

A influência do engajamento sobre a evolução do entendimento dos estudantes em eletricidade

Geide Rosa Coelho¹ e Amanda Amantes²

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil. E-mail: geidecoelho@gmail.com.

²Universidade Federal da Bahia, Brasil. E-mail: amandaamantes@gmail.com.

Resumo: Nesse trabalho adotamos o construto engajamento para investigar como as suas diferentes facetas interferem na aprendizagem dos estudantes em Física, especificamente na aprendizagem dos conceitos de eletricidade evidenciada pela evolução temporal do entendimento no domínio de conhecimento investigado. Utilizamos atividades comuns desenvolvidas pelos estudantes nas aulas de Física para a construção da medida de entendimento em eletricidade e para a construção dos indicadores de engajamento comportamental e cognitivo. O indicador de engajamento comportamental foi construído levando em consideração a média de atividades realizadas pelos estudantes durante toda a unidade de eletricidade. Para construir o indicador de engajamento cognitivo foi analisado o desempenho dos estudantes nos 7 testes aplicados no final de cada aula, no período em que a unidade foi ministrada. Constatamos que a manutenção do engajamento cognitivo durante as aulas contribuiu significativamente para uma maior aprendizagem dos conceitos de eletricidade pelos estudantes.

Palavras-chave: Engajamento comportamental, engajamento cognitivo, tratamento Rasch, entendimento, eletricidade.

Title: The influence of engagement on the development of understanding of students into electricity

Abstract: This study uses engagement as the basis to investigate how its different aspects interferes in the learning process of Physics students, mainly in the learning of the concepts of electricity evidenced by the temporal evolution on the understanding of the studied topic. Regular classroom activities developed by the students in the Physics class, were used in the building of the understanding measure of electricity and in the building of the cognitive and behavioral indicators. The indicator of behavioral engagement was built taking into consideration the average of activities performed by students throughout the unit of electricity. To construct the indicator of cognitive engagement was analyzed student performance in 7 tests applied at the end of each lesson, the period in which the unit was given. The results show that keeping the cognitive engagement during the classes contributes significantly to a better students' learning of the electricity concepts.

Keywords: Behavioral engagement, cognitive engagement, Rasch treatment, understanding, electricity.

Introdução

O engajamento escolar como objeto de investigação nas pesquisas educacionais tem o potencial de permitir a compreensão da relação que os estudantes estabelecem com o ambiente, com as atividades propostas em sala de aula e os efeitos sobre a aprendizagem dos mesmos.

Podemos encontrar na literatura brasileira trabalhos que se detiveram na investigação da relação entre o engajamento dos estudantes e aprendizagem em Física (Borges, Julio e Coelho, 2005; Coelho, 2011) e outros que se preocuparam em investigar o engajamento dos estudantes em situações específicas de ensino como na resolução de atividades de investigação (Faria, 2008; Julio, Vaz e Faria, 2011). Na literatura internacional encontramos autores que associam o engajamento escolar ao desempenho dos estudantes em seus cursos elementares e nos cursos de nível médio (Fredricks e colaboradores, 2003).

Nesse estudo nos propomos a investigar como as diferentes características do engajamento escolar (especificamente determinadas pelo engajamento comportamental e o engajamento cognitivo) influenciam a evolução do entendimento dos estudantes em Física, especificamente na evolução do entendimento dos conceitos de eletricidade. Nos detivemos a responder as seguintes questões: (1) Quais aspectos dos engajamentos comportamental e cognitivo têm efeito na evolução do entendimento de conceitos físicos dos estudantes? (2) O ambiente de aprendizagem consegue manter o engajamento comportamental e cognitivo no decorrer da intervenção didática?

Para responder as nossas questões de pesquisa um estudo longitudinal com três ondas de dados foi desenvolvido. A essência desses estudos está na tentativa de fornecer evidências sobre mudanças de pessoas ou entidades ao longo do tempo (White e Arzi, 2005). Além disso, Singer e Willett (2003) destacam que a escolha de um acompanhamento longitudinal como delineamento metodológico nos permite ir além da descrição das mudanças de sujeitos ou atributos, para estabelecermos uma correlação entre as variáveis envolvidas no fenômeno em estudo (no nosso caso, o engajamento comportamental e cognitivo dos estudantes) e os padrões de mudança observados (a evolução do entendimento conceitual dos estudantes).

Do ponto de vista científico, o estudo pode contribuir para reflexão sobre como os ambientes de aprendizagem sustentam (ou não) o engajamento dos estudantes e, portanto, apontar possíveis reformulações nesses ambientes. Além disso, o estudo utiliza um modelo de mensuração bem conhecido na área de desenvolvimento conceitual que é bem estudada qualitativamente, mas com pouco desenvolvimento quantitativo.

Fundamentação teórica

O engajamento escolar e sua natureza multifacetada

Muitas vezes o conceito de engajamento escolar é tratado sem distinção dos construtos motivacionais. Australia (2005) sinaliza que a motivação é um processo psicológico que influencia o comportamento e direciona as

ações dos estudantes em situações de aprendizagem, ou seja, a motivação nos ajuda a entender as razões ou motivos do engajamento dos estudantes em determinadas situações. Para o autor, o engajamento refere-se à relação estabelecida entre indivíduo e atividade, sendo diretamente afetado pelo contexto de ensino e pelas relações estabelecidas entre os professores e os estudantes.

Fredricks, Blumenfeld e Paris (2004) destacam que há um consenso entre os estudos sobre o surgimento do engajamento: ele se estabelece pela interação do sujeito com o contexto e responde às mudanças no ambiente. De acordo com esse pressuposto inicial é de se esperar que alterações no contexto de ensino e nos ambientes de aprendizagem promovam alterações no engajamento dos estudantes. Além disso, esses autores destacam também a natureza multifacetada do engajamento escolar, que pode ser identificada 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 escolares e extraescolares, sendo considerado importante para alcançar um bom desempenho acadêmico. Fredricks, Blumenfeld e Paris (2004) na revisão de literatura apresentam estudos que definem o engajamento comportamental sobre esse viés. Alguns desses estudos associando essa faceta do engajamento a conduta positiva, o atendimento às regras e normas da escola, bem como a ausência de comportamentos disruptivos (como por exemplo, faltar à escola), outros estudos trazendo a participação voluntária dos estudantes em atividades extraescolares como evidência de engajamento comportamental.

Fredricks, Blumenfeld e Paris (2004) consideram que, na literatura, o engajamento cognitivo sempre aparece atrelado a processos de auto-regulação ou de metacognição na aprendizagem, o que define o controle do próprio indivíduo sobre suas ações diante das tarefas e obstáculos. Além disso, temos que considerar o indivíduo engajado cognitivamente apresenta um investimento psicológico para a aprendizagem, um esforço cognitivo para entender ideias complexas e deter habilidades difíceis.

O engajamento emocional refere-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), influenciam na disposição do estudante para realizar uma tarefa. Segundos esses autores as diferentes facetas do engajamento apresentam uma inter-relação dinâmica, já que comportamento, emoção e cognição não são processos isolados.

O entendimento em Física

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 (Amantes, 2005).

Tomando como referência a perspectiva de entendimento adotado nesse estudo, podemos considerar que a capacidade de solucionar problemas envolvendo determinados conceitos é um forte indicador do estado de entendimento desses conceitos pelo estudante. Ao mesmo tempo em que a evolução temporal do entendimento nos fornece evidências sobre a aprendizagem em qualquer domínio da Física.

O 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 (traços latentes) como, por exemplo, a competência do estudante em matemática ou o entendimento do estudante sobre um determinado conceito físico. Nesse sentido, George 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).

A família de modelos Rasch utiliza dados observáveis de forma qualitativa ou quantitativa (convertido em escore de um teste) para construir medidas intervalares de traços latentes (como a medida do entendimento de conceitos físicos) produzindo, dessa forma, medidas comparáveis. Segundo Francis e colaboradores (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.

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 ambos medidos em uma mesma escala logarítmica (a unidade de medida dessa escala é conhecida por logit, contração de log odds unit). Podemos 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. Da mesma forma, podemos interpretar o parâmetro da pessoa como a medida do entendimento do estudante devido ao conteúdo substancial dos itens e também pela perspectiva teórica de entendimento adotada nesse estudo.

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 $P_{ni}\{x_{ni} = 1 / \beta_n, \theta_i\}$ determina a probabilidade da pessoa n acertar o item i (ou seja, obter escore $x = 1$ no item i), dados o entendimento da pessoa β_n e a dificuldade do item θ_i . Essa probabilidade é igual a base do logaritmo natural ($e = 2,7183\dots$) elevada à diferença entre β_n e θ_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 o entendimento da pessoa β_n (considerada como a qualidade que está sendo medida pelos itens, no caso desse estudo o entendimento dos estudantes em eletricidade) e a dificuldade do item θ_i .

Contexto da pesquisa

A instituição de ensino e os sujeitos participantes da pesquisa

Participaram desse estudo 152 estudantes da 3ª série do ano de 2008 de uma Instituição Federal de Ensino (IFE) no Brasil. A instituição oferta, desde 1998, Ensino Médio e Ensino Médio concomitante com o Ensino Tecnológico de nível Médio (ETM) nas modalidades de Eletrônica, Instrumentação Industrial, Patologia Clínica e Química (no final do ano de 2008 foi aprovado o curso técnico de Informática, que começou a vigorar a partir do ano letivo de 2009). No caso da série investigada, a presença de estudantes repetentes na série era residual. Assim, podemos 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 de Química (turma 6 com 32 estudantes), uma para os estudantes de Patologia Clínica (turma 3 com 28 estudantes) e três turmas mistas com estudantes do curso de Eletrônica e Instrumentação Industrial (turmas 1, 4 e 5 com 68 estudantes no conjunto). Nesse estudo, cada estudante foi identificado através de um código composto por uma sequência de três números (iniciando-se com o código 100) para que

podéssemos manter as reais garantias de privacidade e anonimato desses participantes.

Havia duas formas de ingresso nesta escola: concurso público para o curso médio concomitante com o Ensino Tecnológico de Nível Médio (ETM) e por 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 Instituição Federal de Ensino. Além desta, havia uma diferenciação devido a um sistema de cotas socioeconômicas adotado desde 1972.

Os estudantes que cursavam Ensino Tecnológico de nível Médio ingressavam 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 Ensino Tecnológico de nível Médio 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 tecnológico no outro. Os currículos para os estudantes eram diferenciados a partir da segunda série, mas apenas no que diz respeito ao ensino tecnológico. 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.

A organização do ambiente de aprendizagem na terceira série do Ensino Médio

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, interpretação e discussão dos textos 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 que duravam aproximadamente 10 ou 12 minutos. Em seguida os estudantes faziam a leitura dos textos, gastando em média entre 10 a 15 minutos. Posteriormente, um tempo era dedicado para a discussão dos textos. Os estudantes então realizavam uma série de atividades, que em algumas situações eram realizadas em grupo e em outras individualmente. Essas atividades eram compostas por questões abertas, as quais

mesclavam problemas numéricos com questões conceituais sobre fenômenos físicos. O número de atividades variava de uma aula para outra e a sequência era comum a 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 houve mais a realização de pré-teste, mas os estudantes continuaram 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.

Delineamento metodológico

Fontes de dados

Os dados coletados para esse estudo têm origem nas atividades de Física realizadas pelos estudantes durante as aulas da unidade de eletricidade. Tais atividades foram utilizadas para fornecer evidências sobre o entendimento em cada uma das ocasiões de medida e para a construção de indicadores de engajamento (tanto o cognitivo quanto o comportamental). Nos próximos parágrafos serão apresentadas as atividades que geraram os dados para a construção dos indicadores.

Apesar da importância do engajamento emocional para a aprendizagem dos estudantes e sua inter-relação com o engajamento comportamental e cognitivo, esse estudo não se deteve na construção de indicadores para essa faceta do engajamento, uma vez que nenhum instrumento de coleta de dados foi desenhado especificamente para acessar estados afetivos na sala de aula.

Para a construção do indicador de engajamento comportamental foram utilizadas as atividades de questões abertas que os estudantes responderam nas aulas de Física. Essas atividades eram compostas por questões que mesclaram problemas numéricos com questões de explicitação de entendimento em determinadas situações físicas ou fenômenos. Algumas dessas atividades foram realizadas em grupo, outras foram resolvidas individualmente.

Para a construção do indicador de engajamento cognitivo utilizou-se os 7 testes, aplicados 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 em cada uma das aulas. Eles foram utilizados para a construção do indicador de engajamento cognitivo de cada estudante por dois motivos: (1) a resolução das questões envolvia um investimento cognitivo por parte dos estudantes para compreensão de relações, conceitos e ideias e (2) foram realizados individualmente.

A investigação

Para investigarmos a evolução do entendimento dos estudantes em eletricidade, coletamos dados em três ondas durante o desenvolvimento da unidade de eletricidade na terceira série do Ensino Médio. Em cada uma delas, atividades ou provas foram aplicadas. Nas duas primeiras ondas de dados, os estudantes responderam a duas atividades dissertativas sobre uma mesma situação física envolvendo explicações sobre o funcionamento

de um circuito elétrico simples. Na primeira atividade, solicitamos aos mesmos que dissertassem sobre a seguinte situação que foi aplicada no início da abordagem da unidade de eletricidade:

Uma ação cotidiana e corriqueira é apertar um interruptor e acender uma lâmpada, no teto ou no abajur. A figura 1 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.

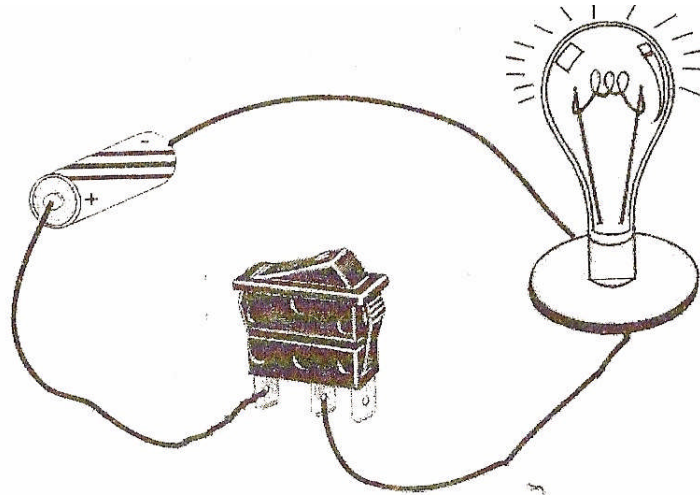


Figura 1.- Representação de um circuito elétrico simples.

Na segunda atividade os estudantes responderam a seguinte questão, aplicada depois de duas semanas do início da unidade de eletricidade:

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

Para analisar as respostas desenvolvemos um sistema categórico hierárquico do tipo rubrica. Esse sistema categórico permitiu avaliar a complexidade do entendimento do estudante de forma mais acurada (Jonsson e Svingby 2007). 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 em um processo dinâmico: antes de iniciar a leitura das respostas um processo de "mascaramento" dos sujeitos foi desenvolvido, ou seja, cada estudante foi identificado através de um código, composto por uma sequência de três números.

Uma primeira leitura das respostas foi realizada para elencar os principais temas envolvidos nas explicações dos estudantes para a resolução das questões. Os principais temas mobilizados foram: (1) Diferença de potencial entre os polos da fonte, (2) força eletromotriz, (3) campo elétrico, (4) emissão de luz e (5) 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 estava no fenômeno da incandescência, enquanto que no tópico na emissão de luz (b) o foco das explicações 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 dessas concepções, iniciamos o processo de construção do sistema de rubricas para categorização das 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) e Coelho (2007) que construíram modelos para analisar o entendimento dos estudantes no domínio da eletricidade. Ressaltamos que a hierarquia estabelecida entre as categorias de cada um dos temas da escala rubrica estão relacionadas a novos elementos conceituais que foram incorporados a entendimentos presentes nas categorias que antecedem as categorias mais externas. Trata-se de uma escala que pressupõe o aumento da complexidade hierárquica de entendimentos (Fischer, 1980).

Na tabela 1, apresentamos um exemplo de um dos temas no qual evidenciamos o aumento da complexidade do entendimento, ao mesmo tempo em que algumas respostas típicas, relacionadas a cada uma das rubricas, também são apresentadas.

Na terceira onda, aplicada ao final da unidade de eletricidade, os estudantes responderam uma prova com questões com itens dicotômicos, que apesar de não envolver a elaboração de uma redação como nas atividades das duas primeiras ondas, exigia a recordação de conceitos e teorias e a aplicação de conceitos em uma situação não familiar. Um exemplo pode ser visto na tabela 2. Ressaltamos que essa prova foi apresentada sob 4 formas equivalentes (Provas A,B,C e D), ou seja, os estudantes responderam as mesmas questões, mas essas estavam localizadas em diferentes pontos em cada tipo de prova. Entretanto, uma equalização entre essas variações da prova trimestral foi realizada para que uma métrica comum fosse utilizada para estimar o entendimento dos estudantes na terceira onda.

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 utilizamos o termo equalização para esse procedimento.

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.

Tema	Categoria	Exemplo
Corrente elétrica como fluxo de cargas elétricas	FCE1- O estudante entende corrente elétrica como algo que flui pelo circuito	"(...) quando pressionamos o interruptor fechamos o caminho da corrente, assim deixando que ela alcance a lâmpada" (Estudante 111)
	FCE2- O estudante entende corrente elétrica como fluxo de carga elétrica no circuito	"Quando o interruptor é acionado ele fecha um caminho (...). Assim como esse caminho existe, as cargas vão circular pelo sistema (...)." (Estudante 103)
	FCE3- O estudante entende corrente elétrica como fluxo elétrons no circuito	"Ao acionarmos o interruptor (...) ocorre o fechamento do circuito, o que permitirá que haja circulação de elétrons pelo fio." (Estudante 176)
	FCE4- O estudante entende corrente elétrica como fluxo de elétrons livres do circuito	"(...) 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)
	FCE5- O estudante entende corrente elétrica como fluxo de elétrons livres do circuito e como meio de transporte de energia	"(...) Essa energia está contida nos elétrons livres do circuito." (Estudante 135)

Tabela 1.- Exemplo de um tema, entendimentos e respostas típicas do sistema categórico sobre a Física envolvida no funcionamento de circuitos elétricos simples.

Questão 34 - 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.

Tabela 2.-Exemplo de uma questão de eletricidade da prova com questões com itens dicotômicos.

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. Por isso, podemos considerar que as tarefas avaliaram o entendimento dos estudantes no domínio da eletricidade.

A mensuração do entendimento dos estudantes

Em um estudo longitudinal a busca de uma métrica comum (escala intervalar) para comparar os sujeitos é fundamental. Nesse estudo, essa métrica foi construída através do modelo Rasch para análise de dados dicotômicos. Dessa forma, o parâmetro β_n corresponde ao atributo latente a ser comparado ao longo do tempo, que no nosso estudo, corresponde ao entendimento dos estudantes em eletricidade. O agente de medida corresponde às tarefas e testes resolvidos pelos estudantes ao longo da

instrução. Entretanto, para construção de uma métrica e, conseqüentemente, estabelecer a medida do entendimento dos estudantes em cada uma das ondas de medida, algumas transformações na estrutura dos dados foram necessárias.

Primeiramente transformamos o sistema categórico do tipo rubrica, utilizado para categorizar as respostas dos estudantes às questões dissertativas (aplicadas nas duas primeiras ondas de dados), em um sistema de itens dicotômicos. Devido ao caráter dicotômico da prova respondida pelos estudantes na terceira onda, nenhuma transformação foi necessária nesse momento para condução do modelamento.

O sistema de rubricas pressupõe o aumento da complexidade hierárquica de entendimentos. Isso significa que os entendimentos mais sofisticados presentes nas categorias de maior complexidade subsumem entendimentos menos sofisticados presentes nas categorias de menor complexidade. A progressão entre as rubricas evidencia uma mudança qualitativa e indica "uma modificação no entendimento de um nível de pensamento para um nível de mais alta complexidade" (Parziale e Fischer, 1998). Dessa forma, para a construção do sistema de itens dicotômicos consideramos 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) foi construída (considerando que os itens desta escala obedecem a uma relação acumulativa de modo que cada item é mais intenso em certa direção que o item anterior), pois os itens da nossa escala evidenciam a mudança qualitativa e acumulativa de entendimentos em cada tema analisado.

Para exemplificar essa transformação tomemos a resposta do estudante 135 ao explicitar seu entendimento sobre corrente elétrica. Segundo o estudante "(...) essa energia está contida nos elétrons livres do circuito". Para o tema corrente elétrica a resposta do estudante foi classificada na categoria FCE5, 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 que a antecedem, como pode ser visto na tabela 3.

Estudante	Tema: Corrente elétrica como fluxo de cargas elétricas				
	FCE1	FCE2	FCE3	FCE4	FCE5
135	1	1	1	1	1

Tabela 3.-Exemplo da transformação de dados categóricos em um sistema de dados dicotômicos.

Após a transformação do sistema de rubricas em um sistema de respostas dicotômicas, considerou-se que cada uma das categorias passou a corresponder a um item de um teste, pontuados como 0 ou 1. Com relação à prova trimestral, o estudante poderia ser pontuado com 1 se respondesse corretamente ao item e pontuado com 0 se o item fosse respondido de forma incorreta.

Uma calibração entre os testes referentes às duas primeiras ondas de dados e a terceira onda foi realizada. A figura 2 representa o modelo de matriz de dados para o estabelecimento da calibração. O termo calibração

foi utilizado para definir mecanismos de conexão entre testes que não são tão rigorosos, no que diz respeito, por exemplo, à estrutura e descrição dos itens (Silva e Soares, 2010). Apesar das diferenças, os autores ressaltam que na calibração os testes medem o mesmo construto ou traço latente, assim como os testes referentes às três ondas de dados, que apesar de serem originadas de instrumentos de naturezas diferentes, medem o entendimento dos estudantes em eletricidade.

Somente depois desse procedimento foi conduzida a análise Rasch no software WINSTEPS (Linacre e Wright, 2000) para mensurar, em uma mesma métrica, o entendimento dos estudantes em cada uma das ondas de dados.



Figura 2.- Representação do processo de calibração entre os itens.

A construção dos indicadores de engajamento comportamental e engajamento cognitivo

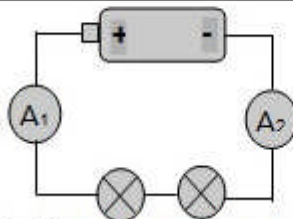
A mensuração do engajamento comportamental pode ser feita usando uma variedade de indicadores da conduta, envolvimento no trabalho e participação. Para construirmos um indicador sobre o engajamento comportamental em sala de aula poderíamos usar a frequência, assiduidade, pontualidade. Poderíamos usar também outros fatores que indicasse se há persistência, atenção na realização das tarefas e participação ativa nas atividades escolares. No ambiente real de sala de aula tínhamos dados sobre assiduidade, mas não sobre a pontualidade, e sobre persistência, realização das tarefas e participação ativa. Mas esses últimos dados (realização das tarefas e participação ativa) estão colapsados em uma única escala, a escala de realização das atividades cotidianas (leitura de textos, interpretação e discussão dos textos com os colegas e com o professor, resolução de atividades individuais ou em grupo) um observável que tínhamos disponível para realização desse estudo. Dessa forma, para construirmos o indicador de engajamento comportamental adotamos como parâmetro a média de atividades realizadas pelos estudantes durante toda a unidade de eletricidade. Nós optamos por um

indicador de duas categorias apenas, e fizemos isso para não exagerar a importância desse desempenho como variável contínua.

Foram propostas 24 atividades durante a unidade e houve a realização média de 21 atividades. Dessa forma, foram construídas duas categorias para o engajamento comportamental: (1) a categoria de baixo engajamento comportamental (baixoengajcomp) contemplava os estudantes que realizaram um número menor ou igual a 21 atividades. Essa categoria era composta por 67 estudantes; (2) a categoria de alto engajamento comportamental (altoengajcomp) contemplava os estudantes que realizaram mais do que 21 atividades. Essa categoria era composta por 80 estudantes (para essa etapa da investigação tivemos acesso às atividades referentes a unidade de eletricidade de 147 estudantes, por isso a discrepância com relação a amostra total desse estudo composta por 152 estudantes).

O engajamento cognitivo está associado a um maior investimento intelectual do estudante com o objeto de ensino. Isso significa que o indicador de engajamento cognitivo deveria levar em conta a participação ativa dos estudantes nas atividades mais difíceis, o estudo persistente e focalizado no conteúdo, a autonomia e o uso de controles metacognitivos. Nossos dados não são tão completos e seguramente não dão conta de todos esses aspectos. Dentre as possibilidades que tínhamos, decidimos construir o indicador de engajamento cognitivo a partir do desempenho dos alunos nos 7 testes (desenvolvidos pelos professores da instituição para avaliar os seus estudantes) aplicados no final de cada aula, no período em que a unidade de eletricidade foi ministrada. Entendemos que, o desempenho nestes testes associa persistência nos estudos e aspectos cognitivos, que se manifestam na aprendizagem do estudante. Na figura 3 apresentamos o exemplo de uma questão de um dos testes utilizados para a construção do indicador de engajamento cognitivo.

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.

Figura 3.- Exemplo de questão utilizada nos testes para a construção do indicador de engajamento cognitivo.

Diferente da forma como construímos o indicador do engajamento comportamental (a partir da média), decidimos por analisar as trajetórias individuais dos estudantes, tomando como base o escore bruto dos mesmos (o desempenho avaliado em uma escala ordinal usual de 0 a 100 pontos) em cada um dos testes. Essa estratégia foi utilizada por Yan (2000) para

definir diferentes padrões de aprendizagem dos estudantes ao utilizarem um software estatístico para realização de uma tarefa.

Foram construídas as trajetórias somente dos estudantes que realizaram todos os testes. Dessa forma, foram traçadas 86 trajetórias. Essas trajetórias foram delimitadas estabelecendo uma analogia com sistemas físicos dinâmicos, pois concordamos com Fischer e Bidell (2006) que 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. Dessa forma, identificamos 4 trajetórias-padrão que descreveram o comportamento dos estudantes em relação ao seu engajamento cognitivo ao longo da unidade de eletricidade. São elas:

Padrão Estável: 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 4).

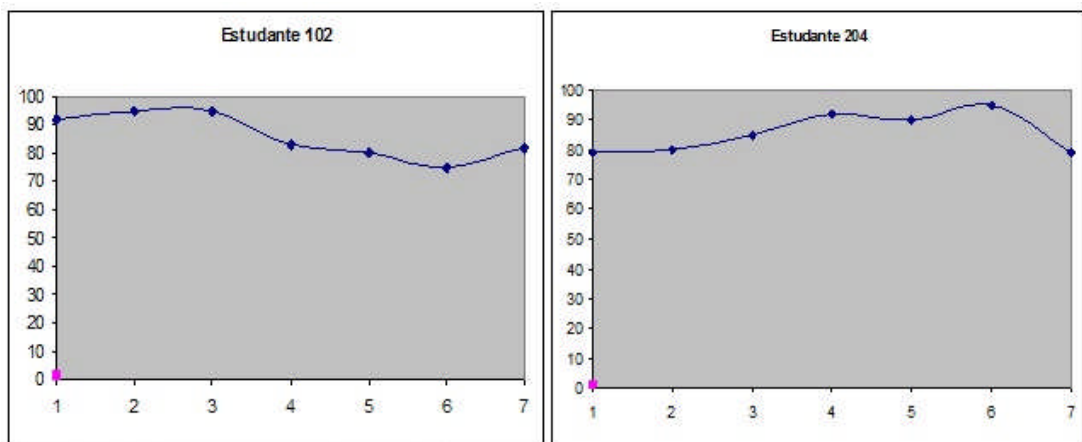


Figura 4.- Exemplos de trajetórias estáveis.

Padrão Oscilatório Harmônico: 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 5).

Padrão Oscilatório Forçado: 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 6).

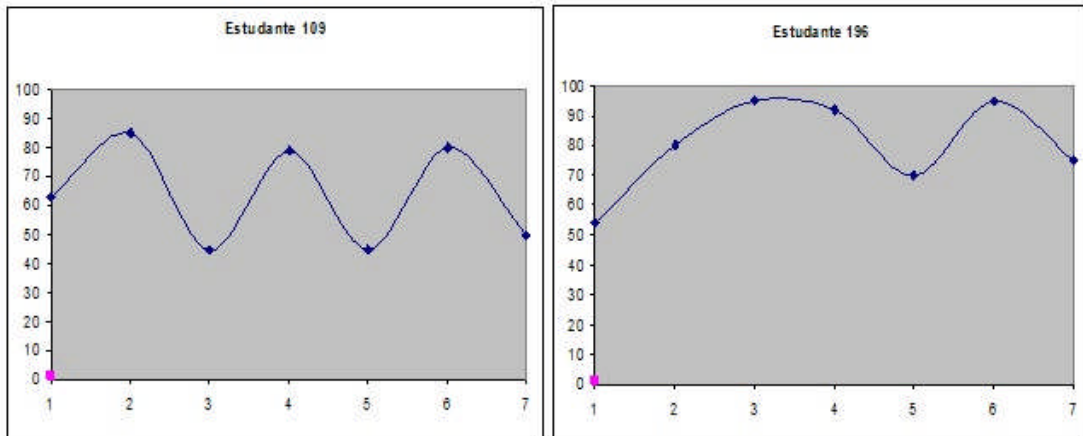


Figura 5.- Exemplos de trajetórias oscilatórias harmônicas.

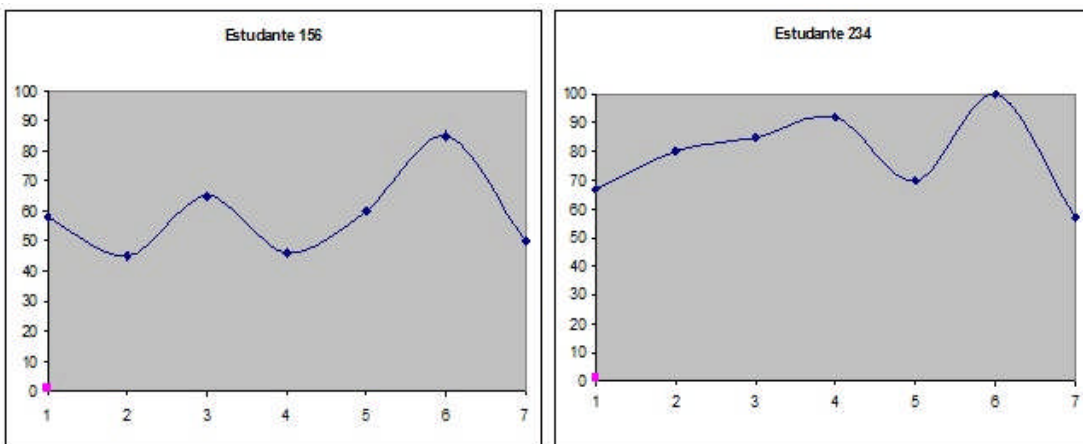


Figura 6.- Exemplos de trajetórias oscilatórias forçadas.

Padrão Oscilatório Amortecido: 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 7).

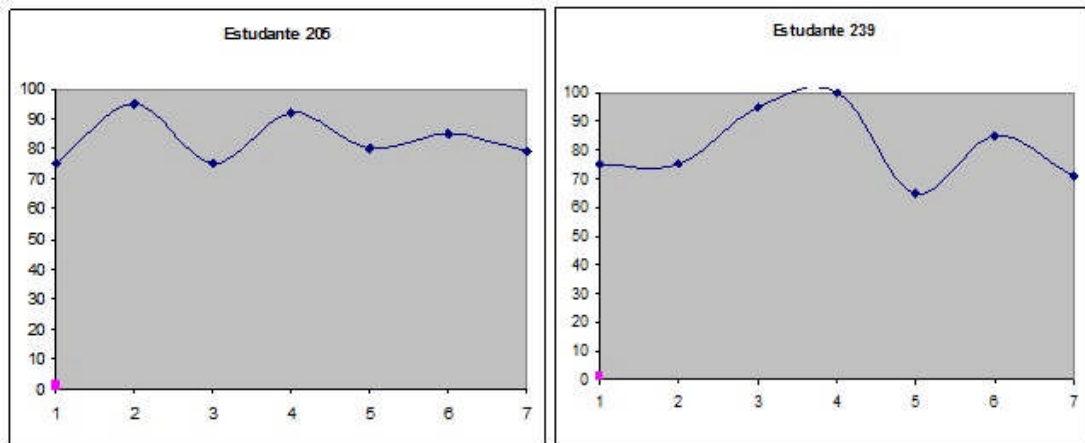


Figura 7.- Exemplos de trajetórias oscilatórias amortecidas.

Análise, resultados e discussões

A medida do entendimento dos estudantes e o ajuste global da escala

A figura 8 apresenta a régua resultante do tratamento Rasch para a escala referente às três ondas de dados. A medida do entendimento dos estudantes (corresponde à estimativa do parâmetro β_n do modelo) é mostrada no lado esquerdo da figura e a medida da dificuldade dos itens (corresponde à estimativa do parâmetro θ_i) é mostrada no lado direito da figura. Cada x no lado direito da figura denota um item da escala. 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. A escala apresenta um intervalo que vai de -6 logits a 4 logits.

Alguns autores como Hagquist (2008), têm recorrido à análise gráfica para investigar as propriedades de invariância de um instrumento ou escala e, por isso, utilizam as Curvas Características dos Itens (CCIs). As Curvas Características dos Itens são gráficos que mostram a curva com valor esperado para prever a probabilidade que a pessoa tem em acertar um determinado item, levando em consideração as propriedades desse item e as características da pessoa que o responde. Para investigar a propriedade da invariância da nossa escala, diferentes grupos de desempenho foram construídos e inseridos na Curva Característica do Item. Os grupos foram construídos baseados na estimativa do entendimento dos estudantes resultante do tratamento Rasch. Além disso, eles eram compostos por aproximadamente o mesmo número de integrantes.

Para investigar a propriedade de invariância da escala, construímos 6 grupos de desempenho para a primeira onda de dados (representados por W1), 4 grupos de desempenho para a segunda onda (representados por W2) e dois grupos de desempenho, para cada tipo de prova, na terceira onda (representados por PA, PB, PC e PD) . A figura 9 apresenta a Curva Característica do Item com a localização dos diferentes grupos para que a análise do ajuste global da escala pudesse ser realizada.

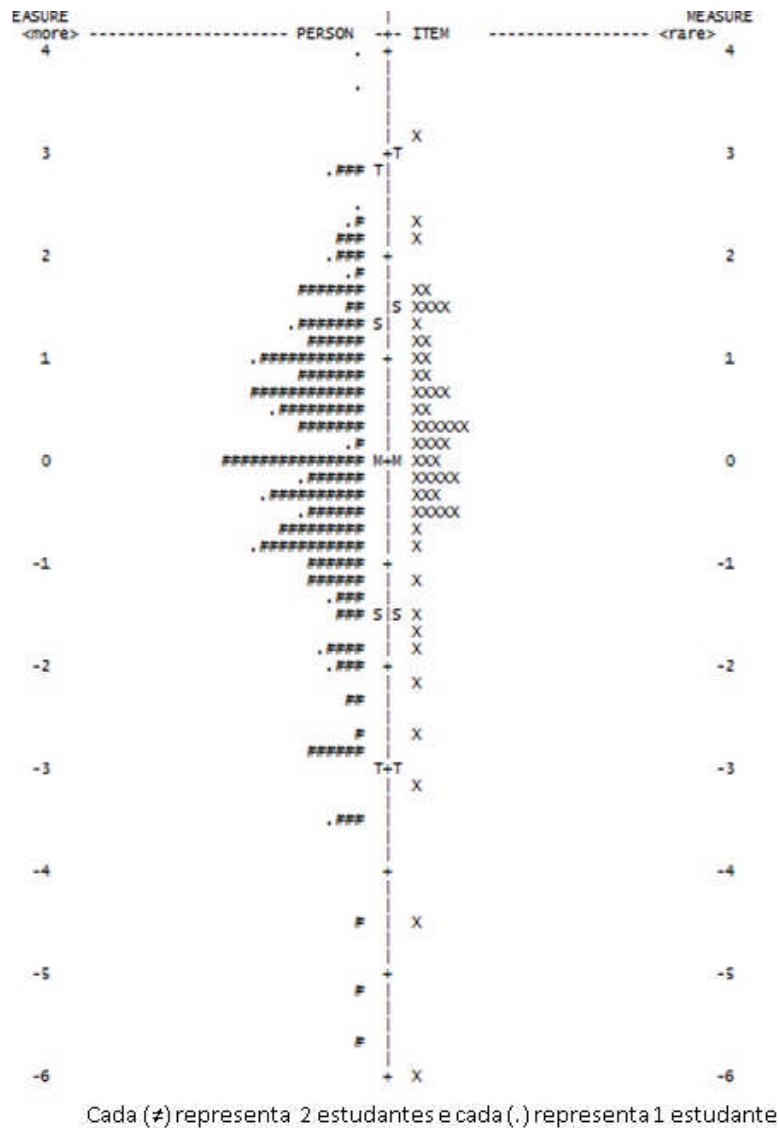


Figura 8.- Mapa descrevendo nível de entendimento dos estudantes e a complexidade dos itens.

A figura mostra a Curva Característica do Item (curva linha cheia) com o intervalo de confiança de 95% (curvas linhas pontilhadas denominadas nesse trabalho por UCCI e LCCI que definem os 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 95% de confiança (representado pelas barras de erro). 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, ou seja, não encontramos grupos de baixo desempenho com uma probabilidade alta de sucesso no teste. O resultado da análise gráfica aponta para um bom ajuste da escala,

isso significa dizer que o entendimento dos estudantes foi mensurado com uma boa precisão.

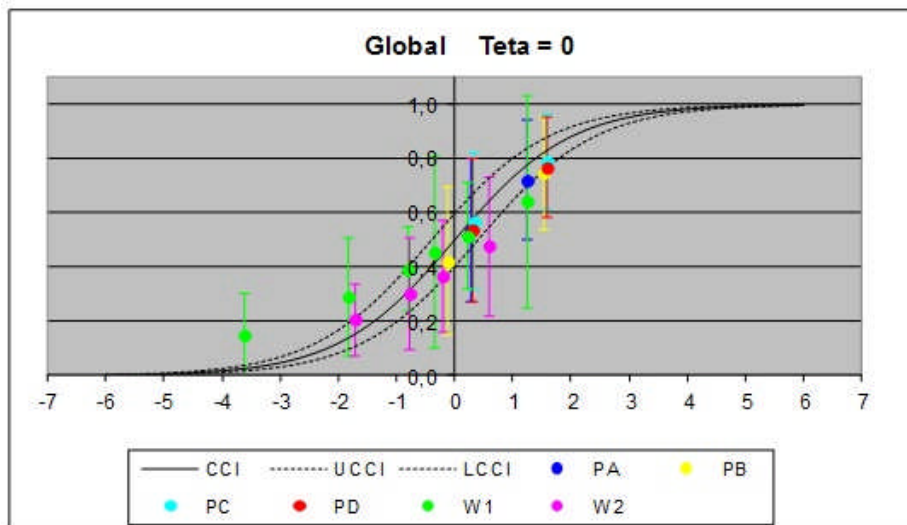


Figura 9.- Ajuste global da escala resultante do Tratamento Rasch.

A influência do engajamento escolar sobre a evolução do entendimento

Os indicadores associados ao engajamento comportamental e ao engajamento cognitivo foram construídos e tomados como preditores da evolução do entendimento dos estudantes ao longo do tempo. Entretanto, para estabelecer a relação entre a evolução do entendimento em eletricidade e as variáveis preditoras transformamos os indicadores associados às duas facetas do engajamento em variáveis numéricas. O engajamento comportamental foi tratado como uma variável dicotômica, por se tratar de apenas dois estados (ou grupos) de engajamento comportamental: baixo e alto engajamento. O engajamento cognitivo foi tratado como uma variável categórica por se tratar dos 4 estados (ou grupos) de engajamento cognitivo referente às trajetórias descritas na seção anterior: (1) engajamento cognitivo estável (engajcogest); (2) engajamento cognitivo oscilatório (engajcogoh); (3) engajamento cognitivo forçado (engajcogof) e (4) engajamento cognitivo amortecido (engajcogoa).

Em um segundo momento, uma análise de regressão linear simples foi conduzida tomando-se como variável dependente o entendimento médio dos estudantes, em cada um dos dois grupos de engajamento comportamental e dos quatro grupos de engajamento cognitivo e como variável independente o tempo (número de aulas ministradas ao longo da unidade de ensino).

Para a construção da reta que descreve o comportamento evolutivo médio dos diferentes grupos 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 para cada grupo de engajamento separadamente. Posteriormente, com os valores médios do entendimento de cada grupo foi realizada uma regressão linear com três pontos (referente às três ondas de dados) e através da interação dos

parâmetros da regressão (intercepto e inclinação) com o tempo (número de aulas) foi possível determinar a reta que descreve a evolução média dos estudantes referente aos diferentes níveis de engajamento comportamental e cognitivo. Além disso, usamos o procedimento ANOVA do software SPSS 16.0 (2007) para testar a diferença de média do estado inicial (intercepto) e na taxa de evolução do entendimento (inclinação) dos diferentes grupos.

A figura 10 representa o comportamento evolutivo médio dos estudantes segundo o estado de engajamento comportamental. A análise desse gráfico indica que, apesar dos dois grupos de engajamento comportamental iniciarem de forma distinta, os estudantes dos diferentes grupos alcançam praticamente o mesmo entendimento final. Entretanto, quando analisamos a tabela 4 com os resultados do procedimento ANOVA percebemos que não existe diferença entre entendimento inicial dos diferentes grupos ($F(1,133) = 1,849$; $p=0,176$) e também não verificamos diferença entre as taxas evolutivas alcançadas pelos dois grupos ($F(1,133)=1,780$; $p=0,184$). Esse resultado é um indício que não basta que os estudantes mantenham-se altamente engajados comportamentalmente para apresentar uma maior aprendizagem em Física.

Categoria	Entendimento inicial (intercepto)			Taxa evolutiva (inclinação)		
	Média/Desvio Padrão (logits)	F	Significância estatística (p)	Média/Desvio Padrão (logits)	F	Significância estatística (p)
Baixo engajamento comportamental (baixoengajcomp)	-0,879 (1,155)	1,849	0,176	1,744 (1,550)	1,780	0,184
Alto engajamento comportamental (Altoengajcomp)	-1,162 (1,239)	1,849	0,176	2,091 (1,463)	1,780	0,184

Tabela 4.-Resultados do procedimento ANOVA para os diferentes grupos de engajamento comportamental.

A figura 11 estabelece a relação entre a evolução média dos estudantes tomando como referência os diferentes grupos de engajamento cognitivo. 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, decidimos por organizar essas duas categorias 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: (1) o primeiro grupo agrupava os estudantes que mantiveram a estabilidade no engajamento cognitivo (engajcogest); (2) o segundo grupo aglutinaria as categorias com os estudantes que apresentaram instabilidade durante todo o curso ou aumentaram a instabilidade ao final das aulas (categorias engajcogoh e engajcogof); (3) o terceiro grupo corresponderia a categoria na qual os estudantes aumentaram a estabilidade em relação ao engajamento cognitivo ao final do curso (engajcogoa).

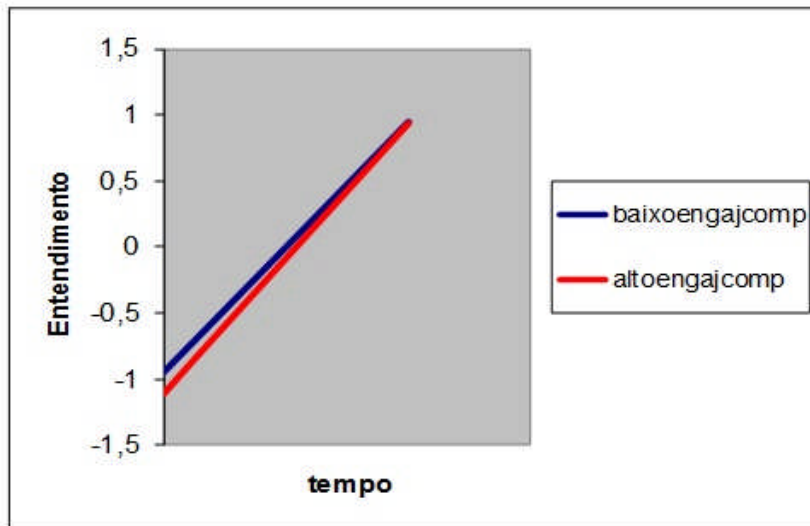


Figura 10.- Evolução média dos estudantes segundo o engajamento comportamental.

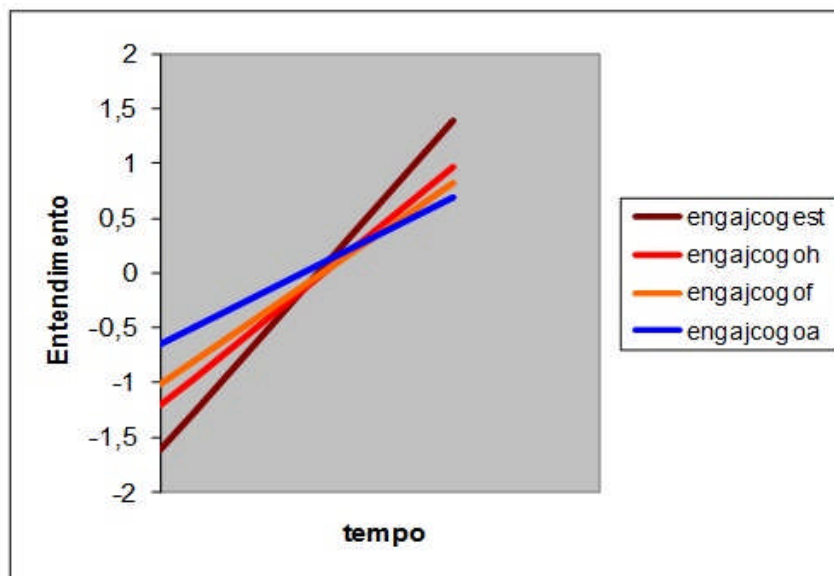


Figura 11.- Evolução média dos estudantes segundo o engajamento cognitivo.

Podemos perceber maior evolução foi do grupo constituído pelos estudantes que apresentaram engajamento estável ao longo de todo o curso, seguidos dos de instabilidade e por fim daqueles que atingem a estabilidade ao final. Esse resultado vai ao encontro da hipótese de que, uma vez engajados cognitivamente de maneira estável, os estudantes teriam um suporte constante para subsidiar a aprendizagem de maneira mais contundente do que em uma situação em que esse suporte ora ocorre ora deixa de existir (como nas trajetórias instáveis).

Um efeito que a princípio parece controverso é descrito pelos estudantes do grupo engajcogoa- os que atingem a estabilidade de engajamento ao final. Os estudantes desse grupo evoluíram, mas apresentaram a menor taxa evolutiva se comparada aos outros grupos de engajamento.

Esperávamos que eles evoluíssem mais que os estudantes que mantiveram um comportamento completamente instável ou que aumentaram a instabilidade do engajamento cognitivo ao longo das aulas (estudantes pertencentes às categorias engajcogoh e engajcogof). Isso porque partimos do pressuposto de que a estabilidade no engajamento cognitivo, ou seja, a constância do investimento intelectual, propicia um maior progresso no entendimento. Mas nossos resultados apontam para o fato de que a estabilidade tem esse efeito real quando é estabelecida durante todo o processo, sendo que no final ela parece não influenciar.

Categoria	Entendimento inicial (intercepto)			Taxa evolutiva (inclinação)		
	Média/Desvio Padrão (logits)	F	Significância estatística (p)	Média/Desvio Padrão (logits)	F	Significância estatística (p)
Engajamento cognitivo estável (engajcogest)	-1,555 (1,306)	2,563	0,083	2,536 (1,653)	5,950	0,004
Engajamento cognitivo oscilatório e forçado (engajcogoh e engajcogof)	-0,905 (0,984)	2,563	0,083	1,644 (1,235)	5,950	0,004
Engajamento cognitivo amortecido (engajcogoa)	-0,752 (0,955)	2,563	0,083	1,434 (1,385)	5,950	0,004

Tabela 5.- Resultados do procedimento ANOVA para os diferentes grupos de engajamento cognitivo.

Considerações finais

Esse estudo investigou a evolução do entendimento dos estudantes sobre os conceitos de eletricidade ao longo de uma unidade de ensino. Buscamos também interpretar quais aspectos dos engajamentos comportamental e cognitivo têm efeito na evolução do entendimento de conceitos físicos dos estudantes e se o ambiente de aprendizagem projetado conseguiu manter o engajamento comportamental e cognitivo no decorrer da intervenção didática.

Como resultado, verificamos que os estudantes evoluíram no entendimento dos conceitos de eletricidade, o que significa que houve aprendizagem do conteúdo. Constatamos essa evolução a partir de um sistema que avaliou a qualidade do entendimento em três instantes estanques, em um estudo de desenho longitudinal. Como estabelecemos uma hierarquia para avaliar a complexidade do entendimento, pudemos estabelecer uma escala que abarcou não só a descrição qualitativa do estado desse entendimento como também subsidiou a construção de uma escala numérica intervalar. Isso foi fundamental para comparar, de maneira

mais consistente, os sujeitos ao longo do tempo e obter uma evidência de que houve progresso. Essa forma de acessar e avaliar um atributo latente é mais eficiente do que a atribuição de escores em testes (Pasquali, 2009), uma vez que implica um dimensionamento da qualidade do entendimento transposto em uma escala comparativa, ao contrário do simples ordenamento dos sujeitos a partir de uma nota. Nesse sentido, acreditamos que o procedimento para acessar e avaliar a aprendizagem realizado nesse estudo contribui para pensarmos em melhores estratégias que garantam mais validade dos instrumentos e métodos de análise.

Outro resultado foi a constatação de que a manutenção do engajamento cognitivo durante as aulas foi um dos fatores mais relevantes para a aprendizagem dos conceitos estudados. Verificamos que o grupo que manteve o engajamento desde o início teve maior taxa evolutiva do entendimento do que aqueles que foram instáveis ou que obtiveram a estabilidade somente ao final. Do ponto de vista educacional, esse resultado é esperado, uma vez que, ao manter o esforço cognitivo esperamos que o estudante estabeleça um entendimento no seu maior nível de complexidade em todos os instantes.

Por outro lado, verificamos que não houve diferença na taxa evolutiva do entendimento para os sujeitos de alto e baixo engajamento comportamental. Ou seja, a aprendizagem ocorreu da mesma forma para os que se engajaram muito nas atividades e para os que se engajaram pouco, do ponto de vista comportamental. Esse não é, seguramente, um resultado esperado quando desenhamos os ambientes de ensino. Partimos do pressuposto de que, ao realizarem as atividades propostas, os estudantes estão se mobilizando efetivamente para aprenderem mais. Talvez esse resultado possa estar limitado pela construção do indicador comportamental, no nosso caso, a média de atividades realizadas. Concordamos que tal traço vai além dessa faceta. Mas não podemos negar que a resolução de problemas, a execução de tarefas e o envolvimento nas atividades propostas são fundamentais para o ato de aprender, pois o entendimento se constrói em muitas dimensões. Por isso, ainda que esteja limitada pelo indicador observável, a faceta avaliada do engajamento comportamental nos forneceu indícios de que, para o contexto analisado, esse atributo não afetou a evolução do entendimento.

Esses dois resultados (influência da estabilidade do engajamento cognitivo e não influência do engajamento comportamental) sugerem que não basta simplesmente fazer com que os estudantes resolvam as atividades cotidianas, prestem atenção nas aulas ou que sigam as regras da escola mantendo, dessa forma, o engajamento comportamental. É necessário que estejam dispostos cognitivamente a entender os conteúdos, ou seja, é preciso que eles se engajem cognitivamente e que consigam manter esse engajamento ao longo da instrução.

Em se tratando do ambiente de aprendizagem, verificamos que o ambiente projetado gerou diferentes estados de engajamento cognitivo. Embora não tenhamos realizado procedimentos específicos para testar preditores relativos à manutenção do engajamento cognitivo, algumas hipóteses podem ser levantadas para explicar esse resultado: (1) o interesse pessoal com a disciplina Física; (2) a tomada de consciência sobre

a necessidade de melhora no entendimento em um determinado tema e (3) componentes extrínsecos que norteiam o sistema escolar como, por exemplo, o vestibular. O interesse pessoal pode estar associado às trajetórias estáveis durante todo o processo, enquanto a tomada de consciência em momentos específicos pode explicar as trajetórias oscilatórias instáveis. A preocupação com o vestibular, por outro lado, pode explicar a estabilidade no final de algumas trajetórias e, assim, justificar um maior investimento e esforço cognitivo no final do curso. Como não fizemos essas correlações em testes específicos, não podemos garantir essas explicações, mas esse resultado foi importante para que tais hipóteses fossem levantadas. Ou seja, em estudos futuros as variáveis hipotéticas interesse pessoal, tomada de consciência e componentes extrínsecos podem ser testadas como preditoras do engajamento cognitivo dos estudantes, através da análise de regressão multinível, que procura estabelecer uma relação entre tendências de crescimento de um determinado construto e seus potenciais preditores (Singer e Willet, 2003).

Nesse trabalho, não conseguimos discernir quais aspectos do ambiente desenhado promoveram a manutenção do engajamento comportamental e de certa forma, uma instabilidade com relação ao engajamento cognitivo ao longo da instrução. Entretanto, temos evidências, a partir da avaliação do contexto de ensino, que o formato e dinâmica das aulas centradas no trabalho em grupo e na resolução das atividades favoreceram a manutenção do engajamento comportamental dos estudantes. O importante é pensarmos em como modificar o ambiente de tal forma que conseguimos fazer com que o engajamento comportamental seja refletido diretamente no aumento e manutenção do engajamento cognitivo. Concordamos com Borges, Júlio e Coelho (2005) quando afirmam que para manter o engajamento cognitivo é preciso que o ambiente garanta uma dose certa de tensão. Mas como conseguir tal tensão? No ambiente descrito, talvez a dose de tensão necessária esteja associada à necessidade de reconfiguração e acompanhamento sistemático das atividades realizadas em grupo. Isso porque não podemos negar que as atividades em pequenos grupos são potencialmente significativas para promover a aprendizagem se todos os estudantes expõem, participam, discutem, planejam de forma conjunta a resolução das atividades.

Referências bibliográficas

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

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

Australia (2005). Department of Education Science and Training; Russel, V.J.; Ainley, M.; Frydenberg, E. Student Motivation and Engagement. R. Wright, (Ed.). *Schooling School Digest*, Em: http://www.dest.gov.au/sectors/school_education/publications_resources/schooling_issues_digest/schooling_issues_digest_motivation_engagement.htm.

Borges, A.T. (1999). Como evoluem os modelos mentais. *Revista ensaio*, 1,1, 85-125.

Borges, O; Julio, J.M. e G.R. Coelho (2005). Efeitos de um ambiente de aprendizagem sobre o engajamento comportamental, o engajamento cognitivo e sobre a aprendizagem. *Anais do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*, Bauru, SP.

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

Coelho, G.R. (2011). A evolução do entendimento dos estudantes em eletricidade: um estudo longitudinal. *Tese de Doutorado*, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Faria, A.F. (2008). Engajamento de Estudantes em Atividade de Investigação: Estudo em aula de Física do Ensino Médio. *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

Fischer, K.W. (1980). A theory of cognitive development: The control and construction of hierarchies of skills. *Psychological Review*, 87, 6, 477-531.

Fischer, K.W. e T.R. Bidell (2006). Dynamic development of psychological structures in action and thought. Em R. M. Lerner (Ed.) *Handbook of child psychology: Theoretical models of human development* (pp. 467-561), New York: Wiley.

Francis, D.J.; Shaywitz, S.E.; Stuebing, K.K.; Shaywitz, B.A. e J.M. Fletcher (1996). Developmental lag versus deficit models of reading disability: a longitudinal, individual growth curves analysis. *Journal of Educational Psychology*, 88,1, 3-17.

Fredricks, J.A.; Blumenfeld, P.; Friedel, J. e A. Paris (2003). School Engagement. Artigo apresentado para a conferência Indicadores de Desenvolvimento Positivo. Em: [http://www.childtrends.org/Files/Child Trends2003_03_12_PD_PDConfFBFP.pdf](http://www.childtrends.org/Files/Child_Trends2003_03_12_PD_PDConfFBFP.pdf).

Fredricks, J.A.; Blumenfeld, P.C. e A.H. Paris (2004). School Engagement: Potential of the Concept, State of the Evidence. *Review of Educational Research*, 74, 1, 59-109.

Guttman, L. (1944). A basis for scaling qualitative data. *American Sociological Review*, 9, 2, 139-150.

Hagquist, C. (2008). Psychometric Properties of the Psychosomatic Problems Scale: A Rasch Analysis on Adolescent Data. *Social Indicator Research*, 86, 3, 511-523.

Jonsson, A. e G. Svingby (2007). The use of scoring rubrics: Reability, validity and educational consequences. *Educational Research Review*, 2, 2, 130-144.

Julio, J.M.; Vaz, A. e A.F. Faria (2011). Atenção: Alunos engajados - Análise de um grupo de um grupo de aprendizagem em atividade de investigação. *Ciência e Educação*, 17, 1, 63-81.

Linacre, J.M. e B.D. Wright (2000) WINSTEPS (Programa de computador). Chicago: MESA Press.

Millar, R. e K. Lim Beh (1993). Students' understanding of voltage in simple parallel electric circuits. *International Journal of Science Education*, 15, 4, 351-361.

Millar, R. e T. King (1993). Students' understanding of voltage in simple series electric circuits. *International Journal of Science Education*, 15, 4, 339-349.

Osborne, R. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technology Education*, 1, 1, 73-82.

Pasquali, L. (2009). Psicometria. Revista da Escola de Enfermagem da USP, 43, número especial, 992-999.

Parziale, J. e K.W. Fischer (1998). The practical use of skill theory in classrooms. Em R.J. Stemberg e W.M. Williams (Eds.), *Intelligence, instruction and assessment* (pp. 96-110). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

Perkins, D. (1993). Teaching for Understanding. *The Professional Journal of the American Federation of Teachers*, 17, 3, 8-28.

Shipstone, D.M. (1984). A study of children's of understanding of electricity in simple D.C. circuits. *European Journal of Science Education*, 6, 2, 185-198.

Silva, W. e T.M. Soares (2010). Eficácia dos processos de linkagem na avaliação educacional em larga escala. *Estudos em Avaliação Educacional*, 21, 45, 191-211.

Singer, J.D e J.B. Willett (2003). *Applied Longitudinal Data Analysis: Modeling Change And Event Occurrence*. Oxford: University Press.

SPSS (2007). *Base 16.0 for windows*. Chicago: SPSS.

Wright, B.D. e J.M. Linacre (1989). MESA: Research Memorandum number 44. Em: <http://www.rasch.or/memo44.htm>.

Yan, Z. (2000). Dynamic analysis of microdevelopment in learning a computer program. *Tese de Doutorado*, Harvard University, USA .