

## DESEMPENHO CONCEITUAL DE ALUNOS DO MÉTODO DE ENGAJAMENTO INTERATIVO DO CURSO DE FÍSICA I DA UFJF

Julie Remold<sup>a</sup> [remold@stanfordalumni.org]  
José Acacio de Barros<sup>b</sup> [acacio@fisica.ufjf.br]  
Francisléia Vieira Vidal<sup>b</sup> [francisleia2004@yahoo.com.br]  
Nilséia Aparecida Barbosa<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Filosofia e Ciências Sociais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ

<sup>b</sup> Departamento de Física, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG

### RESUMO

Em 2001 iniciamos uma experiência com métodos de engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. Nosso método foi, após uma turma piloto, aplicado em todas as turmas de Física I da UFJF. Neste trabalho, analisamos o desempenho conceitual dos alunos medido pelo *Force Concept Inventory* (FCI), e mostramos que nosso método de engajamento interativo supera com alta significatividade estatística métodos tradicionais de aulas puramente expositivas.

### 1. INTRODUÇÃO

O curso de Física I da UFJF tinha, no início de 2001, taxas de reprovação que chegavam a 80% dos alunos inscritos. Dados recolhidos em 1995 utilizando o *Force Concept Inventory* (FCI) também mostraram que o aprendizado de conceitos fundamentais em mecânica eram muito baixo (de Barros e de Mello 1995) e que, na média, até mesmo os alunos aprovados não tinham uma visão de mundo newtoniana. No segundo semestre de 2001, um dos autores deste trabalho iniciou o uso de métodos de engajamento interativo na UFJF em turmas de Física I do curso de Física. Nosso objetivo inicial era reduzir o número altíssimo de reprovações de nosso curso de Física I, que chegava a 80% de toda a turma. Ao mesmo tempo, queríamos melhorar a compreensão conceitual de nossos alunos, uma vez que nossos resultados de 1995 mostraram que a maior parte de nossos alunos aprovados em Física I não pensavam newtonianamente.

Métodos de engajamento interativo são amplamente descritos na literatura e existem várias maneiras de implementar tais métodos em sala de aula. Em nosso método, utilizamos atividades em grupo e instrução por pares, aliado a atividades metacognitivas (detalhes de nosso método pode ser encontrados em (de Barros, Remold et al. 2004)). Devido ao sucesso de nosso método, comparado às aulas tradicionais puramente expositivas, o Departamento de Física decidiu estendê-lo a todas as turmas da disciplina Física I.

Desde 2001 aplicamos em nossas turmas de engajamento interativo o *Force Concept Inventory* (FCI) de Hestenes, Wells e Swackhamer (Hestenes, Swackhammer et al. 1992). O FCI é um teste de múltipla escolha elaborado de tal forma que suas questões tenham, além da resposta newtoniana correta, distratores que incluam os preconceitos mais comuns mapeados pela pesquisa em ensino de física. Desta forma, o FCI seria uma ferramenta útil para medir a visão de mundo newtoniana de um aluno. Além disso, o FCI é amplamente utilizado na literatura de pesquisa em ensino de física, o que o torna um bom instrumento de comparação (Piekarz, Serbena et al. 2003; Hake 1998).

Neste trabalho, fizemos uma análise quantitativa detalhada dos dados obtidos do FCI para as turmas de engajamento interativo de 2001, 2002 e 2003, e comparamos o desempenho destas

turmas com turmas que utilizaram métodos tradicionais a partir de dados que coletamos em 1995 (para uma análise qualitativa, veja (Remold, de Barros et al. 2004)). Para as turmas analisadas, o FCI foi aplicado no início do semestre e depois novamente aplicado no final do semestre (pré- e pós-teste, respectivamente), obtendo dados em mais de 300 alunos. Usando modelos generalizados de regressão linear, verificamos que alunos em nosso curso de engajamento interativo têm desempenho significativamente melhor do que o aluno em métodos tradicionais.

Organizamos este trabalho da seguinte forma. Na seção 2 descreveremos nosso método de engajamento interativo. Na seção 3 discutiremos o uso do FCI como instrumento de avaliação de métodos de ensino. Finalmente, na seção 3 apresentaremos nossos modelos estatísticos e nossos principais resultados.

## 2. ENGAJAMENTO INTERATIVO NA FÍSICA I

Na disciplina de Física I a turma se reunia em duas seções de 2 horas por semana, num total de 4 horas semanais. Em nosso método, cada aula de 2 horas foram divididas em duas partes iguais. Na primeira hora o professor lecionava uma aula expositiva e na segunda hora os alunos se reuniam em grupos de 3 a 5 pessoas e trabalhavam em atividades relacionadas à aula expositiva. A aula expositiva incluía componentes que promoviam a participação ativa e a reflexão por parte dos estudantes. Nas atividades em grupo, os conceitos foram trabalhados e os alunos praticaram a expressão verbal de idéias científicas.

Nas aulas expositivas o engajamento interativo foi fomentado por duas técnicas: as Instrução por Pares (IP) e os Mini-relatórios (MR). A técnica de IP foi introduzido em física por Eric Mazur (Mazur 1997). Na IP um Teste Conceitual é apresentado aos alunos após 15 a 20 minutos de aula. O professor instrui a turma a votar em uma das respostas apresentadas no quadro. A votação permite ao professor avaliar instantaneamente a compreensão do assunto exposto pela turma (que não se reflete na nota do aluno). Após a votação, se a maioria dos alunos escolhe o item correto, isso indica uma boa compreensão da turma. Se a maioria escolhe uma resposta incorreta, o professor discute novamente o assunto e um novo Teste Conceitual pode ser apresentado ao final da nova explicação. Frequentemente, somente cerca de metade da turma responde a opção correta. Nestes casos a interação entre os estudantes torna-se importante, pois o professor instrui os alunos a convencerem um colega de que sua resposta é a correta. Após a discussão, a questão é votada novamente, e em geral o número de respostas corretas aumenta dramaticamente, mostrando que estudantes podem se engajar eficientemente em instrução por pares.

Uma parte importante da participação ativa no processo de aprendizado é a auto-avaliação. Utilizamos Mini-Relatórios (MR) para desenvolver estas habilidades metacognitivas (Blakey and Spence 1990; Livingston 2003). Os MR foram criados para ajudar a reflexão, pelos estudantes, sobre seu aprendizado, e consistem de um pequeno ensaio de um parágrafo, feito em cinco minutos durante a aula, em resposta às perguntas: "qual foi o ponto principal da aula até agora?" e "o que ainda está não está claro para você nessa aula?" Ao pedir aos alunos que reflitam sobre o que estão aprendendo, estas atividades estimulam habilidades cognitivas superiores, incluindo planejamento e reavaliação de estratégias de aprendizado. Vários estudos mostram que estudantes que refletem sobre seu processo de aprendizado têm maior sucesso em alcançar seus próprios objetivos educacionais. Além disso, os MR também permitem uma avaliação das dificuldades que os alunos sentem, pois em pouco tempo o professor pode analisa-los.

Desejávamos também que estudantes interagissem uns com os outros de tal forma a participarem das discussões e questionamentos científicos, solidificando e esclarecendo suas idéias e conceitos. Atividades em grupo são uma maneira extremamente eficiente de engajar ativamente os alunos. Em nosso método, a segunda metade das duas aulas semanais foi devotada a atividades em grupo. Para isso, a turma foi dividida em grupos de 3 a 4 pessoas. Durante as atividades, cada grupo trabalhou com um quadro branco, cujo principal objetivo era facilitar a comunicação entre os membros do grupo (Wells and Hestenes 1995). Nas atividades em grupo tentamos imitar a mesma dinâmica dialética da atividade científica, onde caberia ao próprio grupo - uma versão reduzida de uma comunidade de prática científica - gerar o conhecimento necessário para a solução de um problema. Estudantes tiveram que trabalhar para expressar suas idéias e praticar o uso de conceitos como instrumentos de comunicação. Para acelerar o processo de construção de conhecimento pelo grupo e imitar a comunidade de prática de físicos, optamos por adotar regras de comportamento para cada um dos membros do grupo, com estas regras sendo revezadas entre os membros a cada aula. Cada grupo tinha a seguinte composição: um líder, um anotador e um cético (Heller and Heller 1999).

As atividades de grupo foram constantemente monitoradas pelo professor e pelos monitores. Os monitores foram instruídos pelo professor a interferirem minimamente na atividade, nunca somente respondendo a perguntas feitas pelos alunos, e sempre se dirigindo ao grupo como um todo. O objetivo desse comportamento foi estimular o aprendizado por pares e a se concentração no processo de solução do problema, ao invés da obtenção da resposta correta.

Estudantes frequentemente pensam sobre o conteúdo de Física I como algo fora de um contexto. Isto é demonstrado pelo fato de que uma parcela significativa dos estudantes assimila o conteúdo sem reconsiderar o impacto deste conteúdo em suas visões de mundo. Para as atividades em grupo utilizamos as atividades dos Tutoriais em Física Introdutória (*Tutorials in Introductory Physics*), elaboradas pelo grupo de pesquisa em ensino de física da Universidade de Washington, para abordar os pré-conceitos mais comuns. Tipicamente, um tutorial apresenta uma sequência de questões que levariam o grupo a confrontar questões conceituais, muitas vezes seguindo uma dinâmica similar a um diálogo socrático. Devemos enfatizar que nosso uso dos tutorias é completamente diferente do uso feito pelo grupo da Universidade de Washington. Na Universidade de Washington o número de seções com os tutorias é muito menor, e conseqüentemente não é possível deixar que os alunos tenham um diálogo tão independente quanto em nosso curso. Além disso, na Universidade de Washington os tutorias são precedidos de um pré-teste, que por vários motivos começou a ser implementado em nosso método somente no início de 2004, e portanto suas conseqüências não são refletidas nos dados analisados abaixo.

As listas de exercícios continham problemas das listas dos Tutoriais em Física Introdutória e problemas contextualmente ricos. Problemas contextualmente ricos introduzem situações complexas reais em que o aluno utiliza a física que aprendeu. Neste tipo de problema, através a introdução de contextos onde conceitos físicos são utilizados sem as simplificações estéreis de problemas de fim de capítulo de livro texto, o desafio consiste tanto em descobrir os conceitos que úteis quanto em aplicar habilidades de solução de problemas.

Um fator que consideramos importante em nosso método foi o processo de avaliação. O processo de avaliação escolhido influencia o que os alunos aprendem. Se escolhemos numa disciplina um processo de avaliação que exija somente a solução de problemas padrões, não podemos esperar nenhuma outra habilidade que exceda a solução deste tipo de problemas. Portanto, se os objetivos educacionais vão além da simples solução de problemas estéreis e fora do contexto, a avaliação deve refleti-los.

Utilizamos um sistema de avaliação continuada que envolveu tanto avaliações em sala de aula quanto avaliações fora de sala de aula. Quando nos referimos a avaliação, não estamos nos referindo somente a notas, mas também ao processo de fornecer ao estudante e ao professor informação sobre a compreensão do assunto pela turma. Por exemplo, os Testes Conceituais são uma forma de avaliação, sem que contudo notas tenham sido atribuídas a eles. Nosso processo de avaliação foi continuado e além dos Testes Conceituais e das listas, também avaliamos as atividades em grupo e tivemos 3 provas por semestre que continham questões conceituais similares aos Tutoriais em Física Introdutória e questões contextualmente ricas.

### 3. O INVENTÁRIO DE CONCEITOS DE FORÇA

Nesta seção descreveremos o *Force Concept Inventory* (Inventário de Conceitos de Força, FCI). O FCI foi criado por Hestenes, Wells e Swackhammer em 1992 para avaliar a visão newtoniana de mundo dos estudantes de física (Hestenes, Swackhammer et al. 1992). O FCI consiste de 30 questões de múltipla escolha que relatam situações que podem ser entendidas utilizando-se somente nossas intuições newtonianas. Cada questão tem, além da resposta newtoniana correta, um distrator não-newtoniana. Os distratores são oriundos da ampla pesquisa existente em conceitos espontâneos em mecânica (para um estudo de conceitos espontâneos para o caso de alunos brasileiros, veja (Villani 1989)).

Dentre as 30 questões do FCI, Hestenes, Wells e Swackhammer identificaram seis grupos de questões que correspondiam a conceitos newtonianos testados:

- Primeira Lei de Newton;
- Segunda Lei de Newton;
- Terceira Lei de Newton;
- Tipos de Força.;
- Superposição de Forças;
- Cinemática;

Para verificar a validade do FCI, Hestenes et al. fizeram entrevistas com alunos que fizeram o teste. Destas entrevistas, concluíram que alunos com nota baixa no FCI de fato não pensavam newtonianamente, ao passo que alunos que tivessem nota superior a 85% no FCI apresentavam um pensamento newtoniano robusto. Além das entrevistas, os seis aglomerados de questões representando os conceitos newtonianos foram validados com dados de mais de 20 mil alunos através do cálculo dos coeficientes alfa de Cronbach. Os alfas de Cronbach para estes aglomerados se situaram todos acima de 0,8 para alunos com bom desempenho no teste e 0,7 para alunos com mau desempenho no teste. Isto mostra que o FCI de fato divide os conceitos newtonianos de forma confiável.

Notemos que para cada conceito newtoniano, podemos associar um conceito não-newtoniano correspondente (por exemplo, o conceito de impetus e primeira lei). Em uma análise estatística, Huffman e Heller (Huffman and Heller 1995) argumentaram que a aglomeração das respostas era aleatória e que a divisão em seis conceitos não fazia sentido, uma vez que só encontraram três grupos independentes. Em resposta às críticas de Huffman e Heller, Hestenes e colaboradores mostraram que o FCI é um bom instrumento para medir conceitos newtonianos, mas não é um bom instrumento para se medir os conceitos espontâneos, ao menos em se tratando de

medir estes conceitos em termos de uma divisão por aglomerados, como a de 1 a 6 apresentada acima.

Apesar da polêmica sobre o número de aglomerados do FCI, não existem questionamentos amplamente aceitos sobre a validade do teste para medir o nível de pensamento newtoniano do aluno. Por este motivo, o FCI é amplamente utilizado para avaliar a eficácia dos métodos de instrução e, por isto, torna-se instrumento útil para a comparação de diferentes métodos de ensino de mecânica básica.

A metodologia mais comum para o uso do FCI como instrumento de avaliação de método de instrução é a aplicação do teste antes do início da instrução (por exemplo, no primeiro dia de aulas) e aplicá-lo de novo no final da instrução (por exemplo, na aula anterior à última prova).

Para se avaliar a eficiência da instrução, podemos calcular o ganho  $g$ , definido como sendo a diferença entre a nota no pós-teste e a nota no pré-teste:

$$g = notapos - notapre,$$

onde chamamos *notapos* a variável representando a % de acertos no teste pós-instrução, e *notapre* a % no teste pré-instrução.

Hake 1998, em seu trabalho de análise de dados do FCI com mais de seis mil estudantes, verificou que os gráficos de  $g$  como função de *notapre* definiam regiões distintas para métodos com engajamento interativo e métodos tradicionais de ensino. Os resultados levaram Hake a definir um *ganho normalizado*, denotado  $G$ , definido como

$$G = g/(100 - notapre).$$

O uso do ganho normalizado traz grandes vantagens. Primeiro, notemos que  $G$  é uma variável sempre menor que 1, sendo 1 o caso excepcional de uma instrução em que o aluno termina sua instrução com uma taxa de acerto de 100% no FCI, e portanto termina com um pensamento robustamente newtoniano. Além disso, Hake mostrou que cursos utilizando métodos tradicionais têm seu ganho aproximado de 0,2 (em nenhum caso ultrapassando 0,4), ao passo que métodos de engajamento interativo tem como média dos ganhos 0,4.

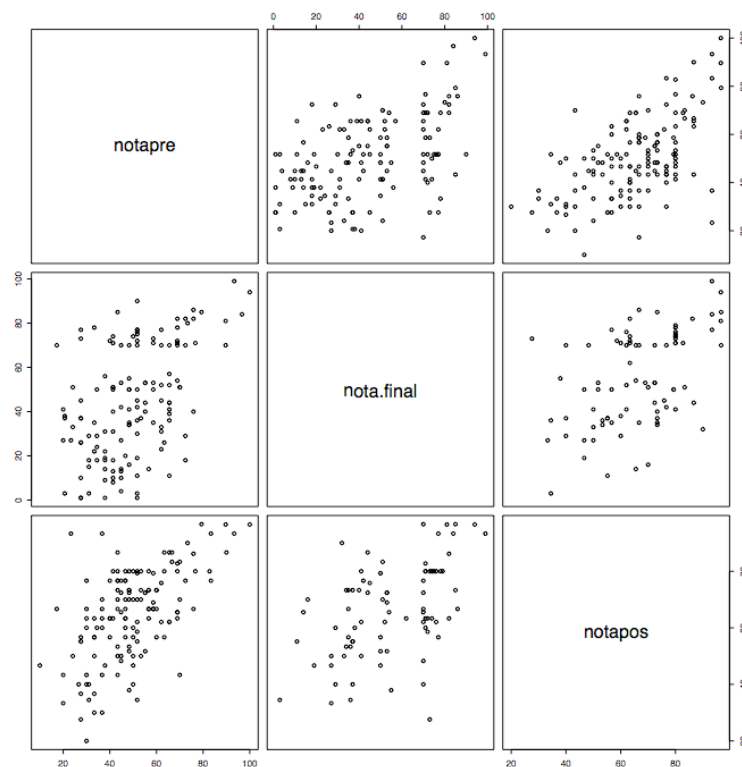
#### 4. ANÁLISE DOS DADOS

Nesta seção apresentaremos nossos principais resultados das análises estatísticas efetuadas em nossos dados do FCI. Nossos dados foram analisados com o pacote estatístico R (R-Team 2004), uma versão *open source* do S.

Como vimos, o FCI foi ministrado para alunos de Física I antes e depois da instrução. Chamaremos a percentagem de acertos de um aluno no pré-teste como sua *notapre* e a percentagem de acertos no pós-teste como sua *notapos*. O Figura 1 mostra a relação, para todos os nossos dados

entre a *notapos* e a *notapre*, assim como a *nota.final* do aluno (nota dada ao aluno no final do curso). A Figura 1 sugere uma relação linear entre *notapos* e *notapre*. A relação entre a *notapos* e a nota final do aluno no curso parece aleatória. Isto deve-se ao fato de que o FCI mede somente a visão newtoniana do aluno, e não sua capacidade de resolver problemas. Como em nossas provas incluímos questões conceitualmente ricas, um pensamento newtoniano não seria suficiente para garantir um bom desempenho no curso. Contudo, uma análise mais detalhada do gráfico também mostra uma distribuição de variâncias dependente de *notapre*, com variância menor para maiores valores de *notapre*, ou seja, os dados possuem heterocedasticidade.

**Figura 1.** Gráfico dos dados entre a nota no pré-teste, a nota no pós-teste e a nota final no curso.



Antes de analisarmos os dados face a um modelo linear generalizado que considere a heterocedasticidade, é interessante fazermos uma análise dos ganhos obtidos em função do método de ensino. Portanto, o ganho normalizado  $G$  parece ser um bom ponto de partida para a análise comparativa entre o desempenho conceitual de diferentes métodos. Na tabela abaixo, mostramos os dados de  $G$  para os diferentes anos em que coletamos dados do FCI.

**Tabela 1. Ganho normalizado por ano.**

Ano	Ganho normalizado <i>G</i>
<b>Métodos Tradicionais</b>	
1995	0,19
<b>Engajamento interativo</b>	
2001	0,32
2002	0,31
2003	0,35

Os dados acima mostram claramente uma melhora significativa no ganho com o uso de nosso método de engajamento interativo em relação ao ganho em métodos tradicionais de aulas expositivas utilizados em 1995. Por outro lado, os ganhos obtidos em 2001, 2002 e 2003 ainda estão aquém dos resultados relatados por Hake. Devemos lembrar, contudo, que em 2001 e 2002 tivemos efeitos muito negativos de uma greve longa dos professores, interrompendo o semestre e prejudicando significativamente a instrução. Em 2003 notamos uma melhora apreciável em relação a 2001 e 2002, melhora esta que torna-se ainda mais significativa se lembrarmos, como foi dito na introdução, que em 2003 estendemos o método para todas as turmas de Física I.

Outra informação interessante que podemos obter do ganho é se separarmos os resultados do FCI em conceitos verificados pelas diferentes questões do teste. Como mencionamos acima, o FCI tem seis aglomerados principais de conceitos: 1) primeira lei de Newton, 2) segunda lei de Newton, 3) terceira Lei de Newton, 4) tipos de força, 5) superposição de forças e 6) cinemática. Os ganhos normalizados para cada conceito no FCI estão na Tabela 2.

**Tabela 2. Ganho normalizado por ano para cada grupo de conceito no FCI.**

Ano	1ª Lei de Newton	2ª Lei de Newton	3ª Lei de Newton	Tipos de Força	Superposição de Forças	Cinemática
<b>Métodos Tradicionais</b>						
1995	0,22	0,16	0,04	0,18	0,13	0,00
<b>Engajamento Interativo</b>						
2001	-0,02	0,20	0,82	0,08	-0,08	0,87
2002	0,35	-0,24	0,69	0,34	0,34	0,67
2003	0,35	0,10	0,55	0,29	0,29	0,69

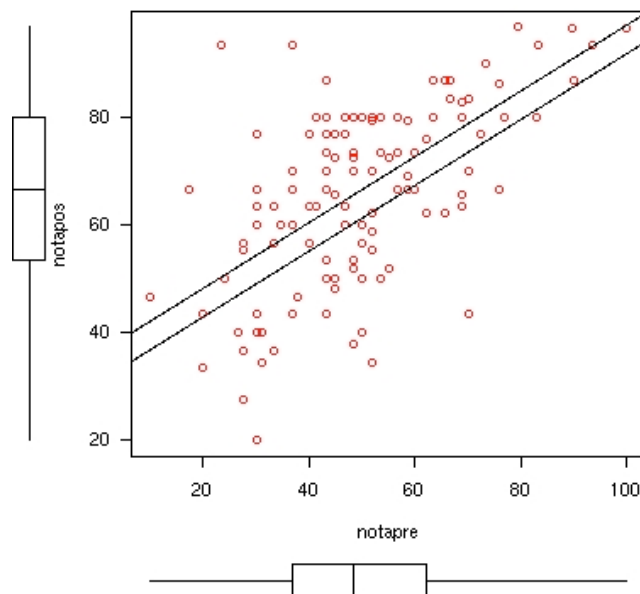
Podemos notar que nosso método de engajamento interativo teve, desde início, um desempenho muito bom nos ganhos conceituais envolvendo questões de cinemática e terceira lei de Newton. Na turma piloto de 2001, tivemos mau desempenho na primeira lei de Newton e no entendimento de superposição de forças. A primeira lei de Newton foi um tópico que teve que ser interrompido em 2001 devido à greve de docentes da UFJF, e por isso teve sua instrução prejudicada. Da mesma forma, devido à greve o número total de aulas foi reduzido, e com isto tivemos que dedicar também menos tempo ao estudo de vetores, necessário para a compreensão de superposições de forças. Contudo, podemos ver que os problemas em 2001 foram corrigidos até a versão mais recente de 2003 (primeiro semestre sem greves ou efeitos negativos de uma greve). Uma análise de 2003 mostra também que existem conceitos que ainda precisam ser trabalhados de maneira mais eficiente em nosso curso, a destacar a segunda lei de Newton, tipos de força e a superposição de forças.

É interessante analisarmos com mais detalhes as relações entre nosso método de engajamento interativo e os métodos tradicionais utilizados na UFJF. Como vimos acima, os dados sugerem uma relação linear entre *notapos* e *notapre*. Se criarmos uma variável binária  $\mu$  que assume valores 1 quando temos nosso método de engajamento interativo e 0 quando temos métodos de ensino tradicionais, podemos tentar uma ajuste de um modelo linear generalizado da forma

$$notapos = \beta_0 + \beta_1 notapre + \beta_2 \mu .$$

A interpretação da equação acima é simples, resultando em duas retas paralelas com coeficientes lineares diferentes dependendo do método e, obviamente, coeficientes angulares iguais. No método tradicional, o coeficiente linear é  $\beta_0$ , ao passo que no método de engajamento interativo o coeficiente linear será  $\beta_0 + \beta_2$ . Lembremos que o coeficiente linear mede uma hipotética *notapos* quando a *notapre* for zero. Neste modelo linear, utilizando mínimos quadrados e o método de variáveis dicotômicas mencionado, assumimos uma taxa de variação de *notapos* como função da *notapre* igual para ambos os métodos.

**Figura 2. Melhores regressões lineares para a relação entre notapos e notapre com método de ensino como um variavel dicotomico. A reta de cima representa o método de engajamento interativo, ao passo que a reta de baixa o método tradicional. Juntos aos eixos podemos ver os a mediana e os quartis**



Para encontrarmos os coeficientes lineares e angulares de nosso modelo linear, podemos utilizar um método de regressão linear baseado no método dos mínimos quadrados. Contudo, uma hipótese básica da regressão linear não é satisfeita por nossos dados: a variância depende da variável independente *notapre*, um problema conhecido como heterocedasticidade. A heterocedasticidade de nossos dados mostra uma redução da variância para valores maiores de *notapre*. Para resolver o problema de ajuste linear, utilizamos um método de regressão linear baseado em um método dos mínimos quadrados generalizado, onde o peso do coeficiente de mínimos quadrados varia com  $preteste^2$ . A escolha do quadrado do *preteste* se relaciona à diminuição exponencial da variância.

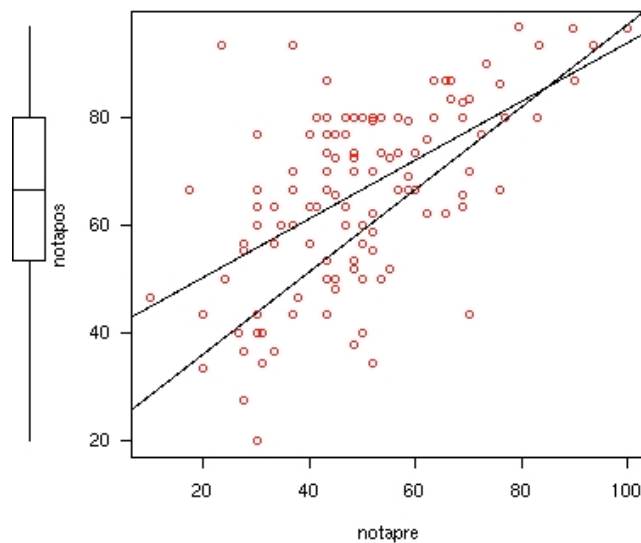


O modelo de regressão linear acima apresenta os seguintes resultados:  $\beta_0 = 31,5$ ,  $\beta_1 = 0,61$ ;  $\beta_2 = 5,0$ , com significância estatística sempre inferior a 0,04 e com  $p\text{-value} = 3.799e-16$  que nos diz que a hipótese nula para o modelo tem probabilidade desprezível. Além disso, o R-quadrado ajustado para o tamanho da amostra nos diz que 44% da *notapos* é estatisticamente determinada pela *notapre* e por  $\mu$ , as variáveis independentes. A Figura 2 abaixo mostra a fitagem dos dados para o método de engajamento interativo e para o método tradicional.

Uma comparação interessante é quando assumimos que as retas que melhor se ajustam aos dados do método de engajamento interativo e do método tradicional não são necessariamente paralelas, como no modelo acima. Se isto for o caso, podemos ajustar um método de regressão linear do tipo para cada um dos dados correspondendo ao método de engajamento interativo e ao método tradicional. Os resultados de nosso ajuste linear são apresentados na Tabela 3 e na Figura 3.

$$\text{notapos} = \beta_0 + \beta_1 \text{notapre},$$

**Figura 3. *notapos* como função de *notapre*. As linhas retas mostram os modelos lineares que melhor se ajustam aos dados, quando estes são divididos em engajamento interativo e método tradicional. A linha de menor curvatura mostra o modelo ajustado ao método de engajamento interativo, ao passo**



**que a linha de maior curvatura mostra o modelo tradicional.**

**Tabela 3. Valores de ajuste linear por mínimos quadrados generalizado para nosso método de engajamento interativo e para métodos tradicionais. O R-quadrado apresentado é normalizado levando-se em conta o tamanho da amostra.**

Método	$\beta_0$	$\beta_1$	$p\text{-value}$	R-quadrado
Tradicional	20,5	0,79	6,59e-8	0,64
Engajamento	41,3	0,53	2,00e-10	0,36

Os resultados da Tabela 3 possibilitam uma comparação interessante entre os dois métodos. Primeiro, notemos que a hipótese nula ( $p$ -value) tem probabilidade desprezível para ambos os casos, mostrando que o ajuste linear se adequa bem para descrever os dois modelos. O coeficiente linear  $\beta_0$  é quase o dobro para nosso método de engajamento interativo do que para os métodos tradicionais, significando que um aluno que entre em nosso curso um pensamento menos newtoniano terá maior chance de terminar nosso curso pensando newtonianamente do que em um curso utilizando o método tradicional. O valor de  $\beta_1$  superior para o método tradicional reflete uma maior correlação entre a *notapos* e a *notapre*, o que pode ser verificado pelo R-quadrado.

O R-quadrado representa um resultado extremamente interessante, que pode ser interpretado da seguinte maneira: 64% do pensamento newtoniano do aluno ao final da instrução (*notapos*) é determinado pelo seu pensamento newtoniano no começo da instrução (*notapre*) para o caso de métodos tradicionais; para nosso método de engajamento interativo, somente 36% de seu pensamento newtoniano final é determinado pelo seu pensamento newtoniano inicial. O significado deste resultado é que a mudança de visão de mundo do aluno acontece de maneira mais dramática em nosso método de engajamento interativo, e depende muito menos de como era o estado inicial de sua visão de mundo. Claro, a falta de relação entre o estado final e o estado inicial por si só não seria conclusiva, pois temos que associá-la ao ganho, que é superior em nosso método de engajamento interativo em relação ao método tradicional.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho utilizamos o *Force Concept Inventory* (FCI) para avaliar o desempenho de nosso método de engajamento interativo utilizado no curso de Física I da UFJF. Nossa escolha do FCI se baseou em sua ampla utilização na literatura internacional de pesquisa em ensino de física, assim como sua confiabilidade e robustez estatística.

Os dados utilizados foram coletados antes e depois da instrução, nos anos de 1995 para métodos tradicionais de ensino e 2001, 2002 e 2003 para nosso método de engajamento interativo, compreendendo informação sobre mais de 300 estudantes. A análise estatística dos dados mostra um desempenho muito superior entre alunos do nosso método de engajamento interativo em comparação com os dos métodos tradicionais de aulas expositivas. Contudo, o ganho normalizado calculado mostra um resultado aquém do geralmente obtido para métodos de engajamento interativo, conforme relatado por Hake 1998.

Vários fatores podem contribuir para nosso ganho inferior no FCI, segundo a literatura internacional. Primeiro, nos anos de 2001 e 2002 a instrução foi severamente prejudicada pela greve docente das instituições federais de ensino superior. Em 2003, quando o calendário finalmente começou a se normalizar, iniciamos uma nova fase de nossa experiência, estendendo o método de engajamento interativo para todas as turmas de Física I, e não somente uma turma piloto. A adequação logística do método para várias turmas paralelas e diferentes professores certamente influenciou em sua aplicação, mas ainda assim obtivemos um ganho melhor em 2003 do que em semestres anteriores.

Nos modelos lineares generalizados que utilizamos para a análise dos dados, verificamos melhoras estatisticamente muito significativas entre nosso método de engajamento interativo e métodos tradicionais de ensino. Mais ainda, verificamos que em nosso método de engajamento interativo, além de um melhor desempenho no ganho normalizado, obtivemos uma menor relação estatística entre a visão de mundo inicial do estudante e sua visão de mundo final, mais newtoniana.

Isto nos permite concluir que métodos tradicionais trazem muito menos benefícios aos alunos menos preparados do que nosso método de engajamento interativo.

Finalmente, devemos enfatizar que estamos tentando aprimorar nosso método e que, obviamente, o FCI é uma maneira de medirmos a eficácia do método mas não é a única. Um efeito importante de nosso método de engajamento interativo que não é medido pelo FCI foi a redução dramática dos índices de reprovação, que aconteceu sem uma redução nas dificuldades das provas (de fato, estas ficaram mais difíceis, uma vez que incluíram problemas contextualmente ricos). Contudo, como nos concentramos somente no FCI neste artigo, análises de outros indicadores de eficácia do método ficarão para trabalhos posteriores.

Os resultados expostos acima mostram melhoras significativas utilizando-se nosso método de engajamento interativo. No futuro pretendemos modificar nosso método de tal forma a que possamos: 1) melhorar ainda mais o ganho no FCI; 2) diminuir a demanda de recursos humanos para o método. Entendemos que tornar o método menos dependente de recursos humanos (monitores e tempo de professores) é fundamental para que consigamos espalhar nosso método por mais cursos, com o por exemplo Física II.

## AGRADECIMENTOS

Julie Remold agradece ao CNPq pelo apoio financeiro. Os autores deste artigo agradem aos professores J. Luiz Matheus Valle, J. R. Tagliati, Emanuel Reis e Maria José Valenzuela Bell pela colaboração na coleta de dados do FCI. Agradecemos também a Glauco S. F. da Silva por sua ajuda na digitalização de parte dos dados utilizados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Blakey, E. and S. Spence (1990). Developing Metacognition. Syracuse, NY, ERIC Clearinghouse on Information Resources.
- de Barros, J. A. and L. A. R. de Mello (1995). Estudo do ganho no FCI para turmas de Física I da UFJF. Juiz de Fora, not published.
- de Barros, J. A., J. Remold, et al. (2004). "Engajamento Interativo no Curso de Física I da UFJF." Revista Brasileira de Ensino de Física **26**(1).
- Heller, P. and K. Heller (1999). Cooperative Group Problem Solving in Physics, University of Minnesota.
- Hestenes, D., Swackhammer, et al. (1992). "Force Concept Inventory." The Physics Teacher **30**: 140.
- Huffman, D. and P. Heller (1995). "What Does the Force Concept Inventory Actually Measures?" American Journal of Physics(33): 138.
- Livingston, J. A. (2003). Metacognition: An Overview. Syracuse, NY, ERIC Clearinghouse on Information Resources.
- Mazur, E. (1997). Peer Instruction: a users manual. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall.
- Piekarz, A. H., J. P. M. Serbena, et al. (2003). Adaptação e Validação de um Teste de Diagnóstico de Concepções Espontâneas em Mecânica. XV Simpósio Nacional de Ensino de Física, Curitiba, PR, Brazil.
- Remold, J., J. A. de Barros, et al. (2004). "Fomentando Comunidades de Prática num Curso de Física Introdutório." a aparecer.

Villani, A. (1989). "Idéias espontâneas e ensino de Física." Revista Brasileira de Ensino de Física **11**: 130.

Wells, M. and D. Hestenes (1995). "A modeling method for high school physics instruction." American Journal of Physics **63**: 606.

Team, R. D. C. (2004). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.