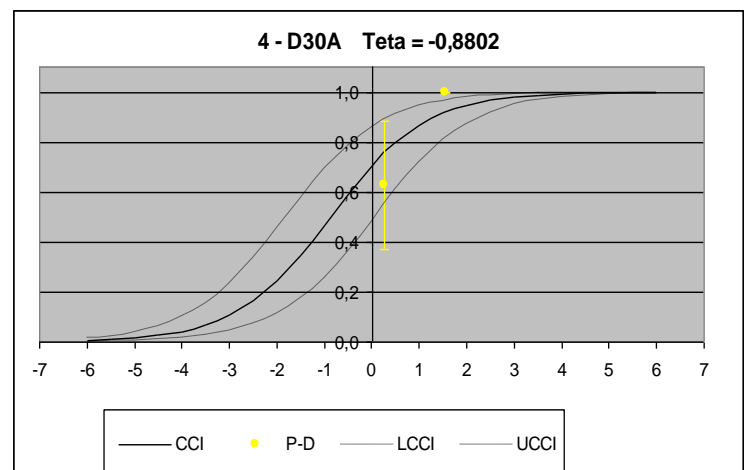
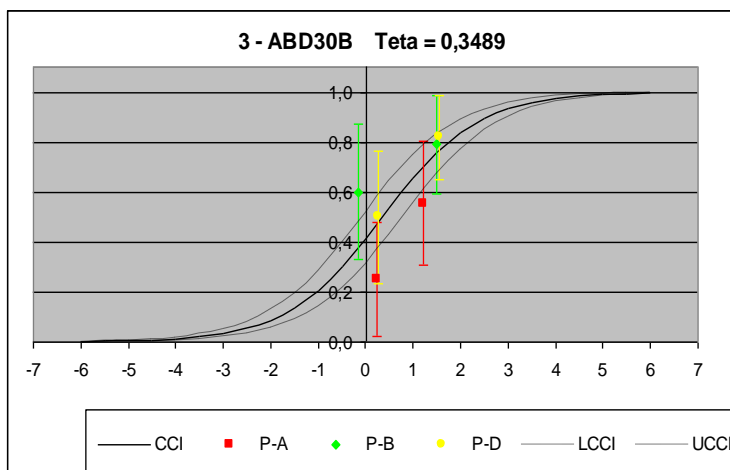
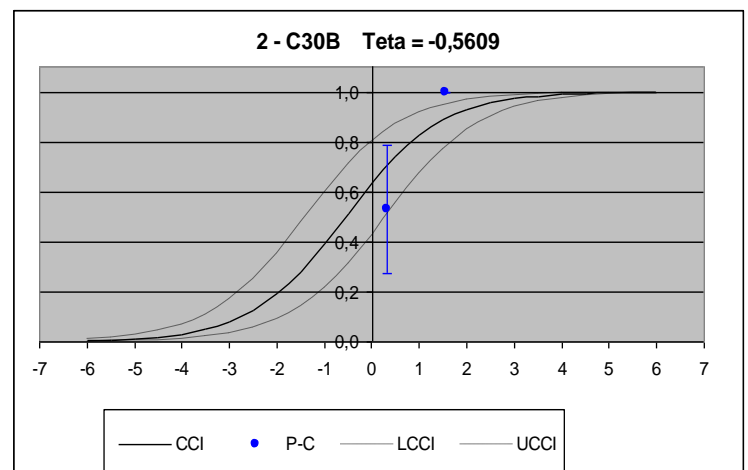
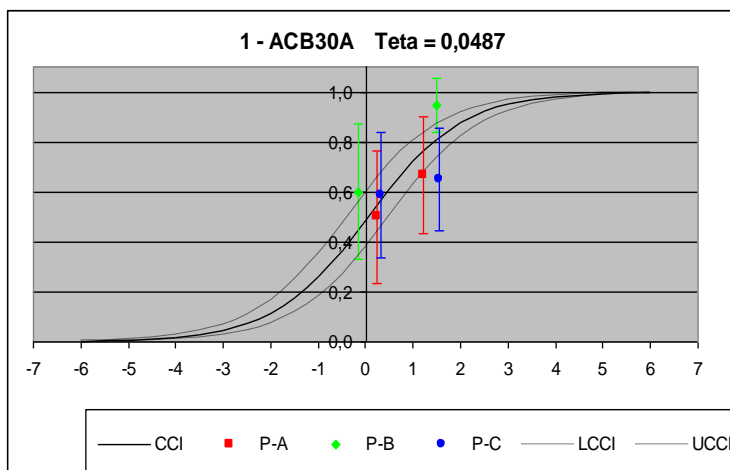
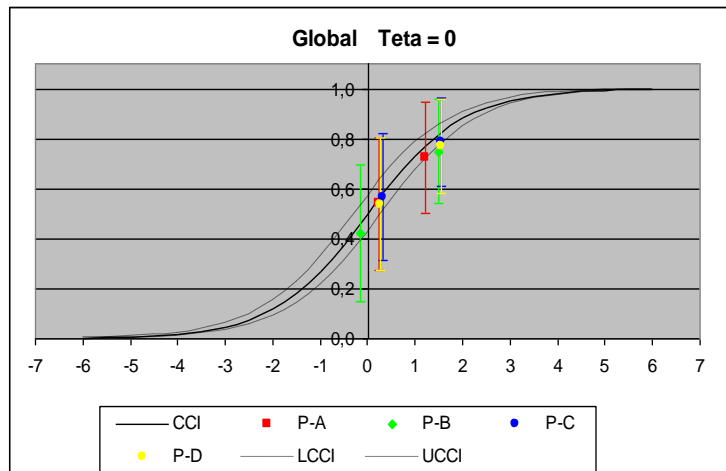


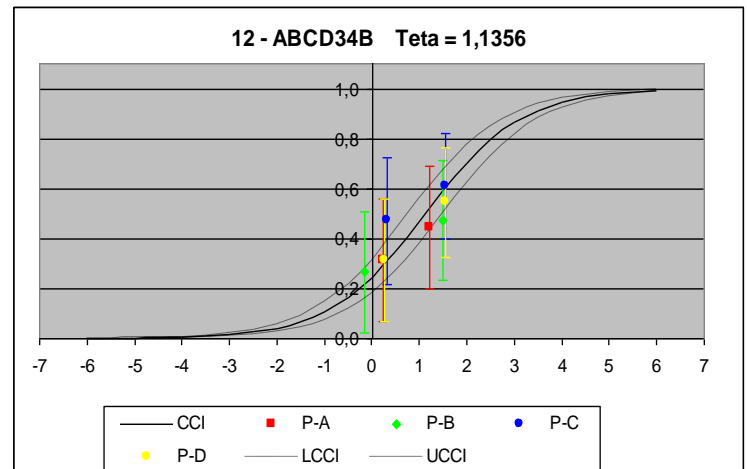
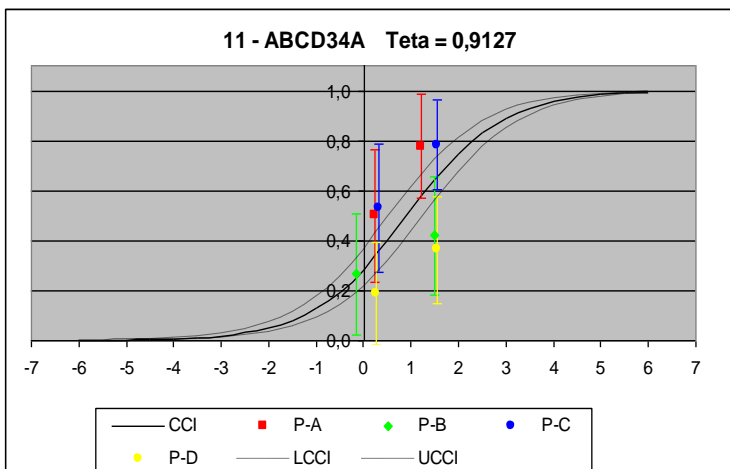
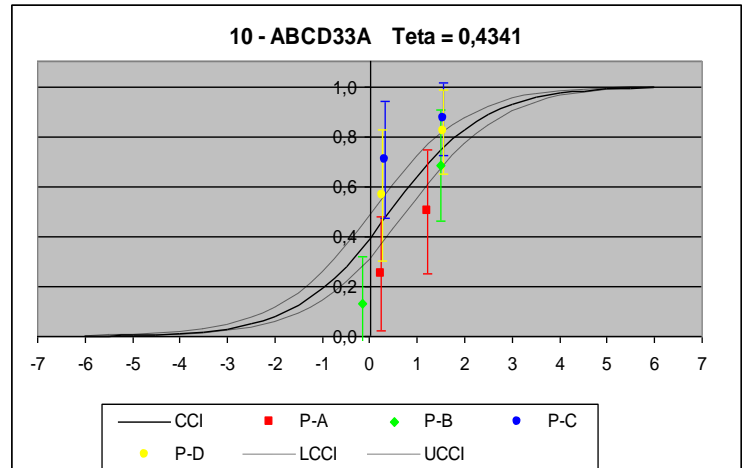
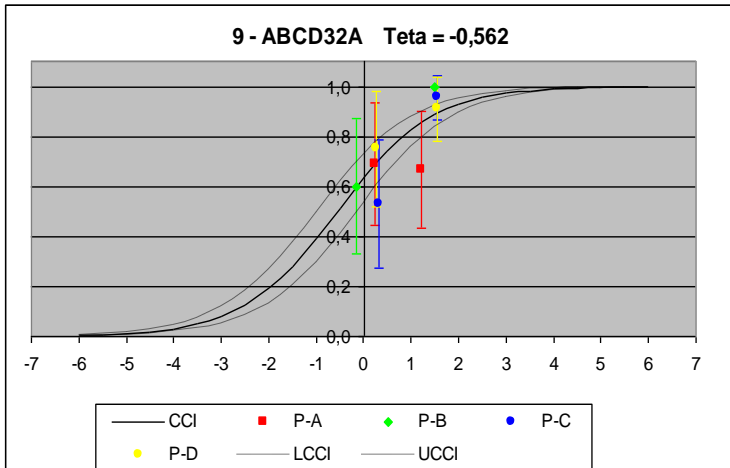
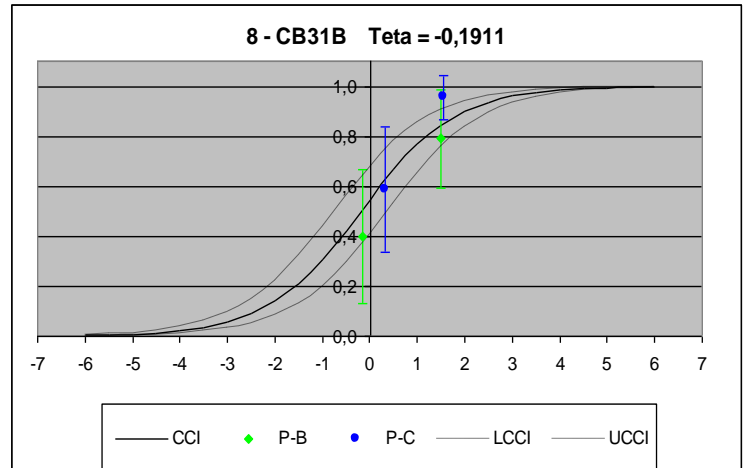
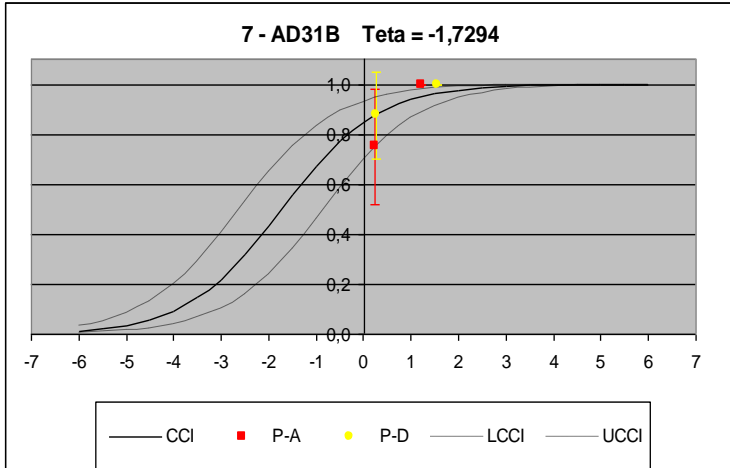
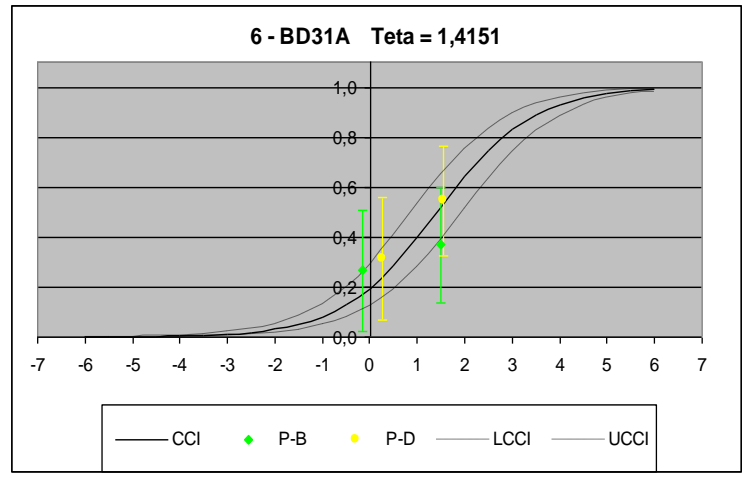
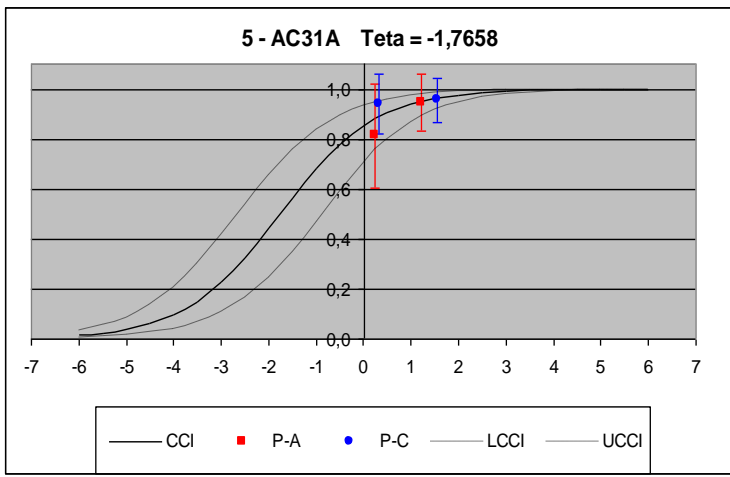


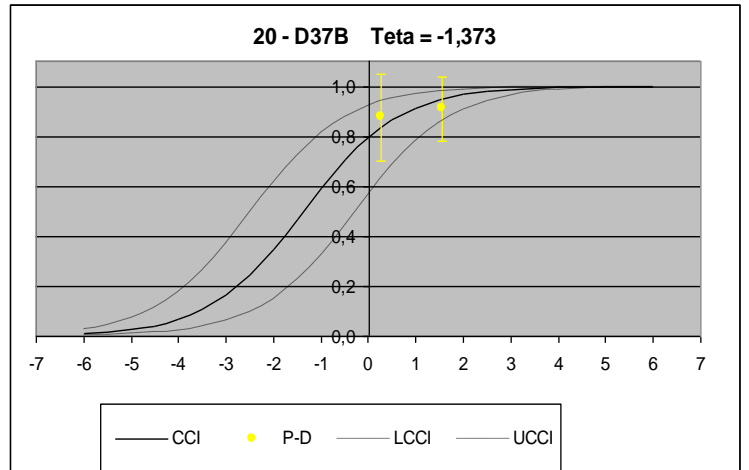
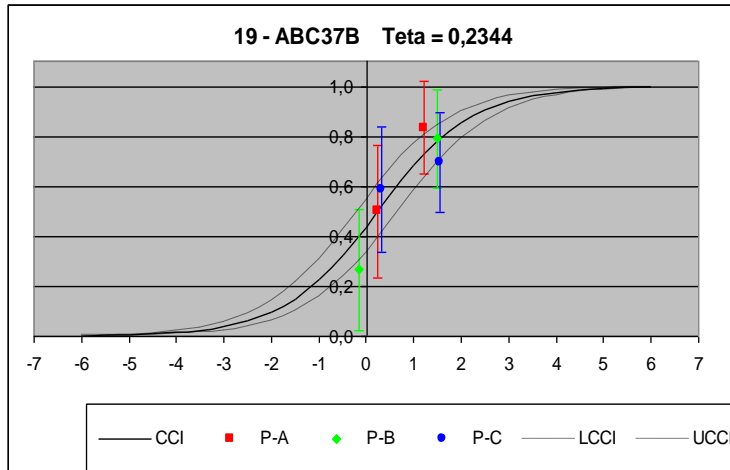
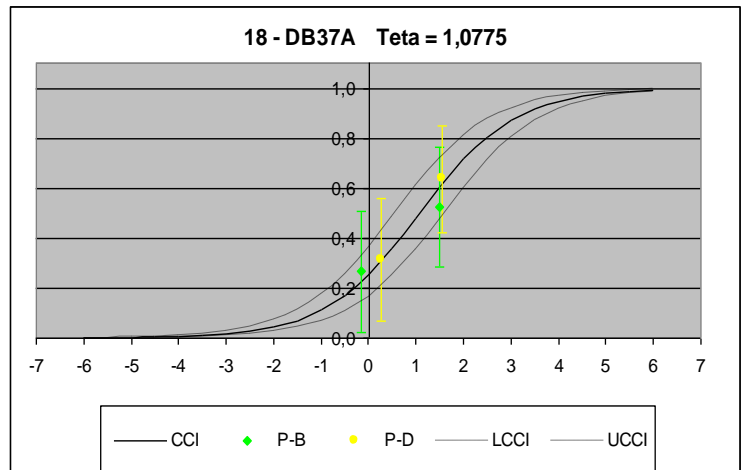
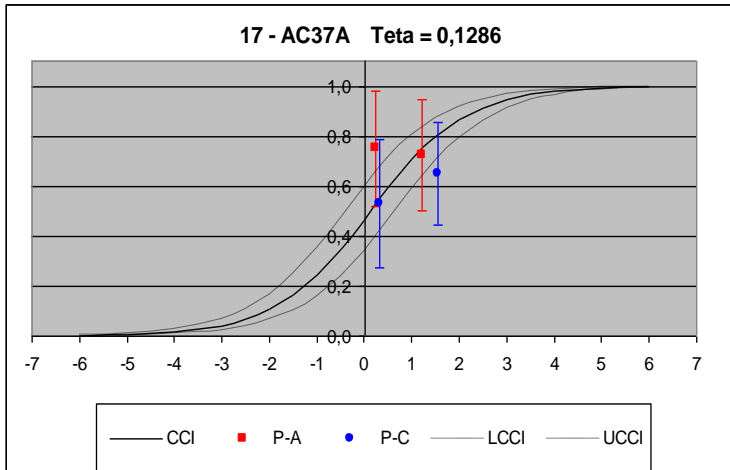
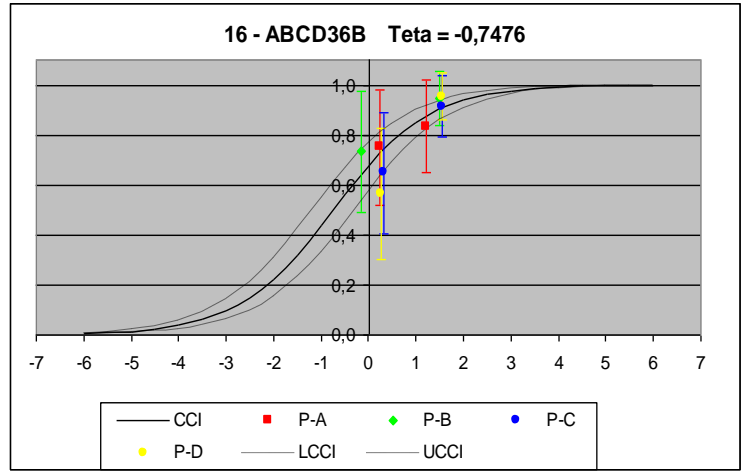
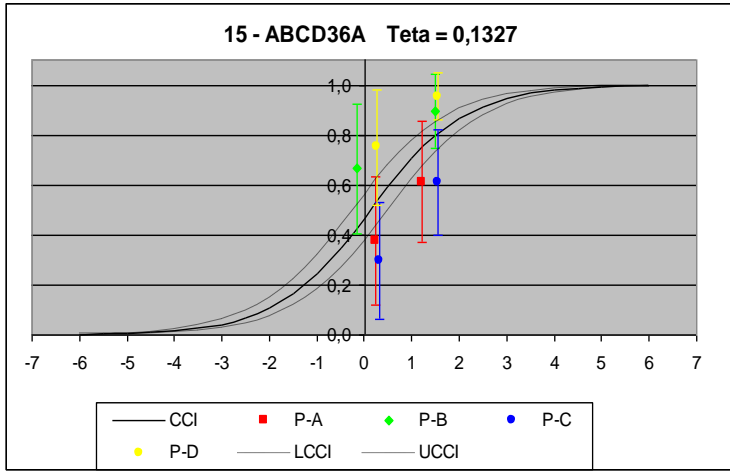
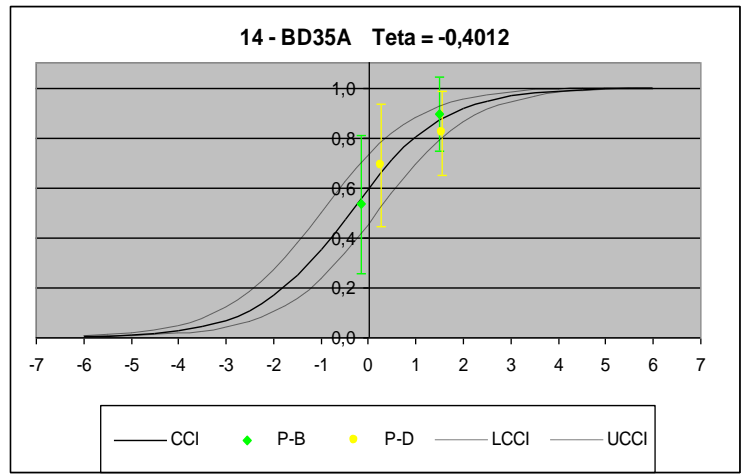
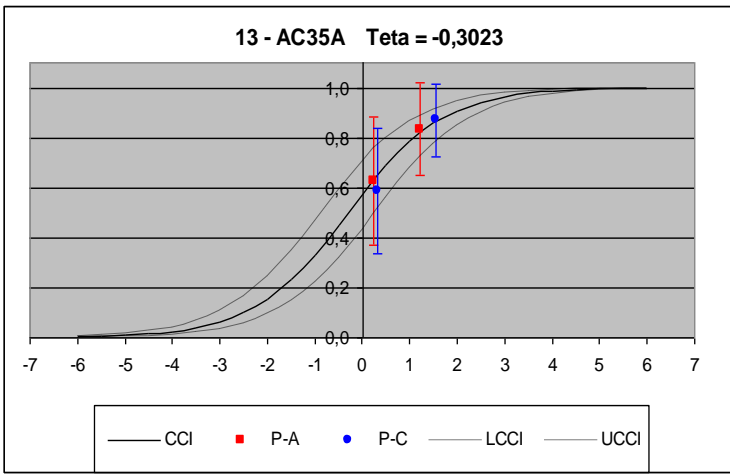


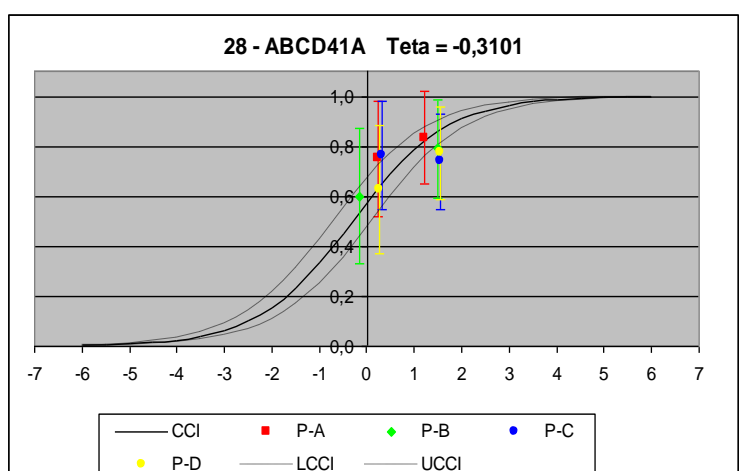
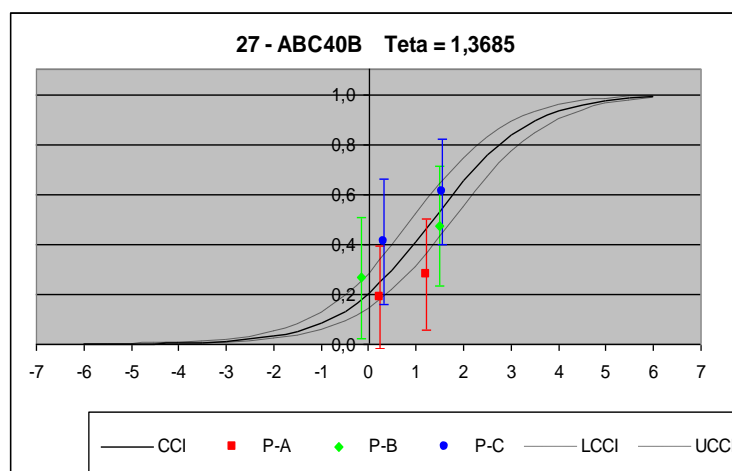
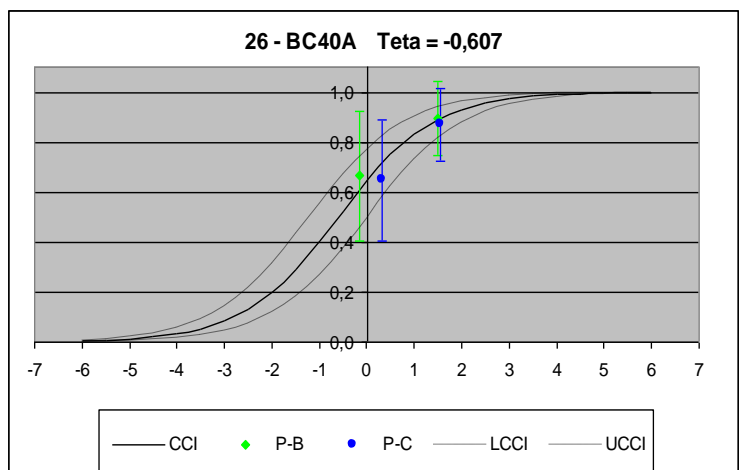
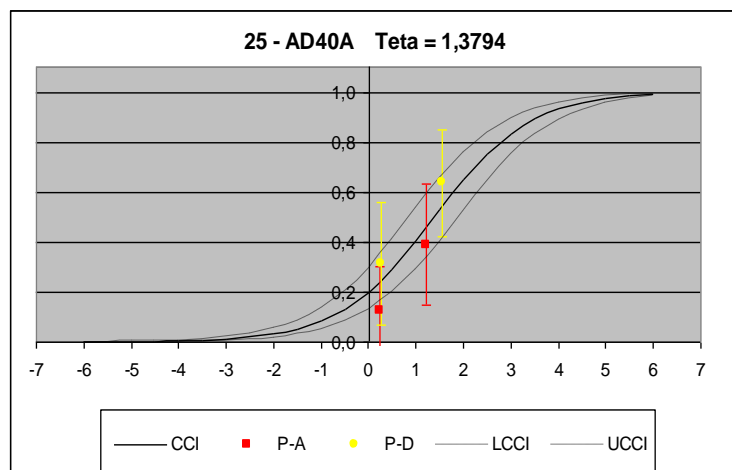
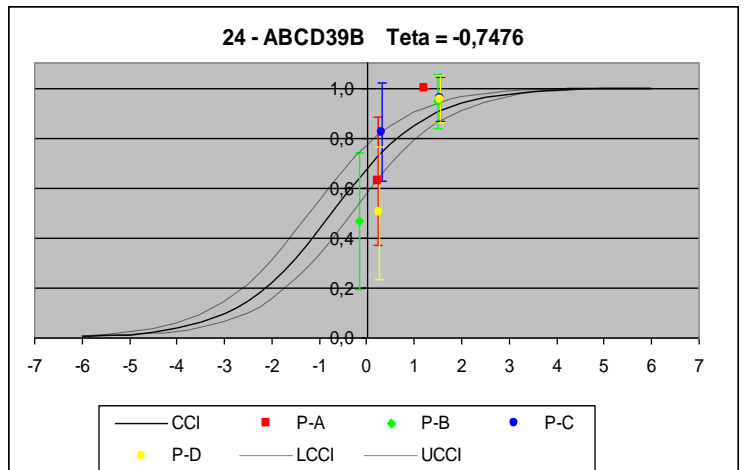
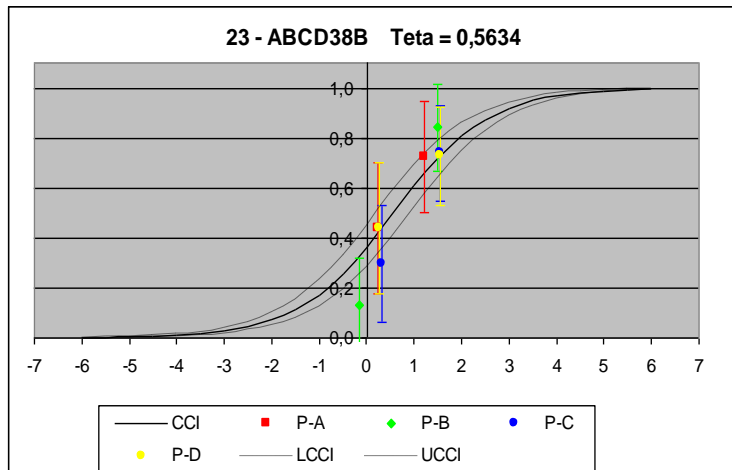
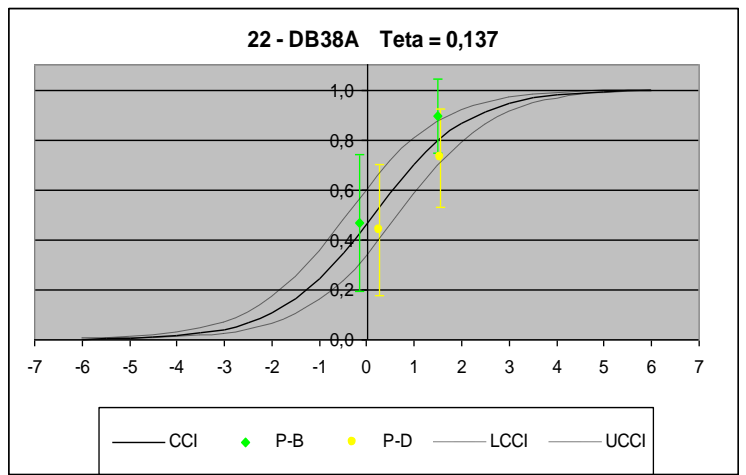
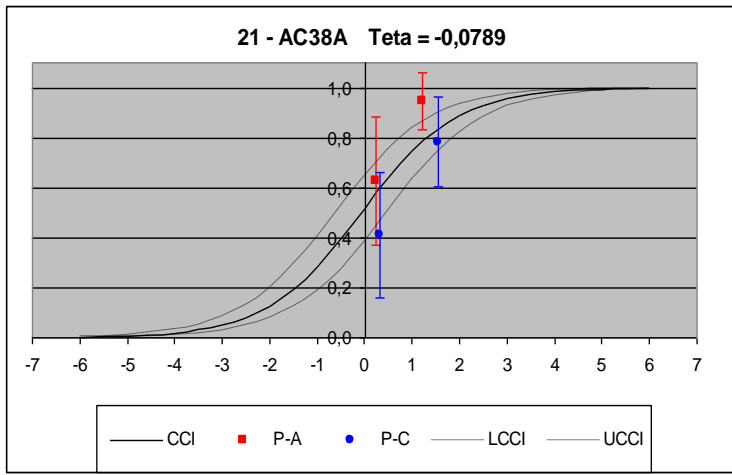


## Anexo 5- Gráficos de ajuste dos itens da escala referente à terceira onda de dados

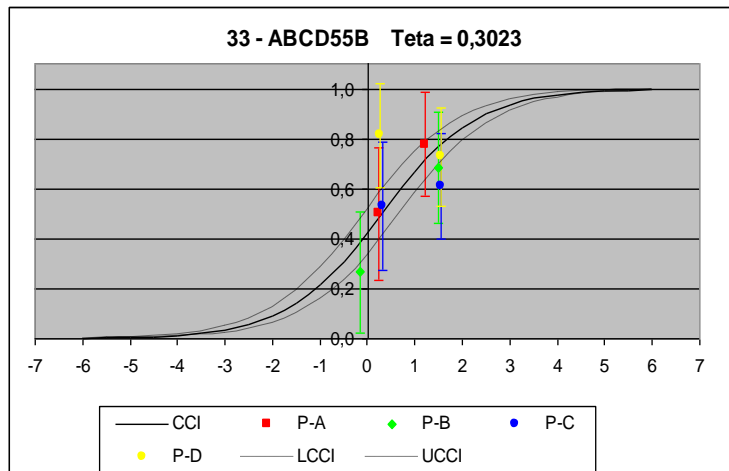
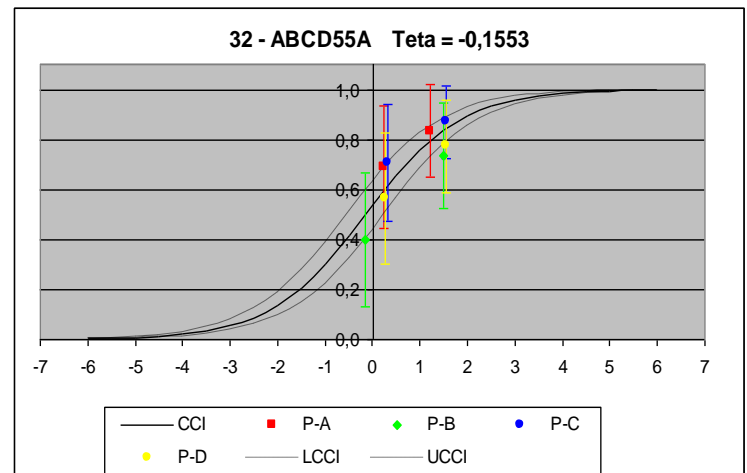
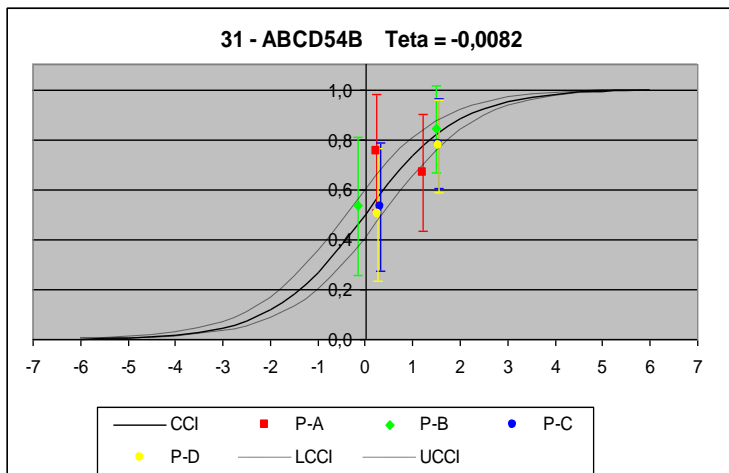
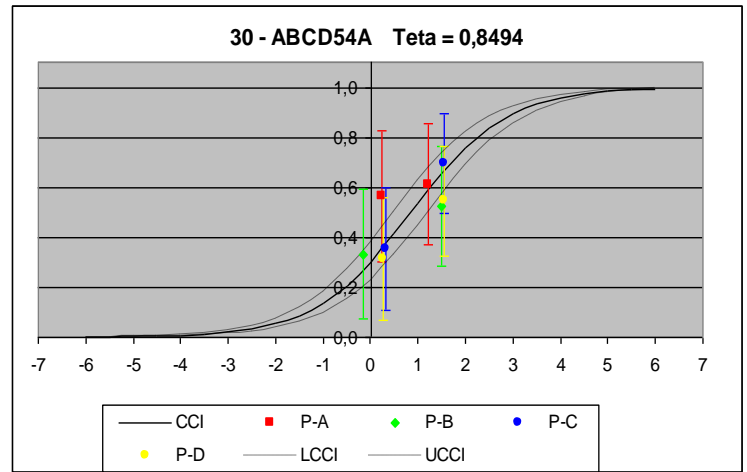
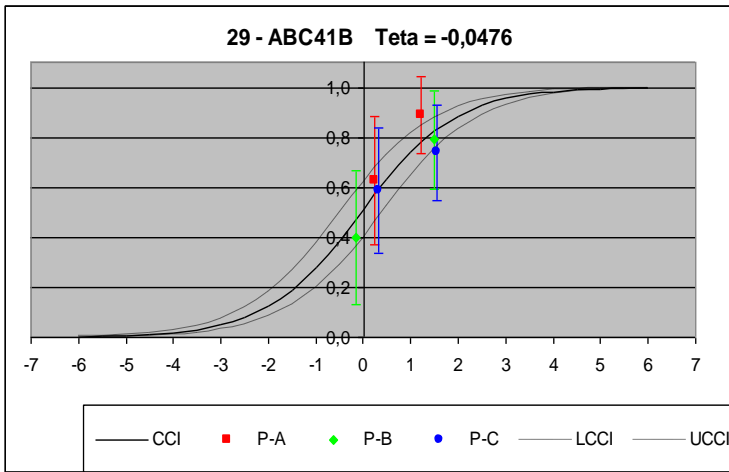




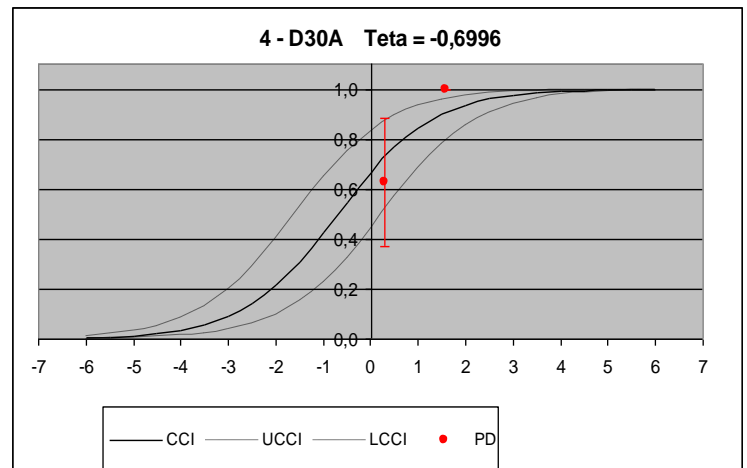
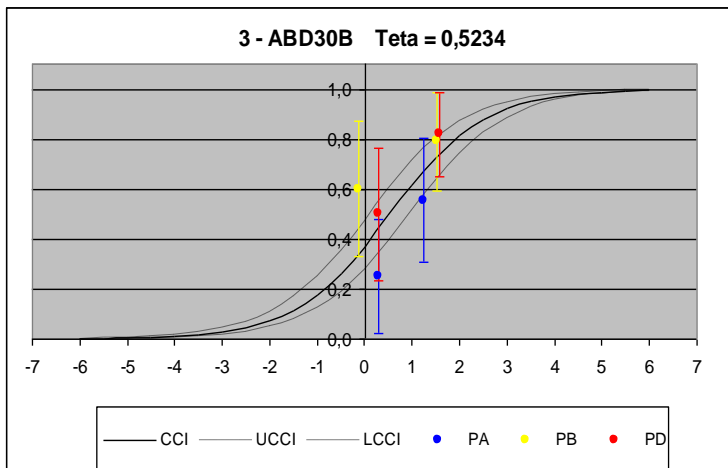
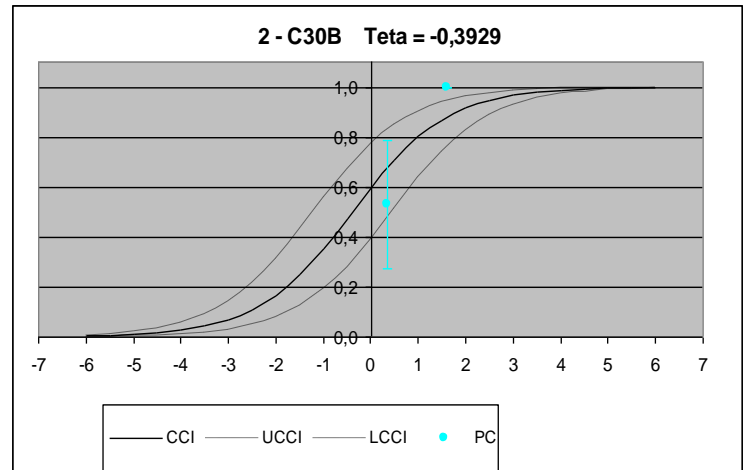
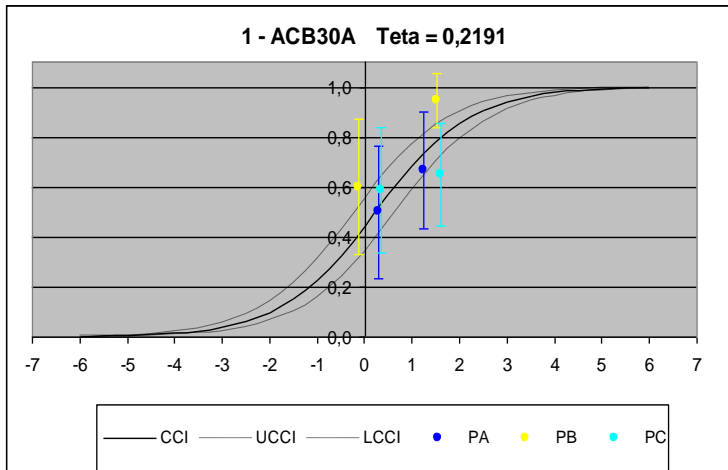
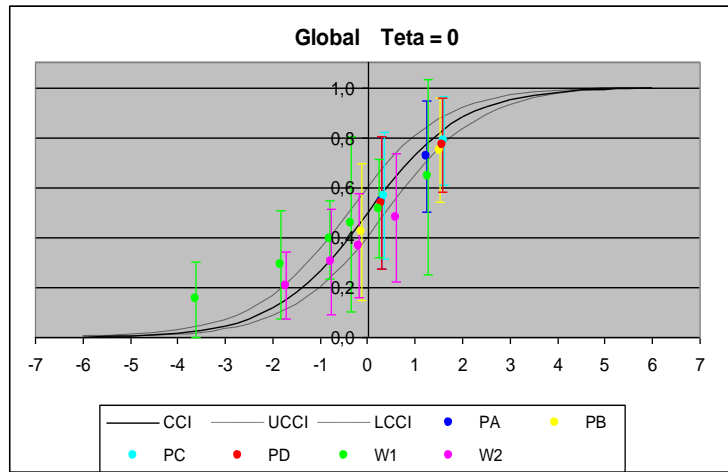


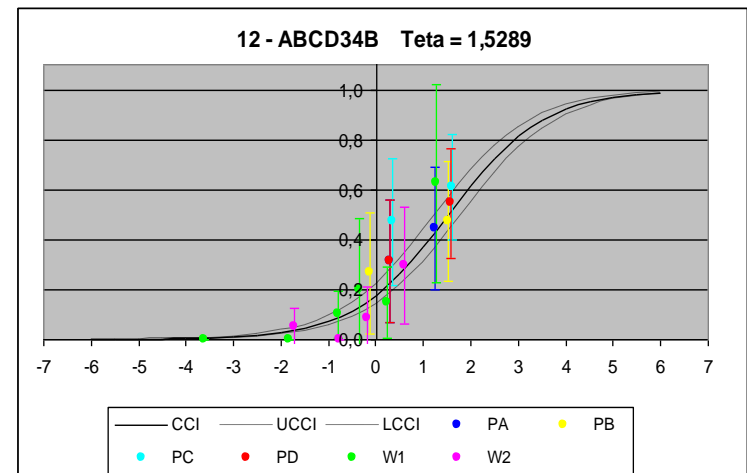
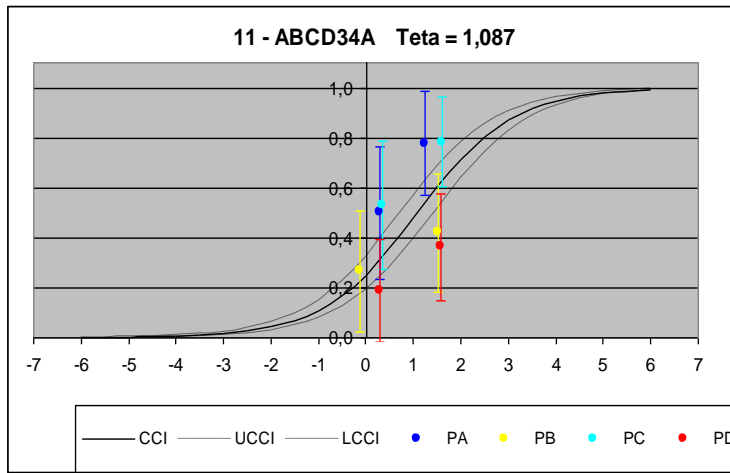
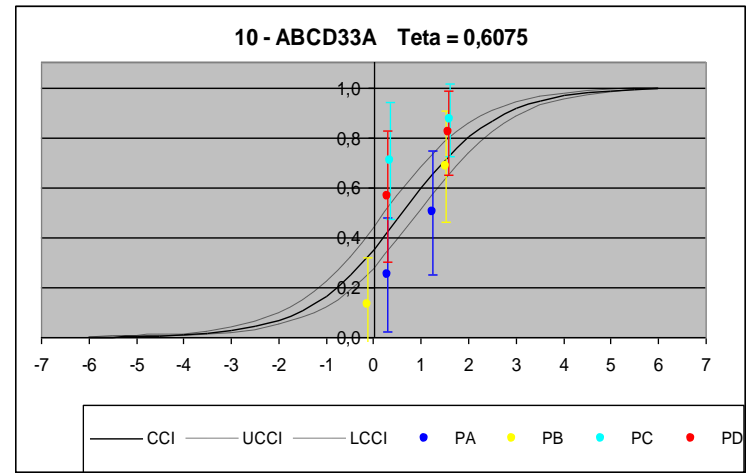
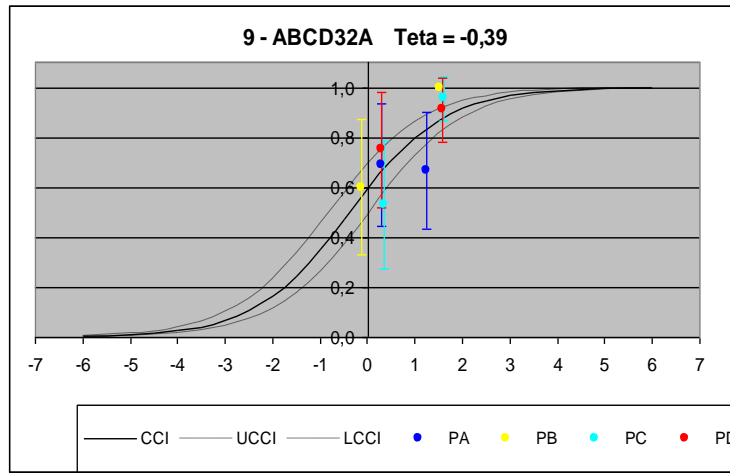
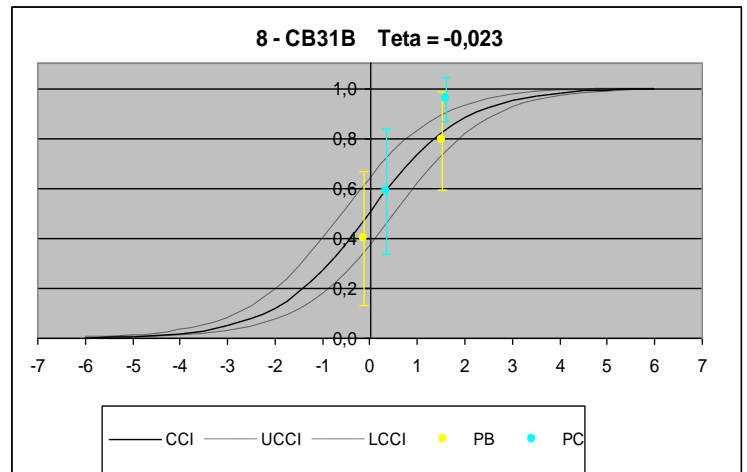
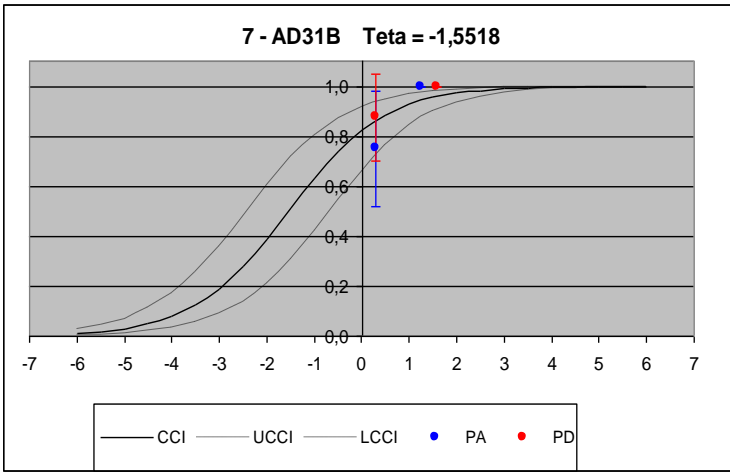
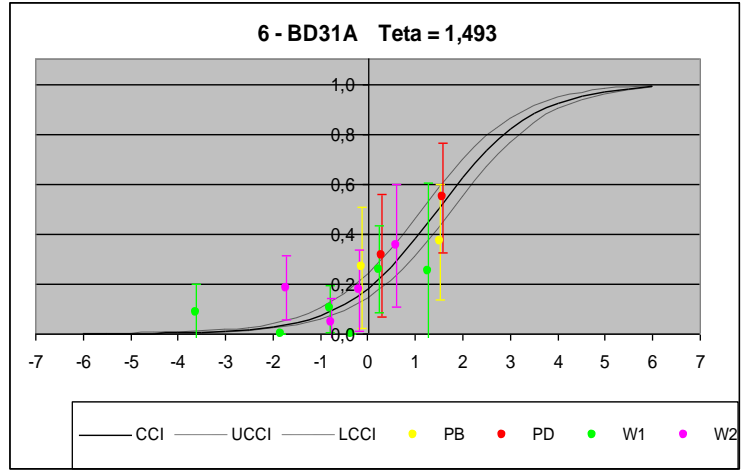
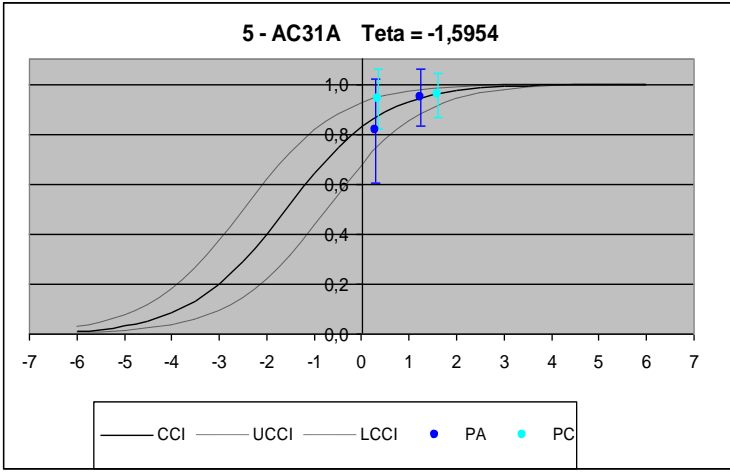


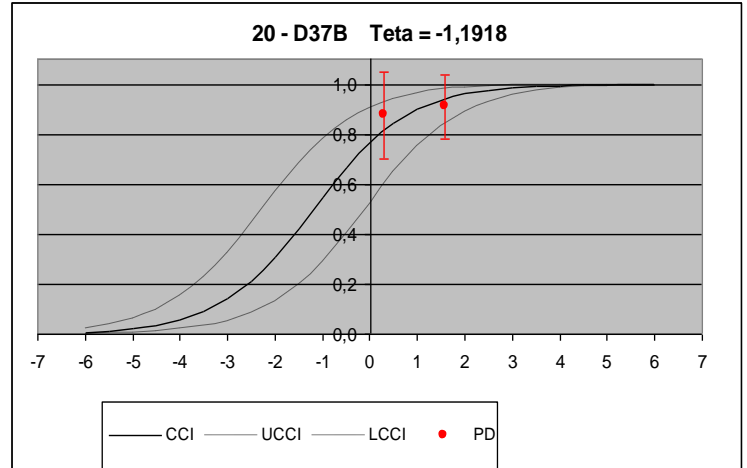
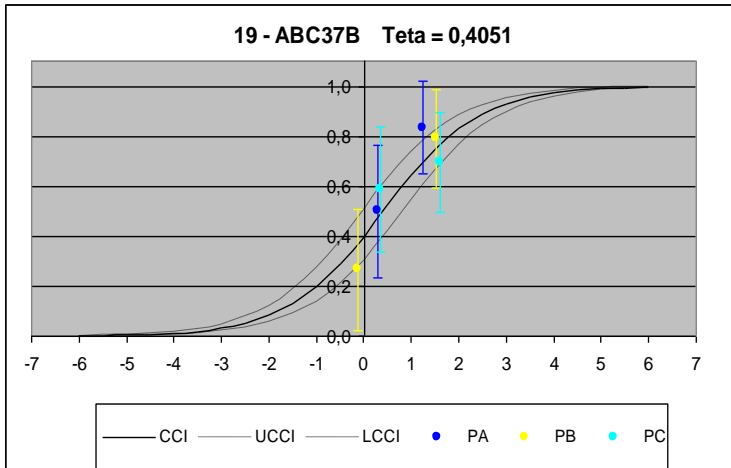
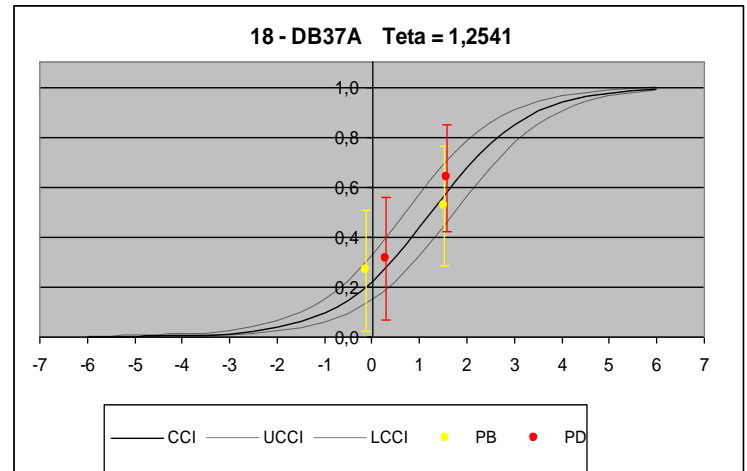
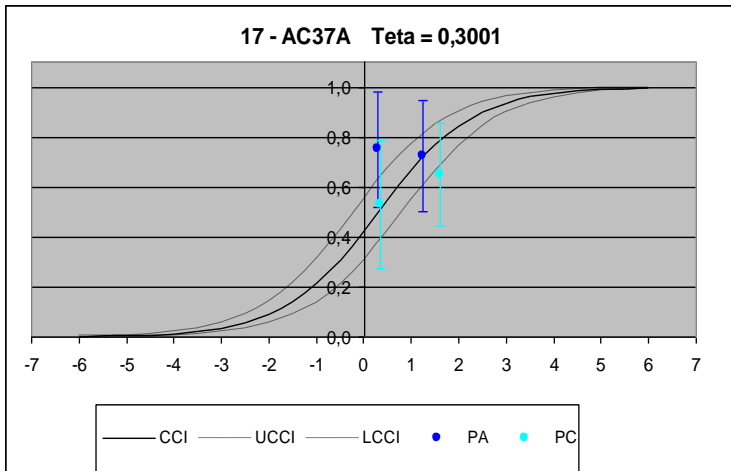
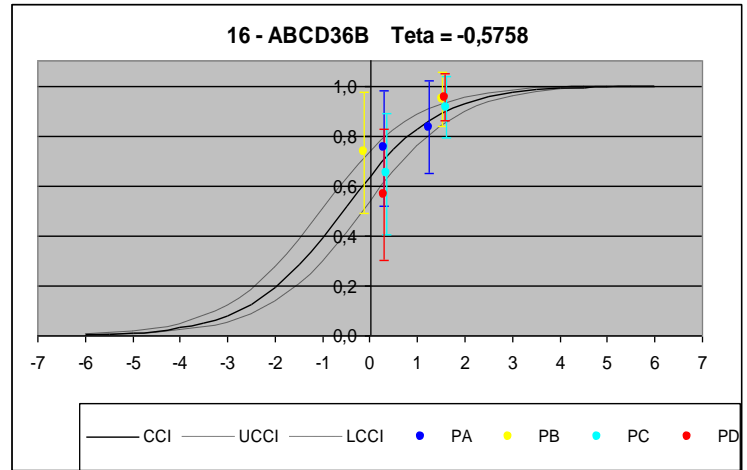
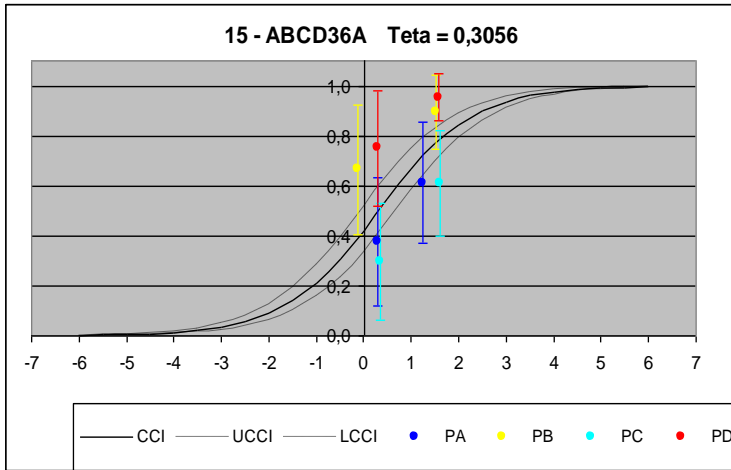
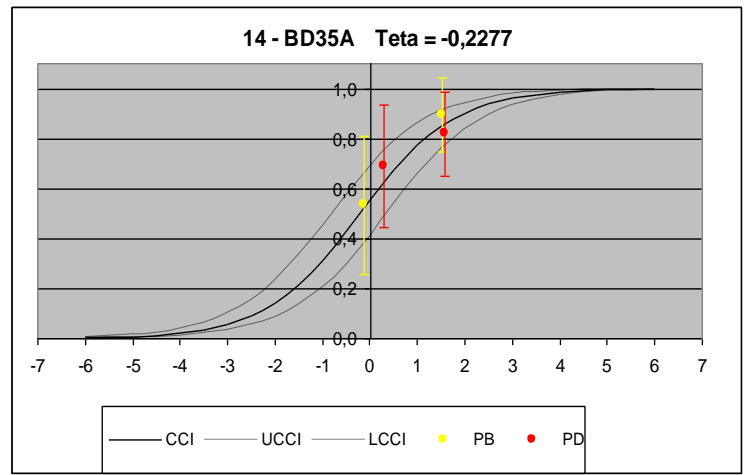
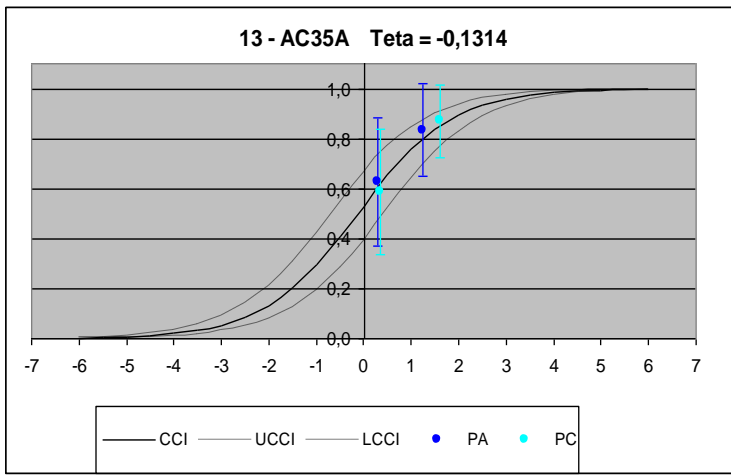


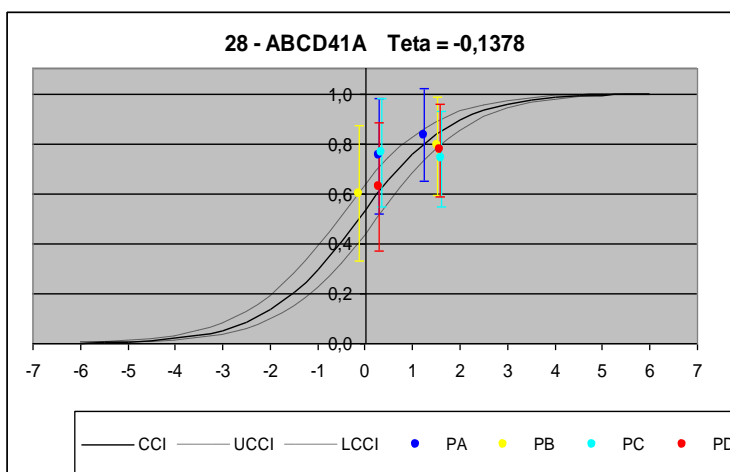
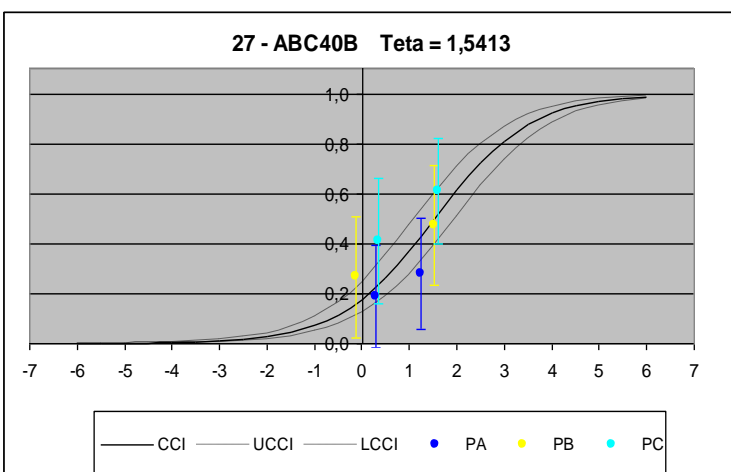
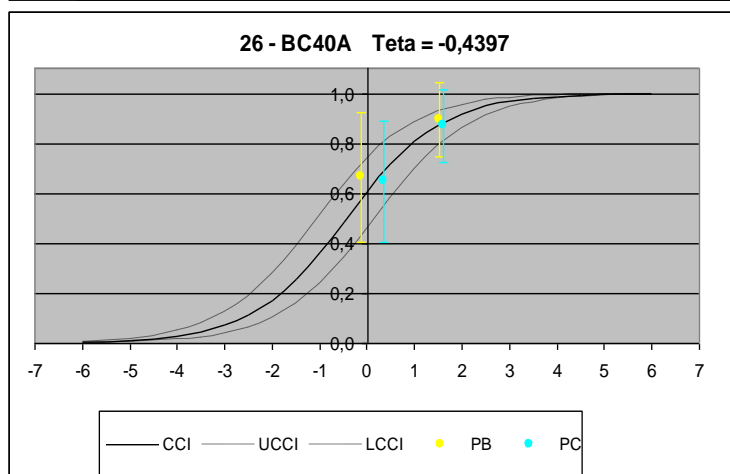
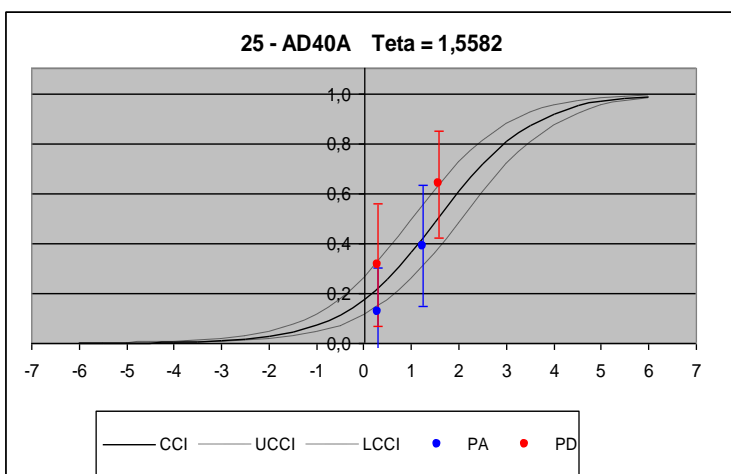
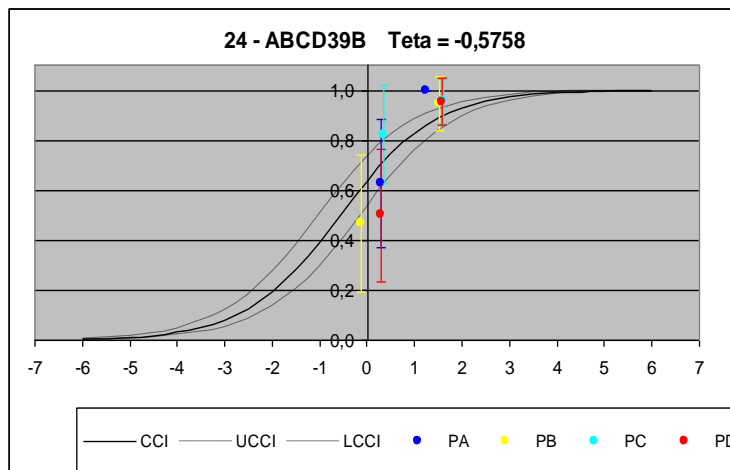
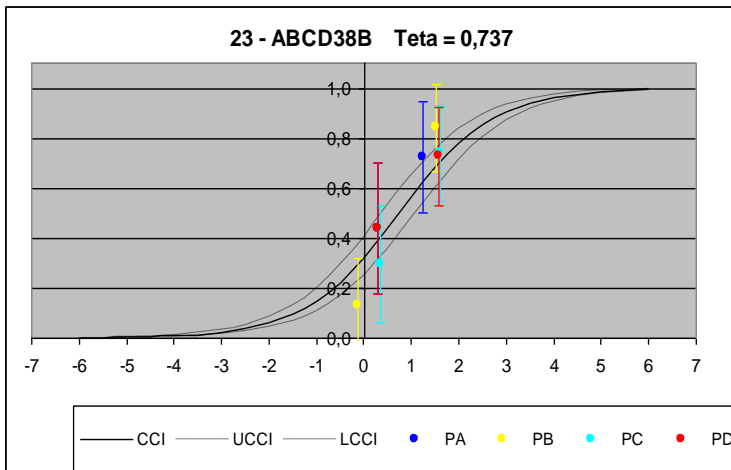
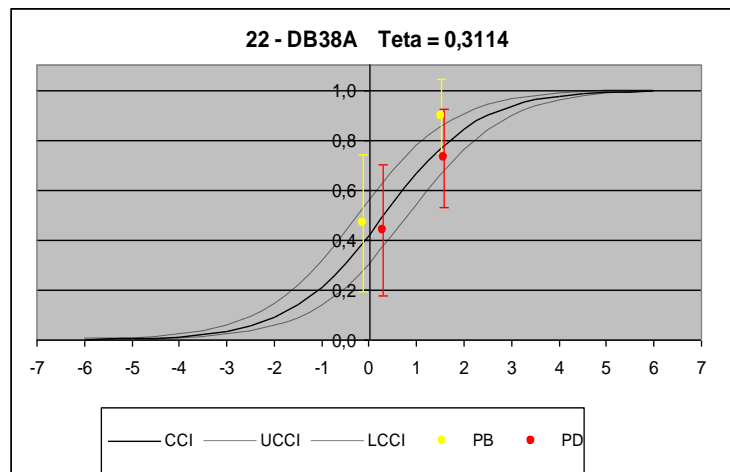
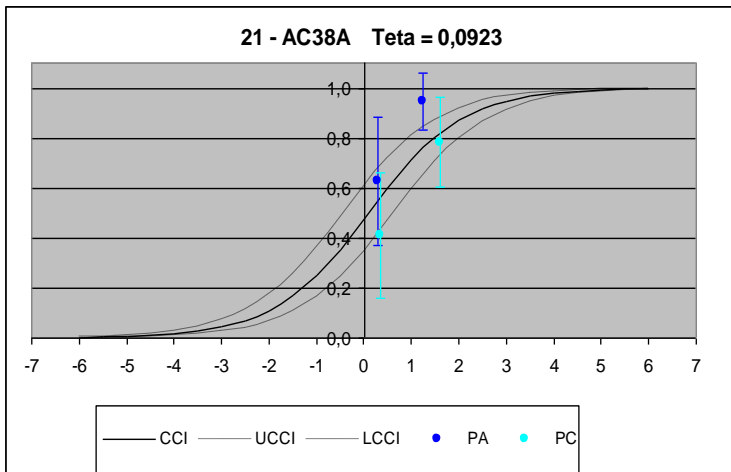


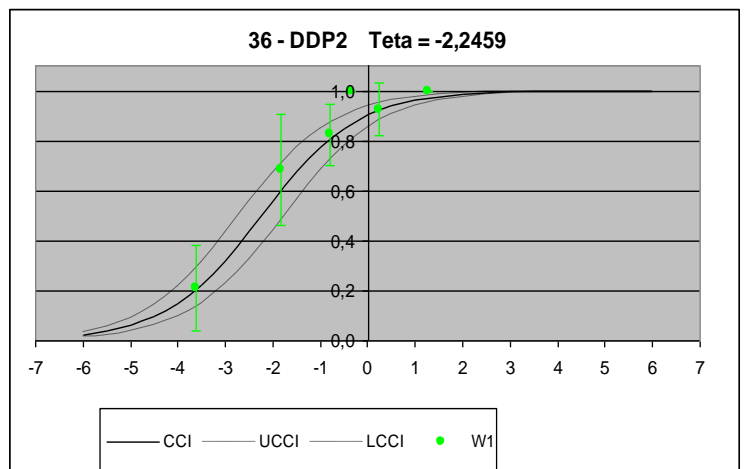
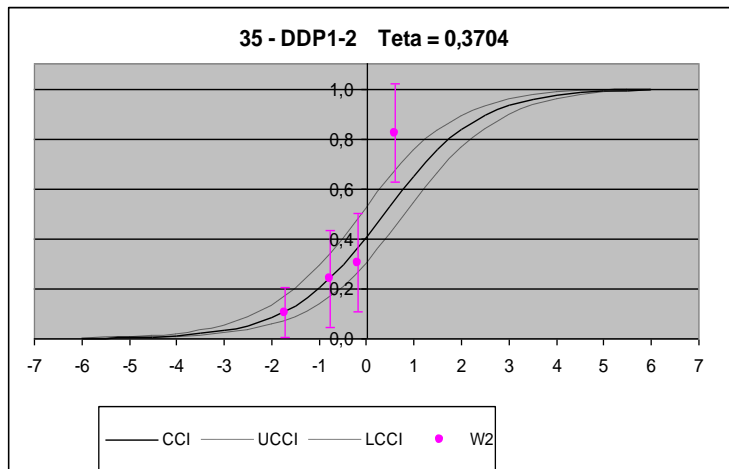
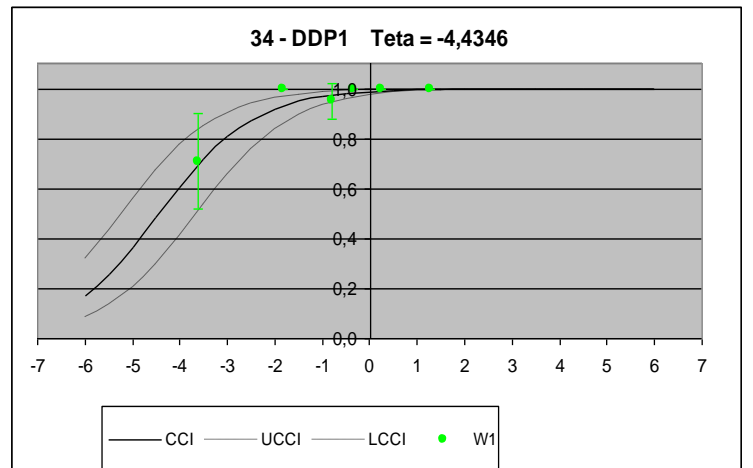
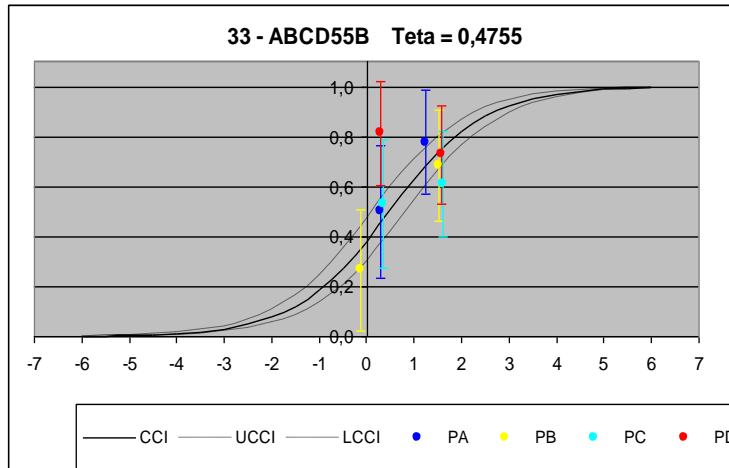
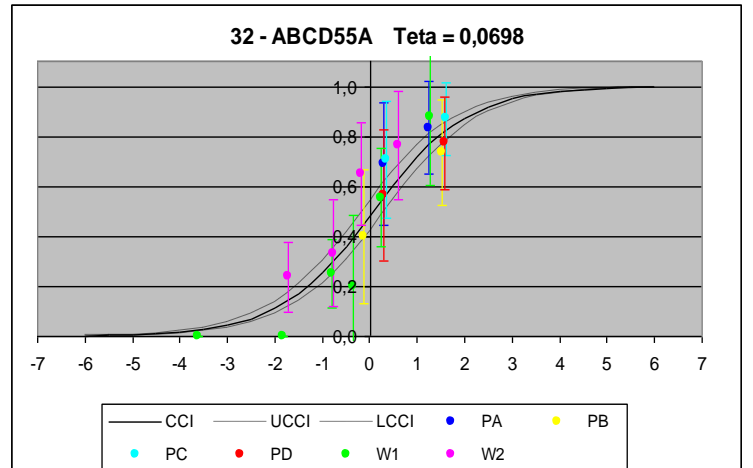
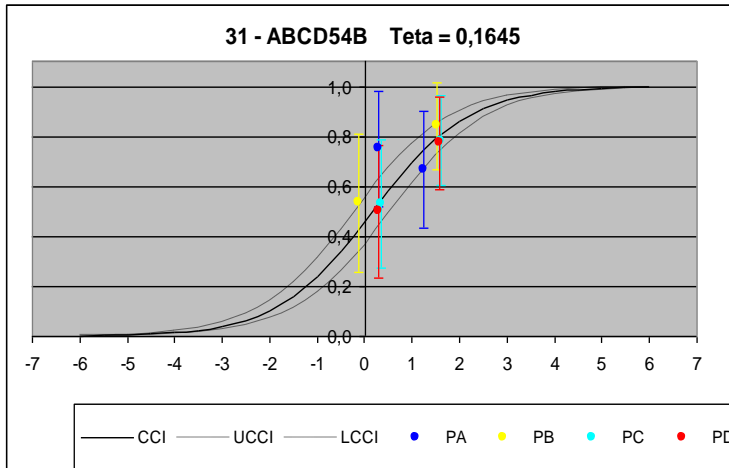
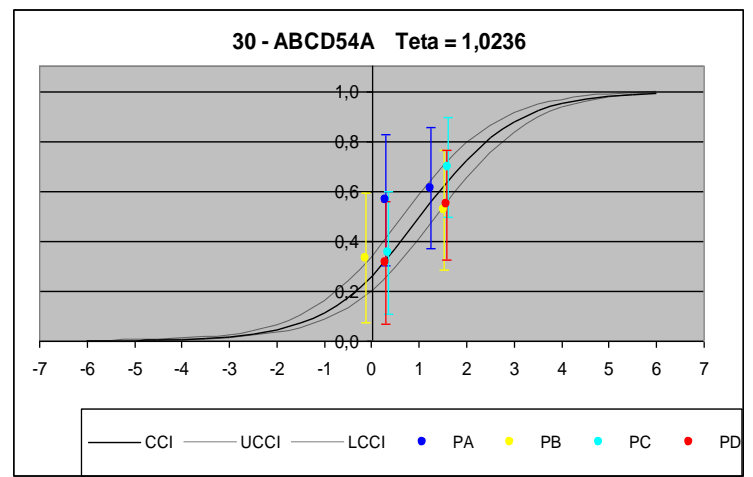
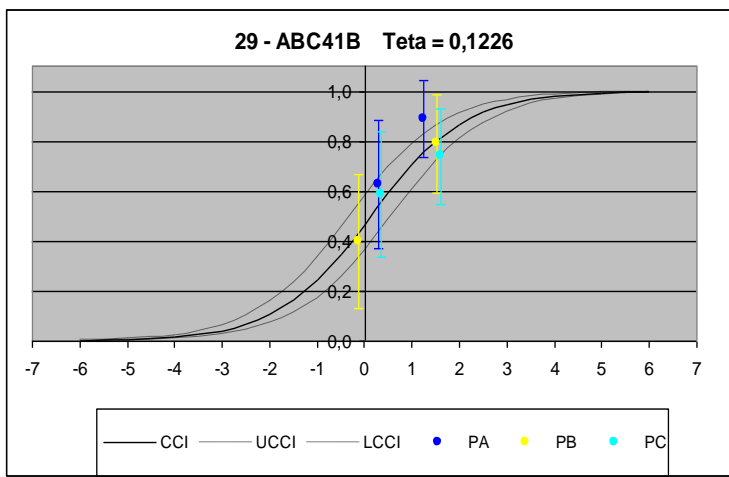
## Anexo 6- Gráficos de ajuste dos itens da escala comum às três ondas de dados

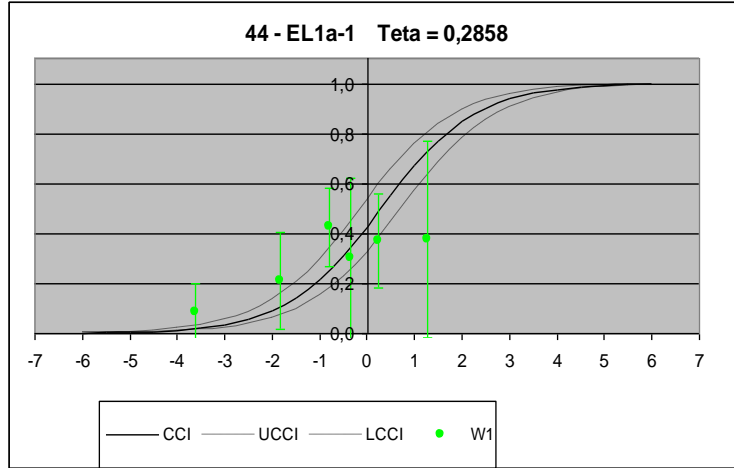
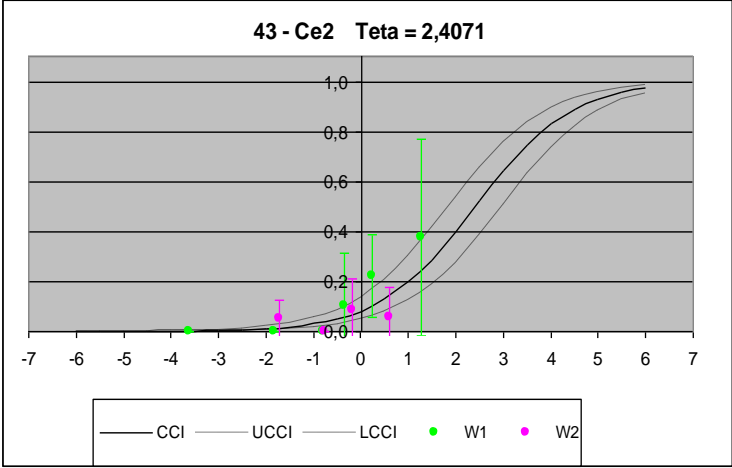
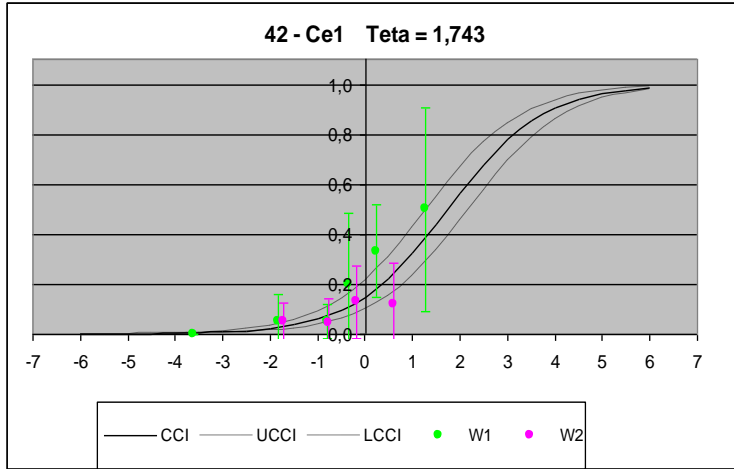
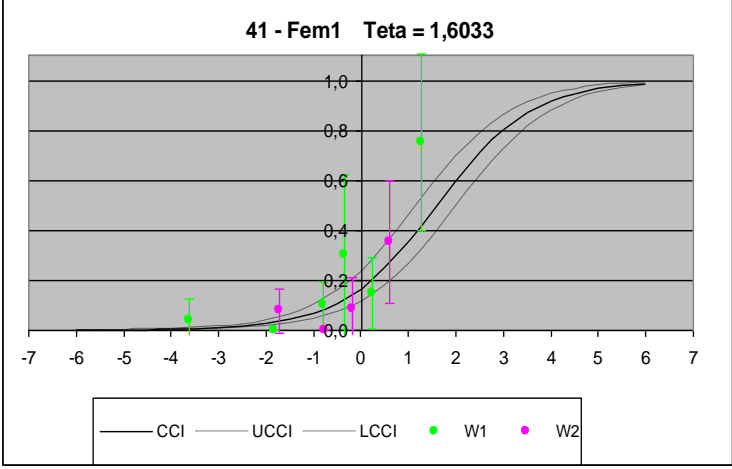
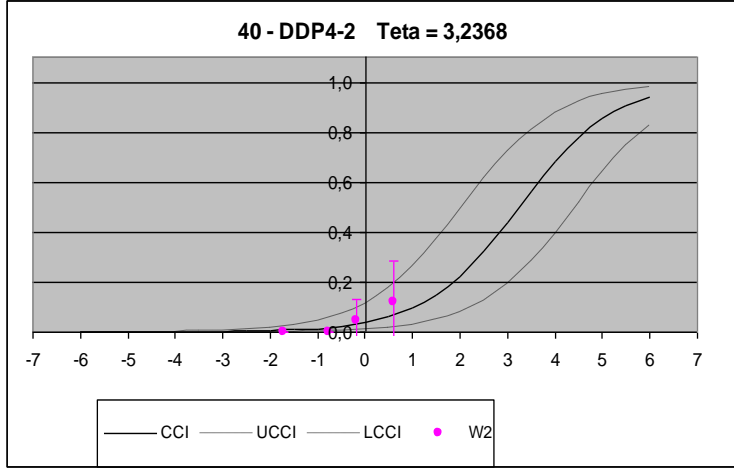
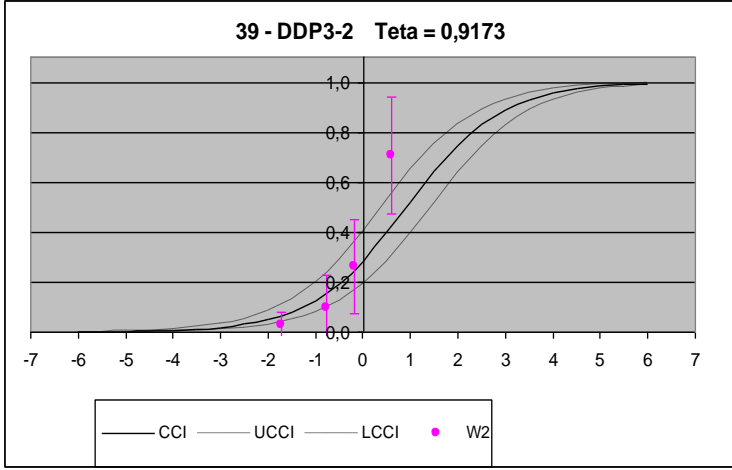
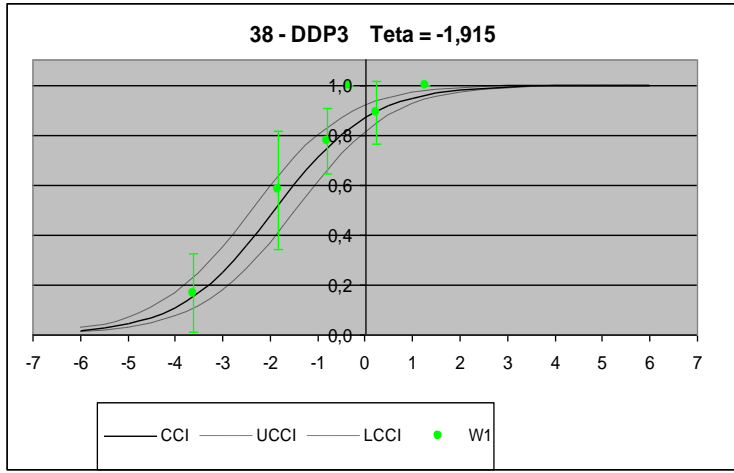
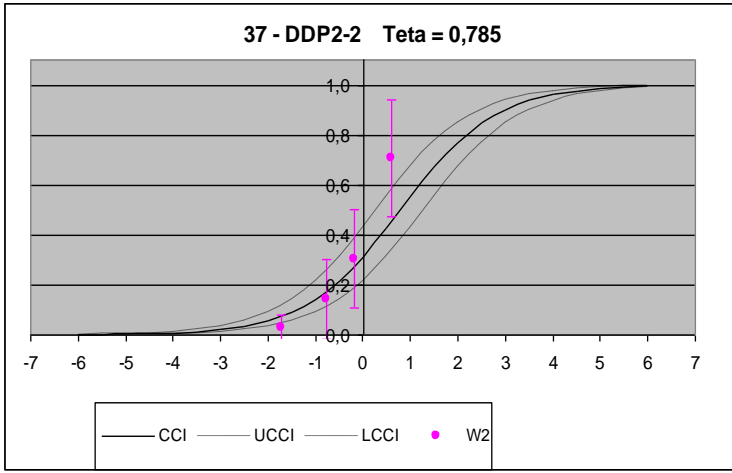


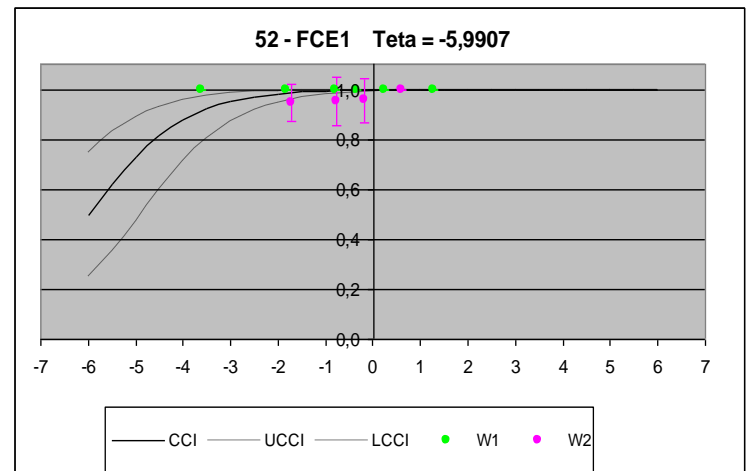
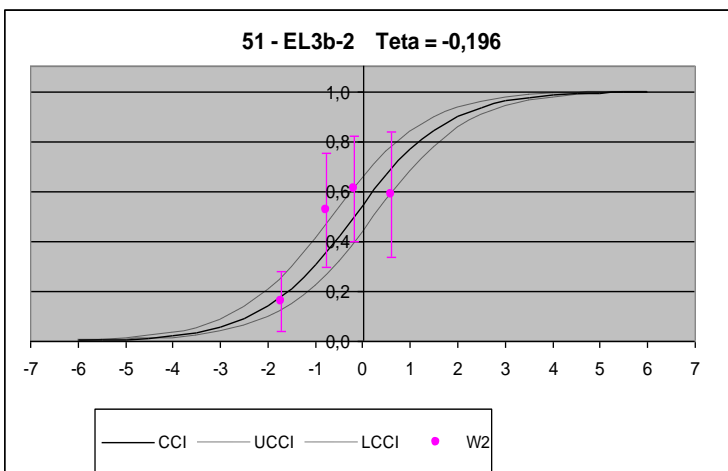
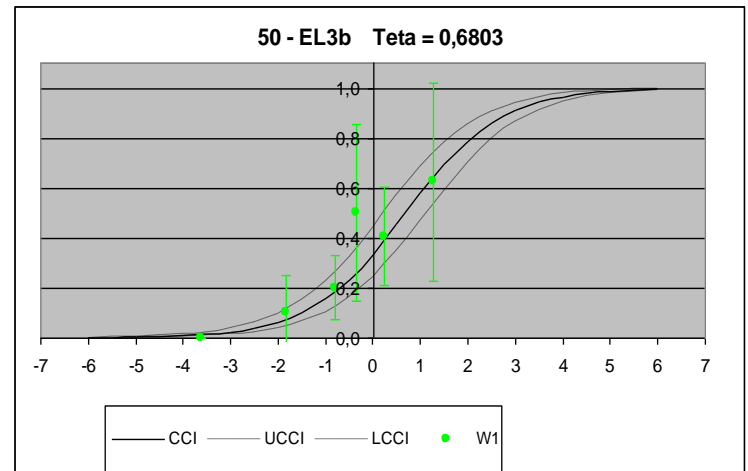
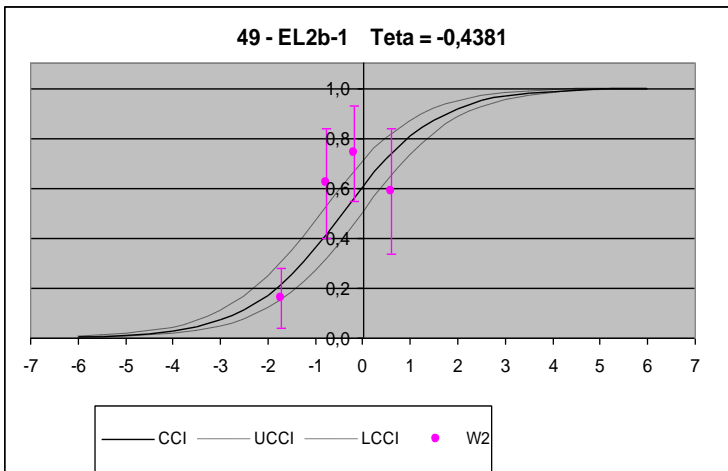
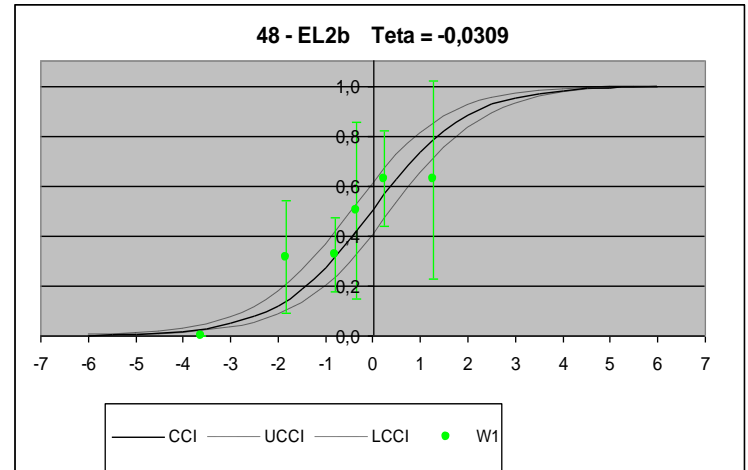
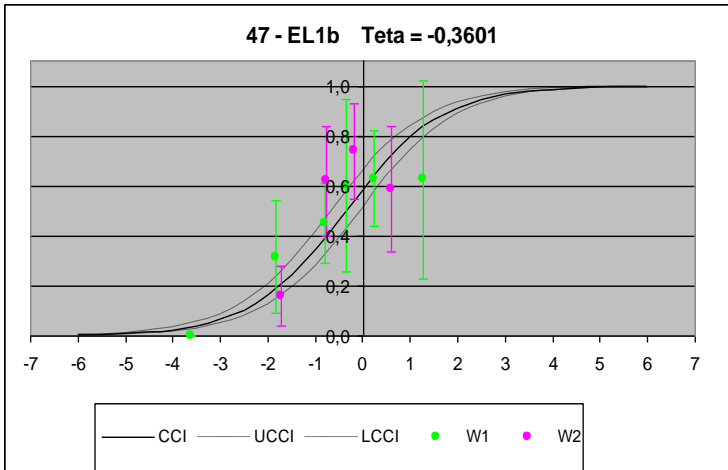
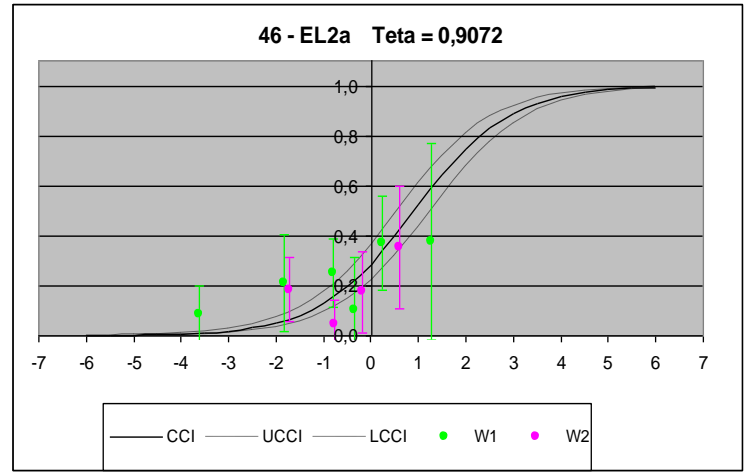
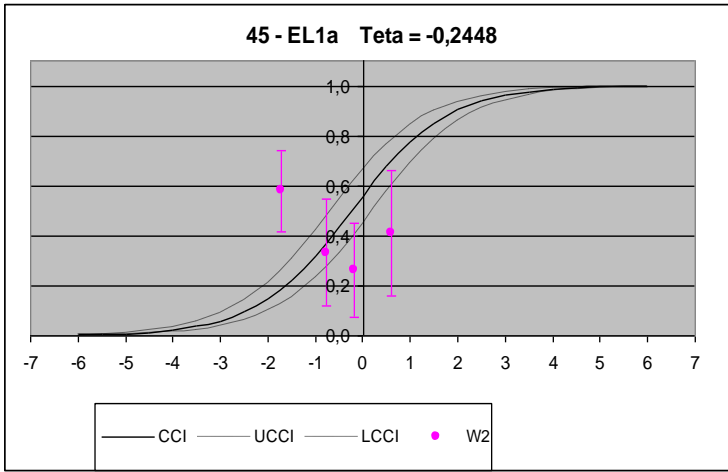




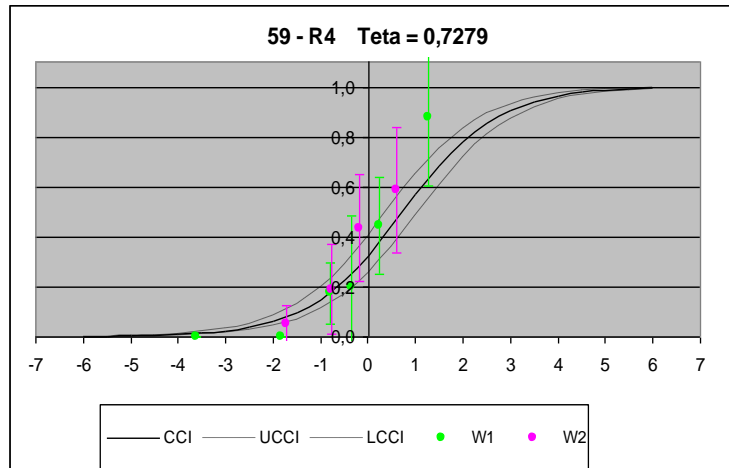
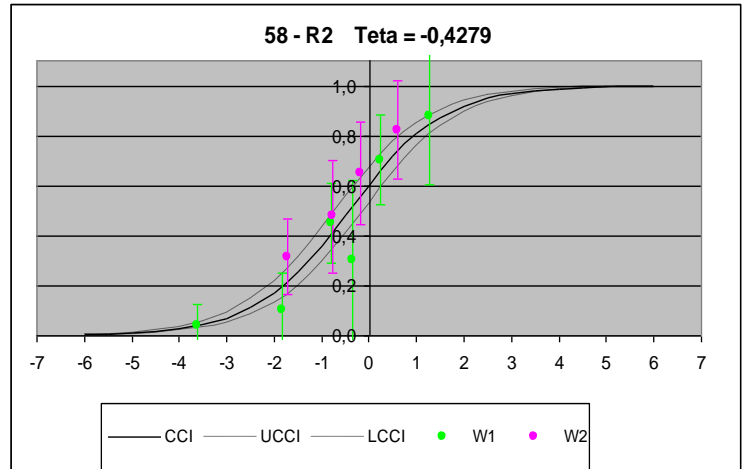
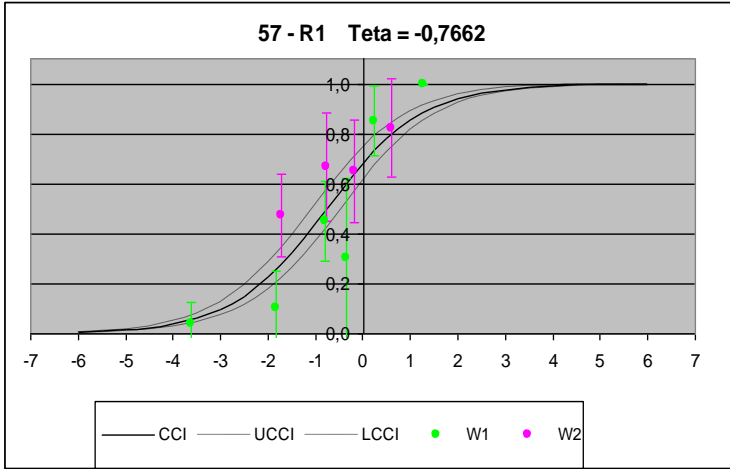
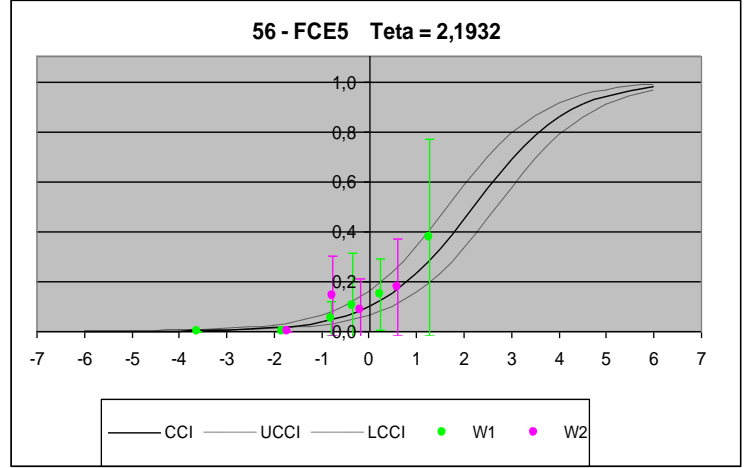
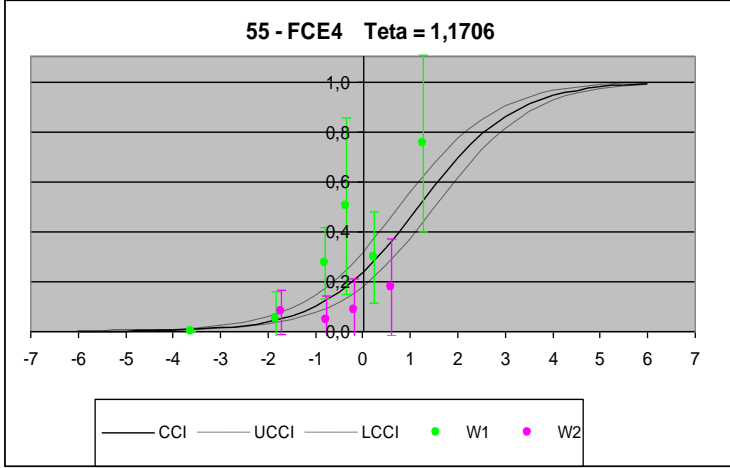
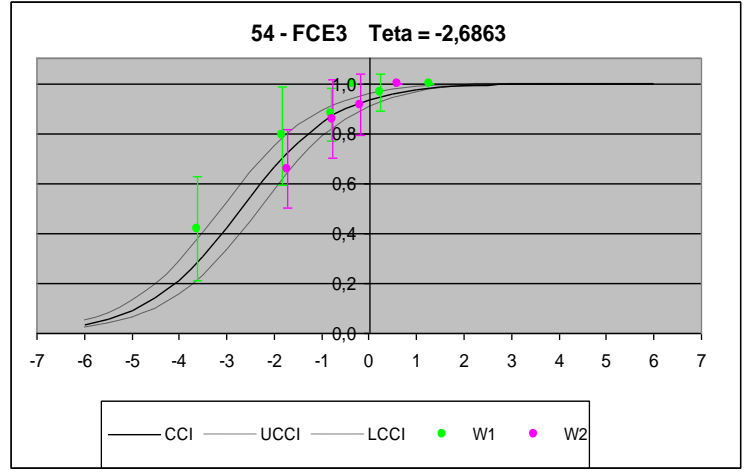
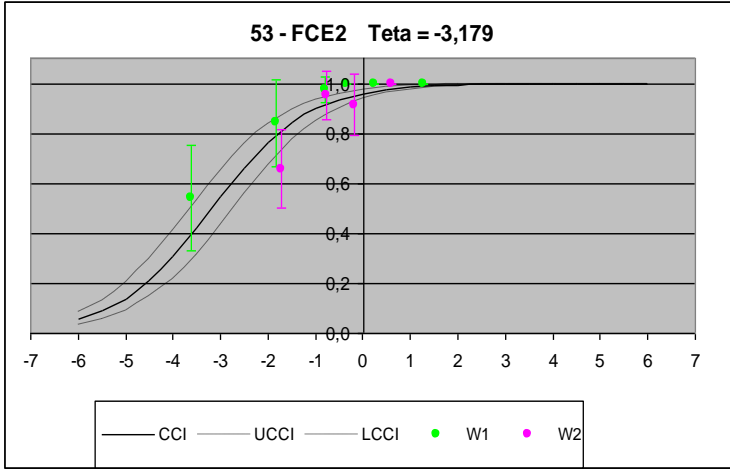












## Anexo 7- Medida do entendimento dos estudantes

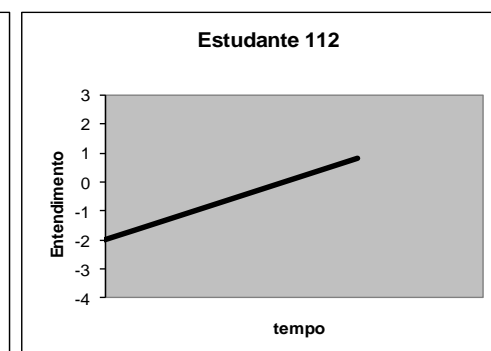
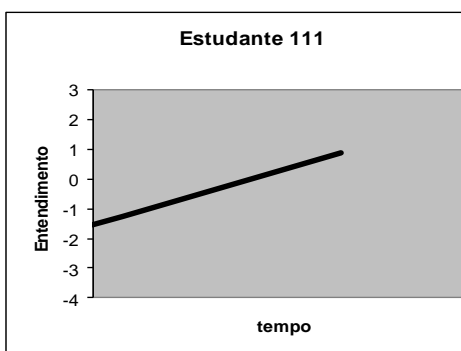
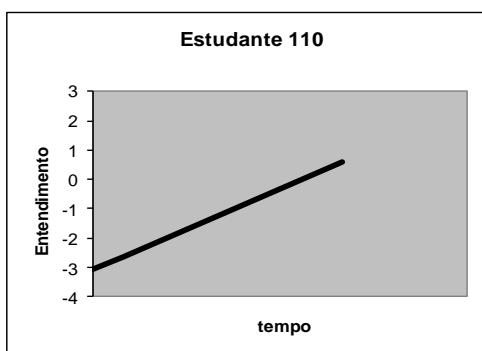
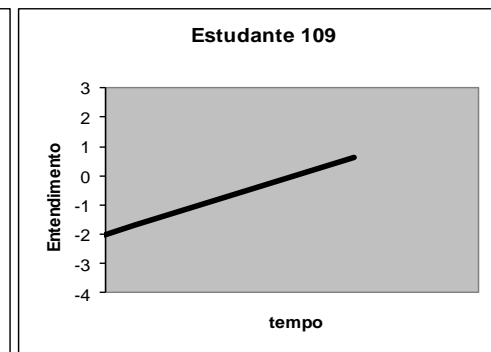
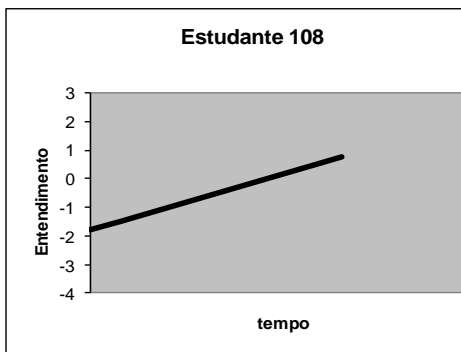
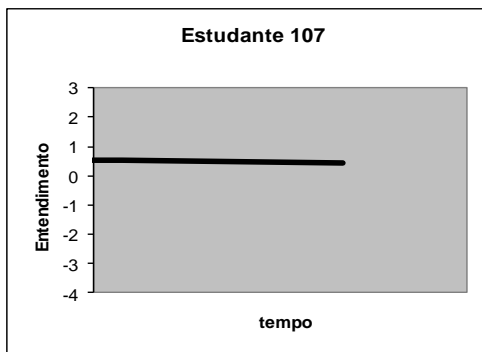
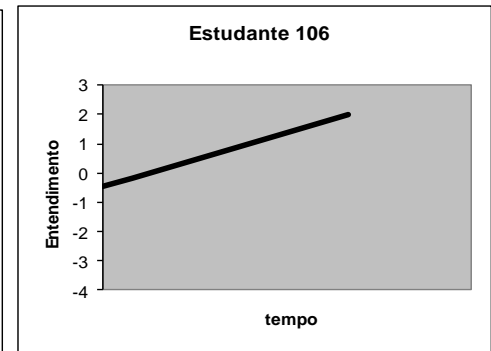
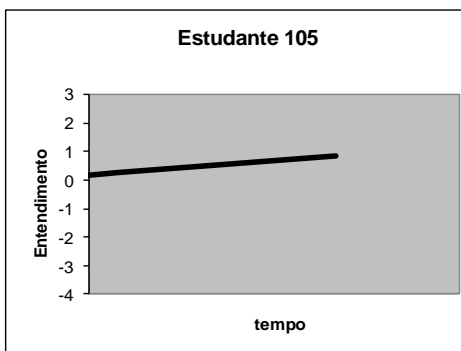
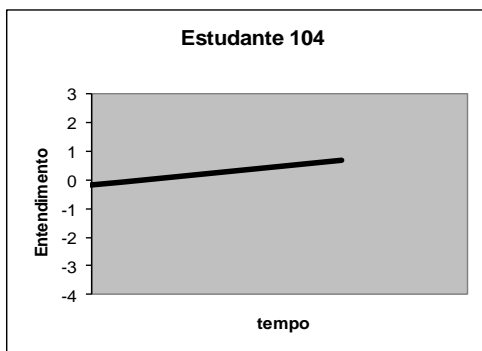
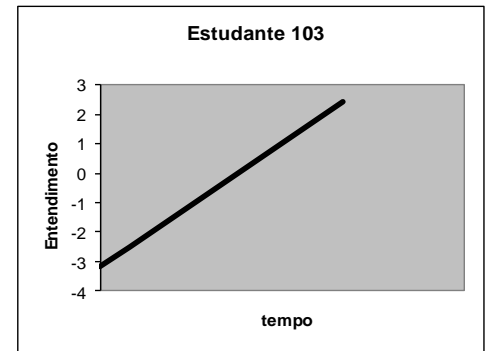
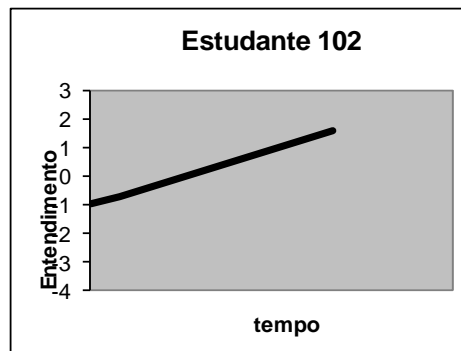
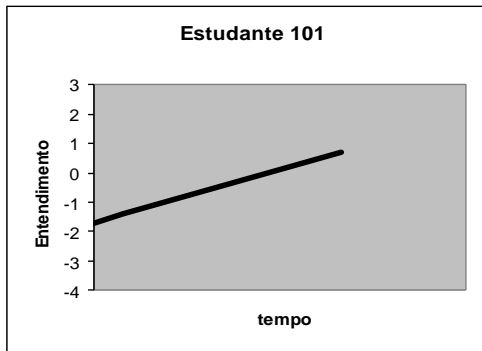
Primeira onda		Segunda onda		Terceira onda	
Estudante	Entendimento1 (logit)	Estudante	Entendimento2 (logit)	Estudante	Entendimento3 (logit)
101	-0,4739	101	-2,8217	101	0,8914
102	-0,8004	102	-5,2326	102	2,7348
103	-0,1679	103	-1,6619	103	1,7003
104	-0,1679	105	-0,3298	104	0,6866
105	0,6857	107	0,6643	105	0,8914
106	-0,4739	108	-0,0681	106	1,9937
107	0,4068	109	-3,8116	107	0,4251
108	-3,0746	110	-5,2326	108	0,6116
109	-0,1679	113	-0,9141	109	0,8914
110	-0,8004	115	-1,6619	110	0,8914
111	-1,5468	116	-2,1611	111	0,8914
112	-1,9864	117	-0,6090	112	0,8033
113	-3,0746	118	-0,6090	113	1,4452
114	0,4068	119	0,1819	114	1,6015
115	-0,1679	120	-2,1611	115	0,2976
116	-0,8004	124	0,4249	116	1,0033
117	-3,0746	125	-0,9141	117	-0,7254
118	0,1239	126	-1,2581	118	1,0033
119	0,6857	127	0,9036	119	1,9937
120	-3,0746	128	-0,0681	120	0,8914
121	0,4068	129	-1,2581	121	0,8914
122	-0,0682	130	0,9036	123	0,4897
123	-0,8004	131	-0,3298	124	0,7756
124	-0,8004	132	0,1819	125	0,8006
125	-1,1550	133	-0,9141	126	1,0133
126	-0,8004	134	-0,3298	127	0,4078
127	-1,1550	135	-0,3298	128	-0,3045
128	-1,5468	136	-0,9141	129	0,7756
129	1,5471	137	-0,9141	130	0,0362
130	-0,1679	138	-0,9141	131	1,2437
131	0,1239	140	-0,9141	132	0,3383
132	-3,8063	141	0,4249	133	2,6924
133	-0,1679	142	-0,3298	134	1,7944
134	-4,8602	143	0,1819	135	-0,1482
135	-0,8004	145	-0,6090	136	-0,5270

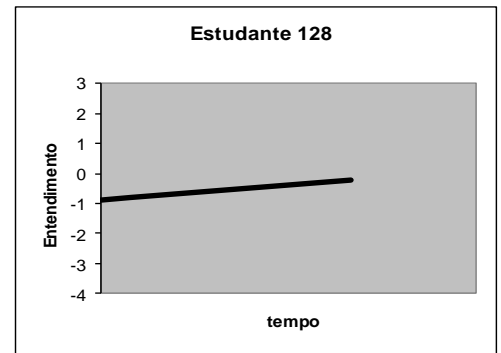
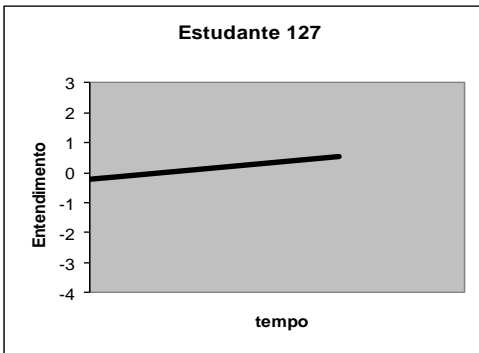
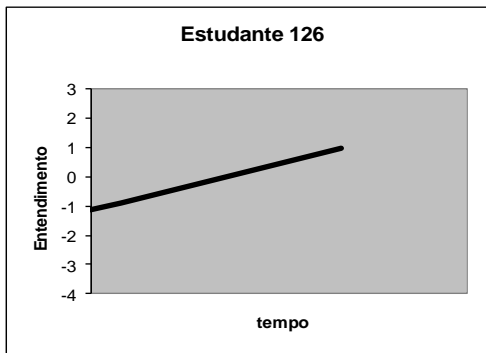
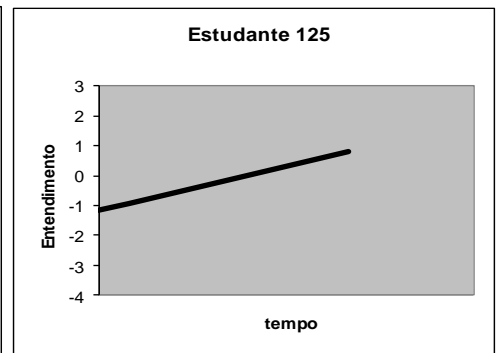
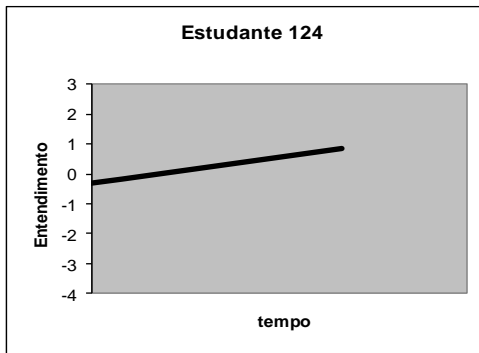
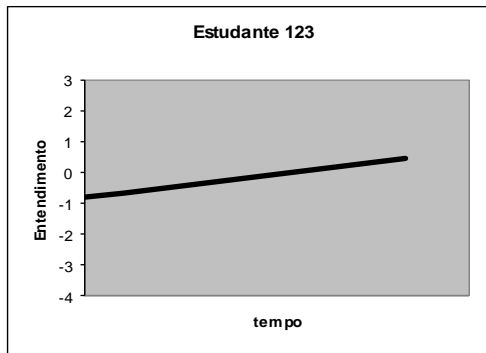
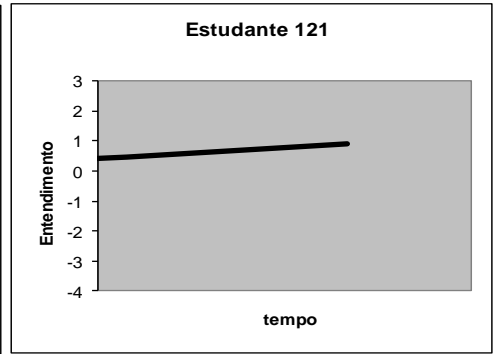
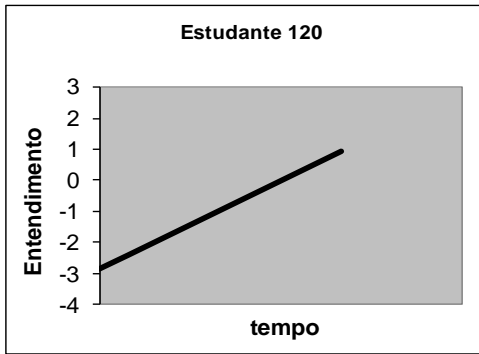
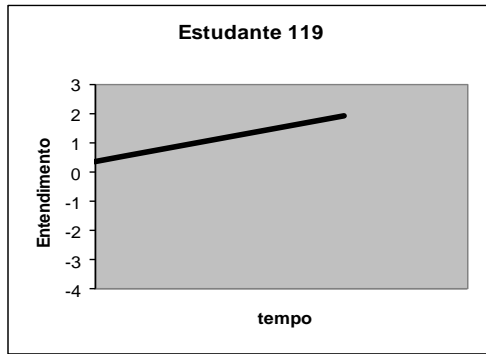
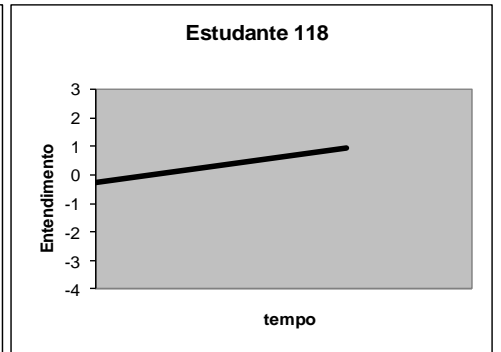
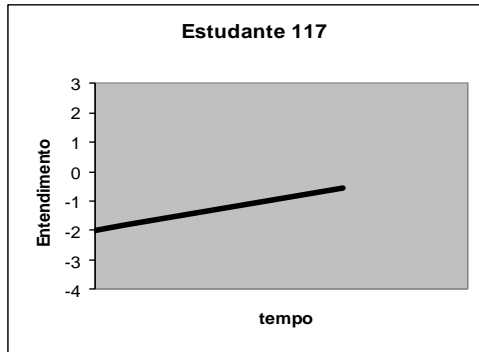
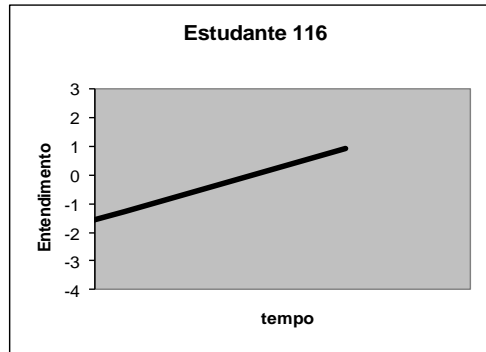
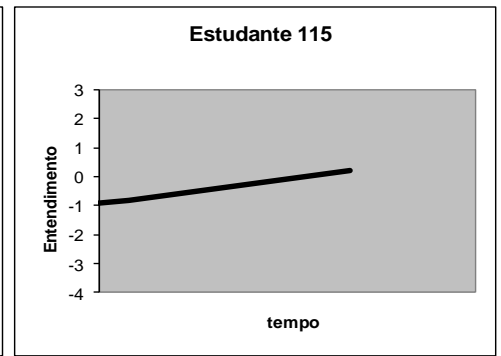
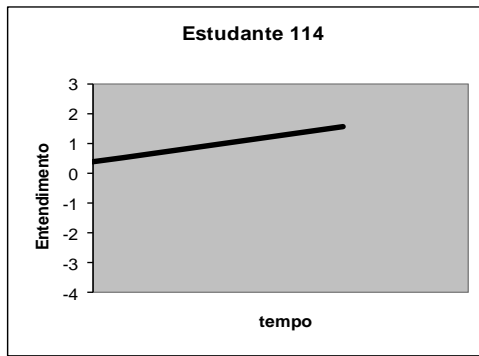
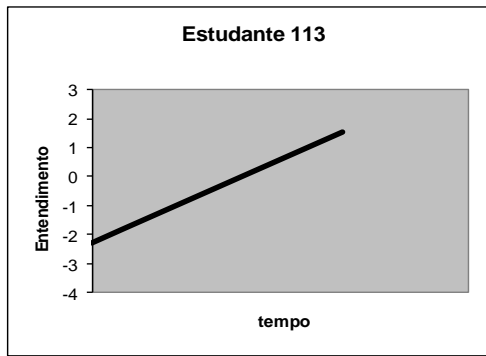
<b>136</b>	<i>-1,9864</i>	<b>147</b>	<i>0,1819</i>	<b>137</b>	<i>0,1255</i>
<b>137</b>	<i>-1,1550</i>	<b>148</b>	<i>-0,9141</i>	<b>138</b>	<i>-0,5270</i>
<b>138</b>	<i>-0,8004</i>	<b>150</b>	<i>-1,6619</i>	<b>139</b>	<i>0,1255</i>
<b>139</b>	<i>-0,4739</i>	<b>151</b>	<i>-1,2581</i>	<b>140</b>	<i>1,2437</i>
<b>140</b>	<i>-1,1550</i>	<b>152</b>	<i>-0,9141</i>	<b>141</b>	<i>0,7756</i>
<b>141</b>	<i>-1,5468</i>	<b>153</b>	<i>2,2359</i>	<b>142</b>	<i>0,7756</i>
<b>142</b>	<i>-0,8004</i>	<b>154</b>	<i>-0,9141</i>	<b>143</b>	<i>1,5278</i>
<b>143</b>	<i>-0,4739</i>	<b>155</b>	<i>0,6643</i>	<b>144</b>	<i>1,0133</i>
<b>144</b>	<i>0,4068</i>	<b>158</b>	<i>-0,9141</i>	<b>145</b>	<i>2,6924</i>
<b>145</b>	<i>-0,4739</i>	<b>159</b>	<i>-0,9141</i>	<b>146</b>	<i>1,0133</i>
<b>146</b>	<i>-6,3371</i>	<b>162</b>	<i>-1,2581</i>	<b>147</b>	<i>0,0578</i>
<b>147</b>	<i>-1,9864</i>	<b>163</b>	<i>-0,9141</i>	<b>148</b>	<i>-0,5159</i>
<b>148</b>	<i>-1,5468</i>	<b>164</b>	<i>-0,3298</i>	<b>149</b>	<i>0,2413</i>
<b>149</b>	<i>-1,1550</i>	<b>165</b>	<i>0,4249</i>	<b>150</b>	<i>0,6866</i>
<b>150</b>	<i>-0,8004</i>	<b>166</b>	<i>-0,3298</i>	<b>151</b>	<i>0,1076</i>
<b>151</b>	<i>-2,4876</i>	<b>168</b>	<i>-0,6090</i>	<b>152</b>	<i>1,8991</i>
<b>152</b>	<i>-2,4876</i>	<b>169</b>	<i>-0,6090</i>	<b>153</b>	<i>-0,2763</i>
<b>153</b>	<i>-3,8053</i>	<b>183</b>	<i>-0,8004</i>	<b>154</b>	<i>0,6116</i>
<b>154</b>	<i>-3,8053</i>	<b>186</b>	<i>-0,6090</i>	<b>155</b>	<i>-0,7254</i>
<b>155</b>	<i>-1,5468</i>	<b>188</b>	<i>-0,0681</i>	<b>156</b>	<i>0,4897</i>
<b>156</b>	<i>-3,8053</i>	<b>189</b>	<i>-2,8217</i>	<b>157</b>	<i>0,4251</i>
<b>157</b>	<i>-3,0746</i>	<b>190</b>	<i>0,4249</i>	<b>158</b>	<i>0,8914</i>
<b>158</b>	<i>-3,0746</i>	<b>191</b>	<i>-0,3298</i>	<b>159</b>	<i>0,6866</i>
<b>159</b>	<i>-6,3371</i>	<b>192</b>	<i>-1,2581</i>	<b>160</b>	<i>0,4897</i>
<b>160</b>	<i>-3,8053</i>	<b>193</b>	<i>-0,9141</i>	<b>161</b>	<i>-0,5159</i>
<b>161</b>	<i>-1,9864</i>	<b>194</b>	<i>-1,2581</i>	<b>162</b>	<i>0,0578</i>
<b>162</b>	<i>-2,4876</i>	<b>195</b>	<i>-0,9141</i>	<b>163</b>	<i>-0,7254</i>
<b>163</b>	<i>-0,4739</i>	<b>196</b>	<i>-2,1611</i>	<b>164</b>	<i>0,6116</i>
<b>164</b>	<i>-0,4739</i>	<b>197</b>	<i>-1,6619</i>	<b>165</b>	<i>-0,9518</i>
<b>165</b>	<i>-0,1679</i>	<b>198</b>	<i>-1,2581</i>	<b>166</b>	<i>0,1076</i>
<b>166</b>	<i>-1,9864</i>	<b>201</b>	<i>-1,9864</i>	<b>168</b>	<i>0,8914</i>
<b>168</b>	<i>-4,8602</i>	<b>202</b>	<i>-0,6090</i>	<b>169</b>	<i>-0,3179</i>
<b>169</b>	<i>-1,9864</i>	<b>204</b>	<i>-2,1611</i>	<b>170</b>	<i>1,1082</i>
<b>170</b>	<i>0,1239</i>	<b>205</b>	<i>0,6643</i>	<b>171</b>	<i>1,4452</i>
<b>171</b>	<i>-0,4739</i>	<b>206</b>	<i>-2,1611</i>	<b>172</b>	<i>0,4897</i>
<b>172</b>	<i>-0,1679</i>	<b>207</b>	<i>-0,9141</i>	<b>173</b>	<i>0,6866</i>
<b>173</b>	<i>-1,1550</i>	<b>210</b>	<i>0,6643</i>	<b>174</b>	<i>-0,0829</i>
<b>174</b>	<i>-1,1550</i>	<b>211</b>	<i>-0,9141</i>	<b>175</b>	<i>-0,4897</i>
<b>175</b>	<i>-0,8004</i>	<b>212</b>	<i>-0,0681</i>	<b>176</b>	<i>3,5785</i>
<b>176</b>	<i>-0,1239</i>	<b>213</b>	<i>-0,3298</i>	<b>177</b>	<i>1,4452</i>
<b>177</b>	<i>0,4068</i>	<b>215</b>	<i>-0,0681</i>	<b>178</b>	<i>1,4452</i>

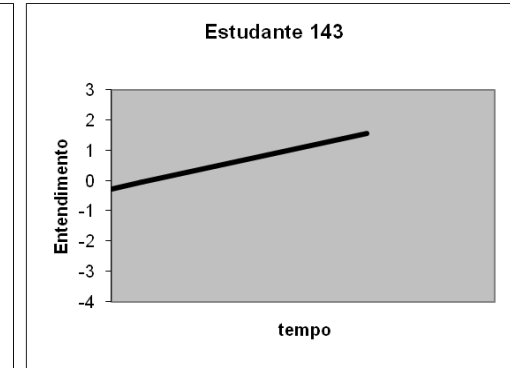
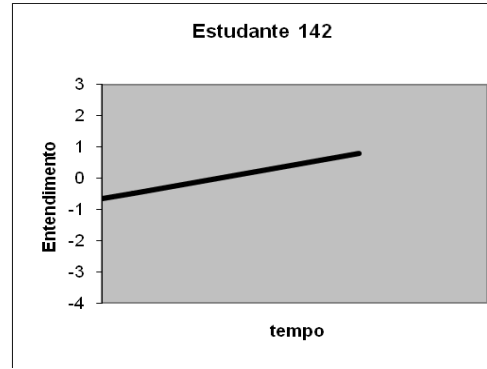
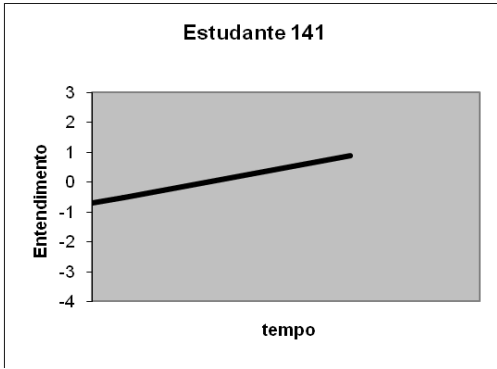
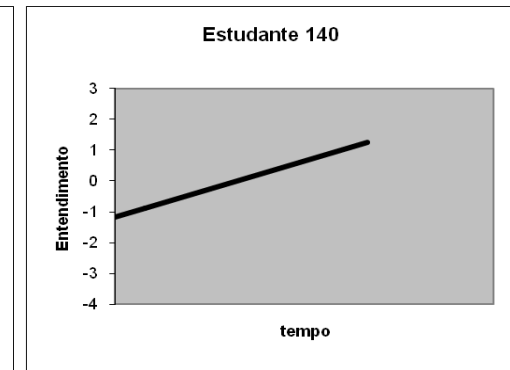
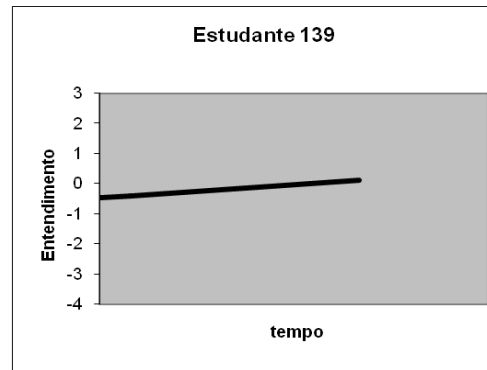
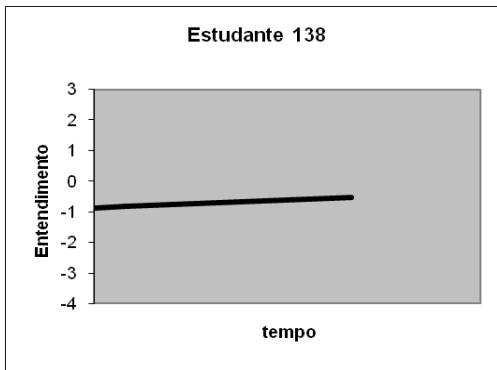
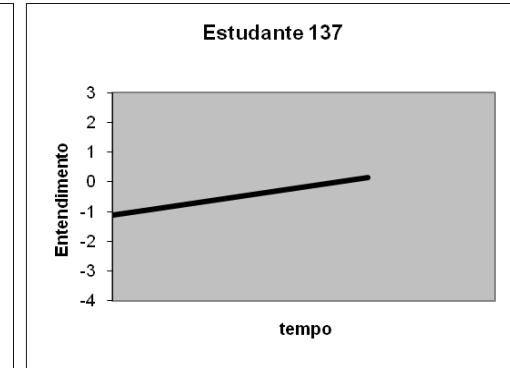
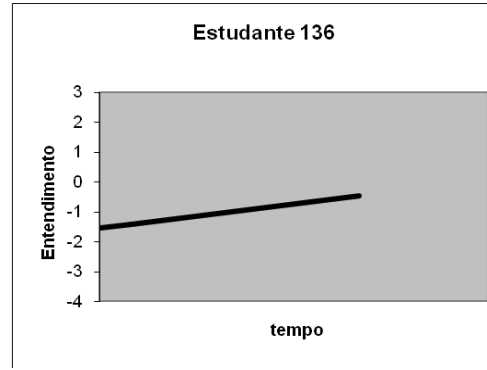
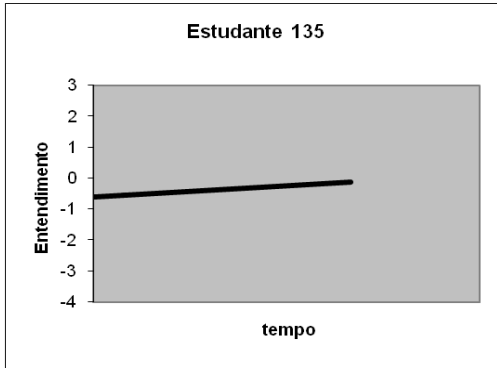
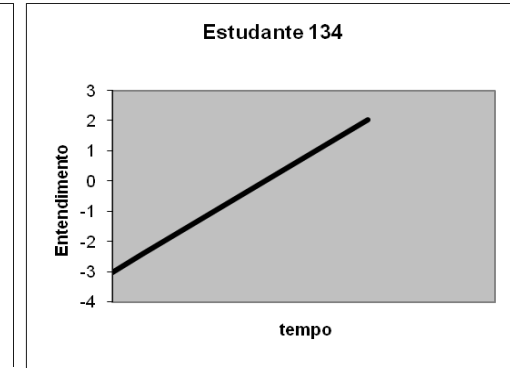
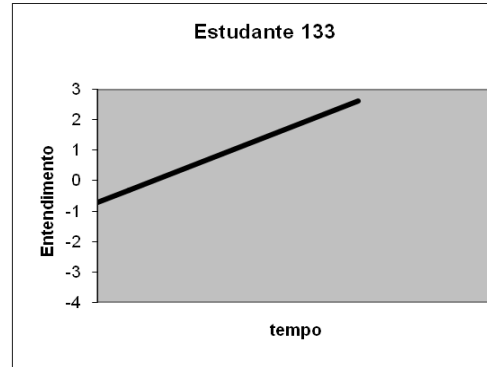
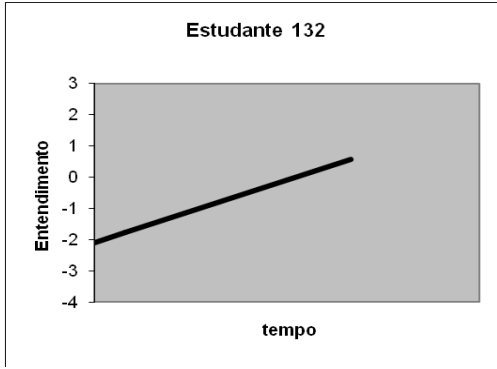
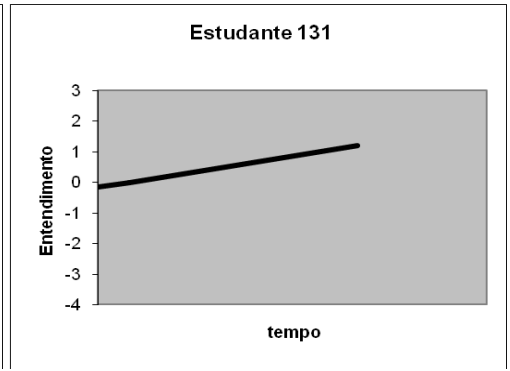
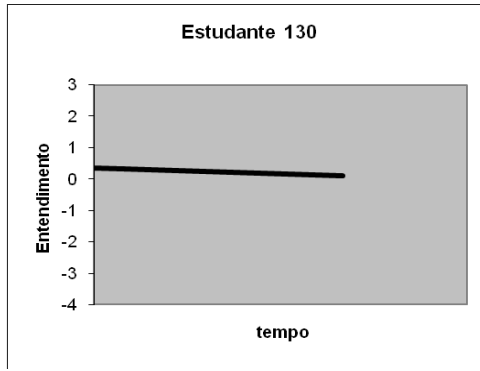
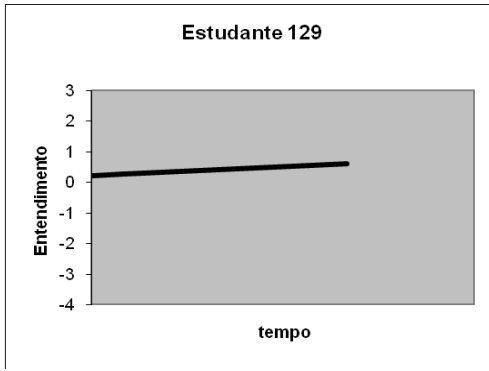
178	0,4068	216	-0,9141	179	2,3495
179	0,6857	217	-0,0681	180	0,4251
180	-0,8004	218	-0,3298	181	1,1082
181	-3,0746	219	0,9141	182	1,2155
182	0,4068	222	-0,6090	183	2,7348
183	-0,8004	223	-1,2581	184	1,4452
184	-1,1550	224	-1,2581	185	-0,9046
185	-3,8053	225	-0,9141	186	-0,7272
186	0,4068	226	-0,0681	187	4,6353
187	-0,8004	227	-0,0681	188	-0,1482
188	-1,9864	229	-0,9141	189	1,0077
189	-3,0746	232	0,6643	190	0,8006
190	0,4068	233	-0,0682	191	0,3383
191	0,4068	234	0,9141	192	0,8006
192	-3,0746	239	-0,0681	193	1,5278
193	-0,8004	241	-1,2581	194	1,2437
194	-0,4739	243	-1,9719	195	2,2073
195	-1,1550	244	-1,0220	196	1,4997
196	-0,8004	245	-0,9141	197	1,5278
197	-0,8004	246	-0,0681	198	2,2073
198	-1,1550	247	-0,6090	199	0,3383
199	-0,4739	248	-0,0681	200	1,2437
200	-1,5468	249	-0,0681	201	0,6001
201	-1,9864	250	-1,9719	202	1,4997
202	-1,5468			203	1,8370
203	-0,4739			204	2,6253
204	-3,0746			205	1,2437
205	-0,1679			206	0,5539
206	-1,1550			207	1,2437
207	-0,1679			208	0,6001
208	0,4068			209	1,2558
209	-0,1679			210	1,5278
210	0,4068			211	1,8370
211	0,9652			212	-0,0877
212	1,8645			213	1,2437
213	-3,0746			214	0,8006
214	-3,0746			215	1,0077
215	0,6857			216	1,8370
216	-0,4739			217	1,8370
217	1,5771			218	1,5278
218	-0,4739			219	0,9141

<b>219</b>	<i>-0,4739</i>			<b>220</b>	<i>2,6924</i>
<b>220</b>	<i>1,2502</i>			<b>221</b>	<i>0,4078</i>
<b>221</b>	<i>-1,9864</i>			<b>222</b>	<i>0,7756</i>
<b>222</b>	<i>1,2502</i>			<b>223</b>	<i>2,6253</i>
<b>223</b>	<i>0,9652</i>			<b>224</b>	<i>0,3383</i>
<b>224</b>	<i>-0,4739</i>			<b>225</b>	<i>0,1255</i>
<b>225</b>	<i>-1,1550</i>			<b>226</b>	<i>1,2437</i>
<b>226</b>	<i>-0,1619</i>			<b>227</b>	<i>1,2437</i>
<b>227</b>	<i>-0,4739</i>			<b>229</b>	<i>2,1519</i>
<b>239</b>	<i>-2,4876</i>			<b>232</b>	<i>1,7974</i>
<b>241</b>	<i>-0,1679</i>			<b>234</b>	<i>1,0133</i>
				<b>239</b>	<i>1,4997</i>
				<b>241</b>	<i>1,2437</i>
				<b>245</b>	<i>0,5539</i>
				<b>246</b>	<i>0,8006</i>
				<b>247</b>	<i>0,5539</i>
				<b>248</b>	<i>1,0037</i>
				<b>249</b>	<i>0,3383</i>
				<b>300</b>	<i>0,5049</i>
				<b>301</b>	<i>1,2561</i>
				<b>302</b>	<i>0,2544</i>
				<b>303</b>	<i>1,5089</i>
				<b>304</b>	<i>1,8300</i>
				<b>305</b>	<i>0,4684</i>
				<b>306</b>	<i>1,8300</i>
				<b>307</b>	<i>0,4684</i>
				<b>308</b>	<i>0,9257</i>
				<b>309</b>	<i>1,4767</i>

## Anexo 8- Trajetórias de aprendizagem dos estudantes



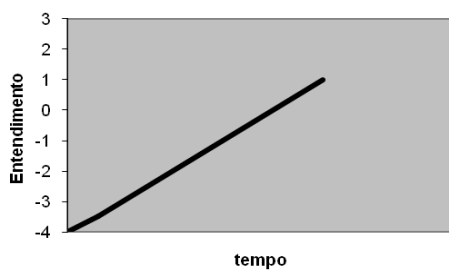




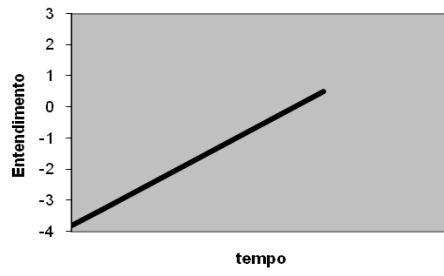




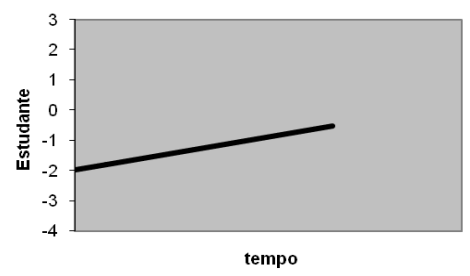
Estudante 159



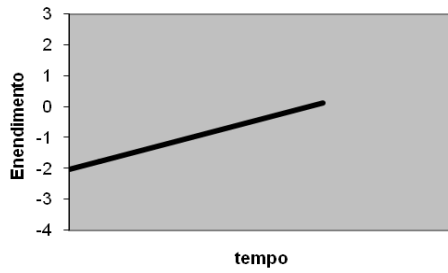
Estudante 160



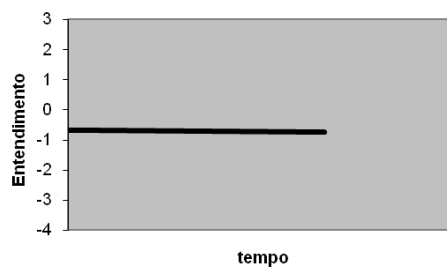
Estudante 161



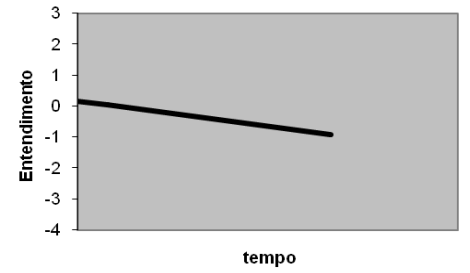
Estudante 162



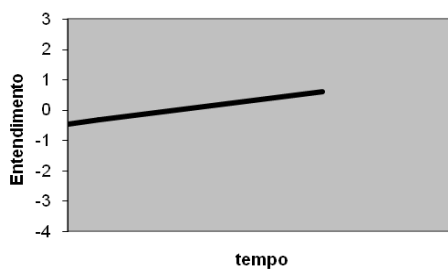
Estudante 163



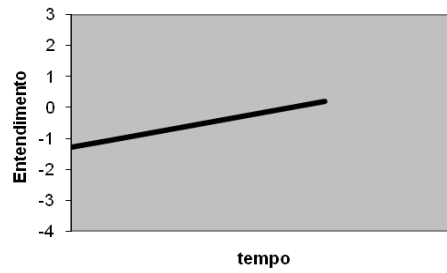
Estudante 164



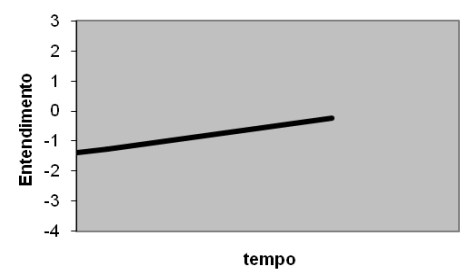
Estudante 165



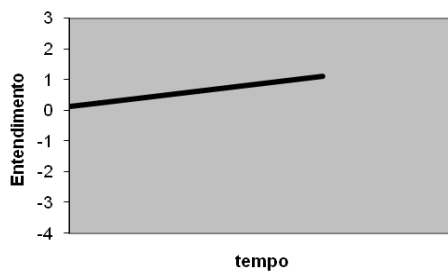
Estudante 166



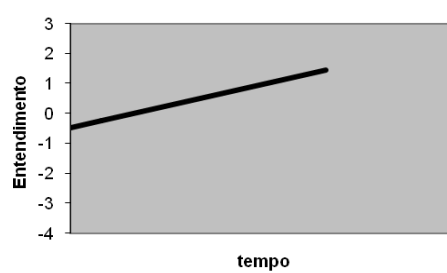
Estudante 169



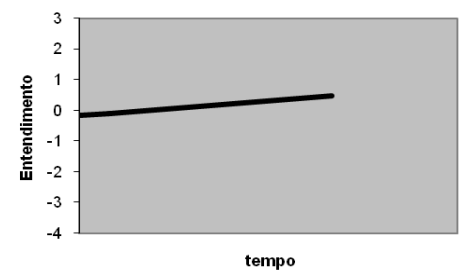
Estudante 170



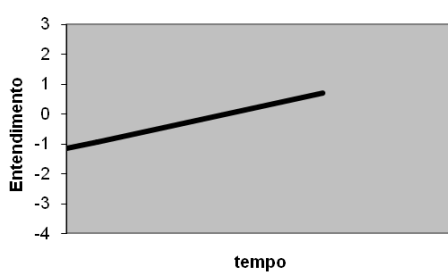
Estudante 171



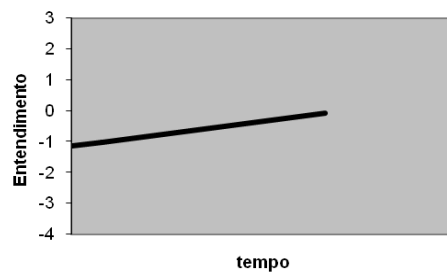
Estudante 172



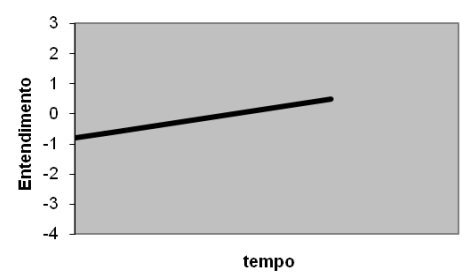
Estudante 173



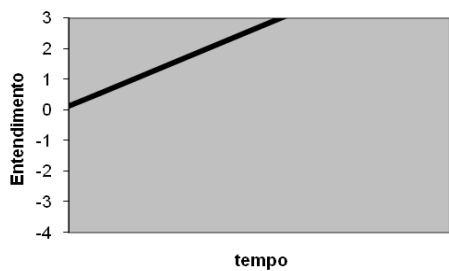
Estudante 174



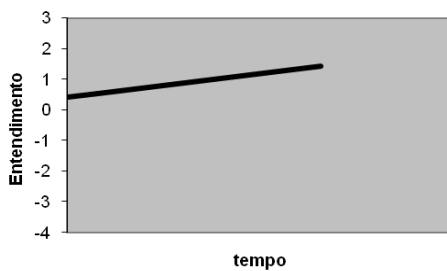
Estudante 175



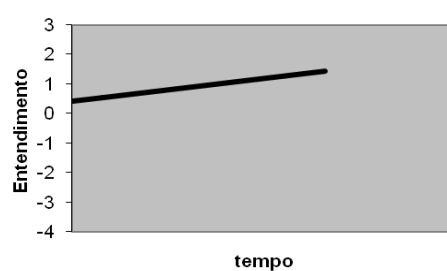
Estudante 176



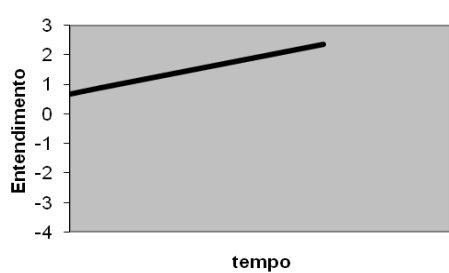
Estudante 177



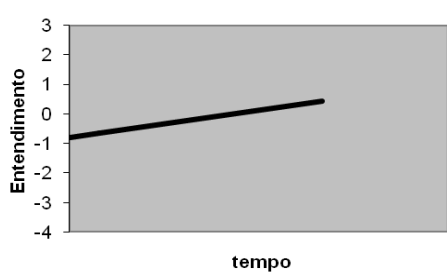
Estudante 178



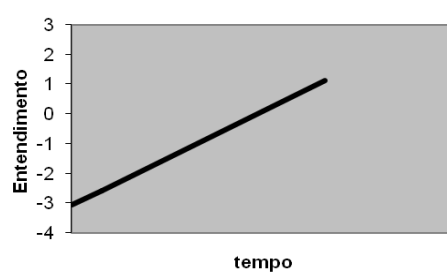
Estudante 179



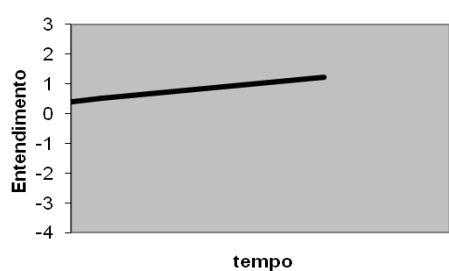
Estudante 180



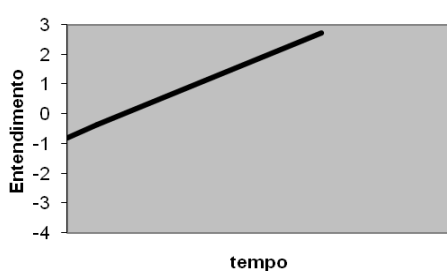
Estudante 181



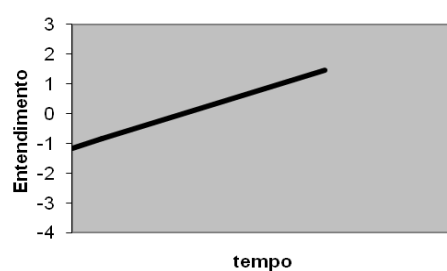
Estudante 182



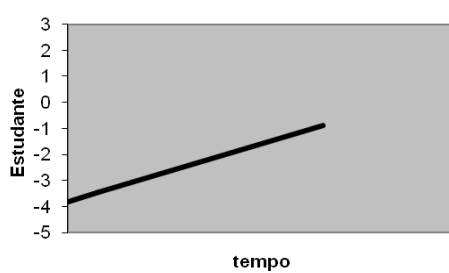
Estudante 183



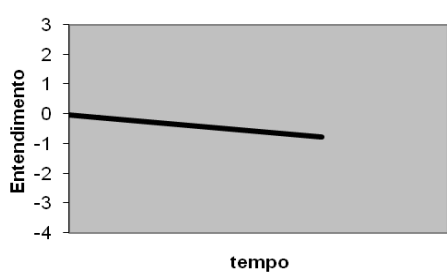
Estudante 184



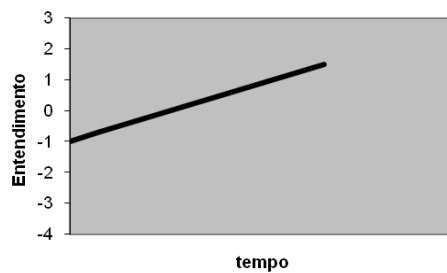
Estudante 185



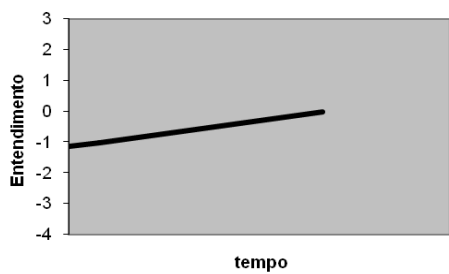
Estudante 186



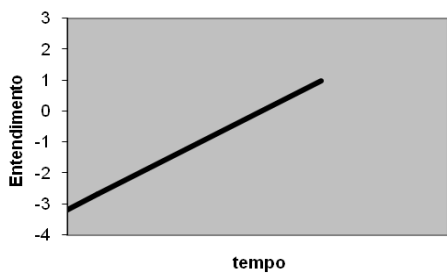
Estudante 187



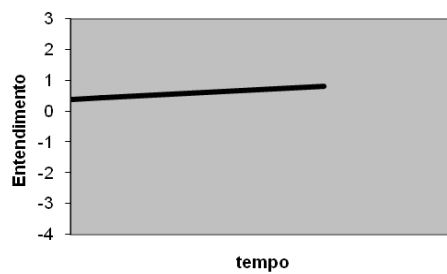
Estudante 188

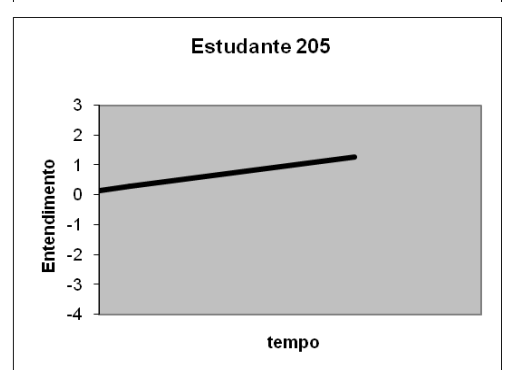
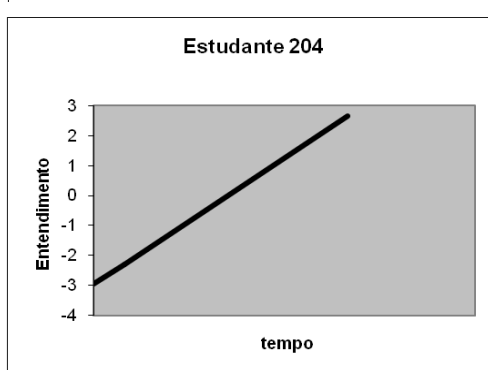
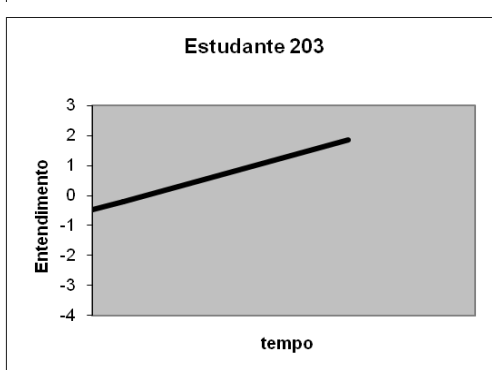
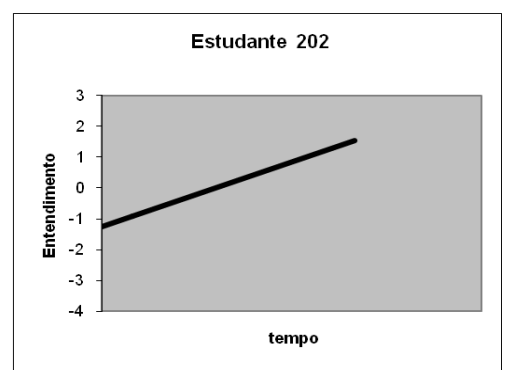
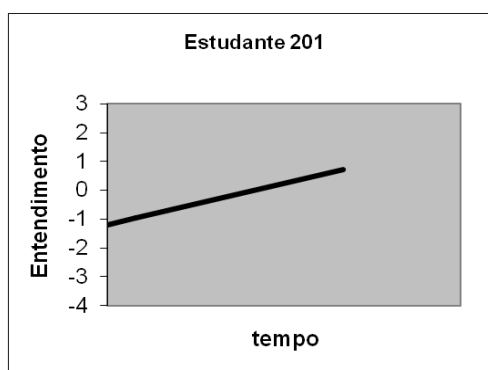
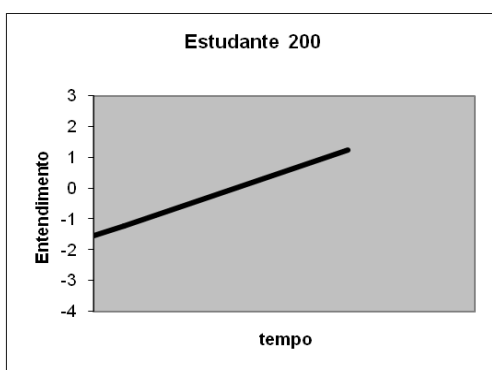
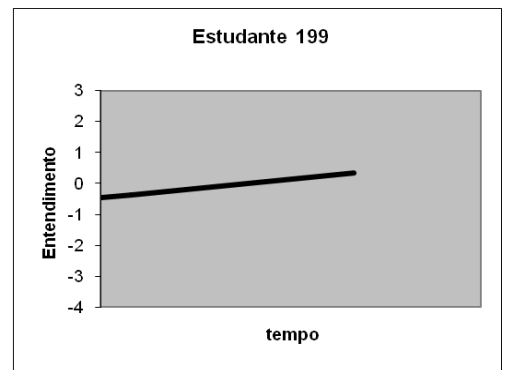
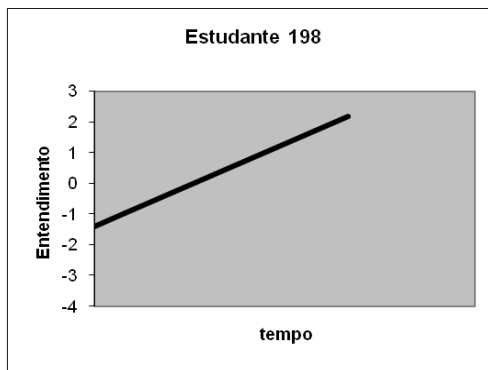
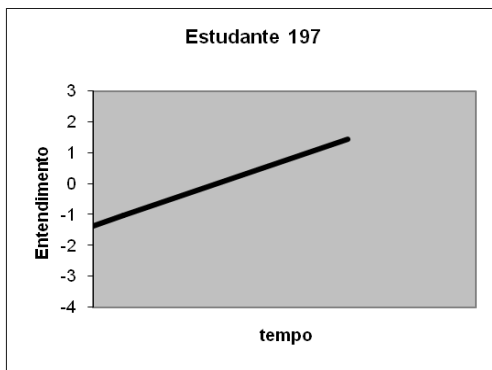
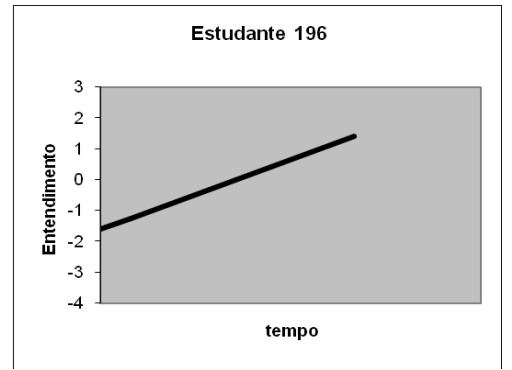
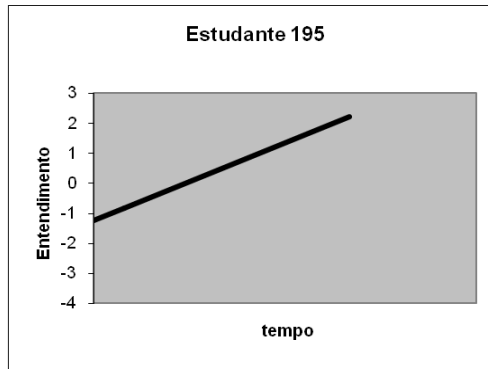
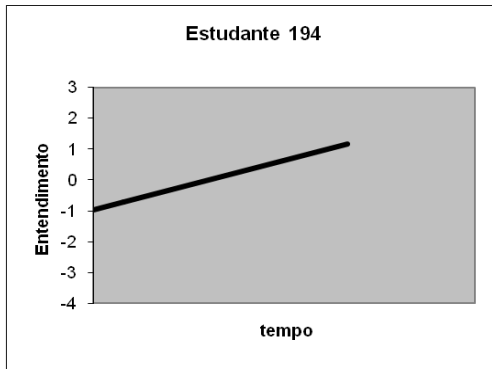
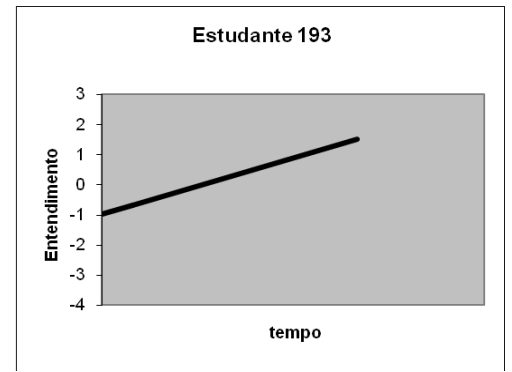
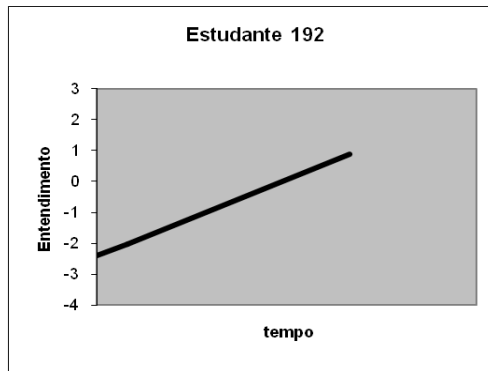
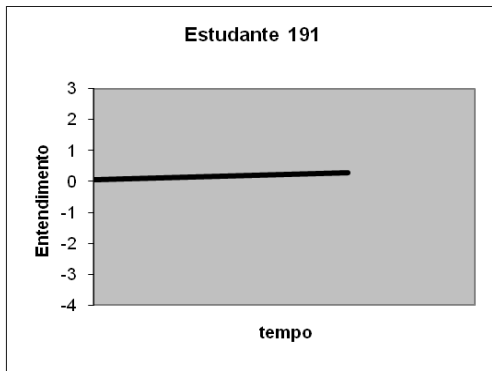


Estudante 189

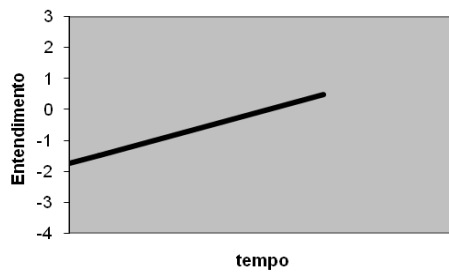


Estudante 190

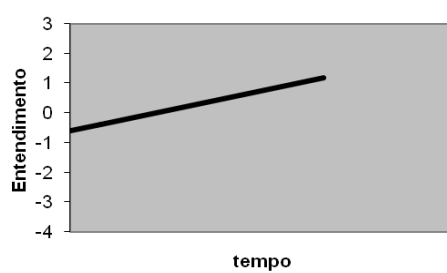




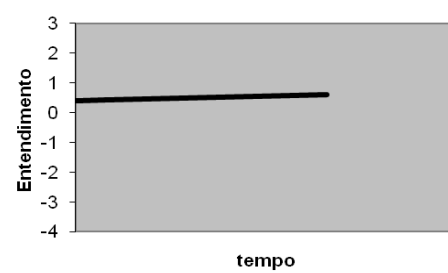
Estudante 206



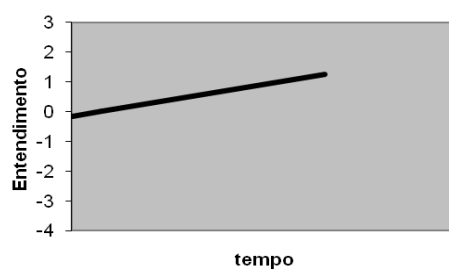
Estudante 207



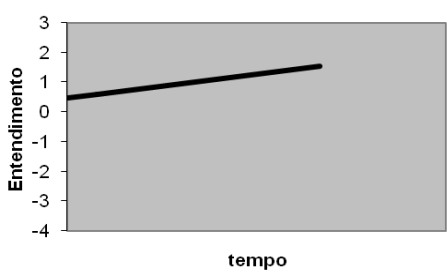
Estudante 208



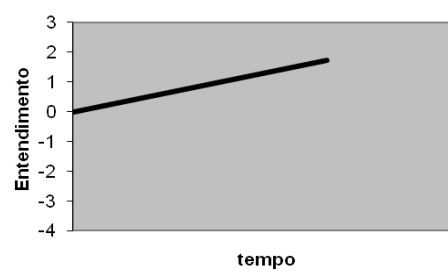
Estudante 209



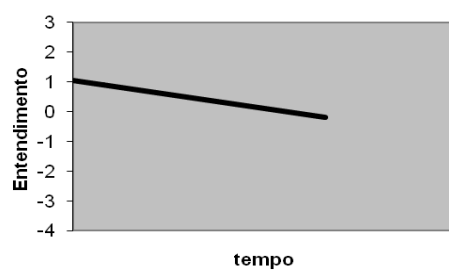
Estudante 210



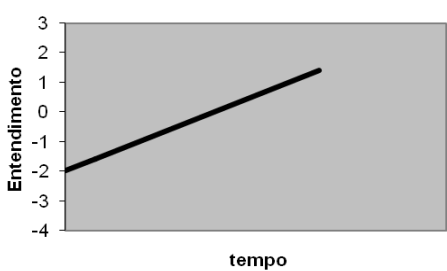
Estudante 211



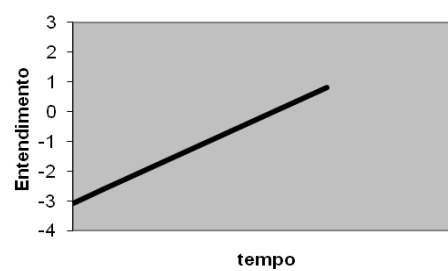
Estudante 212



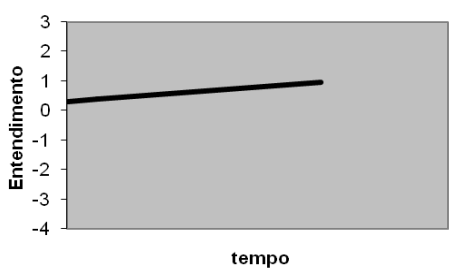
Estudante 213



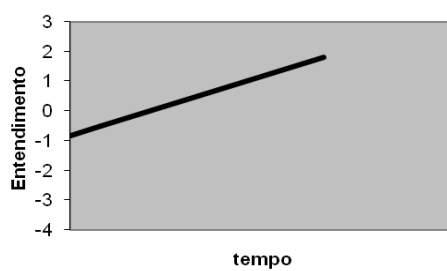
Estudante 214



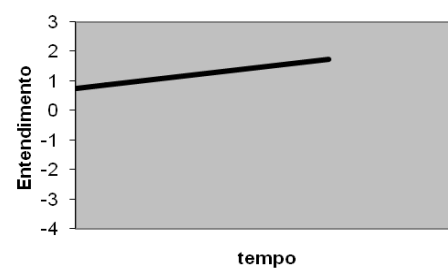
Estudante 215



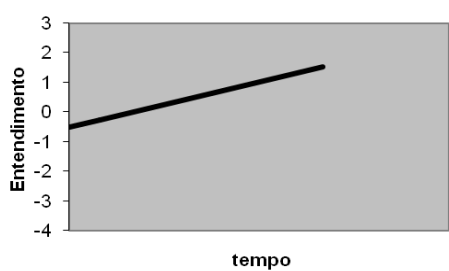
Estudante 216



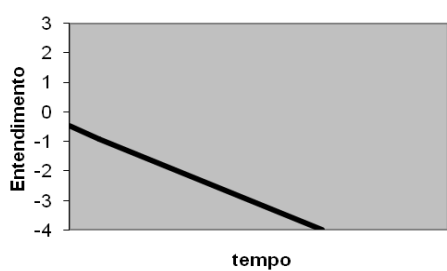
Estudante 217



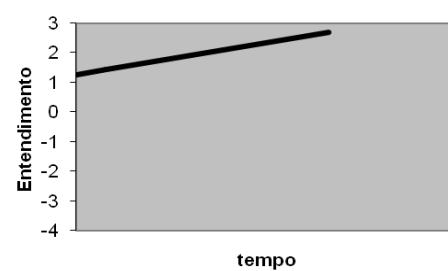
Estudante 218



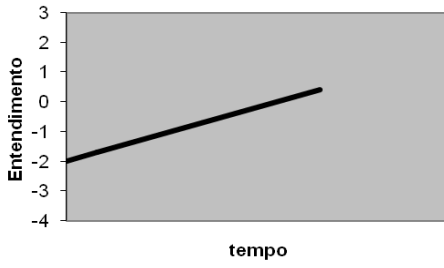
Estudante 219



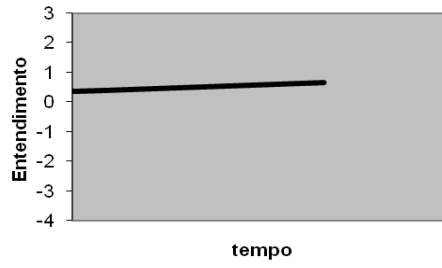
Estudante 220



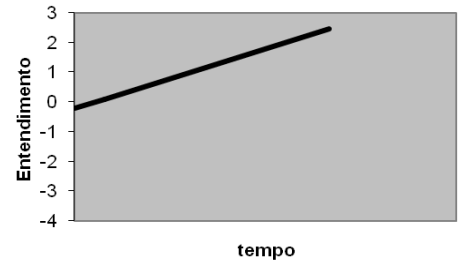
Estudante 221



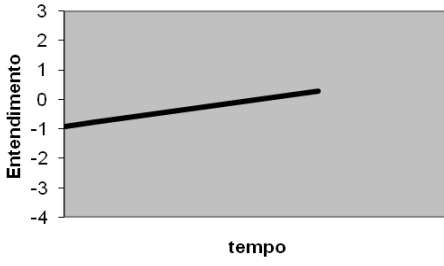
Estudante 222



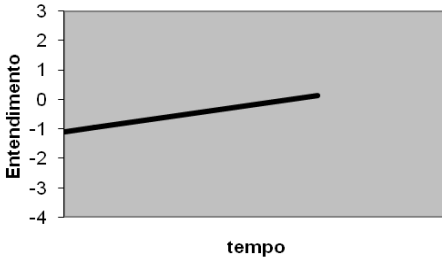
Estudante 223



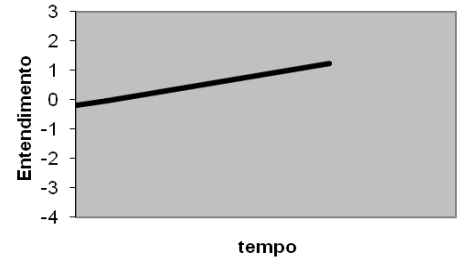
Estudante 224



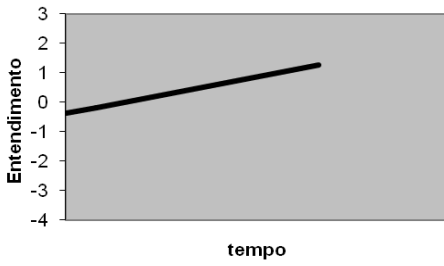
Estudante 225



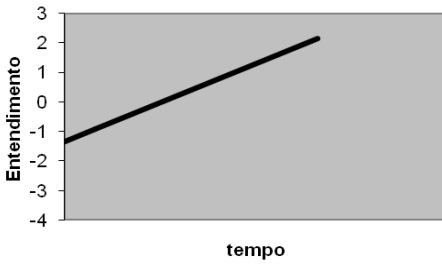
Estudante 226



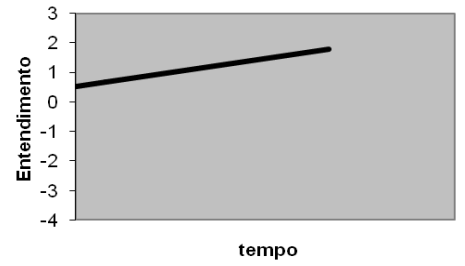
Estudante 227



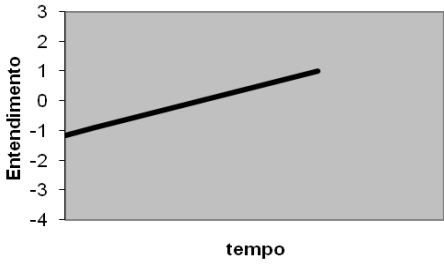
Estudante 229



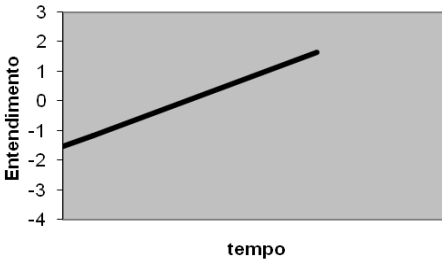
Estudante 232



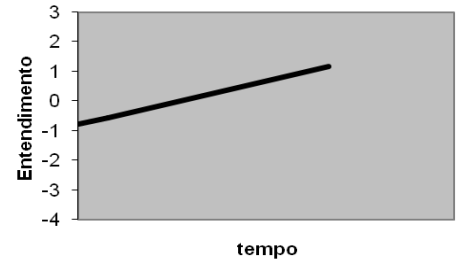
Estudante 234



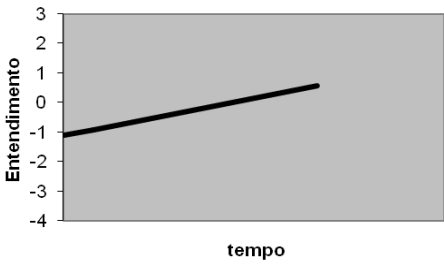
Estudante 239



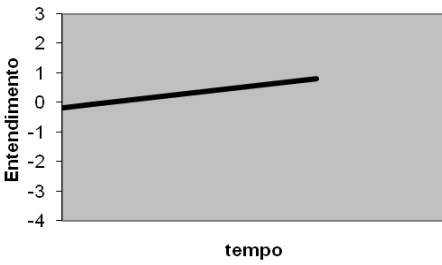
Estudante 241



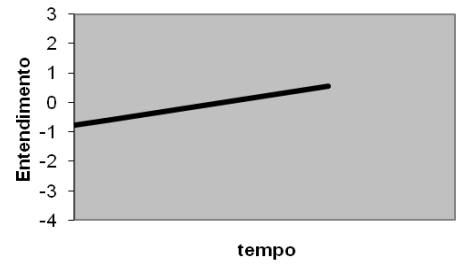
Estudante 245



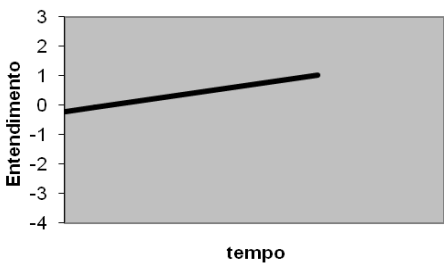
Estudante 246



Estudante 247



Estudante 248



Estudante 249

