

## CONCEPÇÕES CONCEITUAIS EM TÓPICOS DE MECÂNICA DE ALUNOS DE GRADUAÇÃO

### CONCEPTUAL UNDESTANDING IN MECHANICS FROM UNDERGRADUTE STUDENTS

**Matheus Pinheiro Quibao<sup>1</sup>, Nicolý Soares de Almeida<sup>2</sup>, Angélica Carrilo Silva<sup>3</sup>, Rosanna Maria Araújo Andrade Silva<sup>4</sup>, Sérgio Ricardo Muniz<sup>5</sup>, Fernando Fernandes Paiva<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo/Instituto de Física de São Carlos, [matheus.quibao@usp.br](mailto:matheus.quibao@usp.br)

<sup>2</sup>Universidade de São Paulo/Instituto de Física de São Carlos, [nicoly.almeida@usp.br](mailto:nicoly.almeida@usp.br)

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo/Instituto de Física de São Carlos, [angelica.carrillo.silva@usp.br](mailto:angelica.carrillo.silva@usp.br)

<sup>4</sup>Universidade de São Paulo/Instituto de Física de São Carlos, [rosanna.silva@usp.br](mailto:rosanna.silva@usp.br)

<sup>5</sup>Universidade de São Paulo/Instituto de Física de São Carlos, [srmuniz@usp.br](mailto:srmuniz@usp.br)

<sup>6</sup>Universidade de São Paulo/Instituto de Física de São Carlos, [fernando.paiva@usp.br](mailto:fernando.paiva@usp.br)

#### Resumo

Proposto em 1992 por Hestenes, Wells e Swackhammer, o FCI (*Force Concept Inventory*) destina-se a analisar as concepções da Mecânica Newtoniana de alunos do Ensino Básico e Superior por meio de questões de múltipla escolha, elaboradas de maneira a confrontá-los com os ideais do senso comum de fenômenos físicos do cotidiano. Em diferentes oportunidades, o FCI foi aplicado por professores e pesquisadores preocupados com o aprendizado conceitual dos estudantes, podendo ser utilizado com diferentes finalidades, sendo elas Diagnóstica, Avaliativa e de Colocação. O presente trabalho apresenta o resultado da aplicação do FCI para alunos dos cursos de Bacharelado em Física, Bacharelado e Licenciatura em Matemática e Engenharias, oferecidos pelos institutos do *campus* de São Carlos da USP, e que se encontravam matriculados em disciplinas de Física Básica. A aplicação do questionário se deu em um momento em houve uma conscientização por parte do Instituto de Física de São Carlos (IFSC) em relação ao reconhecimento do papel fundamentalmente ativo a ser desempenhado pelos alunos durante o processo de aprendizagem, indo de encontro com as mais recentes pesquisas na área da Educação em Ciências. Com o intuito de quantificar o ganho conceitual em Mecânica dos estudantes a partir das mudanças metodológicas nas disciplinas oferecidas em 2017, duas aplicações do questionário foram feitas, ao início (Pré-Teste) e ao fim (Pós-Teste) do primeiro semestre letivo, e utilizando-nos de análises estatísticas, estudamos os resultados dentro das diferentes turmas e cursos de ingresso, comparando-os com os dados internacionais da aplicação do FCI. Pudemos confirmar que turmas envolvidas com metodologias ativas apresentam maior ganho conceitual ao fim do curso, resultados estes que concordam com o que é previsto na literatura.

**Palavras-chave:** FCI, Mecânica, Ensino de Física, Ensino Superior

## Abstract

Proposed in 1992 by Hestenes, Wells, and Swackhammer, the FCI (Force Concept Inventory) aims to analyse the concepts of Newtonian Mechanics of Elementary and High School students through multiple choice questions, designed to confront the ideas of the common sense of physical phenomena from everyday life. Used in different opportunities by professors and researchers concerned with students' conceptual learning, the FCI can be applied with different purposes, being Diagnostic, Evaluative and for Placement. The current work presents the results from the application of the FCI to students of the bachelor's degree in Physics, Mathematics and Engineering, offered by the institutes of the São Carlos *campus* of USP, and that were enrolled in Basic Physics courses. The application of the Inventory took place at a time in which the São Carlos Institute of Physics (IFSC) started to recognize the active role to be carried out by students during the learning process, in accordance with the latest research in the area of Science Education. The Inventory was applied twice in order to quantify the conceptual gain in Newtonian Mechanics of students enrolled in different methodologies, the first being at the beginning of the first half of 2017 (Pre-test) and the second one at the end (Post-test). By means of statistical analyses, we studied the results within the different admittance courses and classes, comparing them with the international and national results of the FCI application. We were able to confirm that students enrolled in courses with active methodologies present greater conceptual gain at the end of the semester, which is in accordance with the results predicted in the literature.

**Keywords:** FCI, Mechanics, Physics Teaching, Graduate Studies.

## Introdução

A preocupação com o aprendizado crítico e significativo dos alunos de graduação em Ciências, mais especificamente em Física, surgiu em meados da década de 80, a partir dos resultados de testes aplicados em turmas de Física Básica, que mostravam que os estudantes, apesar de bom desempenho nas disciplinas, tinham fortes ideias do senso comum enraizadas em suas mentes. Isso se contrapõe aos conceitos Newtonianos da Mecânica, fato este que afeta a performance dos mesmos ao longo dos anos nesta área de estudo (1,2). Nesse contexto, Hestenes, Wells e Sackhamer desenvolveram um teste denominado *Force Concept Inventory* (FCI) (3), que nas últimas décadas foi usado inúmeras vezes em diferentes instituições ao redor do mundo como uma maneira de medir o ganho conceitual de estudantes em Física Básica, mais especificamente para testar o entendimento da mecânica Newtoniana contra os conceitos do senso comum, priorizando as causas e consequências do movimento (4).

As aplicações do FCI no início e após a conclusão das disciplinas introdutórias de Física revelaram que, independentemente dos professores, o ganho conceitual dos alunos era pequeno ao finalizarem o curso (1). Isso deu início a um questionamento acerca das metodologias de ensino adotadas para essas disciplinas. Tradicionalmente, os cursos de exatas seguem o formato convencional de aulas expositivas, nas quais o aluno é mero espectador e não é forçado a avaliar os conceitos pré-constituídos por suas experiências pregressas. Com o surgimento de

novas propostas de estratégias de ensino, utilizando metodologias que alterassem o papel do aluno dentro de sala de aula para uma postura ativa e crítica (5,6), o FCI tornou-se uma importante ferramenta de avaliação. Com ele, tornou-se possível avaliar a eficácia das mudanças metodológicas implementadas nos cursos de graduação - em alguns casos também na Educação Básica – viabilizando a comparação dos resultados obtidos por alunos expostos às diferentes metodologias em diferentes instituições (7,8).

Os autores sugerem correlações das notas obtidas no teste com “limiares Newtonianos”, indicadores da maneira como o aluno interpreta os conceitos da mecânica, sugerindo que alunos que apresentam resultado de 60% no *FCI* se encontram no que o autor chama de “limiar de entrada” para o pensamento Newtoniano, ou seja, apenas começaram a fazer uso dos conceitos coerentemente em seu raciocínio. Para estudantes que obtêm resultado abaixo de 60%, os autores descrevem que há falhas em seu pensamento quanto a diferenciação de conceitos como velocidade e aceleração e equívocos quanto à origem do movimento e agentes de força em um objeto. Já para estudantes que apresentam resultado maior ou igual a 85% no teste são considerados, pelos autores, como *pensadores newtonianos*, tendo atingido o patamar chamado de “limiar de domínio” do pensamento Newtoniano (3).

Muito embora o questionário já tenha sido aplicado em inúmeras universidades de diversos países, sua utilização no Brasil ainda é incipiente e pontual. São poucos os relatos de aplicação do FCI em estudantes brasileiros e, principalmente, a quantidade de alunos avaliada representa um percentual muito baixo dos estudantes brasileiros, o que dificulta a análise de eventuais semelhanças ou diferenças com relação aos alunos de outros países.

Dessa maneira, o presente trabalho avaliou o ganho conceitual de alunos dos cursos iniciais de ciência, matemática e engenharias que cursaram disciplinas de formação em Física Básica ministrados utilizando metodologias de ensino convencional e ativas, respectivamente. Com isso, quantificou-se o limiar conceitual em que os alunos se encontravam no ingresso do curso, traçou-se seus perfis conceituais e, ao aplicar novamente no fim do semestre, observou-se o impacto que as aulas tiveram em seus respectivos perfis. Os resultados foram avaliados e comparados com os resultados nacionais e internacionais da literatura.

## **Materiais e Métodos**

O presente trabalho foi realizado no Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC/USP), em parceria com os professores responsáveis pelas disciplinas analisadas.

### ***Instrumento***

As concepções conceituais em Mecânica Newtoniana foram avaliadas utilizando o *FCI*. Foi utilizada a versão traduzida e validada em Português, disponibilizada pelos próprios proponentes do questionário através de um acordo de manutenção de confidencialidade com o professor responsável pelo presente estudo.

O mesmo é composto por 30 questões de múltipla escolha que deve ser respondido em um período de 20 a 30 minutos.

### ***Sujeitos***

Os questionários foram aplicados aos alunos ingressantes dos cursos de graduação do campus de São Carlos da Universidade de São Carlos (USP), matriculados na disciplina de Física I, oferecido pelo IFSC/USP. Participaram do estudo um total de 599 alunos de 13 turmas introdutórias de Física. As turmas foram classificadas como TRADICIONAL (T) para aquelas que não participaram da nova estruturação dos cursos e INTEGRADA (INT) para as turmas que fazem parte do novo programa para as disciplinas de Física Básica. Os cursos oferecidos para as turmas INT utilizaram, de maneira complementar, o método de instrução entre pares (6,9), com o enfoque particular em discussões em grupo (10), e sala de aula invertida (11), com apoio da plataforma e-Disciplinas ([www.edisciplinas.usp.br](http://www.edisciplinas.usp.br)) da USP. A avaliação nas turmas T foram baseadas em provas escritas, enquanto nas turmas INT, além das provas escritas, foram consideradas todas as demais atividades realizadas ao longo do curso para a avaliação final do aluno. Os cursos de ingresso dos alunos foram classificados como C-01 até C-13. Do total de alunos participantes, 4 foram desconsiderados da análise por serem de cursos distintos daqueles considerados no presente estudo e 365 alunos responderam à segunda aplicação do questionário, participando de todas as etapas do estudo.

### ***Coleta de Dados***

Toda a coleta de dados foi feita com a anuência dos docentes presentes em sala de aula no momento da coleta. Foram realizadas duas coletas de dados ao longo do primeiro semestre de curso: a primeira coleta foi realizada na primeira semana do curso, o que permitiu determinar as linhas de base da frequência de acerto das questões para cada um dos participantes; a segunda aplicação foi feita ao final do semestre, próximo do fim da disciplina, em data definida juntamente com o docente da disciplina de maneira a não comprometer o andamento do curso.

### ***Análise dos Dados***

Todos os dados foram submetidos à análise considerando as turmas em que estavam matriculados.

O ganho percentual normalizado para cada grupo foi determinado conforme definido por Hake (4):

$$\langle g \rangle = \frac{G}{100\% - S_{\text{pré}}} \quad (1)$$

Onde  $\langle g \rangle$  representa o ganho conceitual normalizado e  $G$  representa o ganho conceitual simples, calculado por:

$$G = S_{\text{pós}} - S_{\text{pré}} \quad (2)$$

Os valores de  $S_{\text{pré}}$  e  $S_{\text{pós}}$  são apresentados em porcentagem de acertos nas respectivas aplicações do questionário. Para a visualização da dispersão dos dados de Ganho Normalizado das turmas, construiu-se o gráfico do Ganho Percentual

Simples contra o percentual de acertos no *Pré-Teste* ( $S_{pré}$ ). Desse modo, as turmas foram categorizadas mais facilmente de acordo com a proposição feita por Hake (4):

- “Alto ganho”, para turmas com  $\langle g \rangle \geq 0,7$ ;
- “Médio ganho”, para turmas com  $0,7 > \langle g \rangle \geq 0,3$ ;
- “Baixo ganho”, para turmas com  $\langle g \rangle < 0,3$ .

Com isso pudemos avaliar a evolução conceitual dos alunos para os diferentes cursos e procurar por possíveis correlações entre a nota final de aprovação na disciplina e seus respectivos resultados no questionário. Análises de correlação foram realizadas utilizando o teste de Pearson e os valores foram considerados significativos para  $p < 0,05$ .

## Resultados e Discussões

A Figura 1 apresenta a porcentagem de estudantes de cada turma que obtiveram acertos no Pré-Teste agrupados em intervalos de 20%, partindo do intervalo 0-20% em diante, criando dessa maneira uma caracterização do perfil conceitual das turmas no momento de início da disciplina na universidade. O eixo horizontal representa as diferentes turmas estudadas, a altura da barra representa a porcentagem de alunos de cada turma referente ao intervalo de acertos analisado e, por fim, as diferentes cores que preenchem as colunas representam as faixas de porcentagem de acerto, separadas em intervalos de 20%, dos alunos no Pré-Teste.

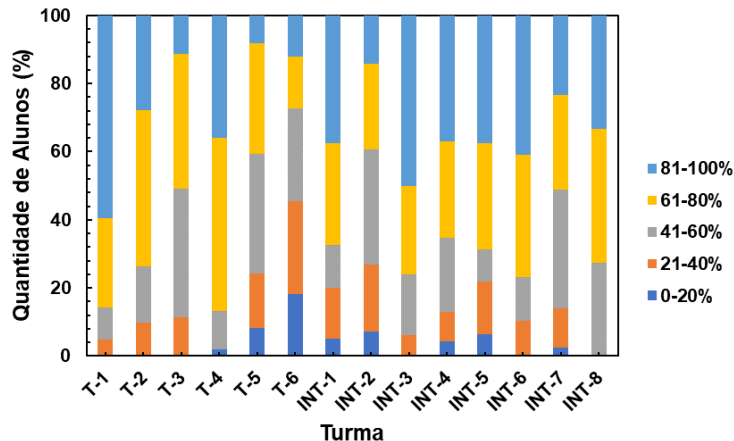
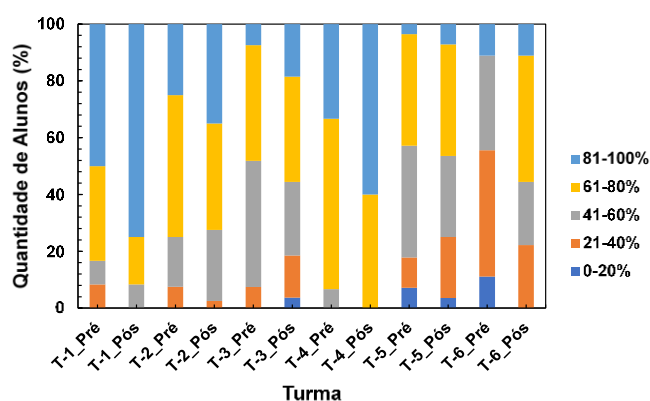


Figura 1: Quantidade percentual de alunos das turmas que atingiram pontuação em cada um dos intervalos definido no pré-teste.

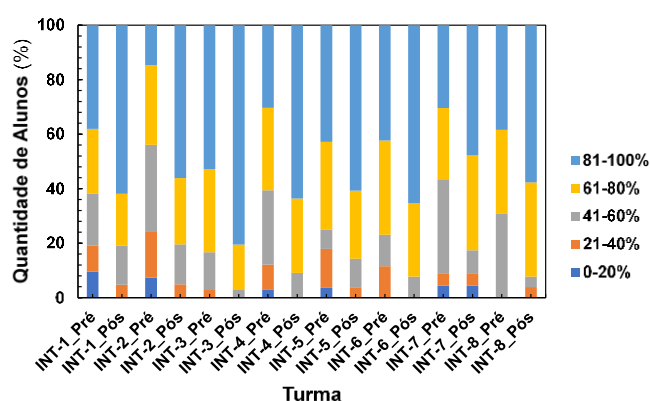
Podemos destacar as turmas T-1 e INT-3, que apresentam, respectivamente, 60% e 50% dos alunos integrantes com resultados acima de 80% de acertos no Pré-Teste. Notamos também que a porcentagem de alunos que obtiveram resultados menor que 20%, de maneira geral, é pequeno para todas as turmas, sendo que a maior concentração dos alunos se encontra nos intervalos de 61-80% e 81-100%, o que confirma a posição de destaque dos resultados obtidos pela média dos cursos apresentados anteriormente e comparados com os resultados analisados por

Artomónova *et al.* (7), destacando a posição de alto prestígio da USP dentro do contexto da América Latina.

No momento da segunda aplicação do questionário FCI, realizada ao final do semestre letivo e aqui tratada como *Pós-Teste*, tivemos a participação de 365 alunos e, portanto, todas as análises comparativas são feitas apenas com esses alunos. De maneira a entender a evolução do perfil conceitual dos alunos após a experiência com a disciplina de Física Básica frente às diferentes metodologias, construímos o gráfico mostrado na Figura 2, que apresenta os resultados do Pré-Teste comparado ao Pós-Teste. Os gráficos do pré-teste foram incluídos novamente pois, como mencionado, nesse caso são considerados apenas os alunos que responderam às duas aplicações.



(a)



(b)

Figura 2: Quantidade percentual de alunos das turmas que atingiram pontuação em cada um dos intervalos definido no pré-teste e no pós-teste. (a) Turmas tradicionais. (b) Turmas integradas.

Dos alunos das turmas tradicionais que participaram tanto do Pré-Teste como do Pós-Teste podemos observar, a partir da Figura 2a, que com exceção das turmas T-5 e T-6, o número de alunos que acertaram entre 81-100% entre as duas aplicações consecutivas do FCI aumentou de forma significativa, com destaque para a turma T-1 e T-4, que passaram de 50% para 75% e 33% para 60%, respectivamente, no número de alunos com resultados superiores a 81% de acertos no questionário. Já a turma T-6, que não tinha nenhum aluno respondente em ambas as aplicações do questionário no intervalo de 61-80%, terminou o semestre com 44% dos alunos nessa faixa. De maneira geral, nota-se uma evolução global em todas as turmas avaliadas,

com aumento geral no número de alunos que agora fazem parte do nível de “domínio” dos conceitos Newtonianos.

De maneira análoga, podemos olhar para o perfil das turmas Integradas e observar que todas as turmas, com exceção da turma INT-7, tiveram mais de 50% dos seus alunos com resultados superiores a 80% no Pós-Teste (Figura 2b). Também podemos considerar significativa a redução no número de alunos que tiveram resultados abaixo de 60%. Considerando todas as turmas Integradas, o percentual de alunos abaixo do limiar de entrada do pensamento Newtoniano esteve sempre abaixo de 20%, com média global de 12%. Já no caso das turmas Tradicionais, algumas chegaram a apresentar mais de 50% dos alunos abaixo desse limiar ao final do semestre, com média geral de 30%.

Em termos de ganho normalizado, com exceção da turma INT-7, todas as turmas Integradas encontram-se na região de médio ganho conceitual. Considerando as turmas Integradas, a média global de acertos no Pré-Teste foi de 70%, enquanto que ao final do curso, os alunos atingiram média de 82% de acertos, representando um ganho normalizado médio de 0,38.

Entre as turmas Tradicionais, a turma T-6 merece destaque por ter se situado na região de médio ganho conceitual, junto com a turma T-4, que ficou no limiar inferior dessa mesma região. As demais, entretanto, localizaram-se na região de baixo ganho conceitual. Nesse caso, a média de acertos na aplicação inicial foi de 63%, enquanto o valor no final do semestre chegou a 70%, em média. Isso representa um ganho normalizado médio de 0,19, o que representa metade do valor obtido pelas turmas ativas.

## Conclusões

Destoando dos resultados encontrados na recente literatura de aplicação do FCI na América Latina e outros países, os alunos analisados neste estudo obtiveram notas altas logo na primeira aplicação do FCI, com a maioria dos estudantes com médias superiores a 60% de acertos no questionário. Uma análise inicial sugere que isso pode estar relacionado ao processo seletivo pelo qual os alunos devem passar para ingressarem na Universidade, o vestibular da FUVEST, historicamente reconhecido como um vestibular concorrido e exigente. Isso sugere que devido à alta concorrência do processo seletivo, o aluno regular ingressante nos cursos de exatas da USP inicia seus estudos já com ideias formadas sobre os conceitos da Mecânica Newtoniana, muitas vezes já “iniciado” na linguagem e familiar com os conceitos. Assim, as disciplinas de física básica devem ser moldadas e executadas de modo a favorecer o enriquecimento destes conceitos ao longo do semestre, assumindo assim a tarefa de tentar aproximá-los o máximo possível do “limiar de domínio”.

Disciplinas bem estruturadas e engajadas em movimentos educacionais atuais com metodologias modernas, discussões conceituais dentro de sala de aula e diferentes abordagens, resultam em um melhor desempenho conceitual dos alunos ao final do semestre ( $\langle g \rangle = 0,38$ ), com resultados significativos em comparação aos de turmas de metodologia de aprendizagem tradicional ( $\langle g \rangle = 0,19$ ) e comparáveis aos trabalhos realizados com engajamento interativo em outras universidades (4,12).

Concluindo, o presente trabalho contribuiu no sentido de oferecer dados para a literatura nacional que verificam, em larga escala, que a mudança para metodologias

de aprendizagem ativa influencia de maneira positiva o aprendizado conceitual dos alunos.

### Referências

- 1 HALLOUN, I. A.; HESTENES, D. The Initial Knowledge State of College Physics Students. **American Journal of Physics**, v. 53, n. 11, p. 1043-1055, 1985. doi: Doi 10.1119/1.14030.
- 2 \_\_\_\_\_. Common-Sense Concepts About Motion. **American Journal of Physics**, v. 53, n. 11, p. 1056-1065, 1985. doi: Doi 10.1119/1.14031.
- 3 HESTENES, D.; WELLS, M.; SWACKHAMER, G. Force concept inventory. **The physics teacher**, v. 30, n. 3, p. 141-158, 1992.
- 4 HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**, v. 66, n. 1, p. 64-74, Jan 1998. doi: Doi 10.1119/1.18809.
- 5 CROUCH, C. H.; MAZUR, E. Peer Instruction: Ten years of experience and results. **American Journal of Physics**, v. 69, n. 9, p. 970-977, Sep 2001. doi: Doi 10.1119/1.1374249.
- 6 DUFRESNE, R. J. et al. Classtalk: A classroom communication system for active learning. **Journal of Computing in Higher Education**, v. 7, p. 3-47, 1996.
- 7 ARTAMONOVA, I.; MOSQUERA-MOSQUERA, J. C.; MOSQUERA-ARTAMONOV, J. D. Application of force concept inventory in Latin America for evaluation the understanding of the basic concepts of mechanics at the university level. **Revista Educacion En Ingenieria**, v. 12, n. 23, p. 56-63, Feb 2017.
- 8 SAVINAINEN, A.; SCOTT, P. Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. **Physics Education**, v. 37, n. 1, p. 53-58, 2002.
- 9 MAZUR, E. **Peer Instruction: A User's Manual**. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- 10 NICOL, D. J.; BOYLE, J. T. Peer instruction versus class-wide discussion in large classes: a comparison of two interaction methods in the wired classroom. **Studies in Higher Education**, v. 28, n. 4, p. 457-473, Oct 2003. doi: 10.1080/0307507032000122297.
- 11 BERGMANN, J.; SAMS, A. **Flip your classroom: Reach every student in every class every day**. Washington, DC: International Society for Technology in Education, 2012.
- 12 BARROS, A. et al. Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, p. 63-69, 2004.