



Como a abordagem de ensino influencia a aprendizagem de conteúdos Científicos e Tecnológicos?

How teach approach acts upon learning about Scientific and Technological contents?

Amanda Amantes

Professora Adjunta
Faculdade de Educação
Universidade Federal da Bahia
profamanda.ufba@gmail.com

Geide Coelho

Centro de Educação
Universidade Federal do Espírito Santo
geidecoelho@gmail.com

Resumo

Nesse trabalho apresentamos uma investigação sobre aspectos da abordagem de conteúdos científicos e tecnológicos que influenciaram a aprendizagem, em uma intervenção educacional. A pesquisa se realizou com 260 estudantes do primeiro e terceiro ano do Ensino Médio que estudaram um material interdisciplinar e contextual. Reportamos uma análise exploratória, que integrou métodos qualitativos e quantitativos. Os dados analisados foram coletados através de atividades e tarefas realizadas antes, durante e após a instrução. A partir dos resultados, discutimos como aspectos específicos de estratégias de ensino e da natureza dos conteúdos estão associados ao ganho no entendimento, o que pode nos fornecer caminhos mais promissores para elaborar e desenvolver métodos de abordagem que propiciem maior aprendizagem.

Palavras-chave: Aprendizagem; Ensino de Física; Método Quali-Quanti.

Abstract

We report a research about factors that may to influence learning, when we teach scientific and technological contents. Investigation counted with 260 participants, which ones studied on first and third grade of a public High School. They were submitted on an intervention, and studied with a contextual and interdisciplinary material. Ours analysis was exploratory, comprised qualitative and quantitative methods. As database we collected outcomes from tasks and activities before and after instruction, as well as in the course of study. As result, we found some teach strategies and contends aspects as predictors of learning. We discuss results implications for improve teach approaches and, on that account, to further a better learning.

Keywords: Learning, Physics Teaching, Quali-Quanti Methods

Introdução

As questões relacionadas à aprendizagem de conteúdos científicos são abordadas de diferentes maneiras, a depender do foco e direcionamento dados à concepção do processo. Uma maneira de investigar tal aprendizagem é se deter nos aspectos contextuais que podem indicar elementos relevantes para interpretar as ideias e entendimentos sobre uma gama extensa de conteúdos, como nos trabalhos de Biggs e Collis (1982, 1995), Parziale (1998), Panizon (2003), Rappolt-Schlichtmann (2007), Fischer e Stewart (2008), Dawson (2008), Amantes (2009) e Coelho (2010). Nesses trabalhos, a aprendizagem é concebida em termos da evolução do entendimento, que ocorre em uma linha de tempo, mas que nem por isso se revela linear.

Fatores (também denominados preditores) que influenciam a aprendizagem são estabelecidos a partir da concepção do próprio processo, e isso implica em diferentes delimitações a depender do aporte teórico em questão. Dentre esses fatores, os autores Biggs e Collis (1982) defendem que a maturidade intelectual, familiaridade com o conteúdo, suporte social e memória de trabalho são alguns dos principais para determinar o desenvolvimento em um nível otimizado de aprendizagem.

No mesmo segmento, Fischer (1980) estabelece uma perspectiva teórica a partir da qual é concebido um caminho de desenvolvimento, que varia para cada indivíduo de acordo com diferentes fatores, tais como estado emocional, características pessoais, controle de ações em situações específicas e contexto social, dentre outros. Segundo esse autor, a variação é a chave para entender a organização e construção de novas estruturas de conhecimento que, pela própria natureza do processo, não são estáticas.

A característica dinâmica do processo é reconhecida em muitas pesquisas e há um consenso em relação à diversidade de variáveis que estão subjacentes. Identificar essas variáveis é uma tarefa que pode nos ajudar a compreender elementos essenciais do ato de aprender.

Com objetivo de compreender mais a respeito desses preditores, realizamos uma investigação para pontuá-los e verificar como afetam o processo de aprendizagem. Nesse trabalho apresentamos o estudo exploratório sobre como algumas variáveis

relacionadas à abordagem de ensino influenciam na aprendizagem de conteúdos científicos e tecnológicos. As variáveis foram definidas a partir de características da própria abordagem (tal como frequência de estudo) e da natureza do conhecimento requisitado em cada tarefa (conhecimento procedimental ou declarativo, por exemplo). A partir do emprego de métodos quantitativos (regressão múltipla) pudemos estimar o nível de influência de cada fator definido (porcentagem da variância) no progresso do entendimento.

Aprendizagem: Progresso Oscilatório do Entendimento

A aprendizagem é tema subjacente a muitas pesquisas na área de educação. Na área de Ensino de Ciências (ou na Educação científica), muitas investigações são conduzidas para esclarecer as dificuldades apresentadas pelos estudantes para aprender conceitos e conteúdos científicos. Contudo, investigar um processo complexo como a aprendizagem demanda elaborar estratégias que abarquem especificidades tanto dos sujeitos inseridos no processo, como do contexto e situações de ensino.

Um dos principais desafios é estabelecer coerentemente os elementos a serem investigados e construir instrumentos e ferramentas adequados para analisá-los. Para tanto, é preciso definir os parâmetros através dos quais interpretaremos o ato de aprender e, a partir desse momento, pontuar os critérios de pesquisa.

Nesse trabalho consideramos a aprendizagem na perspectiva do progresso do entendimento. O atributo entendimento, entretanto, apresenta muitas facetas em decorrência do grande arcabouço de aportes teóricos. A concepção que adotamos é semelhante aos trabalhos na área de psicologia e educação que lidam com traços latentes (ANDRICH, 1978; BOND e FOX, 2001; ADAMS, 2005; DAWSON, 2006; GOMES, 2010). O entendimento, nesse ponto de vista, não pode ser mensurado diretamente, pois o que temos acesso (observáveis) são manifestações desse atributo, diferenciadas a depender da situação-problema.

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. Apesar disso, ele pode não ser capaz de fazer previsões ou utilizar o conceito em determinadas situações físicas (por exemplo, para explicar a elevação do potencial da carga elétrica no interior de uma fonte de energia), significando que o entendimento desse conceito não foi totalmente desenvolvido. Nessa perspectiva, o entendimento está associado ao desempenho do estudante na resolução de tarefas ou na solução de problemas, o que representa o dado observável ao qual temos acesso para avaliar um traço que não está totalmente explícito.

Assim, a ação demonstra uma parte do entendimento que está implícita no saber fazer. A verbalização de uma concepção corresponde a uma parcela do que se conhece. O saber fazer e o saber dizer são indícios do entendimento, assim como indicadores do seu estado de articulação (AMANTES, 2005). Também nessa perspectiva, consideramos que o entendimento que temos sobre algo é mais amplo e mais profundo do que expressamos (VERGNOUD, apud MOREIRA, 2002), seja pela fala, pela escrita ou pela ação. Como colocado por Wykrota (2007) e Frade (2003), Polanyi

(1983) utiliza a metáfora da ponta de um iceberg, para se referir ao entendimento exibido por um sujeito.

Apesar de termos acesso a manifestações de entendimento em diferentes aspectos e domínios de ação, os observáveis correspondem a um estado momentâneo, pois o entendimento tem um caráter dinâmico. Isso significa que o entendimento sobre algo muda de um instante para outro: se intensifica, retrocede, se reorganiza. Dessa forma, a aprendizagem se configura como uma evolução temporal do entendimento, demarcada por oscilações em sua trajetória. Esse caráter oscilatório da aprendizagem tem sido reportado em pesquisas na área de Ensino de Ciências (DAWSON, 2004; FISCHER, 2008) e é considerado no desenho da pesquisa, assim como na interpretação dos resultados.

Tendo em vista que a aprendizagem se refere à evolução do entendimento e apresenta natureza oscilatória, podemos dizer que um novo conhecimento não é apreendido em sua totalidade em uma única situação ou contexto de ensino: ele é construído em fases diferentes da vida, em que os sujeitos adquirem habilidades diversas que o capacitam a ampliá-lo. E ainda mais: o entendimento progride a partir de relações que o sujeito estabelece entre elementos das mais diferentes naturezas e, nesse processo, diferentes fatores podem influenciar. Alguns deles se mostram como um consenso nas pesquisas da área, como o suporte social, a maturidade e a própria história de aprendizagem dos sujeitos (BIGGS; COLLIS, 1982; FISCHER, 1980; PARZIALLE, 1998). Além disso, a maneira como o conteúdo é apresentado pode suscitar diferentes significações, dependendo justamente das relações que o sujeito estabelece com seu quadro referencial já formado.

Para a investigação relatada, consideramos os observáveis como uma parte do entendimento em um estado momentâneo, e a diferença de um momento a outro como demarcações da trajetória de aprendizagem. Essas trajetórias podem apresentar-se como oscilatórias, indicando que no caminho de desenvolvimento há equilíbrios e desequilíbrios, progressos e retrocessos (YAN, 2000; COELHO, 2011). Portanto, ao identificarmos os pontos, teremos indícios de como o entendimento evolui e, em consequência, podemos investigar a aprendizagem, inclusive através do estabelecimento de fatores (ou preditores) que nos permitam interpretar essas trajetórias.

Descrição da Pesquisa

Nosso foco foi na identificação dos fatores que influenciam a aprendizagem de determinados conteúdos, tendo-se como parâmetro a abordagem de ensino e a própria natureza desses conteúdos. Para tanto, uma Unidade Temática sobre o funcionamento da televisão foi elaborada e utilizada como instrumento didático em uma intervenção educacional. Os dados coletados foram analisados com procedimentos qualitativos e quantitativos, sendo as unidades de análise correspondente a respostas de 260 alunos que estudaram o material. A seguir descrevemos os aspectos da pesquisa conduzida.

Contexto e Situação de Ensino

Conduzimos a pesquisa em uma escola pública federal que oferece Ensino Médio e Ensino Tecnológico de nível Médio (ETM) em Patologia Clínica, Eletrônica, Química e Instrumentação Industrial. Os alunos da Instituição ingressam por concurso público ou pela progressão do Ensino Fundamental de outra escola pertencente à mesma IFE. As aulas são no período diurno, sendo realizadas em tempo integral de estudos.

Participaram da pesquisa 260 alunos, sendo 143 do primeiro ano e 117 do terceiro ano. Não houve diferenciação em relação ao curso: no caso dos primeiros, a opção pelo curso tecnológico ainda não é realizada, e em se tratando dos outros, os alunos de todos os cursos participaram da coleta. Esses estudantes estudaram um material de caráter interdisciplinar e contextual (com conteúdos voltados para a tecnologia da televisão) durante um período de 12 aulas de 50 minutos, o que correspondeu a 3 semanas de intervenção. As aulas foram ministradas no horário da disciplina de Física, conduzidas pelos professores da escola e acompanhadas pela pesquisadora. A carga horária semanal das aulas de Física era de 4 horas/aula, sendo que 3 horas/aula eram dedicadas as discussões teóricas e 1 hora/aula dedicada a atividades experimentais. Durante a intervenção não houve essa diferenciação.

Para a disciplina de Física é um consenso entre os professores da escola a adoção da perspectiva do currículo em espiral (BRUNER, 1987). Nesse tipo de currículo há recorrência da abordagem de conteúdos (BORGES; BORGES, 2001), mas em níveis de profundidade e situações diferenciadas. No projeto de reformulação curricular realizado na instituição, Vaz et al. (2007) apontam vantagens dessa estrutura, como a possibilidade do aluno ter uma visão geral de toda Física logo no primeiro ano e o possível aumento do interesse e a motivação, já que vários assuntos são trabalhados.

Também é um consenso entre os professores a conduta em sala de aula com o desenho de atividades centradas no aluno. Nesse sentido, o formato das aulas tende a maximizar atividades em que os estudantes se engajam para solucionar problemas, executarem tarefas e atingirem determinados objetivos previamente estipulados, sendo a exposição teórica mais breve e com o intuito de iniciar a aula ou fechar uma discussão. Durante a intervenção essas características foram preservadas.

Durante as doze aulas, os alunos desenvolveram tarefas e atividades guiadas pelo material. Eles receberam apostila com textos e fizeram simulações no computador, registrando suas atividades em lápis e papel. A Unidade foi aplicada em momentos distintos: para os alunos do primeiro ano foi no meio do segundo trimestre de 2007, após o estudo de Movimento Uniforme e Variado. Esses alunos estudaram antes as unidades: Medidas e Erros no laboratório, Trabalho, Energia e Calor (Energia interna e Temperatura, Capacidade Térmica, Calor Específico e Primeiro Princípio da Termodinâmica). Para os alunos do terceiro ano a intervenção ocorreu na metade do primeiro trimestre do mesmo ano, depois do estudo de alguns conteúdos de Mecânica, como Quantidade de Movimento e Leis de Newton, e também Trabalho e Energia.

No terceiro ano os conteúdos estudados foram contemplados em avaliações, sendo também pontuadas as atividades que foram entregues no final de cada aula. Essas atividades, depois de corrigidas pelos professores, foram copiadas e arquivadas como dados da pesquisa, sendo devolvidas aos alunos. No primeiro ano não houve avaliação

formal da Unidade Temática, sendo pontuado somente o engajamento individual nas atividades e tarefas.

Desenvolvimento de Material Instrucional

Atendendo ao objetivo de verificar como progride o entendimento, desenvolvemos um material didático que pudesse abarcar os conteúdos de Ciências, principalmente os de Física, mas articulados aos processos tecnológicos. Isso foi feito inicialmente pelo levantamento de vários materiais de divulgação científica, busca por diferentes metodologias e consecutivas reestruturações dos textos e atividades. O resultado foi uma Unidade Temática que contemplou diversos temas da disciplina Física, e em menor escala incorporou elementos da Biologia, Química e Informática, com enfoque nos processos gerais de funcionamento da Televisão. Sua estrutura é composta por textos de divulgação científica, simulações de *sites* da internet, textos e simulações elaborados pelos pesquisadores.

A parte virtual compreendeu slides em formato de “hipertexto”, com links em que os estudantes puderam aprofundar seus conhecimentos sobre algum conteúdo ou conceito específico. Além disso, alguns links abriam simulações ou *applets* divulgados gratuitamente e que ilustravam ou aplicavam um conceito relativo a determinado fenômeno físico. Dessa forma, o material foi concebido para que os estudantes pudessem explorá-lo sem um roteiro pré-definido, conduzindo seu próprio caminho para estabelecer relações entre os conteúdos. Esse formato também permitiu que o mesmo material fosse aplicado em duas séries distintas, pois ao mesmo tempo em que trazia elementos que pudessem corresponder a um novo conhecimento, resgatou outros familiares.

A Unidade serviu como material de ensino e como instrumento de pesquisa. O caráter da abordagem foi contextual e interdisciplinar, na medida em que buscou atender à orientação de ensino dos “princípios gerais da produção moderna” (Lei 9394/96, Brasil, LDB). Nesse sentido, o funcionamento da televisão não foi incorporado no material com o estudo de um aparato, mas sim como um princípio a ser apreendido a partir de todos os processos presentes nas transformações, transmissão e recepção dos sinais. Submetemos o material à avaliação de professores das disciplinas de Física, Biologia, Engenharia e Química, sendo posteriormente reformulado considerando-se as apreciações.

Como produto final obtivemos uma apostila de 22 páginas, testes de conhecimento, atividades escritas para cada aula, material virtual composto de textos descritivos, simulações, *applets* e filme (desenho animado disponibilizado por www.mundodatv.com.br)¹.

Coleta de Dados

A dinâmica das aulas durante a intervenção se constituiu em: i) explicitação das atividades pelo professor; ii) trabalho em grupo, com a disposição de um computador para cada 3, 4 ou 5 estudantes; iii) realização de tarefas e discussões com auxílio do professor e às vezes da pesquisadora; iv) fechamento do conteúdo do dia em discussão geral conduzida pelo professor; e v) entrega do material escrito.

¹ Para maiores esclarecimentos a respeito desses materiais, consultar Amantes (2009).

Em cada aula um assunto era iniciado e encerrado. Os estudantes receberam atividades de lápis e papel para serem entregues ao final da aula e exploraram o material virtual, bem como a apostila, para realizarem tais atividades. Apesar das discussões serem em grupo, os testes foram respondidos individualmente. É importante ressaltar que os mesmos componentes dos grupos foram mantidos durante toda a intervenção.

Como dados obtivemos gravações em áudio das discussões dos grupos de todas as aulas, em torno de 440 horas de gravação, testes de conhecimento aplicados antes e após a intervenção, atividades de lápis e papel entregues ao final de cada aula, caderno de bordo da pesquisadora e entrevistas semi-estruturadas conduzidas com 5 alunos. Todos esses dados foram digitalizados e arquivados. Alguns foram tabulados em planilhas para análise qualitativa e quantitativa.

Análise e Resultados

Nosso desenho metodológico compreendeu métodos qualitativos e quantitativos de análise de dados. Como estávamos interessados em verificar fatores que influenciam a aprendizagem em uma perspectiva de progresso no entendimento individual dos sujeitos, consideramos uma escala para avaliar esse progresso definida por parâmetros qualitativos e pontuada através de valores estimados para a proficiência desses sujeitos e dificuldade dos itens.

Cada dado foi analisado tendo em vista um instrumento específico. Mapas de episódios foram construídos para análise das gravações e do caderno de bordo, o que nos possibilitou investigar o contexto e fazer um levantamento dos possíveis preditores de aprendizagem². As atividades e os testes de conhecimento foram analisados a partir da construção de uma Taxonomia baseada na Teoria de Habilidades Dinâmicas (FISHER, 1980) e perspectiva docente de avaliação³, semelhante aos trabalhos de Dawson et al.(2005), Coelho e Borges (2010), Gugerell e Riffert (2011).

Os resultados dessas duas análises nos forneceram: i) os parâmetros de teste para verificar os fatores de influência, através da análise do contexto; e ii) a classificação do entendimento dos estudantes em relação aos conteúdos do material em diferentes momentos. Esses últimos dados foram transformados para análise quantitativa, o que possibilitou lidarmos com o atributo *entendimento* em termos de uma escala numérica.

Nesse trabalho relatamos a análise feita para o entendimento dos alunos avaliado nos testes de conhecimento, aplicados antes e após a instrução. A perspectiva concebida para analisar os preditores e sua influência na evolução do entendimento se baseou nos parâmetros dos itens respondidos nesses testes, estimados por um modelo estatístico de probabilidade, e nos resultados da análise do contexto, a partir dos quais definimos as variáveis a serem testadas como preditores.

A seguir descrevemos brevemente como os dados foram modelados e como as estimativas foram consideradas representativas do progresso do entendimento.

²Análise reportada em Amantes e Borges (2011)

³Análise reportada em Amantes e Gomes (2012)

Explicitamos a categorização dos itens tendo-se como perspectiva o dimensionamento das tarefas em áreas diferentes do conhecimento e expomos a regressão múltipla, análise feita para verificarmos a pertinência das variáveis testadas como preditoras e o seu grau de influência na aprendizagem.

Análise dos Dados pelo Modelo Rasch

Para investigar a aprendizagem e seus preditores, utilizamos dados dos testes de conhecimento aplicados antes e após a unidade de ensino. Esses dados correspondem a respostas fornecidas a questões dissertativas e questões de verdadeiro ou falso (dicotômicas). As respostas das questões dissertativas foram categorizadas segundo uma taxonomia que compreende a perspectiva de níveis hierárquicos de entendimento. Após essa categorização elas foram transformadas em dado dicotômico e, juntamente com os dados das questões de verdadeiro e falso, formaram uma matriz de resposta.

Nas três questões dissertativas, os estudantes deveriam explicitar seu conhecimento sobre conteúdos relacionados ao funcionamento da TV, enquanto nas questões dicotômicas de falso e verdadeiro (31 no total), eles deveriam avaliar uma sentença e julgar sua exatidão. No Quadro 1 temos um exemplo de questão dissertativa e 3 itens dicotômicos.

Quadro 1: Apresentação de Exemplos de Questões Dissertativas e Dicotômicas

Questão Dissertativa		
1	Explicita seu entendimento sobre o funcionamento da TV do ponto de vista da tecnologia e dos fenômenos físicos envolvidos.	
Itens Dicotômicos		
A seguir são feitas questões de verdadeiro ou falso sobre ondas.		
1	Os satélites operam tanto com ondas mecânicas como com ondas eletromagnéticas.	
2	A transmissão feita nas TVs a cabo difere da transmissão nas TVs comuns pelo fato de fazerem a transmissão através de corrente elétrica, como nos fios que transportam corrente elétrica das Usinas até nossas casas.	
3	Tanto o sinal analógico e como o digital são transmitidos analogicamente, por meio de ondas eletromagnéticas.	

As respostas das três questões dissertativas foram categorizadas segundo uma taxonomia elaborada na perspectiva docente em conjunto com parâmetros da Teoria de Habilidades Dinâmicas (FISCHER, 1982). A partir dessa taxonomia, pudemos estabelecer um conjunto de conteúdos possíveis de serem enunciados em cada questão, assim como seu nível de complexidade. Esse procedimento nos permitiu obter, do ponto de vista qualitativo, demarcações sobre o entendimento que os estudantes explicitaram em suas respostas. A enumeração dos conteúdos juntamente com a delimitação dos níveis de complexidade determinaram uma matriz de respostas, onde as três questões abertas puderam ser trabalhadas dicotomicamente. Nesse sentido, essas questões deram origem a 51 itens de caráter dicotômico.

Esse procedimento de transformação das respostas discursivas em dado dicotômico foi parte da preparação dos dados para o tratamento pelo modelo. Em conjunto com os itens das questões de verdadeiro ou falso, obtivemos um total de 82 itens, o que nos forneceu mais robustez para conduzir a análise. A escolha por esse tipo de desenho metodológico se fez em virtude: i) da busca por um maior rigor em pontuar aspectos de trajetórias de aprendizagem, uma vez que tal ação compreende mensuração de progresso no entendimento; ii) do reconhecimento sobre a necessidade de procedimentos dessa natureza para atender ao princípio de coerência interna, pois o foco do estudo foi a busca de preditores dentro de uma perspectiva geral do processo de ensino; e iii) do pressuposto de que é promissora a integração de métodos diferenciados (qualitativos e quantitativos) para entender e explicar um fenômeno tão complexo como a aprendizagem.

Prosseguindo na análise, o método quantitativo foi empregado para obter medidas correspondentes ao desempenho dos alunos nos testes e aos índices de dificuldade de cada item. Optamos por utilizar o Modelo *Rasch* (RASCH, 1960) para estimar as medidas de proficiência dos estudantes e dos parâmetros dos itens. Utilizamos para modelar nossos dados o Software CONQUEST (WU et al., 2007). Esses modelos de mensuração, como os da família *Rasch*, têm sido muito utilizados na área de Psicologia e Educação, assim como para modelar dados de avaliação em larga escala (PISA, ENEM, por exemplo).

Os modelos são probabilísticos, sendo as estimativas realizadas a partir do pressuposto teórico de que, ao responder um item i , a probabilidade de um sujeito acertar depende basicamente de dois parâmetros, independentes da amostra e do instrumento (princípio da objetividade específica): um atributo do próprio sujeito (β_v) e um atributo do item (θ_i), denominados geralmente por Proficiência ou Habilidade e Índice de Dificuldade, respectivamente. Os modelos pautados na Teoria de Resposta ao Item (IRT) incorporam ainda mais dois parâmetros dos itens: Índice de Discriminação e de Acerto ao Acaso. O modelo adotado nesse trabalho pode ser descrito pela equação:

$$P(x_{vi} = 1 | \beta_v, \theta_i) = \frac{e^{\beta_v - \theta_i}}{1 + e^{\beta_v - \theta_i}}$$

Onde:

P: Probabilidade de acerto do item i

β_v : parâmetro do sujeito v

θ_i : parâmetro do item i

A vantagem em se trabalhar com as estimativas obtidas pelo modelo *Rasch* é que elas são fornecidas em uma escala intervalar única de *logits* (tanto os parâmetros dos sujeitos como os dos itens), o que nos permite fazer comparações entre as medidas de maneira mais acurada do que quando lidamos com escores. Além disso, os pressupostos teóricos que guiam a análise levam em consideração características subjetivas dos atributos a serem mensurados (BOND e FOX, 2007; MEAD, 2008), o que é um avanço para lidar com traços latentes em relação ao ordenamento obtido em simples testes de escores.

Dessa forma, após os dados serem modelados, obtivemos duas medidas de cada sujeito, correspondentes ao seu entendimento explicitado nos testes de

conhecimento. Essa medida incorpora uma natureza qualitativa, uma vez que foi estimada a partir de uma escala numérica atribuída em uma análise categórica. A Figura 1 apresenta resumidamente e de forma genérica a transformação dos dados e as fases de análise.

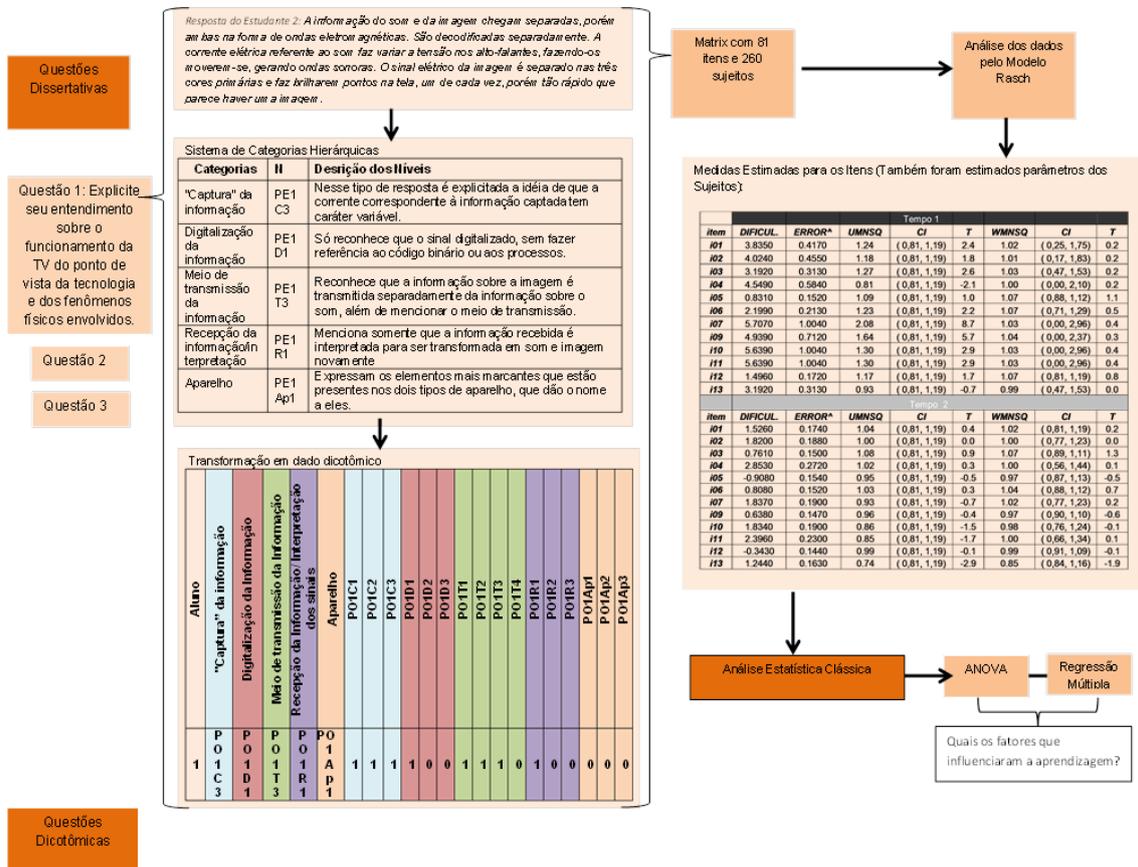


Figura 1: Esquema de transformação de dados e as fases de análise

Na perspectiva do modelo, em cada onda de medida (t) uma estimativa é calculada para os parâmetros das pessoas e para os parâmetros dos itens, tendo em vista uma mesma amostra de sujeitos. Isso implica que o progresso no entendimento ou sua evolução é entendida em termos de um “acréscimo” em um dos parâmetros, devido à instrução ou outro fator qualquer. Ou seja, a partir de uma instrução, de uma tarefa, de uma interação, etc., os sujeitos mudam seu entendimento de um momento para o outro, e isso pode ser evidenciado de duas formas:

- a) Ou a proficiência dos sujeitos aumenta de um instante para outro:

$$\log\left(\frac{P_{acertar}}{P_{errar}}\right) = (\beta + \delta) - \theta$$

- b) Ou os itens ficam “mais fáceis” de uma ocasião para outra.

$$\log\left(\frac{P_{acertar}}{P_{errar}}\right) = \beta - (\theta + \delta)$$

Em ambas as situações, a aprendizagem pode ser interpretada como a diferença entre os parâmetros, de um instante para o outro. Nesse trabalho tomamos como indicativo de aprendizagem a diferença encontrada nas estimativas dos itens, uma vez que

estamos interessados em avaliar características relacionadas ao conteúdo que influenciaram a mudança no entendimento.

Categorização dos Itens

A análise dos fatores de influencia na aprendizagem, com foco nas estimativas dos itens, foi precedida de duas análises: Análise do Contexto e Categorização dos Itens. Esses dois procedimentos nos forneceram os subsídios para enunciar e delimitar preditores a serem testados.

Pela análise do Contexto, relatada em outro trabalho (AMANTES e BORGES, 2011), verificamos a recorrência de conteúdos nas discussões dos alunos em diferentes momentos da intervenção, identificamos a natureza do tipo de abordagem que fizeram dos conceitos e verificamos a qualidade das relações feitas entre os elementos de cada tarefa. A partir dessa análise, pontuamos alguns possíveis preditores: Frequência de estudo, Natureza do conteúdo, Nível da Tarefa.

Esses preditores foram “redimensionados” por uma segunda análise, através da qual um Sistema de classificação para avaliar os itens foi elaborado. O sistema foi composto por 4 classes, reportadas no Quadro 2.

Quadro 2: Apresentação do Sistema de classificação dos Itens

Classe	Descrição
Natureza do item: Descritiva Explicativa	Essa categoria procurou classificar os itens de acordo com o tipo de relações que ele estabelece entre os elementos reportados. Se o item requer somente uma exposição de informações sem o estabelecimento de relações causais entre os diferentes elementos que ele reporta, consideramos que há somente uma declaração ou exposição de conhecimento, que pode se remeter tanto à descrição de funcionamento de dispositivo como de fenômenos; esse tipo de item foi classificado como descritivo. Se no item há relações causais que exigem uma compreensão das relações entre conceitos e, portanto, requer um nível de apreciação mais profundo para ser interpretado e para ser respondido de maneira adequada, ele foi classificado como explicativo.
Complexidade: Baixa Média Alta	O item foi classificado como mais complexo quando se deteve em um ou mais fenômenos cujas relações ou definições apresentaram nível mais profundo de entendimento. Três foram os níveis de complexidade: 1 - baixo, 2 - médio e 3 - alto.
Frequência de Estudo: Baixa Média Alta	Classificamos os itens de acordo com a frequência de estudo de seus conteúdos no decorrer da aplicação da Unidade. Separamos os itens em três níveis, sendo o terceiro aquele em que o conteúdo do item foi retomado em mais ocasiões e oportunidades no decorrer do estudo (mais de 3 vezes). O segundo nível corresponde àquele em que o conteúdo foi estudado de 2 a 3 vezes e o primeiro nível foi determinado por apenas um momento de estudo.
Natureza do Conteúdo: DDA EXP DEC	Essa categoria se refere a uma característica do item relacionada ao tipo de conhecimento nele solicitado. Dessa forma, foi avaliado o conteúdo reportado no item em termos de: dda : descrição de dispositivo/artefato tecnológico exp : explicação de aspectos procedimentais (processos), tecnológicos e/ou científicos dec : definição de conceito científico

O Quadro 3 apresenta um exemplo de classificação de itens dicotômicos de acordo com o sistema de classificação relatado.

Quadro 3: Apresentação do Sistema de classificação dos Itens

Item	Complexidade	Natureza do item	Frequência de estudo	Natureza do Conteúdo
Em ambas as TVs o sinal é interpretado da mesma forma, mas o mecanismo de ativação dos pontos da tela vai depender do tipo de aparelho de TV.	2	E	2	exp <i>explicação de processo</i>
Não devemos colocar metal no forno de microondas porque as ondas eletromagnéticas geradas por esse instrumento fazem os elétrons do metal oscilarem, provocando corrente elétrica e possível curto circuito.	3	E	1	dda <i>descrição de dispositivo/ artefato</i>
ondas mecânicas necessitam de um meio físico para se propagarem, enquanto as ondas eletromagnéticas não.	1	D	2	dec <i>definição de conceito</i>
Os elétrons da antena transmissora oscilam e produzem onda eletromagnética, que carrega a informação.	1	D	3	exp <i>explicação de processo</i>

A partir dessa classificação, dividimos os itens por grupos e testamos as diferenças das médias do “ganho” (diferença entre a medida inicial e final dos parâmetros dos itens) em cada grupo. Esse procedimento nos permitiu avaliar, em uma primeira análise exploratória, se houve aprendizagem segundo os parâmetros que estabelecemos. Ou seja, se as classes que elaboramos pudessem servir de fatores explicativos da aprendizagem.

Para isso, realizamos um teste de diferença de médias (ANOVA), de múltiplas comparações (Pos Hoc Tests), utilizando o pacote estatístico do software SPSS. Os dados de entrada foram as medidas dos parâmetros dos itens de cada categoria, obtidas pelo modelo *Rasch*. Nossos resultados mostram que para os fatores *complexidade do item* e *natureza do item*, os grupos não diferem em relação à média de ganho ($F(2,68)=0,858$; $p=0.428$). Isso equivale a dizer que a natureza do item não foi determinante para indicar uma maior ou menor aprendizagem dos conteúdos que ele reportou, assim como a complexidade. Ou seja, não há distinção em relação ao ganho no entendimento de conteúdos no formato descritivo ou explicativo, pelo menos na forma avaliada no trabalho. Esse resultado certamente não é esperado, uma vez que o objetivo de uma instrução é favorecer a aprendizagem de maneira que haja um aumento no entendimento das relações entre os conteúdos e conceitos, de forma mais coerente e complexa. Temos aqui um indício de que tais categorias representam preditores que não interferiram na aprendizagem. Ressaltamos, contudo, que essa análise é limitada por diversos fatores que podem interferir nos resultados, dentre eles: definição inadequada das categorias; itens não dimensionados para reportar as diferenças associadas às categorias; medida dos itens muito dispersas para identificar diferenças sutis.

Os fatores que apresentaram diferença entre os grupos ou categorias foram os *de frequência de estudo* e *natureza do conteúdo*. Para esses fatores estar em um

grupo específico significa ter um ganho diferente em relação aos outros. A média de ganho dos itens que não foram abordados em muitas ocasiões, ou seja, de baixa frequência de abordagem, foi **0,619 logits**. A média de ganho dos itens de razoável frequência de abordagem foi de **1,295 logits** e o de alta frequência de abordagem **2,175 logits**.

Em relação ao fator *natureza conteúdo*, a Tabela 1 mostra a média de ganho dos agrupamentos.

Tabela 1: Média dos itens por categoria de conteúdo

Média dos itens das Categorias de Conteúdo		
Característica do item referente ao conteúdo	Número de itens	Média
<i>exp</i> : explicação de processo	15	2,236800
<i>dec</i> : definição de conceito	16	0,696750
<i>dda</i> : descrição de dispositivo/artefato	21	1,994143

Pela Tabela 1, podemos perceber que os itens sobre explicação de processo, físico ou fenomenológico, foram os que tiveram maior ganho, seguido dos itens de descrição de dispositivo e por último os itens de definição conceitual. Esse é um indício de que, a partir da instrução realizada, o entendimento aumentou mais sobre conteúdos de natureza procedimental, sendo a aprendizagem de conceitos menos intensa, apesar de ter ocorrido.

Apesar de uma aparente inconsistência desse resultado, tendo em vista que para categoria *natureza do item* não houve diferença significativa para as médias *descritiva* e *explicativa*, ele evidencia a adequação do preditor *natureza do conteúdo* para explicar a aprendizagem. Essa classificação levou em consideração o tipo de conteúdo do item em relação ao seu aspecto funcional: explicação, definição ou descrição. Nesse sentido, podemos associar o primeiro aspecto a um entendimento processual (mais relacionado a aspectos procedimentais), o segundo a um entendimento conceitual (relacionado à capacidade de conceitualização) e o terceiro a um entendimento sobre funcionamento de artefatos físicos (também mais associado a um aspecto procedimental, mas dimensionado pela técnica). Ao contrário dessa categoria, a classificação de acordo com a *natureza do item* teve seu foco na identificação do tipo de relações estabelecidas entre os diferentes elementos ou conceitos reportados no item, do ponto de vista descritivo ou explicativo, sem levar em consideração a natureza do conteúdo.

Para obter mais evidências em relação a esses resultados, conduzimos uma análise de Regressão Múltipla, descrita a seguir.

Variáveis de Influência

Outra forma de avaliar se os fatores identificados na caracterização dos itens influenciam no ganho de entendimento foi feita pela análise de Regressão Múltipla⁴

⁴ A Regressão/Correlação Múltipla (RM) é um procedimento de análise de dados baseado no critério dos mínimos quadrados, que determina as relações lineares entre um conjunto de preditores e um único

(RM) utilizando novamente o software SPSS. Nesse tipo de análise uma série de variáveis independentes são testadas como preditores para explicar uma proporção da variância da variável dependente, em certo nível de significância (R^2).

Primeiramente, alguns termos são avaliados enquanto possíveis elementos provocadores de efeito de mudança na explicação de uma variável específica. Essa avaliação é feita levando-se em consideração os pesos do índice β (beta). Em seguida, esses termos são adicionados como variáveis independentes no modelo para explorar os efeitos na curva, o que determina a variável dependente. A cada adição de uma variável independente a significância da mudança no modelo é avaliada (R^2). Através do teste de significância de dois ou mais modelos, obtemos um bom parâmetro para determinar qual o modelo em que a adição da variável independente explica a maior parte da variância na variável dependente.

As variáveis independentes adicionadas aos modelos são consideradas como coeficientes, podendo ser usadas para construir equações de predição e gerar escores previstos na variável de análise. Assim, a equação de Regressão Múltipla toma a forma:

$$y = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n + c$$

Onde os b 's são os coeficientes de regressão, representando a quantidade em que a variável dependente muda quando a correspondente variável independente muda de 1 unidade. O c é uma constante, onde a linha de regressão intercepta o eixo y , representando o valor da quantidade de variável dependente quando a variável independente é 0.

Entraram como variáveis independentes as categorias dos itens reportadas na análise anterior. Para tanto, elas foram transformadas de variáveis nominais para variáveis numéricas dicotômicas a partir de uma codificação reportada no Quadro 4.

Quadro 4: Classificação dos itens de acordo com as Classes de Variáveis Dicotômicas

Itens	Natureza do Item		Complexidade			Frequencia de Estudo			Natureza do Conteúdo		
	Descr.	Explic.	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Freq.1	Freq.2	Freq.3	exp	dda	dec
I01	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
I02	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
I03	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
I04	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
I05	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
I06	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
I07	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
I17	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
I18	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0
I19	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0

critério, determinando qual a melhor combinação do conjunto de preditores para prever esse critério singular.

Tendo em vista o Quadro 4, podemos sistematizar a codificação dos itens de acordo com as categorias e classes de variáveis da seguinte maneira:

Natureza do item	}	1 0	Descritiva
		0 1	Explicativa
Frequência de Estudo	}	1 0 0	Freq. 1
		0 1 0	Freq. 2
		0 0 1	Freq. 3
Complexidade	}	1 0 0	Comp. 1
		0 1 0	Comp. 2
		0 0 1	Comp.3
Natureza do Conteúdo	}	1 0 0	exp
		0 1 0	dda
		0 0 1	dec

Apesar de não termos verificado diferença de média dos grupos nas categorias *complexidade do item* e *natureza do item* (na análise anterior), as classes correspondentes foram incluídas como possíveis preditores no ganho dos itens (testados nos modelos). Para cada grupo analisado, verificamos ainda a correlação entre as variáveis independentes (teste de ausência de multicolinearidade) e fizemos a análise dos resíduos, verificando a normalidade da distribuição, a homocedasticidade e a linearidade.

A estatística *Durbin-Watson* também foi avaliada. Ela se refere a um teste para verificar se o pressuposto de observações independentes é encontrado, ou seja, testar se há presença de autocorrelação. A multicolinearidade foi avaliada pelos índices *Autovalor* e *VIF* nas tabelas de saída de dados. A normalidade foi verificada pelos gráficos *Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual*.

O teste de correlação considerando a variável dependente como o ganho nos índices de dificuldade dos itens indicou que as variáveis independentes apresentam baixa correlação. Esse resultado favorece o pressuposto da Regressão Múltipla de ausência de multicolinearidade, e foi avaliado com estatísticas específicas para escolher o modelo de melhor ajuste em relação aos preditores das variáveis dependentes. Os gráficos referentes à normalidade da distribuição não nos deram qualquer indicação que contrarie o pressuposto da normalidade dos resíduos e os gráficos de dispersão dos resíduos em função dos valores preditos estandardizados mostram-se bastante aleatórios, validando o pressuposto de homocedasticidade⁵. Corroborada a adequação dos dados ao tipo de análise a ser realizada, prosseguimos com a análise através do teste de Regressão Múltipla.

Os modelos testados incluíram variáveis independentes que foram adicionadas ou removidas pelo programa, através do método *stepwise*. Dessa forma, nem todas as variáveis são incluídas nos possíveis modelos explicativos, embora todas tenham sido

⁵ Esses gráficos podem ser consultados em Amantes (2009).

testadas. Pela análise de Regressão obtemos o sumário dos modelos, reportado na Tabela 2. Nessa tabela temos o R^2 ajustado e seu erro padrão estimado (SDE), F e o nível de significância correspondente, e ainda a estatística *Durbin-Watson*.

Tabela 2: Modelos das Regressões Múltiplas para os Ganhos nos Itens

Modelos	R^2 Ajustado	Erro	F Change	Sig. F	Durbin- Watson
1- Ganho= $B_0 + B_1 \text{Freq.3}$	0,093	1,4472349	8,137	0,006	
2- Ganho= $B_0 + B_1 \text{Freq.3} + B_2 \text{dda} +$	0,142	1,4069695	5,006	0,029	
3- Ganho= $B_0 + B_1 \text{Freq.3} + B_2 \text{dda} + B_3 \text{exp}$	0,200	1,3592291	5,861	0,018	
4- Ganho= $B_0 + B_1 \text{Freq.3} + B_2 \text{dda} + B_3 \text{exp} + B_4 \text{complex1}$	0,256	1,3104257	6,083	0,016	2,232

Variável dependente: Ganho de dificuldade dos itens

O R^2 ajustado se refere à porcentagem da variância da variável dependente que as variáveis independentes de um modelo explicam. Os modelos preditores estão especificados pelos números 1, 2, 3 e 4. A estatística *Durbin-Watson* deve estar entre 1,5 e 2,5, significando que para uma estimativa entre esses valores devemos rejeitar a hipótese de que o dado é autocorrelatado (muito dependente) e assumir independência das observações. No caso do ganho dos itens, essa estatística é $W=2,232$, dentro da expectativa de independência das observações.

A avaliação do melhor modelo de ajuste é feita baseando-se no quanto é mudada a porcentagem da variância explicada no R^2 ajustado⁶, em conjunto com os coeficientes β (beta). A tabela 3 explicita os coeficientes encontrados para cada modelo.

O melhor modelo explicativo das mudanças nos parâmetros dos itens (ganho no entendimento) foi o modelo 4, em que entram como preditores: a frequência de estudo (principal preditor, explicando sozinho 9,3% da variância), *natureza descritiva do conteúdo*, *natureza explicativa do conteúdo* e *nível de complexidade 1*. Esse modelo pode ser expresso pela equação:

$$\text{Ganho} = 0,325 + 0,611 \text{freq.3} + 1,189 \text{dda} + 1,291 \text{exp} + 0,801 \text{complex.1}$$

(0,266) (0,371) (0,365) (0,450) (0,325)

Os outros preditores do nosso sistema não foram incluídos na equação de regressão final, por não apresentarem correlação com a variável dependente ou por não produzirem nenhum aumento significativo no poder explicativo já atingido pelas quatro variáveis do modelo final.

A equação pode ser entendida como um modelo para explicar o que afetou a aprendizagem quando o material instrucional foi estudado. O fato de a *frequência de abordagem* ter sido preditor, significa que os itens cujos conteúdos foram estudados em poucas ocasiões apresentaram significativamente menor ganho no entendimento. Em relação à *natureza do conteúdos*, os itens que compreendem elementos relacionados à explicitação de como ocorre um processo e à descrição de artefatos tecnológicos foram mais bem entendidos. Isso significa que a abordagem favoreceu a

⁶ Para quantificar a porcentagem da variância das variáveis dependentes explicada pelas independentes é usado o R^2 ajustado e não o R^2 , porque este último não é sensível à quantidade de variáveis independentes incluídas na regressão.

aprendizagem mais em termos procedimentais do que conceituais; ou seja, o fato de se remeter a conteúdos dessa natureza foi determinante para que um conhecimento fosse melhor estabelecido. Em relação à complexidade, esse resultado evidencia que o nível de complexidade também é explicativo da aprendizagem: para o tipo de instrução realizada, os conteúdos dos itens de complexidade 1 foram melhor entendidos e apresentaram um ganho significativo no entendimento. Isso quer dizer que a abordagem favoreceu a aprendizagem dos conteúdos em um nível mais geral.

Tabela 3: Coeficientes dos Modelos testados pela Regressão Múltipla

Modelo		Coeficientes		Coeficientes Padronizados	t	Sig.	Estatísticas de Colinearidade	
		B	Erro Padrão	Beta			Tolerância	VIF
1	Constante	1,115	,207		5,395	,000		
	freq3	1,059	,371	,325	2,853	,006	1,000	1,000
2	Constant	,865	,230		3,757	,000		
	freq3	1,087	,361	,333	3,008	,004	,999	1,001
	dda	,819	,366	,248	2,237	,029	,999	1,001
3	Constante	,653	,239		2,731	,008		
	freq3	,705	,383	,216	1,840	,070	,829	1,206
	dda	1,140	,378	,345	3,019	,004	,876	1,142
	exp	1,115	,460	,302	2,421	,018	,737	1,357
4	Constante	,325	,266		1,224	,225		
	freq3	,611	,371	,187	1,645	,105	,821	1,219
	dda	1,189	,365	,360	3,261	,002	,873	1,145
	exp	1,291	,450	,349	2,871	,005	,718	1,392
	Compl.1	,801	,325	,258	2,466	,016	,973	1,028
5	Constante	,407	,265		1,537	,129		
	dda	1,262	,367	,382	3,441	,001	,886	1,129
	exp	1,602	,413	,434	3,880	,000	,873	1,146
	Compl.1	,856	,327	,275	2,616	,011	,984	1,017

a. Variável Dependente: ganho

Apesar de termos esses indicadores de influência, a porcentagem de mudança no entendimento, que pode ser considerada como o total da variância explicada pelos preditores foi muito baixa (25,6%), indicando que, no contexto de ensino considerado, outras variáveis que não conseguimos identificar estão atuando com maior influência no processo. Essas variáveis não identificadas entram no modelo como ruído, pois se referem justamente a aspectos que determinam o comportamento da mudança, mas que não foram testados como preditores. Dessa forma, os preditores do modelo, do ponto de vista estatístico, não são responsáveis pela explicação principal da variação no ganho do entendimento. Contudo, ainda que essa análise não tenha contemplado todos os aspectos do contexto, pudemos identificar alguns fatores estabelecidos no sistema categórico elaborado como significativos para a aprendizagem. Consideramos que esse resultado tem implicações relevantes para o ensino.

Considerações Finais

Nesse trabalho analisamos o progresso (ou ganho) no entendimento dos estudantes a partir de preditores (ou fatores) relacionados a aspectos do conteúdo e do tipo de abordagem. Apresentamos uma análise que utilizou métodos quantitativos e qualitativos para investigar as mudanças no entendimento, assim como a influência desses preditores. Adotamos como parâmetro de aprendizagem a mudança no índice de dificuldade de itens, ou seja, o quanto ficaram “mais fáceis” de uma ocasião para outra.

A perspectiva oscilatória da aprendizagem guiou o tipo de coleta de dados (em diferentes ondas de medida) assim como a escolha da ferramenta de análise qualitativa- Taxonomia baseada na Teoria de Habilidades Dinâmicas. A adoção de métodos quantitativos de análise possibilitou maior coerência com os objetivos do estudo, uma vez que compreendeu identificação de mudanças no atributo entendimento e o efeito de fatores de influência. Esse aspecto de integração de métodos qualitativos e quantitativos tem sido reportado em trabalhos da área de ensino de ciências que buscam, sobretudo, maior coerência interna nas pesquisas. Alguns autores (GORARD, 2002; SINGER; WILLETT, 2003; CHATTERJI, 2004; MARCZYK et al. 2005; SAGLAM-ARSLAN, 2010) argumentam a favor da incorporação de métodos e técnicas de ambas as vertentes para investigar objetos complexos e responder questões que apresentam limitações, se consideradas em uma perspectiva de forma independente. Nesse sentido, a possibilidade de triangular dados, utilizar dados de segunda ordem em análises distintas e se pautar em resultados de um tipo de análise para “informar” a análise de outra natureza, são metodologias muito promissoras, pois permitem utilizar diferentes “lentes” para analisar fenômenos educacionais.

Como resultado, nossa pesquisa constatou que, em um ambiente de ensino com o foco nas atividades centradas nos alunos e instrução sobre conteúdos de natureza interdisciplinar e com enfoque tecnológico, os fatores que apresentaram uma parcela de influência na aprendizagem foram: a *frequência de abordagem* dos conteúdos, a *natureza do conteúdo* e o *nível de complexidade*. Pela análise de regressão múltipla, verificamos que a parcela da variância explicada pelos fatores identificados foi baixa, e o preditor que mais influenciou na mudança foi a *frequência de abordagem*.

Esses resultados podem ser entendidos a partir da análise do próprio contexto de ensino. Ele foi demarcado por interações entre os professores e os estudantes e por estudantes pertencentes a um mesmo grupo. A partir da análise das gravações de todas as aulas, realizada por Mapas de Episódios (AMANTES; BORGES, 2011), pudemos demarcar conteúdos cujas discussões foram recorrentes. Isso nos possibilitou testar a frequência de abordagem como um possível preditor de influência na aprendizagem. De fato, em relação às características contextuais testadas, esse foi o principal preditor. Como a instrução não foi padronizada e os estudantes puderam retomar os conteúdos a qualquer momento para resolver as tarefas, alguns conceitos foram discutidos mais vezes no decorrer das 12 aulas. Como consequência, os itens que diziam respeito a esses conceitos apresentaram maior diferença de parâmetros nas ocasiões de coleta, o que significa um ganho maior no entendimento. Lembramos que esse ganho não representa uma “quantificação” em termos de escore: ele se refere a um aumento do nível de complexidade das relações que os estudantes estabeleceram entre diferentes elementos para reportar seu entendimento sobre os conteúdos.

Portanto, além de estar em uma escala “quantitativa” de *logits*, os valores que obtivemos das diferenças no entendimento subtendem uma avaliação da qualidade desse entendimento.

Esse resultado tem uma implicação direta para o ensino e prática docente. Ele certamente corrobora o argumento de que o conhecimento é construído de forma recursiva em um caminho de equilíbrios e desequilíbrios (YAN, 2000; FISCHER, 2008; COELHO, 2011). Por isso nosso entendimento sobre algo não aumenta de forma linear, mas em ciclos com progressos e retrocessos, demarcando uma trajetória ascendente, mas oscilatória. Nesse caminho, a construção se faz pela associação de vários elementos e conteúdos, em diferentes perspectivas e sob diferentes pontos de vista, o que possibilita o entendimento de maneira cada vez mais complexa. Assim, retomar conceitos e conteúdos ao longo da trajetória de aprendizagem garante aumento do entendimento, pois favorece justamente a articulação desses conceitos e conteúdos de maneira generalizada.

Essa perspectiva da recursividade, já presente nos argumentos de Bruner (1960), tem sido adotada em algumas escolas e reportada em trabalhos de pesquisa (VAZ et al., 2007). Nesses trabalhos há evidência de que o currículo em espiral favorece a aprendizagem de conteúdos, pois esses são estudados nos três anos do ensino médio com níveis diferentes de profundidade e de abordagem. Nosso estudo, entretanto, evidencia que a recursividade não tem efeito somente em longos prazos, mas pode também ser encontrado em curtos períodos de instrução, como na aplicação de uma unidade de ensino em 12 aulas.

Esse resultado nos chama a atenção para estratégias de ensino e elaboração de materiais didáticos. Devemos levar em consideração que apresentar um conceito ou conteúdo a partir de diferentes contextos, em diferentes momentos, favorece sua significação e otimiza o processo de aprendizagem. Isso nos fornece “insights” para delinear estratégias de ensino que não tenham, necessariamente, uma linearidade: a recorrência de conceitos em várias aulas, mas com distintas abordagens, pode ser um caminho promissor para favorecer a aprendizagem de conteúdos de alto nível de complexidade. Além disso, materiais didáticos sequenciais, nessa perspectiva, incorporariam os mesmos conceitos e conteúdos em aulas subsequentes, intercaladas ou não, mas com aproximações de conteúdos de outros domínios de conhecimento. Nesse sentido, a interdisciplinaridade seria uma ferramenta poderosa para desenhar instrumentos de ensino, pois um mesmo conteúdo poderia ser melhor entendido em meio à sua retomada em diversos contextos.

A natureza do conteúdo também se configurou como um preditor de aprendizagem: o entendimento foi melhor explicitado em termos de explicação dos processos e descrição de dispositivos. Entendemos que, nesse caso, houve mais aprendizagem do ponto de vista de características procedimentais do funcionamento da TV do que do ponto de vista conceitual. Tendo em vista o caráter da Unidade de Ensino, esse resultado é compreensível: uma vez que as definições científicas e conceitualizações só eram mencionadas para entender aspectos específicos dos fenômenos estudados, a habilidade em definir explicitamente os elementos não se evidenciou. Portanto, a aprendizagem ocorreu com maior intensidade para conteúdos de natureza processual.

Outra forma de interpretar esse resultado é a de que o processo de conceitualização é mais difícil, pois requer um nível de abstração elevado. Em outros trabalhos (AMANTES e BORGES, 2004; AMANTES, 2005) constatamos que, para conceitos científicos de alta complexidade conceitual, estudantes do Ensino Médio apresentam um entendimento maior em termos procedimentais: conseguem lidar com tarefas envolvendo os conceitos, mas não explicitam seu entendimento (em termos conceituais) de forma apropriada. Nosso resultado corrobora essa hipótese e nos aponta para o fato de que o entendimento possui diferentes facetas, podendo ser mais evidenciado de uma forma do que de outra. Isso certamente impacta nas nossas concepções sobre avaliação e na adequação de nossos instrumentos para acessar o que os nossos alunos realmente sabem. Para discutir com mais profundidade esse aspecto, entretanto, seria necessário realizar outros testes que fogem ao escopo desse trabalho.

Finalmente, o nível de complexidade foi um fator que também explicou a variância nos parâmetros dos itens. A categoria em que houve maior entendimento foi a de mais baixa complexidade. Ou seja, a aprendizagem foi favorecida em um nível de relação entre os elementos de um determinado conteúdo de maneira mais elementar. Certamente o foco de estudo nos processos gerais favoreceu mais o entendimento da generalidade dos processos de captura, transformação e emissão de sinais do que em conteúdos específicos. De fato, outro resultado de nosso estudo (AMANTES, 2009) é que os estudantes em geral tiveram uma grande aprendizagem sobre características tecnológicas e processuais, e conseguiram entender os aspectos gerais do funcionamento. Quando solicitados a descreverem em detalhes seu entendimento sobre elementos isolados, o fizeram com dificuldade, uma vez que o foco de atenção estava nos sistemas e no papel desses elementos em uma perspectiva mais ampla.

Se pensarmos nesse resultado do ponto de vista do ensino, há de se considerar as consequências do tipo instrução que adotamos. A depender de como abordamos os conteúdos, seja em uma perspectiva CTS, contextual, interdisciplinar ou formal, a aprendizagem será diferenciada, tanto em termos de significados atribuídos aos conceitos e conteúdos como em termos do nível de complexidade do entendimento. Nesse sentido, ter clareza sobre quais objetivos devem ser atingidos e sobre os resultados possíveis em cada tipo de instrução é imprescindível para garantir o sucesso e a eficiência das abordagens didáticas de diferentes naturezas.

Nesse estudo apresentamos uma possibilidade de integração de métodos qualitativos e quantitativos e, do ponto de vista metodológico, explicitamos procedimentos de diferentes naturezas que se integraram, sempre com objetivo principal de estabelecer parâmetros confiáveis, fidedignos e coerentes para responder às questões levantadas. A partir de diferentes análises, identificamos fatores que influenciaram a aprendizagem de estudantes de séries distintas do ensino médio submetidos a uma intervenção educacional. Ressaltamos que seu caráter foi exploratório e, como consequência, os procedimentos, assim como os resultados, precisam ser avaliados com cautela. Ainda que do ponto de vista exploratório, nosso estudo aponta delineamentos e parâmetros a serem utilizados como ponto de partida para aprimorar os critérios e os próprios procedimentos, além de seus resultados levantarem possibilidades para outros desenhos de pesquisa.

Agradecimentos

Agradecemos a importante contribuição e orientação do Dr. Oto Borges, ao apoio do CNPq e aos avaliadores, cujas valiosas apreciações nos ajudaram a melhor explicitar o trabalho realizado.

Referências

- ADAMS, R. J. Reliability as a measurement design effect. **Studies in Educational Evaluation**, v. 31, p. 162-172, 2005.
- ANDRICH, D. A rating formulation for ordered response categories. **Psychometrika**, v. 43, p. 561-573, 1978.
- AMANTES, A. Contextualização no ensino de Física: feito sobre a evolução do entendimento dos estudantes. Tese de doutorado, UFMG, 2009, 275p.
- AMANTES, A.; BORGES, O. Identificando fatores que influenciam a aprendizagem a partir da análise do contexto de ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 2: p. 273-296, ago. 2011.
- AMANTES, A.; Gomes, E. A construção e o uso de sistemas de categorias para avaliar o entendimento dos estudantes. **Revista Ensaio**, v.14 , n. 02, p. 61-79, maio-ago, 2012.
- AMANTES, Amanda; BORGES, Oto. **Analisando o entendimento sobre sistema de referência e movimento relativo a partir de um modelo cognitivo estrutural**. In. : ENCONTRO DE PESQUISA E ENSINO DE FÍSICA, 9, 2004, Jaboticatubas, MG. Anais... Jaboticatubas, MG: [s.n.], 2004.
- BIGGS, J.; COLLIS, K. **Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy**. New York: Academic Press, 1982.
- BIGGS, J.; COLLIS, K. Multimodal Learning and the quality of intelligent behavior. In: ROWE, Helga A. H. (Ed.). **Intelligence: reconceptualization and measurement**. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1991. Cap. 5, p.57-76.
- BORGES, A. T.; BORGES, O. **INOVAR – Currículos: Desenvolvendo o Pensar e o Pensamento Científicos**. Projeto Integrado de Pesquisas, Apresentado ao Cnpq, Julho De 2001. (Mimeo.)
- BOND, T. G.; FOX, C. M. **Applying the Rasch model: fundamental measurement in the human sciences**. Mahwah, NJ: Erlbaum, 2007.
- BORGES, Oto; JULIO, Josimeire; COELHO, Geide. **Efeitos de um ambiente de aprendizagem sobre o engajamento comportamental, o engajamento cognitivo e sobre a aprendizagem**. In: Encontro De Pesquisa Em Educação Em Ciências, 5, 2005, Bauru. Anais... Bauru: Associação Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2005.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio**. Brasília: MEC, 1999.
- BRASIL, LDB. Lei 9394/96- Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Disponível em <www.planalto.gov.br >Acesso em : 25 de Jun de 2008.

- BRUNER, J. **The process of education**, Cambridge, Mass.: Harvard University press. 97p. 1960.
- CHATTERJI, M. Evidence on “What Works”: An Argument for Extended-Term Mixed-Method (ETMM) Evaluation Designs. **Educational Researcher**, Vol. 33, No. 9, Dez 2004 p. 3–13.
- COELHO, G.R. **A evolução do entendimento dos estudantes em eletricidade: um estudo longitudinal**. 2011, 173p. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- COELHO, G. R.; BORGES, O.. O Entendimento dos estudantes sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n. 1, p. 63-87, abr. 2010.
- COELHO, G. R.; BORGES, O. . A evolução dos modelos sobre a natureza da luz em um currículo recursivo. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2008, Florianópolis. **Anais...** Belo Horizonte : FAE\UFMG, 2008. v. Único. p. 1-14.
- DAWSON, T. L.; STEIN, Z. Cycles of research and application in education: Learning pathways for energy concepts. **Mind, Brain and Education**, v. 2, n. 2, 2008. p. 90-103.
- DAWSON, T. L.; WILSON, M. The LAAS: A computerized developmental scoring system for small- and large scale assessments. **Educational Assessment** 9, 2004, p.153-191.
- DAWSON, T. L. Stage-like patterns in the development of conceptions of energy. In X. Liu & W. Boone (Eds.), **Applications of Rasch measurement in science education**. Maple Grove, MN: JAM Press, 2006 p. 11-136.
- FISCHER, K.; STEWART, J.; STEIN, Z. Process and skill: Analyzing dynamic structures of growth. In F. Riffert, H. Sander (Eds.), **Researching with Whitehead: System and adventure**. Munich, DE: Karl Alber. 2008, p. 327-367.
- FISCHER, K.; BIDELELL, T. R. Dynamic development of action, thought, and emotion. In: DAMON, W.; LERNER, R. M. (Ed.s). **Theoretical models of human development**. Handbook of child psychology. 6 ed. New York: Wiley, 2006. v.1, p. 313-399.
- FISCHER, K. W. A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills. **Psychological Review**, v. 87, 1980. p.477–531.
- GOMES, C. **Estrutura fatorial da Bateria de Fatores Cognitivos de Alta-Ordem (BaFaCalo)**. *Aval. psicol.*, Dez 2010, vol.9, no.3, p.449-459. ISSN 1677-0471
- GORARD, S. Can we overcome the methodological schism? Four models for combining qualitative and quantitative evidence. **Research Papers in Education**, v.17, n.4, 2002, p.345-361.
- GUGERELL, S. H.; RIFFERT, F. On Defining “Wisdom”: Baltes, Ardelt, Ryan, and Whitehead. **Interchange**, Vol. 42/3, 2011, p.225–259.
- MARCZYK, G.; DEMATTEO, D.; FESTINGER, D. **Essentials of Research Design and Methodology**, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005, 305p.
- MEAD, R. A Rasch Primer: The measurement theory of Georg Rasch. **Psychometrics services research memorandum**. Maple Grove, Data Recognition Corporation, 2008.

- MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, mar., 2002.
- PANIZZON, D. Using a cognitive structural model to provide new insights into students' understandings of diffusion. **International Journal of Science Education**, Amsterdam, v. 25, n. 12, p. 1427-1450, 2003.
- PARZIALLE, J.; FISCHER, K. The practical use of skill theory in Classrooms. In: STERNBERG, R.J.; WILLIAMS W. M. (Ed.) **Intelligence, Instruction, and Assessment: theory into practice**. Mahwah, New Jersey. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, London, 1998, cap.5 p.95-110.
- PERKINS, D. Teaching for Understanding. **The Professional Journal of the American Federation of Teachers**. v.17 n3, p. 8-28, 1993.
- POLANYI, M. **The Tacit Dimension**. Gloucester (Mass): Peter Smith, 1983. 108p.
- RAPPOLT-SCHLICHTMANN, G. Transient and Robust Knowledge: contextual support and the dynamics of children's reasoning about density. **Mind, Brain, and Education**. v. 1, n. 2, June 2007, p. 98-108.
- RASCH, G. **Probabilistic models for some intelligence and attainment tests**. (Copenhagen, Danish Institute for Educational Research), 1960, expanded edition (1980) with foreword and afterword by B.D. Wright. Chicago: The University of Chicago Press.
- SAGLAM-ARSLAN, A. Cross-Grade Comparison of Students' Understanding of Energy Concepts. **Journal of Science Educational and Technology**, [Netherlands], n. 19, 2010, p. 303 – 313.
- SHAFFER, D. W.; SERLIN R. C. What Good are Statistics That don't Generalize? **Educational Researcher**, University of Wisconsin, Madison, v.9, n.33 dec. 2004, p. 14-25.
- SINGER, J. D.; WILLETT, J. B. **Applied Longitudinal Data Analysis: Modeling Change and Event Occurrence**. Nova York: Oxford University Press, 2003. 644p.
- VAZ, A.; BORGES, O.; BORGES, T.; COELHO, G. As percepções dos estudantes sobre a organização em espiral do currículo de Física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, XVII, 2007, São Luis, MA. **Anais...**
- Wu, M. L.; Adams, R. J.; Wilson, M. R.; Haldane, S. **ConQuest** (Version 2.0) [Computer Software]. Camberwell, Australia: ACER. 2007.
- YAN, Z. **Dynamic Analysis of Microdevelopment in Learning a Computer Program**. 2000, 171p. Tese (Doutorado em Educação), Graduate School of Education of Harvard University, United States, 2000.

Submetido em agosto de 2012, aceito em fevereiro de 2013.