

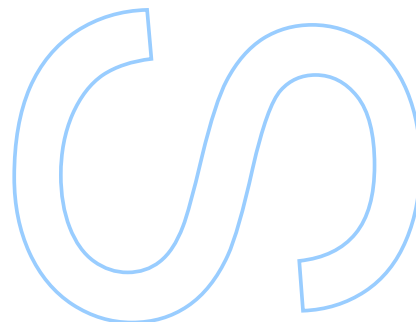
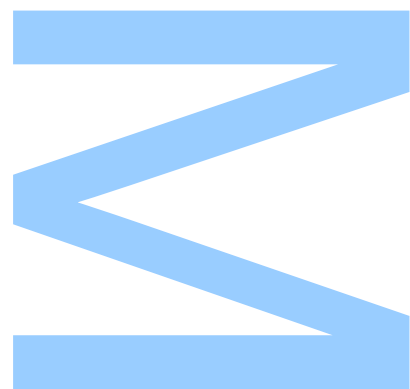
Estudo do efeito da discussão entre pares na aprendizagem conceptual de Física

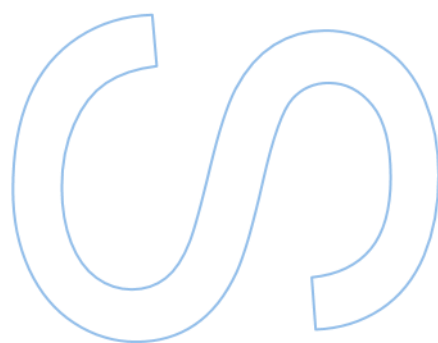
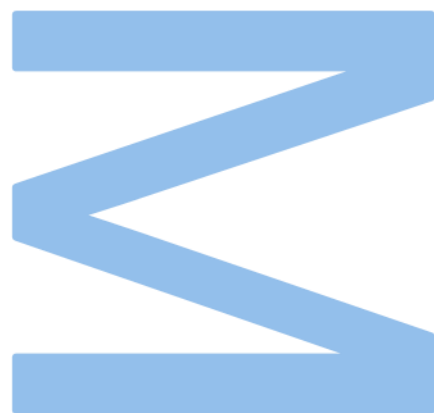
Francisco Alves

Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3.º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário
Unidade de Ensino das Ciências
2023

Orientador

Prof. Dr. Paulo Carvalho, Faculdade de Ciências





Declaração de Honra

Eu, Francisco Diogo Moreira Alves, inscrito no Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3.º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto declaro, nos termos do disposto na alínea a) do artigo 14.º do Código Ético de Conduta Académica da U.Porto, que o conteúdo do presente relatório de estágio reflete as perspetivas, o trabalho de investigação e as minhas interpretações no momento da sua entrega.

Ao entregar este relatório de estágio, declaro, ainda, que a mesma é resultado do meu próprio trabalho de investigação e contém contributos que não foram utilizados previamente noutros trabalhos apresentados a esta ou outra instituição.

Mais declaro que todas as referências a outros autores respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, encontrando-se devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção de referências bibliográficas. Não são divulgados no presente relatório de estágio quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor.

Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Francisco Diogo Moreira Alves

Porto, 19 de julho de 2023

UNIVERSIDADE DO PORTO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

Estudo do efeito da discussão entre pares na aprendizagem conceptual de Física

Autor:

Francisco ALVES

Orientador:

Paulo Simeão CARVALHO

*Relatório de estágio submetido em atendimento aos requisitos
para o grau de Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3.º Ciclo do Ensino Básico
e no Ensino Secundário*

na

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
Unidade de Ensino das Ciências

19 de julho de 2023

“ We must not let our refuge only be in our dreams, for we are always bumping up against reality and must account for it. ”

Peter McLaren, em *Pedagogy of Insurrection* (2016)

Agradecimentos

Sem ordem e incompletos, como estas coisas que não se medem são.

Ao professor, orientador e amigo Paulo Simeão Carvalho, por toda a paciência, aposta e discussão. À professora orientadora, colega e amiga Dulce Peixoto. À tão paciente e bonita companheira Adriana, pelo amor, carinho e compreensão. À minha maninha e à minha mãezinha. Ao meu Tio Chico e à minha madrinha Bé. Ao grande camarada de discussões e francesinhas, Nuno Martins. Aos amigos e companheiros de estágio Luísa Silveira e Hélder Ferreira. Ao professor João Paiva pelos bons lemas, motivação e conversa no café. À professora Carla Morais, pelo sempre simpático rigor e abertura. Ao amigo Marcelo Dumas, pelas chamadas de atenção e cumplicidade. Ao Frederico Alan da Cruz, pela conversa franca. Ao professor João Lima, que me ajudou a reapreciar astronomia. Ao professor Jorge Gonçalves, que nos ofereceu liberdade e descoberta nos laboratórios de química. Ao professor José Luís Santos, pelas boas palavras de reforço e conversa na defesa. À Natália Machado, pelas ideias que tirei de a ouvir discutir a sua tese de doutoramento. À excelente malta das turmas 8.º A, 8.º B e 11.º A da Escola Secundária de Inês de Castro, pela piza, inspiração, palavras carinhosas encorajadoras e pelo manjerico. À Cátia Silva do 11.º A e ao Miguel Cintra do 11.º C por me animarem tardes (e noites) no laboratório e, em especial, à Cátia por me ter levado a Lisboa ver astros e René Magritte. À professora Teresa Simões, pelo exemplo de calma e assertividade. Às professoras Sofia Armelim, Conceição Mendonça, Fernanda Vaz, Manuela Carvalho, Manuela Azevedo, Filomena Costa, e a todas e todos os outros que tão calorosamente me construíram assim e, este ano, me re-receberam. Ao Sr. Álvaro e restantes profissionais pela mesma razão. À diretora de turma Alda Roma, pela humanidade realista com que trata e inspira colegas e alunos. A todos os restantes professores e professoras, funcionários, funcionárias e estudantes que me fizeram idealista e me deram ferramentas e força para submeter este relatório hoje.

UNIVERSIDADE DO PORTO

Resumo

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Unidade de Ensino das Ciências

Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3.º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário

Estudo do efeito da discussão entre pares na aprendizagem conceptual de Física

por [Francisco ALVES](#)

O trabalho estuda o efeito de uma estratégia ativa de discussão entre pares, na aprendizagem de estudantes de uma turma do 11.º ano a frequentar a disciplina de Física e Química A. Estudaram-se os ganhos na aplicação de testes colaborativos, bem como possíveis dependências e mecanismos de coconstrução de conhecimento. Para tal, foram aplicados 3 testes, sendo um deles o Force Concept Inventory, com uma metodologia segmentada em 3 fases: uma individual e duas colaborativas. A taxa de sucesso dos grupos foi proporcional ao número de respostas corretas na fase individual, e verificou-se uma correlação positiva entre a diversidade de respostas e a taxa de sucesso nos grupos sem qualquer resposta individual correta. No final, descrevem-se dois exemplos de coconstrução e sugerem-se medidas para otimizar os ganhos com este tipo de metodologia.

Palavras-chave: física, discussão, avaliação, colaboração, coconstrução, aprendizagem ativa, concepções alternativas

UNIVERSITY OF PORTO

Abstract

Faculty of Sciences of the University of Porto
Science Education Unit

Master in Physics and Chemistry Teacher Education for Middle and Secondary Schools

Study of the effect of discussion between peers on conceptual learning of physics

by [Francisco ALVES](#)

The work studies the effect of an active learning strategy of peer discussion, on a 11.th grade physics and chemistry A class of students' learning. The learning gains of the implementation of collaborative tests were studied, as well as possible relations with and mechanisms for co-construction of knowledge. For this, 3 tests were applied, one being the Force Concept Inventory, with a methodology divided in 3 rounds: an individual round and two collaborative ones. The observed rate of group performance was proportional to the number of correct answers in the individual round, and a positive correlation between variety of group individual-round answers and performance rate was found in groups with no individual-round correct answer. To finish, two observed examples of co-construction are described and suggestions to optimize this methodology's learning gains are given.

Keywords: physics, discussion, assessment, colaboration, co-construction, active learning, alternative conceptions

Conteúdo

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Conteúdo	xi
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xv
1 Introdução	1
1.1 O ponto de partida	1
1.2 As ferramentas	1
1.3 Revisão de literatura / Enquadramento teórico	2
1.3.1 O teste como <i>ferramenta de aprendizagem</i>	2
1.3.1.1 A <i>correção</i> do teste	3
1.3.1.2 Correções <i>durante</i> o teste e negociações <i>custo-benefício</i>	3
1.3.1.3 O <i>feedback</i> imediato	4
1.3.2 Testes colaborativos	4
1.3.2.1 <i>Readiness Assurance Activities</i>	5
1.3.2.2 Potencialidades e vantagens dos testes colaborativos	5
1.3.2.3 Fatores que influenciam os ganhos na aprendizagem	6
1.4 Enquadramento didático-curricular	7
2 Metodologia	9
2.1 Caracterização da amostra	9
2.2 Questões conceituais	9
2.3 Testes colaborativos	10
2.3.1 Descrição	10
2.3.2 Testes aplicados	11
2.3.2.1 Teste diagnóstico de Mecânica	11
2.3.2.2 Teste de cinemática	11
2.3.2.3 <i>Force Concept Inventory</i>	12
2.3.3 Análise dos resultados	12
2.3.3.1 Análise dos ganhos da turma	12
Ganho de Hake, <i>g</i> .	12
Mudança normalizada, <i>c</i> .	12
2.3.3.2 Tipologia de grupo	13
2.3.3.3 Análise do efeito da tipologia	14
3 Resultados e discussão	15
3.1 Resultados da fase individual	15

3.2	Ganhos	15
3.2.1	Efeito da 1. ^a fase de grupo	15
3.2.2	Efeito cumulativo da 2. ^a fase de grupo	16
3.2.2.1	Efeito isolado da 1. ^a fase para a 2. ^a fase de grupo	17
3.3	Efeitos da tipologia de grupo	18
3.3.1	Número de respostas corretas	18
3.3.2	Tipo de maioria	20
3.3.3	Diversidade de respostas	22
3.3.4	Resultados discriminados do FCI	24
3.3.5	Exemplos e casos anedóticos	24
3.3.5.1	A incompatibilidade das respostas, questão 1 do FCI	24
3.3.5.2	A destilação de concepções alternativas, questão 14 do FCI	26
4	Conclusão	27
	Referências bibliográficas	29
A	Dados recolhidos e resultados	33
A.1	Teste diagnóstico	33
A.2	Teste de cinemática	34
A.3	Force Concept Inventory	35
B	Testes aplicados	37
B.1	Teste diagnóstico	37
B.2	Teste de cinemática	43
B.3	Force Concept Inventory	46
C	Tratamento estatístico e definições	55
C.1	Testes de significâncias	55
C.2	A média dos ganhos e o ganho médio	56

Lista de Figuras

1.1	Sequência seguida na aplicação de testes em RAA. Retirado de Jang et al. (2017).	5
3.1	Ganhos observados, entre a fase individual, <i>FI</i> , e a 1. ^a fase de grupo, <i>GI</i> . Pontos mais escuros representam a sobreposição de mais do que um estudante. O ganho absoluto médio obtido foi igual a $25\% \pm 21\%$ (lido no eixo das ordenadas) e o ganho relativo médio foi de $36\% \pm 31\%$, próximo dos 40% (indicado pela linha amarela).	16
3.2	Ganhos observados, entre a fase individual, <i>FI</i> , e a 2. ^a fase de grupo, <i>GII</i> . Como na figura 3.1, pontos escuros representam sobreposição de elementos. O ganho absoluto médio obtido foi igual a $50\% \pm 18\%$ e o ganho relativo médio foi de $72\% \pm 32\%$, entre os 60% e 80% (indicado, respetivamente, pelas linhas verde e violeta).	17
3.3	Ganhos observados apenas entre as 1. ^a e 2. ^a fase de grupo. Notar que o <i>Pré</i> é aqui a prestação na 1. ^a fase de grupo, <i>GI</i> , e não a prestação da fase individual.	17
3.4	Efeitos da tipologia de grupo. A azul, a taxa esperada, <i>TE</i> , e, a vermelho, a taxa observada, <i>TO</i> . As barras de erro apresentam o desvio-padrão de cada taxa.	19
3.5	Efeito do tipo de maioria.	21
3.6	Efeito da diversidade de respostas.	23
3.7	Efeito geral da tipologia de grupo, apenas na aplicação do FCI. <i>TO</i> – taxa observada, <i>TE</i> – taxa esperada.	24
3.8	Questão 1 do FCI. Duas bolas, de massas diferentes, são largadas, em simultâneo e da mesma altura. <i>Qual, se alguma, leva mais tempo a cair? E quanto mais?</i>	25
3.9	Questão 14 do FCI. <i>Como cai uma bola de um avião em movimento?</i>	26
A.1	Fase individual.	33
A.2	1. ^a fase de grupo.	33
A.3	2. ^a fase de grupo.	33
A.4	Fase individual.	34
A.5	Resultados das fases de grupo na aplicação do teste de cinemática. Os 1 correspondem a respostas corretas e 0 a erradas.	34
A.6	Respostas recolhidas na aplicação do FCI (Mazur, 2014).	35
A.7	Evolução das frequências de respostas na aplicação do FCI (Mazur, 2014).	35
A.8	Diagrama de extremos e quartis dos resultados nas diferentes fases da aplicação do FCI (Mazur, 2014). Notar o <i>outlier</i> na fase individual, referido na secção 3.1, e a grande margem de evolução de fase para fase.	35
A.9	Folhas de resposta para as fases de grupo do FCI (Mazur, 2014). À direita da correção da resposta (pelo professor) da 1. ^a fase de grupo, os grupos registavam a 2. ^a resposta de grupo.	36

- C.1 Esquema-exemplo, numa folha de dados, do cálculo do teste qui-quadrado de Pearson. Neste exemplo comparam-se as taxas de sucesso observadas, dentro de grupos do tipo B, de grupos com maioria de resposta correta na fase individual e de grupos com empate entre a resposta correta e uma resposta incorreta específica na fase individual. O *p-value* obtido é de 0,11, correspondente a um valor de significância para a diferença observada de $1 - 0,11 = 89\%$ de confiança. 55
- C.2 Exemplo da aplicação do teste qui-quadrado na comparação das taxas com que grupos, de tipo S, mantêm respostas da fase individual (não de TO). . . 56

Lista de Tabelas

3.1	<i>Performance</i> na 1. ^a fase de grupo, de acordo com o número de respostas corretas na fase individual, e resultados do teste qui-quadrado de Pearson. .	19
3.2	Resultados para o tipo de maioria.	20
3.3	Resultados da diversidade de respostas	22

Introdução

“My hope emerges from those places of struggle where I witness individuals positively transforming their lives and the world around them. Educating is always a vocation rooted in hopefulness. As teachers we believe that learning is possible, that nothing can keep an open mind from seeking after knowledge and finding a way to know.”

– bell hooks em *Teaching to transgress* (1994)

1.1 O ponto de partida

Consequência da existência de variadas concepções alternativas em ciência e da dificuldade em articular conceitos aprendidos, verifica-se, tanto nas nossas escolas como globalmente, uma clara falta de literacia científica. (Martins et al., 2002) (Driver et al., 1994)

Assim, o objetivo principal deste ensaio investigativo foi testar metodologias que deixassem “a descoberto” concepções e campos conceptuais, e, promovendo a discussão e o conflito conceptual (P. Hewson & Hewson, 1984), resultassem na construção de concepções mais científicas e robustas.

O trabalho de Lee e Didiş Körhasan (2022), baseado na aplicação de testes colaborativos a estudantes de licenciatura, num curso de física introdutória, serviu de particular inspiração e alicerce para este ensaio. Nesse sentido, eram objetivos específicos: transpor a metodologia para uma sala de aula do ensino secundário, analisar os ganhos obtidos e elucidar mecanismos de aprendizagem e construção de conhecimento colaborativos.

1.2 As ferramentas

Estudaram-se duas abordagens pedagógicas: a discussão de questões conceptuais, baseada na instrução por pares (Mazur, 2014) e a aplicação de *testes colaborativos* (Bloom, 2009).

Ao longo do ano, a aplicação de questões conceptuais, em estilo de instrução por pares (Mazur, 2014), serviu vários propósitos:

- a verificação de conceitos trabalhados em aulas laboratoriais e/ou teóricas anteriores (aplicadas no início da aula);

- a avaliação do acompanhamento da turma (durante a aula e no final desta),
- a facilitação de atividades de Prever–Observar–Explicar (White & Gunstone, 1992/2020)
- como motivação para a introdução de ferramentas e conceitos novos no início de algumas aulas, alicerçadas em conceitos previamente estudados.

Exemplos destas questões conceptuais, bem como de todo o trabalho feito durante o estágio, podem ser consultados no dossier de estágio, nas secções de *Diapositivos e recursos* e em *Contribuições para as aulas*, em: https://sigarra.up.pt/fcup/pt/conteudos.service.conteudos_cont?pct_id=646102&pv_cod=36RgwaQeaGa7.

A segunda abordagem e o foco do ensaio investigativo que exploramos nos capítulos 2 e 3, foi a aplicação de testes multifásicos e colaborativos, inspirada no uso das *readiness assurance activities* (atividades de garantia de prestação), ou RAA, por Lee e Didiş Körhasan (2022). Nestes, os estudantes ponderam e resolvem conjuntos de questões individualmente, antes de os discutirem em grupo e resubmeterem respostas de grupo (numa 1.^a fase, sem assistência externa e, numa 2.^a, com informação limitada acerca das respostas dadas), acordadas por todos. Tratando-se do foco do ensaio de investigação, as potencialidades concretas desta metodologia são exploradas em detalhe mais adiante, na revisão de literatura, secção 1.3, bem como a sua implementação no estágio na secção 2.3.

Em todos estes momentos de discussão, o ambiente na sala era ora de debate calmo e amigável, ora de contenda vigorosa e “fortemente engajada”, mas sempre frutífero. Nestes moldes, os estudantes mais “fechados” e aqueles mais nervosos quando chamados individualmente (pelo professor) a expressar-se, expuseram as suas ideias e experimentaram argumentar seguramente junto dos seus colegas “mais naturalmente extrovertidos”.

1.3 Revisão de literatura / Enquadramento teórico

1.3.1 O teste como ferramenta de aprendizagem

Todo o professor, qualquer que seja o seu nível de ensino, conhece a desilusão de corrigir testes escritos que correram mal. Lamentos e “proclamações de inocência” (Murry, 1990, p. 148) podem ser ouvidos na sala dos professores na escola como no *campus* universitário. “Como é que eles escreveram isto? De onde é que tiraram esta ideia?” “Esta era dada. Chamei-lhes à atenção tantas vezes!”

De modo a reduzir o fatalismo associado aos testes e respetivos resultados, os professores adotam estratégias redentoras que os transformam em oportunidades de aprendizagem.¹ Estas estratégias (algumas das quais detalhadas abaixo) elevam os testes de avaliação de ferramentas “para seriar” a ferramentas “para ensinar”, abrindo uma janela para o desenvolvimento cognitivo e conceptual de cada estudante e, idealmente, usando-a para a construção de aprendizagens significativas (Ausubel, 1968).

1.3.1.1 A *correção do teste*

O exemplo mais comum de segundas oportunidades em testes é a “correção do teste”. O método varia de professor para professor, mas todos seguem o mesmo padrão: depois da realização tradicional do teste (individual, na sala e sem recurso a material externo), os estudantes levam o enunciado para casa e, agora com recurso a manual, diapositivos de aula e qualquer outro recurso (alguns professores, aqui, incentivam a discussão em grupo), resolvem novamente o teste. A componente de avaliação sumativa atribuída a esta resolução assistida é variável, mas a ideia é geralmente a mesma: responsabilizar os estudantes pelas suas respostas e aprendizagem, e incentivá-los a aprender o conteúdo. (Murry, 1990).

Foley (1981), p. ex., sugere que todos os testes sejam aplicados duas vezes. A 1.^a exposição serve, maioritariamente, para o estudante perceber o que é importante para o professor e para o professor perceber o que é que o estudante aprendeu nas suas aulas (e, assim, corrigir e ajustar aulas futuras). Foley (1981) sugere ainda que, para a 2.^a aplicação, os estudantes recebam a classificação (mas não a correção) do seu teste e sejam convidados a pesquisar e perceber as questões a que responderam insatisfatoriamente, adicionando correções, clarificações e argumentos às respostas dadas (tanto corretas, como erradas).

Esta 2.^a aplicação oferece aos estudantes uma oportunidade de resolverem o teste em condições de *stress* reduzido. No caso de estudantes que não sejam tipicamente bloqueados por ansiedade, é uma oportunidade de testar os apontamentos que tomam das aulas e/ou a sua capacidade de pesquisar e encontrar as respostas corretas. (Foley, 1981)

1.3.1.2 *Correções durante o teste e negociações custo-benefício*

Na maioria dos testes, um ou mais estudantes pedem, geralmente, ajuda na interpretação de uma ou mais questões. Estas situações podem ser uma ótima oportunidade de ensino,

¹É também característico de professores inserir (umas vezes mais subtilmente do que outras) momentos de aprendizagem entre a roupaçem e a sequenciação de problemas e exercícios, mas não falamos disso aqui.

mas deixam a maioria dos professores desconfortáveis, tendo de pesar a ajuda que *podem* dar sem “injustiçar” os restantes. (Murry, 1990)

Gordon (1988) sugere que o professor “venda” informação limitada (confirmação ou desconfirmação de respostas ou raciocínios, p. ex.) a troco de uma penalização na classificação final, durante o segundo terço da realização do teste. A penalização deve ser leve (pelo menos, menor do que aquela associada à resposta errada) e esta “venda” de informação não deve acontecer no início nem no fim do teste, para evitar, respetivamente, pedidos prematuros e corridas de último minuto ao professor. Com esta estratégia, o professor é capaz de fornecer apoio a estudantes que, sendo capazes de resolver exercícios com acompanhamento limitado, não são capazes ainda de os resolver, seguramente, por si, mantendo, mesmo assim, um ambiente de testagem equitativo.

1.3.1.3 O *feedback* imediato

Presente numa série de estratégias diferentes, a ideia de que o *feedback* é melhor fresco (isto é, quanto mais próximo estiver da realização do teste) é defendida por muitos professores e pedagogos, mas a realidade nas escolas (as turmas com demasiados alunos, p. ex.) choca muitas vezes com este objetivo. (Murry, 1990) (Arends, 2014)

Embora limitando a estrutura e conteúdos do teste (alguns professores optam por fazer testes mais curtos, ou de escolha múltipla), o *feedback* imediato aproveita o engajamento que vem, em muitos estudantes, depois da execução do teste. Após a entrega, estes apresentam-se, normalmente, interessados não só em estimar a classificação que vão obter no teste, mas em satisfazer (e discutir) dúvidas que, não tendo surgido durante o estudo ou nas aulas, apareceram na realização do teste.

1.3.2 Testes colaborativos

“Virtualmente toda a atividade humana envolve colaboração, e no entanto, colaboração durante uma avaliação é tipicamente considerada errada.” (Jang et al., 2017, p. 223) Anco-rada nesta ideia, a aplicação de testes colaborativos apresenta-se como menos centrada na figura do professor e demonstrando benefícios claros na retenção de conteúdos (Bloom, 2009). Podendo conter os benefícios das outras estratégias para a assimilação de conteúdo, a realização de testes colaborativos serve também, acrescentamos, para promover a discussão entre pares, à semelhança do que (idealmente) acontece nos meios de investigação em ciência e para o avanço da sociedade democrática em geral.

1.3.2.1 Readiness Assurance Activities

Um exemplo de uso de testes colaborativos na avaliação aparece na forma das *readiness assurance activities*, ou *process* (atividades, ou processo, de garantia de prestação), RAA, cujo processo de testagem e avaliação é sintetizado na figura 1.1.

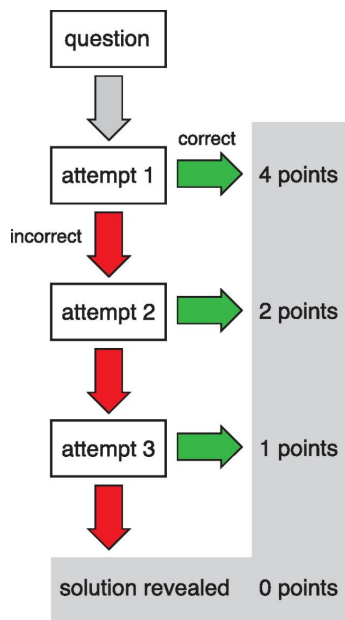


FIGURA 1.1: Sequência seguida na aplicação de testes em RAA. Retirado de Jang et al. (2017).

Após uma fase inicial (na qual os testes, que podem envolver questões numéricas, analíticas e conceituais, são resolvidos integral e individualmente), os estudantes formam grupos e colaboram na resolução dos mesmos testes.

Para cada questão, os estudantes submetem uma única resposta de grupo e, quando entregam o teste (com as respostas de grupo) na 1.^a tentativa de grupo, o sistema (ou o professor) atribui 4 pontos (cotação máxima) por cada resposta certa e assinala as respostas erradas.

Após este instante de *feedback*, os grupos voltam a discutir e submeter respostas de grupo às questões que sabem ter errado. Esta é a 2.^a tentativa de grupo e, quando submetem ao sistema, recebem agora 2 pontos por cada resposta correta e o sistema assinala, novamente, as que permanecem erradas.

Dá-se uma 3.^a tentativa, nos mesmos moldes, com as respostas corretas a valer 1 ponto apenas e, acabada, a solução do teste é revelada à turma.

(Lee & Didiş Körhasan, 2022)

O método dos pontos na classificação da componente de grupo permite, à semelhança de estratégias como a apresentada em 1.3.1.2, que a cotação, mesmo em escolhas múltiplas, não seja “tudo ou nada”, servindo o momento de *feedback* entre fases de grupo como confirmação ou desconfirmação de hipóteses e/ou raciocínios.

1.3.2.2 Potencialidades e vantagens dos testes colaborativos

Sabemos que a discussão entre pares pode levar a níveis superiores de compreensão e raciocínio (Jang et al., 2017) e vários estudos indicam a importância de colaboração por pares, mesmo quando os membros do grupo não sabem a resposta correta individualmente (Lee & Didiş Körhasan, 2022).

Comentários representativos recolhidos por Smith et al. (2009) indicam que os próprios estudantes consideram desnecessário que alguém saiba a resposta correta, como: “Várias vezes, aquando discussão das questões, o grupo consegue perceber as questões sem saber

originalmente a resposta, e a resposta quase encaixa melhor dessa forma porque a discutimos em vez de apenas ouvir a resposta” e “discussão é produtiva quando as pessoas não sabem as respostas porque exploram as opções todas e eliminam as que sabem que não podem ser corretas.”

Durante as fases de discussão, Wieman et al. (2014) descreve que os estudantes naturalmente trabalham coletivamente, e que estudantes normalmente tímidos demais para se fazerem ouvir noutras atividades de aula defendem as suas respostas vigorosamente. Mais, Rieger e Heiner (2014) confirma que uma grande parte dos grupos discutem as questões até todos os elementos concordarem na resposta e atingirem consenso.

Efetivamente, os elementos do grupo proporcionam, uns aos outros, condições para que a aprendizagem ocorra e à qual Vygotsky (1978) designou por zona de desenvolvimento proximal. E, assim, os testes colaborativos concretizam uma das suas potencialidades mais interessantes: a de o estudante mudar e construir o seu conhecimento.

Estas observações indicam que, para além de explicações “transmissivas” (que, durante a discussão, os estudantes que sabem a resposta correta estão a explicar o raciocínio aos pares), um modelo “construtivista” (que estes estudantes estão a chegar à compreensão conceptual por si só, através da discussão em grupo e debate) é necessário, e poderá estar mais próximo da realidade. (Smith et al., 2009)

1.3.2.3 Fatores que influenciam os ganhos na aprendizagem

Vários fatores são sugeridos para os ganhos observados, em vários estudos, nos resultados e aprendizagens com testes colaborativos: A redução da ansiedade e *stress* no momento de avaliação, o incentivo ao pensamento crítico e a relação entre o relacionamento interpessoal e o processo de aprendizagem-ensino. (Kapitanoff, 2009)

Aquele, para nós e neste trabalho, mais interessante é a “coconstrução” (Singh, 2005) de conhecimento, que pode acontecer de várias formas.

Por exemplo, durante a discussão das questões, elementos que tenham escolhido respostas erradas terão de explicar o seu raciocínio. Durante a explicação, falhas na lógica inicial podem ser apontadas pelos outros elementos do grupo e informação adicional (descodificada pelos outros) pode ajudar todos os estudantes a convergir numa resposta mais correta e mais robusta. Dicas (intencionais ou não) dadas pelos pares, também, podem levar à recordação de conceitos relevantes e ajudar assim o grupo a construir o conhecimento coletivamente. E, porque os elementos do grupo terão passado por experiências semelhantes a tentar assimilar e acomodar o conteúdo das aulas, poderão, mais facilmente

do que o professor, e com linguagem mais informal, comunicar ideias e dúvidas uns aos outros. (Singh, 2005) (Mazur, 2014) (Lee & Didiş Körhasan, 2022)

Quando dois estudantes apresentam concepções diferentes para a mesma questão, dá-se o que P. Hewson e Hewson (1984) chamam de “conflito conceptual”. Através da discussão e falsificação de ideias dentro do grupo, modelos conceptuais menos robustos são substituídos por modelos mais científicos e, idealmente, o conflito é resolvido na construção de um consenso de grupo. Embora menos provável, isto pode acontecer mesmo em casos em que ambos os estudantes tenham escolhido a mesma resposta incorreta (desde que os estudantes estejam incertos acerca da sua escolha inicial e dispostos a discutir as suas dúvidas). (Singh, 2005)

Assim, o grupo ajuda cada estudante tanto a tornar os conceitos em questão mais inteligíveis e plausíveis, como a colocá-los em conflito, duas das condições descritas por P. Hewson e Hewson (1984) como necessárias à mudança conceptual.

Outra vantagem, sugere Singh (2005), é a redução de carga cognitiva para cada elemento do grupo. A carga cognitiva (Sweller, 1988) durante um problema é o total de recursos mentais necessários para resolver o problema (envolvendo análise de meios-fins, esquemas conceptuais, etc.). Elementos do grupo podem dividir a carga cognitiva entre si, tomando partido das forças de cada um e aumentando, efetivamente, a capacidade de memória disponível do grupo.

1.4 Enquadramento didático-curricular

A ocorrência generalizada de concepções alternativas (Resnick, 1983) significativamente diferentes das concepções científicas que fazem parte dos currículos do ensino secundário, nomeadamente as *Aprendizagens Essenciais do 11.º ano de Física e Química A* (2018) e *Aprendizagens Essenciais do 10.º ano de Física e Química A* (2018), levantam muito diretamente a necessidade de processos de mudança conceptual (P. W. Hewson, 1981).

Siegler (1983) conclui que apenas exposição aos conceitos científicos e a “experiências desconfirmantes” não é suficiente para completar o processo de aprendizagem, estabelecendo uma distinção importante entre a produção de conflito (por si só, não produtiva) e a resolução do conflito conceptual (P. Hewson & Hewson, 1984), introduzida atrás, em 1.3.2.3.

Este conflito conceptual não resolvido (porque, p. ex., é escondido por um aluno mais passivo ou menos seguro), pode resultar na coexistência de modelos contraditórios (resultando na compartimentalização do conhecimento¹) ou na simples rejeição de um dos modelos (particularmente em casos de estudantes com um “comprometimento epistemológico mais forte com a generalização”), eventualmente o científico. (P. Hewson & Hewson, 1984)

Espera-se, então, que as oportunidades de reflexão e discussão oferecidas pelas questões conceptuais e, foco direto da análise, pelos testes colaborativos, contribuam para a coconstrução de modelos conceptuais mais científicos da física (em particular, neste trabalho, da Mecânica de 11.º ano). Para além disso, esta abordagem reflexiva através de testes colaborativos, é um convite à formação de jovens, cidadãos e cidadãs, “*capazes de pensar crítica e autonomamente, criativo, com competência de trabalho colaborativo e com capacidade de comunicação*” (*Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória*, 2017, p. 15), melhor preparados para participar e agir numa democracia saudável.

Em relação com o *Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória* (2017, p. 24, 25, 29), espera-se ainda que estas metodologias tenham particular relevância nas áreas:

- de *Linguagem e textos*, dando oportunidade de trabalharem as “capacidades nucleares de compreensão e de expressão nas modalidades oral, escrita, visual e multimodal”;
- do *Raciocínio e Resolução de Problemas*, desenvolvendo-se “processos conducentes à construção de produtos e de conhecimento”;
- do *Pensamento crítico e pensamento criativo*, capacitando os alunos a “pensar de modo abrangente e em profundidade, de forma lógica, observando, analisando informação, experiências ou ideias, argumentando com recurso a critérios implícitos ou explícitos, com vista à tomada de posição fundamentada”;
- do *Relacionamento interpessoal*, conduzindo-os a adequar comportamentos em contextos de cooperação, partilha [e] colaboração”.

¹Fenómeno muitas vezes denunciado, em conversa, entre professores de diferentes disciplinas, mas cuja resolução é, fatalisticamente, colocada muitas vezes sob responsabilidade dos estudantes.

Metodologia

*“If you ask someone else for help on a problem in an exam, you are cheating, but if you don’t ask someone for help on a problem in the **real world**, you are a fool.” – Dan Schwartz*

Neste capítulo, escrevem-se as duas abordagens pedagógicas inovadoras utilizadas, ambas com adaptações à realidade da turma e da escola: a discussão de **questões conceituais** (Mazur, 2014), 2.2, que serviram maioritariamente para treinar a capacidade de discussão na turma, e a realização de **testes colaborativos** (baseado em Lee e Didiş Körhassan (2022), 2.3, onde incidirá a análise significativa deste ensaio investigativo.

2.1 Caracterização da amostra

A amostra para estudo foi a turma 11.º A, do curso de Ciências e Tecnologias da Escola Secundária Inês de Castro, no ano letivo 2022/23. A turma era constituída por 23 estudantes, dos quais 13 meninos e 10 meninas. A idade média dos estudantes era de 16 anos, e 2 estudantes estavam a repetir a frequência da disciplina de Física e Química A.

2.2 Questões conceituais

As questões conceituais começaram por ser aplicadas como descrito por Mazur (2014), decorrendo geralmente¹ com: tomada de posição e votação individuais, seguida de discussão em pequeno e, quando apropriado, grande grupo (com o professor a assumir o papel de moderador da discussão) e 2.ª votação.

No entanto, porque a turma mostrou dificuldade em executar a metodologia de reflexão inicial na 1.ª fase (idealmente, de reflexão individual), optou-se por, efetivamente, eliminar esta fase e saltar diretamente para a discussão entre pares.²

Embora desfavorecendo a reflexão individual e não permitindo uma análise quantitativa dos resultados, esta adaptação aparenta ter sido benéfica ao bom aproveitamento do tempo e dinâmica da aula.

¹Na 1.ª votação, houve, quase sempre, mais de 30% de respostas certas, pelo que raramente surgiu necessidade de recontextualização pelo professor.

²Curiosamente, nas primeiras rondas após aplicarmos este novo procedimento e até se adaptar, a turma pareceu discutir menos *quando lhes era dada permissão para tal*.

As questões conceptuais e a aprendizagem por pares (Mazur, 2014) foram aplicadas em todas as regências (de Física e de Química), bem como em momentos oportunos das aulas da professora orientadora cooperante, Dulce Peixoto.

2.3 Testes colaborativos

Enquanto que as questões conceptuais envolvem os 3 passos (individual, discussão entre pares e partilha da solução) questão a questão, nos testes colaborativos cada um destes passos acontece na sua totalidade, sequencialmente (primeiro, os estudantes respondem, individualmente, a todas as questões e, apenas depois, discutem todas as questões, em grupos). (Lee & Didiş Körhasan, 2022)

2.3.1 Descrição

A aplicação dos testes colaborativos ocorreu de forma semelhante à metodologia descrita por Lee e Didiş Körhasan (2022) (e explicitada na figura 1.1), dividindo-se em 3 fases distintas:

1. Fase individual, FI

Na fase individual, os enunciados foram distribuídos, cada estudante resolveu o teste individualmente e entregou ao professor a sua folha de resposta individual.

2. 1.^a fase de grupo, GI

Na 1.^a fase de grupo, os estudantes formaram grupos, de 3 a 4 estudantes¹, fazendo *ilhas* com os colegas das mesas de trás ou da frente.

Sem qualquer correção ou confirmação do professor, os elementos de cada grupo discutiram as mesmas questões a que tinham respondido individualmente, mas agora entre si, e entregaram **uma** única folha de resposta², de grupo, ao professor.

3. 2.^a fase de grupo, GII

Na 2.^a fase de grupo, os grupos receberam o *feedback* das respostas dadas na folha **de grupo**. Nestas folhas, o professor assinalou todas, as respostas erradas com uma cruz e a certas com um visto, sem qualquer outro comentário.

¹Esta escolha (de grupos com menor número de elementos) diverge de Lee e Didiş Körhasan (2022) e foi, essencialmente, logística. Entende-se, em particular depois da análise os resultados, que a formação de grupos maiores seria benéfica.

²Na aplicação do FCI, secção 2.3.2.3, foi permitido que elementos pudessem, numa folha de resposta à parte e individual, assinalar e responder a questões para as quais consenso não tivesse sido atingido. Deu-se a mesma oportunidade na fase seguinte, embora nenhum estudante a tenha usado. Estas divergências (muito reduzidas em número) podem ser consultadas na secção A.3, em anexo.

Nesta fase, os elementos de cada grupo voltaram a discutir entre si as questões assinaladas e reentregaram as folhas de resposta com as novas respostas de grupo.¹

2.3.2 Testes aplicados

A metodologia foi aplicada em três momentos e com três testes diferentes, ao longo do 1.º semestre.

2.3.2.1 Teste diagnóstico de Mecânica

A primeira aplicação teve como principal objetivo aferir a viabilidade da metodologia e a resposta da turma, e deu-se a 16 de setembro de 2022, no início do ano, aproveitando um teste² diagnóstico de Mecânica do 10.º ano (*Aprendizagens Essenciais do 10.º ano de Física e Química A*, 2018, pp. 13–14) (ver B.1).

Deu-se numa aula de 100 (50 + 50) minutos, com um intervalo de 5 minutos, com a fase individual a ocorrer na primeira metade de aula, e as fases de grupo depois do intervalo. O teste foi aplicado (e as respostas recolhidas) através de um *Google Forms*, sendo uma cópia diferente do teste partilhada para cada fase.

O procedimento foi bem aceite pela turma, dando luz verde para a aplicação dos restantes, e os resultados encontram-se em A.1.

2.3.2.2 Teste de cinemática

A segunda aplicação teve como principal objetivo testar a metodologia numa situação de avaliação sumativa e deu-se a 21 de outubro de 2022, numa aula de 100 minutos, e visou questões de cinemática de 11.º ano (ver B.2). A fase individual decorreu nos primeiros 50 minutos da aula e foi imediatamente seguida (de modo a não haver partilha de informação entre grupos, os estudantes não saíram para o intervalo) pelas 1.ª³ e 2.ª fase de grupo.

O peso na classificação das respostas de grupo foi negociado com a turma, tendo-se acordado que o desempenho de grupo não poderia servir para baixar a nota individual e que seria avaliado de acordo com os ganhos relativos no grupo.

O teste foi pré-validado, para este propósito, pelas duas professoras orientadoras co-operantes (ambas de 11.º ano) e pelos quatro professores estagiários dos dois núcleos de

¹Fases adicionais podem acontecer para grupos que não descobrirem todas as respostas certas nesta, e o mesmo foi ensaiado no 1.º teste aplicado, secção 2.3.2.1, mas os ganhos foram, geralmente, tão significativos nas primeiras duas fases de grupo, que foi decidido truncar a metodologia na 2.ª fase.

²Elaborado, maioritariamente, pela professora Sofia Armelim, do mesmo grupo de departamento.

³Na qual praticamente todos os grupos obtiveram a cotação total (ver A.2).

estágio de física e química da ESIC e, como sugerido em Wieman et al. (2014), questões de resposta longa (grupo II) foram retiradas da fase de grupo¹.

2.3.2.3 Force Concept Inventory

A terceira, e última, aplicação decorreu nos dias 23 e 24 de janeiro. Foi utilizada uma versão, traduzida para português por membros do GIEDIF, do *Force Concept Inventory* (Mazur, 2014) por ser um teste padronizado que cobre, conceptualmente e de forma bem documentada, concepções no contexto de Mecânica de 11.º ano (*Aprendizagens Essenciais do 11.º ano de Física e Química A*, 2018), domínio finalizado a meio do semestre.

A fase individual teve lugar na primeira hora da aula (de 100 minutos) de dia 23 e o resto do tempo de aula, como de dia 24 (50 minutos), foi dedicado às 1.ª e 2.ª fase de grupo. Apesar de, em geral, os grupos terem mostrado dificuldade em gerir o tempo disponível nas fases de grupo, tudo correu de acordo com a temporização prevista.

2.3.3 Análise dos resultados

2.3.3.1 Análise dos ganhos da turma

Ganho de Hake, g. Embora originalmente se planeasse usar os ganhos de Hake (1998) para avaliar e comparar os resultados da aplicação dos testes colaborativos, um resultado particular de ganho negativo (pior resultado na 1.ª fase de grupo do que na fase individual), necessitou a introdução do conceito de mudança normalizada (Marx & Cummings, 2007) em vez do ganho de Hake (Hake, 1998).

Mudança normalizada, c. Uma alternativa, proposta por Marx e Cummings (2007) e definida como *mudança normalizada*, foi adotada. No modelo de mudança normalizada, o cálculo do ganho é igual ao ganho de Hake para valores positivos, mas difere deste para ganhos negativos, como se pode ver na eq. 2.1:

$$c = \begin{cases} \frac{\text{pós} - \text{pré}}{100 - \text{pré}} & \text{se pós} > \text{pré} \\ \text{retirar} & \text{se pré} = \text{pós} = 100 \\ 0 & \text{se pré} = \text{pós} \\ \frac{\text{pós} - \text{pré}}{\text{pré}} & \text{se pós} < \text{pré} \end{cases} \quad (2.1)$$

¹A 1.ª questão foi igualmente retirada das fases de grupo, por ter sido considerada pouco clara no momento de aplicação.

A grande vantagem desta métrica está na contabilização dos casos de mudança negativa. Neste caso, em que pós < pré, divide-se (*normaliza-se*) a diferença pós – pré pelo pré (quanto podia perder) em vez de 1 – pré (quanto podia ganhar).

2.3.3.2 Tipologia de grupo

Por fim, para perceber padrões nos ganhos observados, os grupos foram classificados, como em Lee e Didiş Körhasan (2022), de acordo com as respostas dadas pelos elementos na fase individual, **questão a questão**, em 3 parâmetros:

1. Número de respostas corretas

- *Tipo A*, nos quais todos os elementos do grupo responderam corretamente à questão na fase individual.
- *Tipo B*, nos quais metade ou mais de metade dos elementos do grupo responderam corretamente à questão na fase individual.
- *Tipo C*, nos quais menos de metade dos elementos do grupo (neste trabalho, apenas um elemento) responderam corretamente à questão na fase individual.
- *Tipo D*, nos quais nenhum dos elementos do grupo respondeu corretamente à questão na fase individual

2. Tipo de maioria

- *c* (maioria correta), nos quais a resposta maioritária é a resposta correta.
- *t* (empate, ou *tie*), nos quais se verifica um empate entre a resposta correta e uma resposta incorreta específica.
- *i* (maioria incorreta), nos quais a resposta maioritária é uma resposta incorreta específica.¹
- *n* (nenhuma), nos quais não se verifica maioria, i.e. todas as respostas à questão na fase individual são diferentes.

3. Variedade de respostas

- *S* (Igual, ou *Same*), nos quais todas as respostas, na fase individual, são iguais.
- *P* (Parcial), nos quais algumas respostas, na fase individual, são diferentes.

¹Note-se que, para um grupo ser classificado como *i* (em relação ao tipo de maioria), não basta ter uma maioria de respostas (eventualmente, diferentes entre si) erradas, mas sim maioria de **uma** mesma resposta errada específica.

- *D* (Diverso), nos quais todas as respostas, na fase individual, são diferentes.

Por exemplo, num grupo *D-i-S*, todos os elementos do grupo responderam a mesma (s) resposta incorreta (*D* e *i*), na fase individual. Já num grupo *D-i-P*, todos os elementos do grupo responderam a respostas incorretas (*D*)), mas enquanto há maioria de uma resposta incorreta específica (*i*), pelo menos um dos elementos respondeu uma resposta, incorreta, diferente (*p*).

Nos grupos *C-n-D*, há **uma** resposta correta (*C*), e não há maioria (*n*), porque todas as respostas dadas, na fase individual, foram diferentes (*d*).

2.3.3.3 Análise do efeito da tipologia

Para comparar resultados, calcula-se, para cada grupo: a *taxa observada*, *TO*, como o quociente entre o número de respostas de grupo corretas e o número de grupos, e a *taxa esperada*, *TE*, como o quociente entre o número de elementos que responderam corretamente na fase individual e o número de elementos no grupo.

O cálculo da *TE*, como realizado por Lee e Didiş Körhasan (2022), baseia-se na ideia do igual peso (ou igual probabilidade), na altura da resposta de grupo, da resposta individual de cada um, sem qualquer valorização de ganho específico de grupo.

Para determinar a significância da diferença entre os resultados de grupos diferentes, usou-se o teste qui-quadrado de Pearson (Lewis, 2014). Um exemplo da sua determinação, em *Microsoft Excel* é apresentado no apêndice C.1.

Resultados e discussão

*“Não posso dizer que haja entendido todas as palavras que foram aqui ditas, mas uma coisa posso afirmar: cheguei a este curso, ingénuo e, ao descobrir-me ingénuo, comecei a tornar-me crítico.” – “um homem que fora, durante longo tempo, operário”, citado por Paulo Freire em *Pedagogia do Oprimido* (1972/1975)*

Na secção 3.2, analisam-se os ganhos das 1.^a e 2.^a fase de grupo na aplicação do *Force Concept Inventory* (Mazur, 2014).

Na secção 3.3, da página 18, analisa-se o efeito dos tipos de grupo no desempenho da 1.^a fase de grupo.

3.1 Resultados da fase individual

Na fase individual da aplicação do *FCI*, a turma apresentou resultados relativamente baixos, mas semelhantes aos observados por (em turmas regulares) Hestenes et al. (1992) e por Biosa (2012). A média da turma foi de $31\% \pm 18\%$, a mediana 27% e os 1.^o e 3.^o quartil, respetivamente, 19% e 37%. Para além de um *outlier*, uma menina que respondeu corretamente a 29 das 30 questões, só dois estudantes responderam corretamente a mais de metade das questões, com uma taxa de acerto de 53% e 57%.¹

3.2 Ganhos

Analisam-se os resultados, apenas, da aplicação do *FCI*, nas 3 fases: FI (fase individual), GI (1.^a fase de grupo, na qual os elementos de grupo podem discutir entre si) e GII (2.^a fase de grupo, na qual os elementos de grupo voltam a discutir, após *feedback* dos professores).

3.2.1 Efeito da 1.^a fase de grupo

A média² da *mudança normalizada* (Marx & Cummings, 2007) na turma, que compara os resultados da fase individual com os resultados da 1.^a fase de grupo, foi:

¹Para uma representação gráfica destes resultados, consultar a figura A.8, em anexo.

²Para uma discussão das vantagens do uso da média da mudança normalizada (ou do ganho), em lugar do ganho médio, consultar a secção C.2.

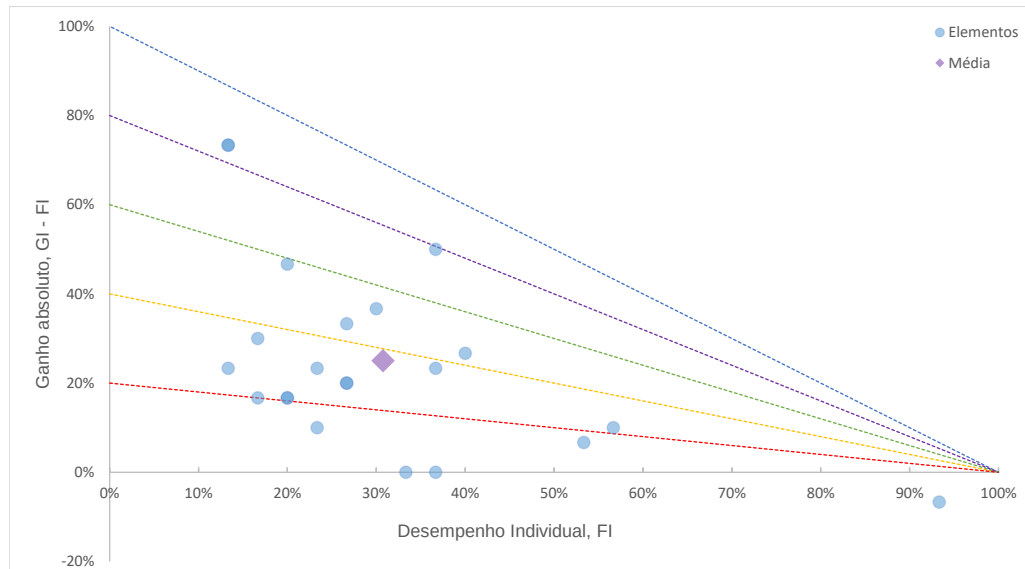


FIGURA 3.1: Ganhos observados, entre a fase individual, *FI*, e a 1.^a fase de grupo, *GI*. Pontos mais escuros representam a sobreposição de mais do que um estudante. O ganho absoluto médio obtido foi igual a $25\% \pm 21\%$ (lido no eixo das ordenadas) e o ganho relativo médio foi de $36\% \pm 31\%$, próximo dos 40% (indicado pela linha amarela).

$$C_{\text{média}} = 34\% \pm 25\%$$

Sem qualquer instância de instrução ou informação entre os dois momentos (*FI* e *GI*), o ganho médio observado é, embora maior, estatisticamente semelhante aos obtidos por Briosa (2012, cap. 6), $g = 18,79\% \pm 19,73\%$ e $g = 23,66\% \pm 22,93\%$, para com a utilização de estratégias de aprendizagem ativa. Nota-se que, em todos estes estudos, se observa uma grande dispersão dos ganhos individuais.

3.2.2 Efeito cumulativo da 2.^a fase de grupo

Ao fim de duas fases de grupo, a média da mudança normalizada (Marx & Cummings, 2007) na turma foi mais acentuada, com significativamente menor dispersão nos ganhos:

$$C_{\text{média}} = 73\% \pm 18\%$$

Porque os grupos obtiveram nesta fase informação sobre as respostas erradas, consequentemente diminuindo o número de opções de resposta possíveis de 5 para 4 respostas (uma diminuição de 20%), é impossível fazer comparações e não podemos distinguir o efeito da discussão. No entanto, é indiscutível o efeito benéfico para a aprendizagem desta discussão de grupo “assistida”.

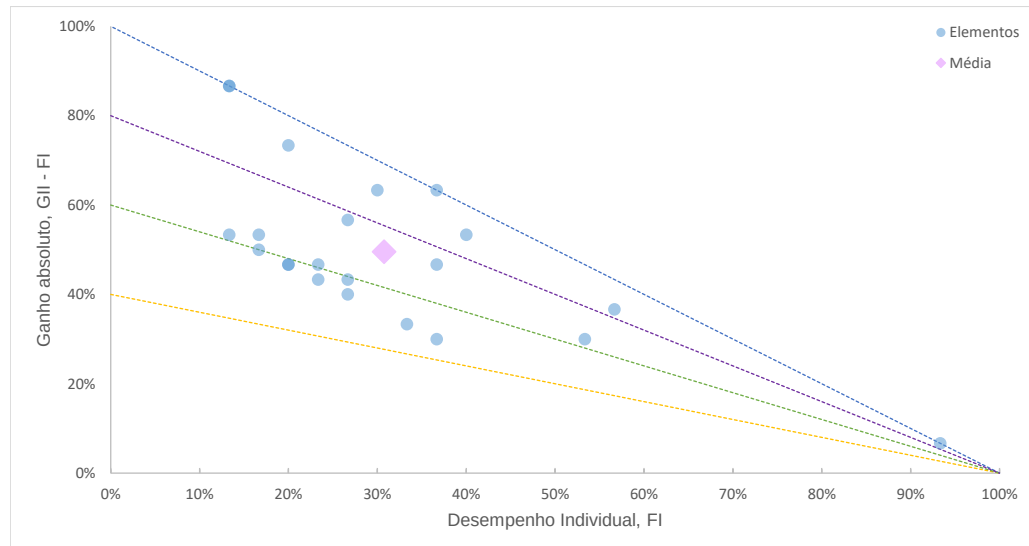


FIGURA 3.2: Ganhos observados, entre a fase individual, *FI*, e a 2.^a fase de grupo, *GII*. Como na figura 3.1, pontos escuros representam sobreposição de elementos. O ganho absoluto médio obtido foi igual a $50\% \pm 18\%$ e o ganho relativo médio foi de $72\% \pm 32\%$, entre os 60% e 80% (indicado, respetivamente, pelas linhas verde e violeta).

3.2.2.1 Efeito isolado da 1.^a fase para a 2.^a fase de grupo

Apresenta-se também, na figura 3.3, o efeito isolado da (1.^a) identificação das respostas erradas e 2.^a discussão de grupo. Os ganhos apresentados são, então, os observados entre a 1.^a (o *pré*) e a 2.^a fase de grupo (o *pós*).

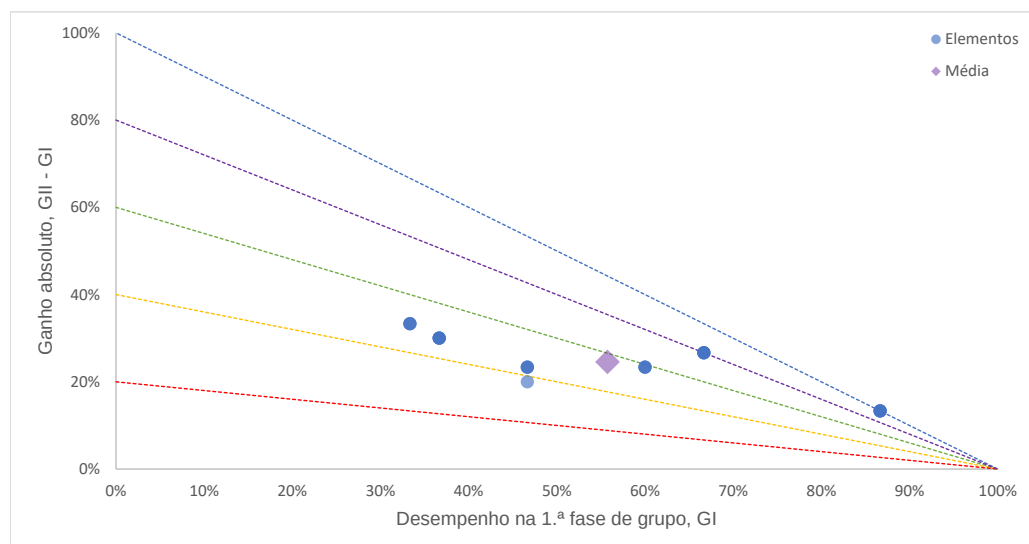


FIGURA 3.3: Ganhos observados apenas entre as 1.^a e 2.^a fase de grupo. Notar que o *Pré* é aqui a prestação na 1.^a fase de grupo, *GI*, e não a prestação da fase individual.

Os ganhos de grupo observados entre estas duas fases são muito elevados, com a média da mudança normalizada (Marx & Cummings, 2007) igual a $64\% \pm 21\%$.

3.3 Efeitos da tipologia de grupo

Se é importante validar a eficácia desta metodologia, mais ainda será, como motivamos nas secções 1.3.2.2 e 1.3.2.3, tentar perceber o mecanismo da sua atuação e, eventualmente, como a maximizar. Assim, para tentar descodificar o efeito do grupo na aprendizagem (i. e., como é que a discussão leva a ganhos tão elevados), classificamos cada grupo, **para cada questão**, segundo a tipologia apresentada em 2.3.3.2.

Nesta 2.^a parte da análise, considera-se apenas a 1.^a fase de grupo, de modo a melhor isolar o efeito da discussão no desempenho do grupo. Adicionalmente, de modo a aumentar o tamanho da amostra e tornar os resultados mais significativos, decidiu-se agrupar os resultados dos três testes aplicados (discriminados na secção 2.3.2) e fazer uma análise do conjunto. Análise relativa apenas à aplicação do *FCI* (Mazur, 2014), bem como uma breve discussão, é apresentada na secção 3.3.4 da página 24.

Aqui, é importante explicitar os dois usos do termo “grupo”, que são: de grupo, como os 3 ou 4 elementos que fisicamente constituem o grupo que discutiu, em conjunto, as questões todas; e de *grupo*, efetivamente um par *questão-grupo*, que é definido e categorizado em tipo e subtipos, questão a questão, e que será o significado principal nesta secção.

Por exemplo, na análise dos resultados do *FCI* (Mazur, 2014) (ver secção A.3), o grupo 4 é classificado como um *grupo* do subtipo B-c-P para a questão n.º 1 e como um *grupo* do subtipo C-i-P para questão n.º 2, porque o mesmo grupo apresenta padrões de resposta diferentes para as duas questões.

Deste modo, o número de *grupos* de um certo tipo (ou subtipo) é calculado como a soma do número de vezes que qualquer grupo é classificado como tal (tipo ou subtipo) em cada questão. E é por isto que, apesar de a turma estudada ter sido dividida, a nível da sua constituição, em apenas 6 grupos distintos, o número total de *grupos* contabilizados (p. ex., na tabela 3.1) é tão grande. ($6 \text{ grupos} \times 46 \text{ questões} = 276 \text{ grupos.}$)

Nesta secção, então, analisa-se o efeito dos três parâmetros diferentes: número de respostas corretas, tipos de maioria de resposta (correta, incorreta, empate ou nenhuma maioria) e diversidade de respostas (iguais, diferentes ou parcial) na fase individual. Os três são analisados por ordem, mas o padrão geral pode ser encontrado na figura 3.4b.

3.3.1 Número de respostas corretas

Abaixo, nas tabela 3.1 e figura 3.4a, resumem-se os resultados obtidos quando agrupamos os grupos de acordo com o número de respostas corretas. Como descrito na secção 2.3.3.3,

a taxa esperada, TE , calcula-se assumindo que cada resposta dos elementos do grupo na fase individual tem o mesmo peso, i.e., a mesma probabilidade de ser escolhida como resposta de grupo. Já a taxa observada, TO , é definida como a percentagem de grupos que submete, em grupo, a resposta correta.

TABELA 3.1: *Performance* na 1.^a fase de grupo, de acordo com o número de respostas corretas na fase individual, e resultados do teste qui-quadrado de Pearson.

Tipo de grupo	N.º de grupos	Taxa Observada	Taxa Esperada	χ^2
A	27	100%	100%	82,1, $df = 3$, $p < 0,001$
B	98	86%	61%	
C	93	68%	27%	
D	58	14%	0%	

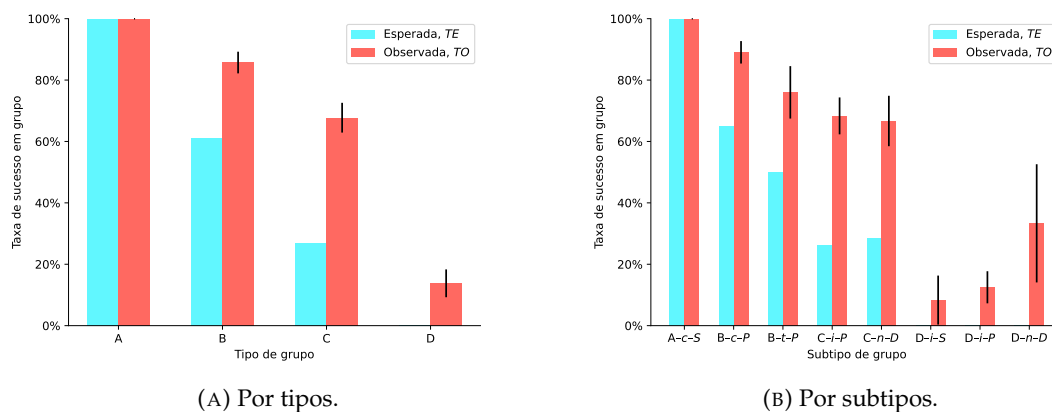


FIGURA 3.4: Efeitos da tipologia de grupo. A azul, a taxa esperada, TE , e, a vermelho, a taxa observada, TO . As barras de erro apresentam o desvio-padrão de cada taxa.

Os resultados do teste qui-quadrado ($\chi^2 = 82,1$, $p < 0,001$, tab. 3.1) permitem-nos, com mais de 99,9% de confiança, rejeitar a hipótese nula (que a taxa de sucesso não depende do tipo de grupo). Conclui-se, então, como evidente na figura 3.4a e esperado, que há uma diferença estatisticamente significativa entre estes tipos de grupo.

Como varia o desempenho do grupo com o número de respostas individuais corretas?

Antes de mais, verificamos que (com a exceção dos grupos do tipo A) todas as taxas de sucesso observadas, TO , excedem substancialmente as taxas esperadas, TE .

Este primeiro resultado é motivador. Verificamos também que, como esperado, a taxa de sucesso observada, TO cresce com o número de respostas individuais corretas.

Nos grupos de tipo A, em que todos os elementos tinham respondido corretamente à questão na fase individual, o desempenho foi como o esperado, com $TO = TE = 100\%$.

Já nos de grupo de tipo B, nos quais metade ou mais de metade dos elementos do grupo (mas não todos) tinham respondido corretamente na fase individual, a taxa de sucesso observada excedeu a taxa esperada por cerca de 25%.

Para o tipo C, em que apenas um elemento tinha respondido corretamente na fase individual, a diferença é ainda mais acentuada, com uma aumento de 41% acima do esperado (a taxa sucesso observada é maior do que o dobro da esperada).

Nos grupos de tipo D, nos quais **nenhum** elemento do grupo tinha respondido corretamente na fase individual, encontra-se o resultado mais interessante. Enquanto a taxa de sucesso esperada seria de 0%, 14% dos grupos foram capazes de, pela discussão da questão e sem qualquer assistência externa, encontrar a resposta correta. Isto será, só por si, indicação de que ocorreu coconstrução de conhecimento (Singh, 2005).

3.3.2 Tipo de maioria

Para aprofundar a nossa análise, dividimos cada tipo de grupo anterior em subtipos, de acordo com o tipo de maioria apresentado (maioria de respostas corretas, *c*, empate, *t*, maioria de respostas incorretas, *i* ou nenhuma maioria, *n*). Os resultados respetivos estão representados na tabela 3.2 e na figura 3.5.

TABELA 3.2: Resultados para o tipo de maioria.

	Tipo de maioria	N.º de grupos	Taxa Obs.	Taxa Esp.	χ^2
B	<i>c</i> (correta)	73	89%	65%	2,586, $df = 1$, $p = 0,11$
	<i>t</i> (empate)	25	76%	50%	
C	<i>i</i> (incorreta)	60	68%	26%	0,027, $df = 1$, $p = 0,9$
	<i>n</i> (nenhuma)	33	67%	29%	
D	<i>i</i> (incorreta)	52	12%	0%	2,149, $df = 1$, $p = 0,14$
	<i>n</i> (nenhuma)	6	33%	0%	

O efeito nos grupos do tipo A não é discutido, por apresentar apenas um subtipo.

Já os grupos do tipo B, podem ser subdivididos nos subtipos B-*c* (maioria correta, mas sem unanimidade) e B-*t* (empate entre a resposta correta e uma resposta incorreta específica). Ambos os subtipos apresentam *TO* bem acima do esperado e, entre si, há indicação de uma diferença estatisticamente significativa ($\chi^2 = 2,586$, $p = 0,11$). Isto pode significar uma mudança qualitativa no tipo de discussão entre maiorias e empates,

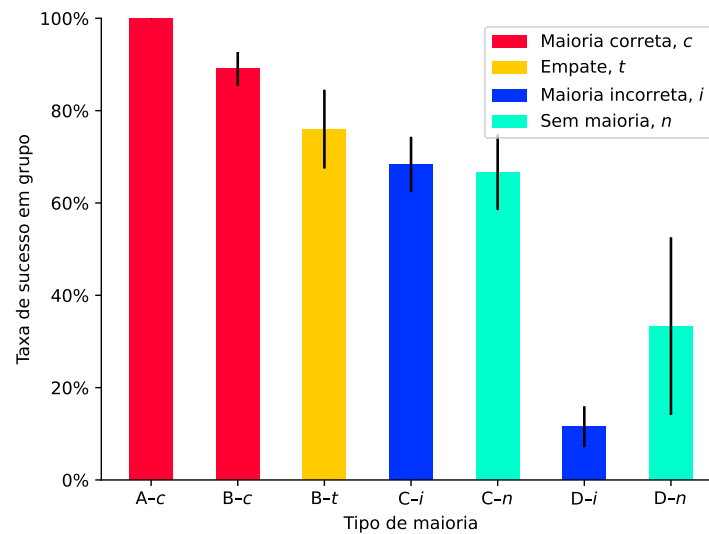


FIGURA 3.5: Efeito do tipo de maioria.

bem como ser apenas consequência do maior número de respostas corretas nos grupos B-c¹.

Nota-se que a taxa de sucesso dos grupos B-c, apesar de bastante elevada ($89\% \pm 4\%$), não atinge os 100%. Mais, há indicação de uma diferença estatisticamente significativa entre as TO dos grupos A-c (nos quais todos respondem, individualmente, corretamente), 100%, e B-c ($\chi^2 = 3,216$, $p = 0,073$). Porque se, nos grupos B-c, os estudantes decidissem a resposta de grupo por votação, a TO seria perto de 100% e comparável à dos grupos A, estes resultados indicam-nos que estes grupos não decidem a resposta de grupo por voto de maioria.

Dentro dos grupos de tipo C, não encontramos diferença significativa ($\chi^2 = 0,027$, $p = 0,9$) entre aqueles com maioria de respostas incorretas, C-i, e aqueles onde não existe maioria, C-n. Isto é indicativo de que, em grupos com (pelo menos) uma resposta correta, os elementos não decidem a resposta de grupo por maioria absoluta. Se assim fosse, não só esperaríamos uma TO bastante mais baixa (nos grupos C-i, apenas por maioria de votação, a taxa esperada seria de 0%) como que o desempenho de grupos do tipo C-i fosse significativamente menor do que C-n (já que, nestes últimos, a decisão por maioria é impossível).

Os grupos do tipo D podem, como os do tipo C, ser divididos em dois: D-i, com uma maioria de respostas individuais incorretas e nenhuma resposta correta, e D-n, sem

¹Lembrando os resultados da secção 3.3.1 e tendo em conta que os grupos B-c tem maior número de respostas individuais corretas e estão mais próximos do tipo A do que os grupos do tipo B-t, podemos esperar que estes apresentem maior taxa de sucesso.

nenhuma resposta correta, nem incorreta maioritária. Os dois subtipos apresentam *TO* acima do esperado (que, tratando-se de grupos entre os quais nenhum elemento sabia a resposta correta, seria de 0%). Em particular, estes resultados indicam-nos que nos grupos em que nenhum elemento respondeu corretamente na fase individual, mesmo naqueles em que há uma maioria de uma resposta específica incorreta, a resposta de grupo também não é decidida por votação de maioria.

Isto dito, os resultados do teste qui-quadrado são indicativos de uma possível diferença significativa ($\chi^2 = 2,149$, $p = 0,14$) entre os dois subtipos, apesar do reduzido número de grupos (apenas 6 grupos classificados como D-*n*). Isto é indicativo de uma vantagem significativa dos grupos D-*n*, sem maioria. Uma explicação possível para esta vantagem vem da diferença na diversidade de respostas dadas pelos elementos do grupo, discutida e motivada em secções seguintes, 3.3.3 e 3.3.5.

3.3.3 Diversidade de respostas

Por fim, dividimos os grupos por número de respostas corretas (A, B, C, D) e por tipo de diversidade (todas as respostas individuais iguais, *S*, algumas respostas diferentes, *P*, e todas as respostas diferentes, *D*). Resumem-se os resultados na tabela 3.3 e na figura 3.6.

TABELA 3.3: Resultados da diversidade de respostas

	Tipo de diversidade	N.º de grupos	Taxa Obs.	Taxa Esp.	χ^2
C	<i>P</i> (Parcial)	60	68%	26%	0,027 $df = 1$, $p = 0,9$
	<i>D</i> (Diverso)	33	67%	29%	
	<i>S</i> (Igual)	12	8%	0%	
D	<i>P</i> (Parcial)	40	13%	0%	2,284 $df = 2$, $p = 0,3$
	<i>D</i> (Diverso)	6	33%	0%	

Não se encontram diferenças significativas entre os grupos C-*P* e C-*D*, indicativo de que a presença de uma resposta correta nestes subtipos será o fator relevante.

Já entre os subtipos D-*S*, D-*P* e D-*D*, encontra-se um padrão observável (embora pouco significativo¹ estatisticamente, $\chi^2 = 2,284$, $p = 0,3$): de correlação positiva entre a taxa de sucesso observada e a diversidade das respostas dadas na fase individual (ver, em particular, as últimas três barras do gráfico da fig. 3.6). Nos grupos de subtipo D-*D* (com a maior diversidade de respostas), a taxa observada chega aos 33%. Isto sugere, então, no seguimento da secção anterior, 3.3.2, e a ser melhor motivado na secção 3.3.5, como

¹Estima-se que isto se deva, maioritariamente, ao reduzido número de grupos nestes subtipos. O resultado é, apesar da sua significância, concordante com aquele obtido em Lee e Didiş Körhasan (2022).

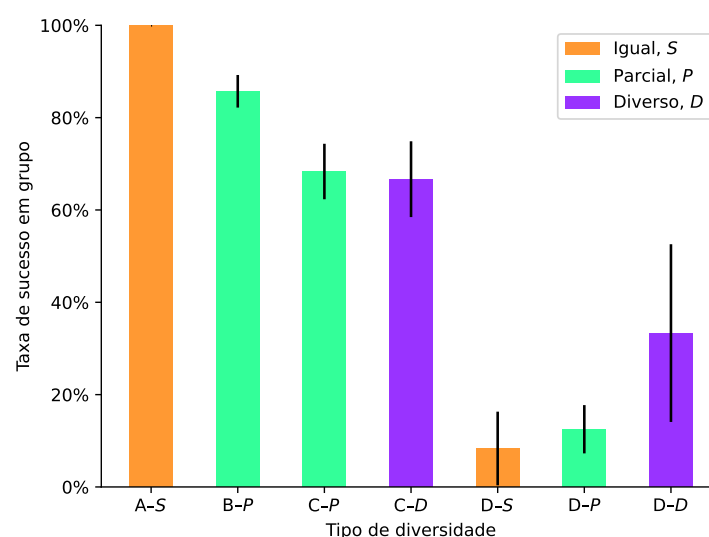


FIGURA 3.6: Efeito da diversidade de respostas.

a diversidade de respostas leva a uma maior probabilidade de discussão frutífera. Especificamente, a maior diversidade de respostas refletirá um maior número de hipóteses e concepções (mesmo que alternativas), que promove o conflito conceptual e a falsificação de respostas entre elementos como caminhos para a coconstrução de conhecimento (Singh, 2005) e da resposta correta.

Dentro dos grupos de tipo *S* (a amarelo torrado no gráfico da fig. 3.6 e nos quais todos escolheram a mesma resposta na fase individual), podemos comparar a taxa com que os grupos A-S e D-S mantiveram¹ a resposta individual (seja esta a resposta correta ou uma incorreta), 100% e 92%, respetivamente. Isto significa que: nos grupos A-S, alteraram a resposta em 0%, enquanto que nos grupos D-S, alteraram a resposta em 8%. O resultado do teste qui-quadrado é indicativo de uma diferença significativa ($\chi^2 = 2,309$, $p = 0,13$). Isto sugere que a probabilidade de um grupo, de tipo *S*, alterar a resposta após discussão é maior quando a resposta unânime é uma incorreta específica (embora, ainda assim, menor do que num grupo com maior diversidade de respostas) do que quando é a resposta correta, corroborando aquilo sugerido por Singh (2005) e apresentado em 1.3.2.3.

¹Não confundir com a taxa de sucesso observada, *TO*. Para os grupos de tipo A-S, a taxa dos que mantiveram resposta é igual à *TO*, pois (partindo de uma resposta correta), os grupos que a mantiveram são também os “bem” sucedidos. No entanto, para os grupos de tipo D-S, são exatamente aqueles que **não** mantêm a resposta (incorreta) da fase individual que podem (se a alterarem para a correta) apresentar sucesso na fase de grupo.

3.3.4 Resultados discriminados do FCI

A análise deste secção, 3.3, baseia-se não só no *FCI* (Mazur, 2014), mas em mais dois testes aplicados (num total de 16 questões adicionais) não padronizados.

Para legitimar esta opção, apresentam-se resultados da mesma análise à aplicação de apenas o *FCI* (Mazur, 2014), resumidamente, nos gráficos da figura 3.7. Comparando estes gráficos com os da figura 3.4, é fácil de verificar, espera-se, que o padrão de desempenho obtido na aplicação do *FCI* (Mazur, 2014) não difere significativamente daquele obtido para o conjunto de testes aplicados (e analisado, então, até aqui mais em detalhe).

Nota-se, em particular, as taxas de sucesso observadas significativamente maiores do que as esperadas e a mesma correlação positiva, nos grupos do tipo D, entre a taxa de sucesso observada e a diversidade de respostas.

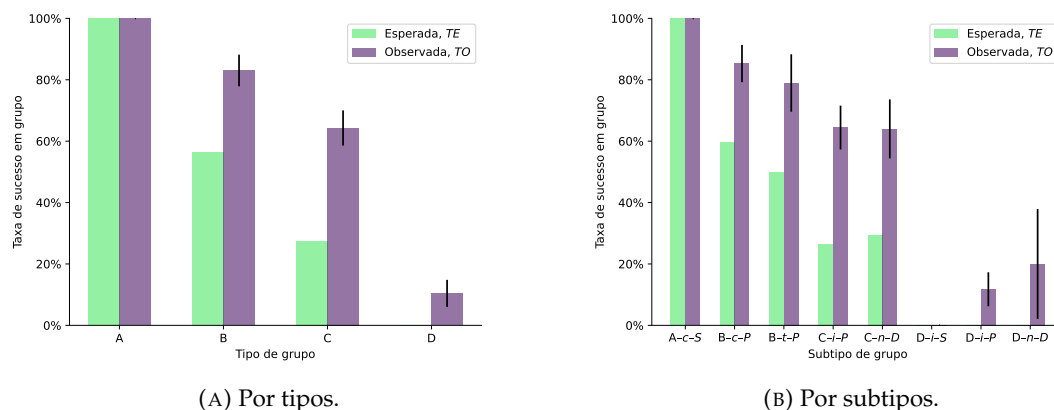


FIGURA 3.7: Efeito geral da tipologia de grupo, apenas na aplicação do *FCI*. TO – taxa observada, TE – taxa esperada.

3.3.5 Exemplos e casos anedóticos

Para tentar perceber como e de que forma a diversidade de respostas afeta a qualidade da discussão e o desempenho do grupo (principalmente, naqueles grupos em que nenhuma resposta correta era dada na fase individual), seguiram-se algumas discussões de grupo. De seguida, apresentam-se, por via de casos anedóticos sugestivos, alguns padrões encontrados.

3.3.5.1 A incompatibilidade das respostas, questão 1 do *FCI*

A 1.^a questão do *FCI* pretende estudar as conceções dos estudantes da dependência da massa no tempo de queda de corpos em (*mais ou menos*) queda livre. Para esta questão,

encontraram-se dois grupos classificados como tipo D-P (sem qualquer resposta correta na fase individual, alguma diversidade de respostas).

1. Duas bolas de metal têm o mesmo tamanho, mas uma das bolas tem o dobro do peso da outra. As duas bolas são deixadas cair do telhado de uma casa no mesmo instante. O intervalo de tempo que as bolas demoram a chegar ao chão será:
1. cerca de metade para a bola mais pesada.
 2. cerca de metade para a bola mais leve.
 3. mais ou menos o mesmo tempo para as duas bolas.
 4. consideravelmente menor para a bola mais pesada, mas não necessariamente metade.
 5. consideravelmente menor para a bola mais leve, mas não necessariamente metade.

FIGURA 3.8: Questão 1 do FCI. Duas bolas, de massas diferentes, são largadas, em simultâneo e da mesma altura. Qual, se alguma, leva mais tempo a cair? E quanto mais?

Num 1.º grupo, os elementos chegaram a consenso com a resposta correta, 3., conceptualmente diferente de qualquer uma das respostas dadas na fase individual. Enquanto que num 2.º grupo, os elementos mantiveram uma das respostas, erradas, da fase individual.

No 1.º grupo, a distribuição de respostas na fase individual é a seguinte: 3 elementos responderam 4. *a bola mais pesada leva menos tempo a cair (...)* e 1 elemento respondeu 5. *a bola mais leve leva menos tempo a cair (...)*. Estas duas posições estão em direta oposição uma com a outra, pelo que, para atingir o consenso, os elementos do grupo tiveram de discutir mais conceptualmente a questão e foram capazes de se *falsificar* mutuamente, chegando, por exclusão, à resposta correta.

No 2.º grupo, a distribuição de respostas é: 3 elementos responderam 1. *A bola mais pesada leva metade do tempo a cair* e 1 elemento respondeu 4.(...) *menos tempo a cair, mas não necessariamente metade*. Neste grupo, as duas posições, embora diferentes, não estão, conceptualmente, em oposição. A questão discutida foi, apenas, a da proporção com que a bola pesada levava menos tempo a cair (nunca sendo questionado se, realmente, a bola mais pesada caía mais rapidamente). Este grupo nunca chegou à resposta correta.

Este caso representativo aponta para a importância de opiniões qualitativamente mais diversas para a qualidade da discussão, bem como para a forma como duas concepções menos científicas podem, pela resolução de um conflito concetual, originar uma concepção mais cientificamente correta.

Isto parece-nos um ponto a favor de grupos de discussão maiores. Mais elementos aumentaria a probabilidade do aparecimento de uma posição, não necessariamente correta, mas suficientemente oposta às encontradas no grupo mais pequeno. Efetivamente,

um maior número de elementos aumentaria a diversidade conceptual de respostas (ajudando o grupo a sair de campos conceptuais errados e decorrer discussão significativa), bem como a probabilidade de surgir, pelo menos, uma resposta correta.

3.3.5.2 A destilação de concepções alternativas, questão 14 do FCI

A 14.^a questão pretende estudar as concepções em torno da trajetória de massas largadas de objetos em movimento.

Na turma estudada inteira (22 estudantes), apenas 2 respostas corretas foram dadas na fase individual. No entanto, na 1.^a fase de grupo (portanto, após apenas discussão entre elementos de cada grupo), 4 dos 6 grupos tinham chegado a um consenso na resposta correta. Mais, em cada um dos 2 grupos restantes, apesar de não atingirem (como grupo) um consenso correto, um dos elementos alterou a sua resposta para a correta, a trajetória 4 representada na fig. 3.9.

14. Uma bola de *bowling* cai acidentalmente da zona de carga de um avião que voa numa direcção horizontal. De acordo com uma pessoa de pé na Terra e observando o avião de acordo com a figura seguinte, qual dos percursos 1-5 melhor descreve a trajetória seguida pela bola após deixar o avião?

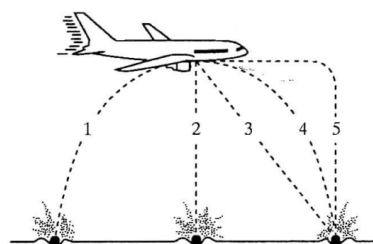


FIGURA 3.9: Questão 14 do FCI. Como cai uma bola de um avião em movimento?

Nos 2 últimos grupos, do tipo D-P, verificou-se o mesmo padrão: 1 elemento respondeu a trajetória 2 (a bola cai, sem velocidade horizontal, para o chão), enquanto que os restantes 2 ou 3 elementos responderam a trajetória 1 (a bola segue uma trajetória parabólica, mas para trás do avião). Na fase de discussão, então, os elementos que responderam 1, na tentativa de convencer o restante e recorrendo a exemplo de trajetórias dados nas aulas, conduzem-no a alterar a sua resposta, reconhecendo a necessidade de uma trajetória parabólica, embora com sentido diferente ao defendido pelos seus colegas, chegando assim à resposta correta, a 4.

Dentro dos grupos bem sucedidos, dois grupos são do tipo C-P, e outros dois do tipo D-P. Nestes últimos, uma diferença aparente em relação aos mal sucedidos é a presença da trajetória 3 nas respostas, trazendo, desde o início da discussão, a ideia de que a bola pode (e irá) cair para a frente (no referencial do observador na Terra). Neste grupo, o processo da discussão é semelhante, mas os elementos são capazes de se convencer todos da resposta correta, a 4.

Conclusão

*“Obrigado professor por nos deixar **ser ‘livres’** nas aulas” – Ricardo Barros, 11.º A*

*“(…) **aprenderem física e química a pensar verdadeiramente e a sorrir**” – Cátia Silva, 11.º A*

No final deste ensaio investigativo, tiramos duas conclusões principais: 1. que a aplicação de testes colaborativos tem um efeito altamente positivo na aprendizagem, com valores de mudança normalizada (Marx & Cummings, 2007) de cerca de 34% após a 1.ª discussão e de 73% na 2.ª fase de grupo; 2. que, para além dos outros fatores possíveis que justifiquem estes ganhos, a coconstrução de conhecimento (Singh, 2005) científico, mesmo a partir de conceções alternativas, acontece e é um dos fatores significativos (particularmente notável nos grupos de tipo D).

Outras conclusões, mais específicas, bem como uma breve reflexão final, seguem.

Como é decidida a resposta de grupo?

Em concordância com o descrito por Rieger e Heiner (2014), Wieman et al. (2014) e Lee e Didiş Körhasan (2022), os resultados permitem-nos rejeitar que os estudantes só chegam à resposta de grupo por maioria de votação. Em alternativa, e em concordância com a observação direta dos grupos, os estudantes discutem, na maioria dos casos, as questões e chegam à resposta de grupo pela construção de consenso.

Como é que os grupos co-constroem conceções mais científicas?

A correlação positiva entre diversidade de respostas num grupo e taxa de sucesso na fase de grupo confirma aquela observada em Lee e Didiş Körhasan (2022). Mais, os casos discutidos em 3.3.5 motivam a importância do conflito conceptual (P. Hewson & Hewson, 1984) na coconstrução de conhecimento. Verificou-se que, nestes grupos, a resposta correta podia ser construída a partir de diferentes conceções alternativas, desde que houvesse oportunidade para confronto entre ideias suficiente e conceptualmente diferentes. Provinha, assim, da falsificação de conceções e falhas de lógica e da subsequente junção das conceções e elementos lógicos mais robustos.

Experimentação em sala de aula: a cereja no topo do bolo

Para além das discussões produtivas e engajadas que aconteciam durante as fases de grupo, outro fenómeno mais inesperado teve lugar: dado o ambiente informal durante os momentos de discussão, os estudantes começaram a testar hipóteses e modelos conceptuais. Geralmente para tentar provar um ponto numa discussão, mas outras vezes, coletivamente, para confirmar a resposta construída, estudantes atiravam e largavam borrachas e outros pequenos objetos. Alguns, inclusivamente, filmavam estes pequenos ensaios de experimentação científica para confirmar, em câmara lenta, fenómenos e trajetórias. Não sendo diretamente relacionado com o método testado, consideramos que a necessidade de provar pontos, na discussão entre pares, motivou, de uma forma orgânica, a experimentação como via para a construção do conhecimento científico.

Propostas

Este ensaio com testes colaborativos demonstra o potencial de momentos de avaliação como momentos de aprendizagem valiosos. Dados os resultados apresentados em 3.3.3 e 3.3.5, propõem-se duas medidas para potenciar a construção de conhecimento científico e a discussão produtiva: a construção de questões com alíneas tendencialmente mais discordantes (promover a discussão e saída de campos concetuais alternativos) e a formação de grupos maiores para aumentar a diversidade de respostas e a “massa crítica” (Heller & Hollabaugh, 1992) de conhecimento conceptual. Adicionalmente, o “salto” de elementos entre grupos diferentes, de modo “plantar” ou partilhar ideias novas entre grupos, poderá ser uma estratégia a explorar.

Do estágio

Queria uma desculpa para acreditar em salas democráticas e barulhentas. Após este trabalho e um ano de estágio com o excelente conjunto de pessoas que me rodeou, acho que a ganhei e só reforcei as minhas crenças numa educação dialógica (Freire, 1972/1975). Assim, aproveito para gravar neste relatório de estágio um compromisso público com o futuro (e espero, genuinamente, que estudantes me venham esfregar isto na cara para me manter honesto): que manterei o idealismo, o gosto e o entusiasmo, que basearei a minha prática na confiança, na negociação, na discussão e no diálogo, que continuarei a construir mais e melhores questões problematizadoras, a trabalhar a minha capacidade de articular e expor narrativas plurais, críticas e instigadoras, e a construir relações de solidariedade, interdependência e comunidade.

Referências Bibliográficas

- Aprendizagens Essenciais do 10.º ano de Física e Química A*. (2018). Ministério da Educação.
http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/10_fq-a.pdf. (Ver pp. 7, 11)
- Aprendizagens Essenciais do 11.º ano de Física e Química A*. (2018). Ministério da Educação.
http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/11_fq-a.pdf. (Ver pp. 7, 12)
- Arends, R. (2014). *Learning to teach* (10ª ed.). McGraw-Hill. (Ver p. 4).
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart; Winston. (Ver p. 3).
- bell hooks. (1994). *Teaching to transgress: education as the practice of freedom* (1ª ed.). Routledge. (Ver p. 1).
- Benjamin, D. J., Berger, J. O., Johannesson, M., Nosek, B. A., Wagenmakers, E.-J., Berk, R., Bollen, K. A., Brembs, B., Brown, L., Camerer, C., Cesarini, D., Chambers, C. D., Clyde, M., Cook, T. D., Boeck, P. D., Dienes, Z., Dreber, A., Easwaran, K., Effer-son, C., ... Johnson, V. E. (2018). Redefine statistical significance. *Nature Human Behaviour*, 2, 6–10. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0189-z> (ver p. 56)
- Bloom, D. (2009). Collaborative Test Taking: Benefits for Learning and Retention. *College Teaching*, 57(4), 216–220. <https://doi.org/10.1080/87567550903218646> (ver pp. 1, 4)
- Briosa, E. P. (2012). *APRENDIZAGEM DE MECÂNICA DE SÓLIDOS E FLUIDOS EM ESCOLAS SECUNDÁRIAS - O Impacto de Materiais Interativos e a sua Exploração Edu-cacional*. (Ver pp. 15, 16).
- Dahiru, T. (2018). P - value, a true test of statistical significance? A cautionary note. *Annals of Ibadan postgraduate medicine*, 6(1), 21–26. <https://doi.org/10.4314/aipm.v6i1.64038> (ver p. 56)
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of second-ary science: Research into children's ideas*. Routledge. (Ver p. 1).
- Foley, D. P. (1981). Instructional Potential of Teacher-Made Tests. *Teaching of Psychology*, 8(4), 243–244. https://doi.org/10.1207/s15328023top0804_16 (ver p. 3)
- Freire, P. (1975, janeiro). *Pedagogia do Oprimido* (J. Barrote, Ed.; 2ª ed.). Afrontamento. (Trabalho original publicado em 1972). (Ver pp. 15, 28)

- Gordon, L. (1988). Cost/benefit testing. *Innovation Abstracts*, 12 (ver p. 4).
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809> (ver pp. 12, 56, 57)
- Heller, P., & Hollabaugh, M. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups. *American Journal of Physics*, 60(7), 637–644. <https://doi.org/10.1119/1.17118> (ver p. 28)
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497> (ver pp. 15, 46)
- Hewson, P. W. (1981). A Conceptual Change Approach to Learning Science. *European Journal of Science Education*, 3(4), 383–396. <https://doi.org/10.1080/0140528810304004> (ver p. 7)
- Hewson, P., & Hewson, M. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, (13), 1–13. <https://doi.org/10.1007/BF00051837> (ver pp. 1, 7, 8, 27)
- Jang, H., Lasry, N., Miller, K., & Mazur, E. (2017). Collaborative exams: Cheating? Or learning? *American Journal of Physics*, 85(3), 223–227. <https://doi.org/10.1119/1.4974744> (ver pp. 4, 5)
- Kapitanoff, S. H. (2009). Collaborative testing: Cognitive and interpersonal processes related to enhanced test performance. *Active Learning in Higher Education*, 10(1), 56–70. <https://doi.org/10.1177/1469787408100195> (ver p. 6)
- Lee, J., & Didiş Körhasan, N. (2022). Effect of group type on group performance in peer-collaborated two-round physics problem solving. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.*, 18, 020112. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020112> (ver pp. 1, 2, 5, 7, 9, 10, 13, 14, 22, 27, 55)
- Lewis, S. E. (2014). An Introduction to Nonparametric Statistics in Chemistry Education Research. Em D. M. Bunce & R. S. Cole (Eds.), *Tools of Chemistry Education Research* (pp. 115–133). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2014-1166.ch007>. (Ver pp. 14, 55)
- Martins, A., Malaquias, I., Martins, D., Fiúza, E., Silva, M. M., Neves, M., Soares, R., Campos, A. C., & Lopes, J. M. (2002). *Livro Branco da Física e da Química: Diagnóstico 2000, Recomendações 2002*. Editorial Minerva. (Ver p. 1).

- Marx, J. D., & Cummings, K. (2007). Normalized change. *American Journal of Physics*, 75(1), 87–91. <https://doi.org/10.1119/1.2372468> (ver pp. 12, 15–17, 27, 56, 57)
- Mazur, E. (2014). *Peer Instruction: A User's Manual* (1.^a ed.). Pearson. (Ver pp. 1, 7, 9, 10, 12, 15, 18, 24, 35, 36, 46).
- Murry, J. P. (1990). Better Testing for Better Learning. *College Teaching*, 38(4), 148–152. <https://doi.org/10.1080/87567555.1990.10532431> (ver pp. 2–4)
- Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória*. (2017). Ministério da Educação. https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto_Autonomia_e_Flexibilidade/perfil_dos_alunos.pdf. (Ver p. 8)
- Resnick, L. B. (1983). Mathematics and Science Learning: A New Conception. *Science*, 220(4596), 477–478. <https://doi.org/10.1126/science.220.4596.477> (ver p. 7)
- Rieger, G. W., & Heiner, C. E. (2014). Examinations That Support Collaborative Learning: The Students' Perspective. *Journal of College Science Teaching*, 43(4), 41–47. Obtido 2 junho 2023, de <http://www.jstor.org/stable/43632011> (ver pp. 6, 27)
- Siegler, R. S. (1983). Five generalizations about cognitive development. *American Psychologist*, 38(3), 263–277. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.38.3.263> (ver p. 7)
- Singh, C. (2005). Impact of peer interaction on conceptual test performance. *American Journal of Physics*, 73(5), 446–451. <https://doi.org/10.1119/1.1858450> (ver pp. 6, 7, 20, 23, 27)
- Smith, M. K., Wood, W. B., Adams, W. K., Wieman, C., Knight, J. K., Guild, N., & Su, T. T. (2009). Why Peer Discussion Improves Student Performance on In-Class Concept Questions. *Science*, 323(5910), 122–124. <https://doi.org/10.1126/science.1165919> (ver pp. 5, 6)
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4 (ver p. 7)
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press. (Ver p. 6).
- White, R., & Gunstone, R. (2020, maio 16). *Probing Understanding* (1.^a ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203761342> (Trabalho original publicado em 1992). (Ver p. 2)
- Wieman, C. E., Rieger, G. W., & Heiner, C. E. (2014). Physics Exams that Promote Collaborative Learning. *The Physics Teacher*, 52(1), 51–53. <https://doi.org/10.1119/1.4849159> (ver pp. 6, 12, 27)

Dados recolhidos e resultados

A.1 Teste diagnóstico

Nome do g.	Questão # 1	Questão # 2	Questão # 3	Questão # 4.1	Questão # 4.2	Questão # 4.3	Questão # 5.1	Questão # 5.2	Questão # 5.3
APCR	(C)	(A)	(D)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(B)
APCR	(B)	(D)	(D)	(C)	(D)	(A)	(A)	(B)	(B)
APCR	(C)	(D)	(A)	(C)	(A)	(C)	(A)	(A)	(B)
APCR	(B)	(D)	(D)	(C)	(D)	(A)	(A)	(B)	(D)
Física incrível	(D)	(B)	(C)	(C)	(B)	(B)	(C)	(C)	(B)
Física incrível	(A)	(C)	(C)	(B)	(D)	(C)	(A)	(C)	(D)
Física incrível	(C)	(D)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(A)
Física incrível	(C)	(B)	(B)	(C)	(B)	(D)	(A)	(D)	(B)
Grupo 50/50	(B)	(D)	(B)	(C)	(B)	(D)	(A)	(A)	(B)
Grupo 50/50	(C)	(B)	(A)	(B)	(A)	(A)	(A)	(A)	(C)
Grupo 50/50	(C)	(A)	(B)	(C)	(B)	(A)	(A)	(A)	(C)
Grupo 50/50	(B)	(D)	(B)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(C)
Os alfas	(B)	(A)	(C)	(B)	(B)	(D)	(A)	(C)	(B)
Os alfas	(B)	(C)	(C)	(C)	(D)	(A)	(A)	(B)	(B)
Os alfas	(B)	(D)	(C)	(C)	(D)	(A)	(A)	(B)	(B)
Os Caricas	(C)	(C)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(A)
Os Caricas	(B)	(A)	(B)	(C)	(B)	(A)	(A)	(D)	(B)
Os Caricas	(B)	(A)	(B)	(C)	(B)	(A)	(A)	(D)	(B)
Os Caricas	(D)	(B)	(A)	(A)	(C)	(C)	(A)	(D)	(C)
pmrj	(B)	(A)	(C)	(C)	(B)	(C)	(D)	(B)	(A)
pmrj	(C)	(D)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(A)
pmrj	(C)	(B)	(B)	(C)	(B)	(D)	(B)	(B)	(B)
pmrj	(C)	(D)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(C)

FIGURA A.1: Fase individual.

Nome de grupo	Questão # 1	Questão # 2	Questão # 3	Questão # 4.1	Questão # 4.2	Questão # 4.3	Questão # 5.1	Questão # 5.2	Questão # 5.3
APCR / 1	(C)	(B)	(A)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(B)
Os Caricas / 2	(C)	(D)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(B)
Os alfas / 3	(B)	(B)	(C)	(A)	(B)	(A)	(A)	(B)	(B)
Física incrível / 4	(C)	(D)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(A)
pmrj / 5	(C)	(D)	(C)	(C)	(B)	(A)	(A)	(B)	(B)
Grupo 50/50 / 6	(B)	(D)	(B)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(C)

FIGURA A.2: 1.ª fase de grupo.

Nome de grupo	N.ºs de estudante	Questão # 1	Questão # 2	Questão # 3	Questão # 4.1	Questão # 4.2	Questão # 4.3	Questão # 5.1	Questão # 5.2	Questão # 5.3
Os Caricas	3, 9, 16, 21	(C)	(D)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(A)
Física incrível	4, 5, 6, 20	(C)	(D)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(A)
APCR	2, 13, 19, 22	(C)	(D)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(D)
Os alfas	1, 7, 11	(C)	(D)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(A)
Grupo 50/50	8, 10, 15, 18	(C)	(D)	(C)	(C)	(A)	(A)	(A)	(B)	(C)

FIGURA A.3: 2.ª fase de grupo.

A.2 Teste de cinemática

Grupo	Versão	2.	3.	4.1	4.2	4.3	5.	6.
2	1	D	D	D	E	E	A	B
4	2	D	D	D	D	D	D	A
1	2	D	D	E	D	D	D	B
5	2	D	A	C	B	B	D	C
5	1	D	B	D	C	E	A	C
5	1	D	D	D	A	A	C	B
2	1	D	B	B	A	A	E	B
3	1	D	D	C	A	A	E	C
3	2	D	D	E	D	D	E	C
2	2	D	D	E	E	E	A	B
6	2	D	D	E	D	D	E	B
4	1	D	D	D	A	C	D	A
6	1	D	D	D	A	A	C	C
3	1	D	D	D	C	E	C	B
1	2	D	D	E	D	D	E	B
6	1	D	C	A	E	A	A	A
3	2	D	D	E	D	D	A	B
4	1	B	D	D	A	B	D	A
5	2	D	D	E	E	A	D	C
1	1	D	B	D	C	E	E	A
4	2	D	D	E	D	B	D	A
6	2	C	D	D	A	D	A	C

FIGURA A.4: Fase individual.

Grupo	Versão	2.	3.	4.1	4.2	4.3	5.	6.
1	2	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	2	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	0

(A) 1.^a fase de grupo.

Grupo	Versão	2.	3.	4.1	4.2	4.3	5.	6.
1	2	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	2	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1

(B) 2.^a fase de grupo.

FIGURA A.5: Resultados das fases de grupo na aplicação do teste de cinemática. Os 1 correspondem a respostas corretas e 0 a erradas.

A.3 Force Concept Inventory

FIGURA A.6: Respostas recolhidas na aplicação do FCI (Mazur, 2014).

FIGURA A.7: Evolução das frequências de respostas na aplicação do FCI (Mazur, 2014).

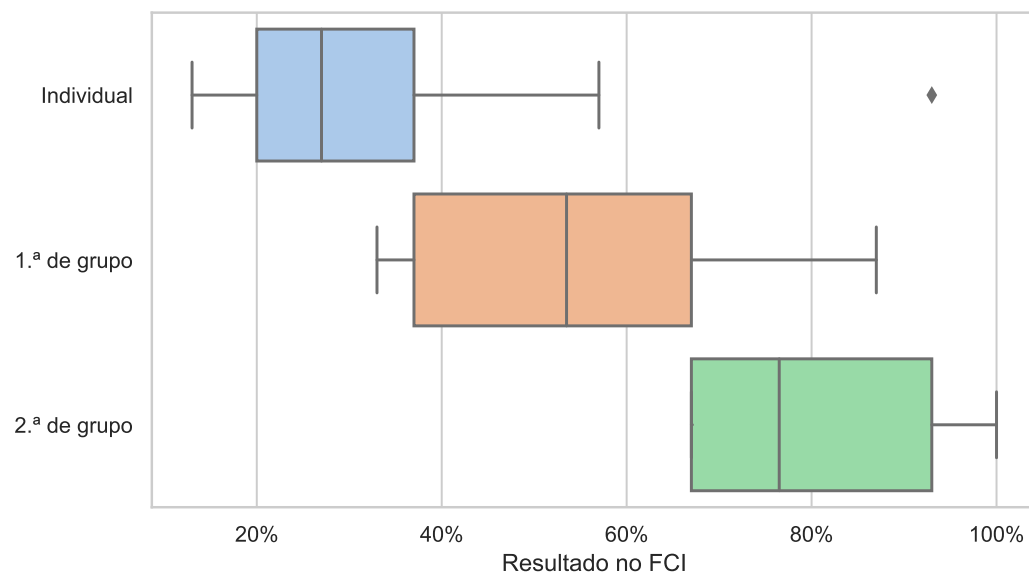


FIGURA A.8: Diagrama de extremos e quartis dos resultados nas diferentes fases da aplicação do FCI (Mazur, 2014). Notar o *outlier* na fase individual, referido na secção 3.1, e a grande margem de evolução de fase para fase.

**Diagnóstico
Mecânica**

Nome de grupo: CCCB

Ns.º:

Questão	Resposta
1	3 ✓
2	1 ✓
3	3 ✓
4	5 ✓
5	2 ✓
6	2 ✓
7	2 ✓
8	4 x 2 ✓
9	5 ✓
10	1 ✓
11	4 ✓
12	2 ✓
13	4 ✓
14	4 ✓
15	3 x 1 ✓
16	3 x 1 ✓
17	2 ✓
18	2 ✓
19	5 ✓
20	4 ✓
21	5 ✓
22	2 ✓
23	2 ✓
24	1 ✓
25	3 ✓
26	5 ✓
27	13 ✓
28	5 ✓
29	2 ✓
30	3 ✓

**Diagnóstico
Mecânica**

Nome de grupo:

Ns.º:

Questão	Resposta
1	3 ✓
2	1 ✓
3	3 ✓
4	5 ✓
5	4 x 2 ✓
6	2 ✓
7	2 ✓
8	2 ✓
9	3 x 5 ✓
10	1 ✓
11	3 x 4 ✓
12	2 ✓
13	3 x 4 ✓
14	4 ✓
15	3 x 1 ✓
16	1 ✓
17	1 x 4 ✓
18	4 x 2 ✓
19	5 ✓
20	4 ✓
21	3 x 5 ✓
22	1 x 4 ✓
23	2 ✓
24	1 ✓
25	3 ✓
26	5 ✓
27	3 ✓
28	5 ✓
29	2 ✓
30	3 ✓

FIGURA A.9: Folhas de resposta para as fases de grupo do FCI (Mazur, 2014). À direita da correção da resposta (pelo professor) da 1.^a fase de grupo, os grupos registavam a 2.^a resposta de grupo.

Testes aplicados

B.1 Teste diagnóstico

Ponto de Partida... - setembro 2022

Individual

* Indica uma pergunta obrigatória

1. Email *

2. O teu nome *

3. O teu número *

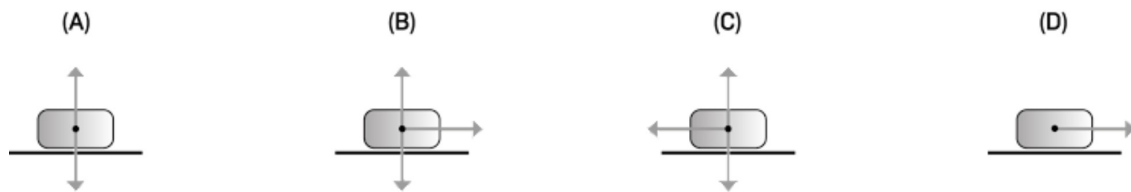
Marcar apenas uma oval.

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9
- ☐ 10
- ☐ 11
- ☐ 12
- ☐ 13
- ☐ 14
- ☐ 15
- ☐ 16
- ☐ 17
- ☐ 18
- ☐ 19
- ☐ 20
- ☐ 21
- ☐ 22
- ☐ 23

1. Um corpo desloca-se da esquerda para a direita sobre uma superfície horizontal, como mostra a figura, com movimento retardado.



4. Selecciona o diagrama que pode representar as forças que atuam sobre esse corpo. *



Marcar apenas uma oval.

- ☐ (A)
- ☐ (B)
- ☐ (C)
- ☐ (D)

5. 2. Um carrinho A, com a massa de 2 kg, move-se com uma velocidade de 4 m/s, e outro carrinho, B, com a massa de 1 kg, move-se com a velocidade de 8 m/s. *

Para os fazer parar é necessário despende alguma energia. Seja E_A a energia usada para fazer parar o carrinho A e E_B a usada para parar o carrinho B. Selecciona a opção correta.

(A) $E_A = E_B$

(B) $E_A = 2 E_B$

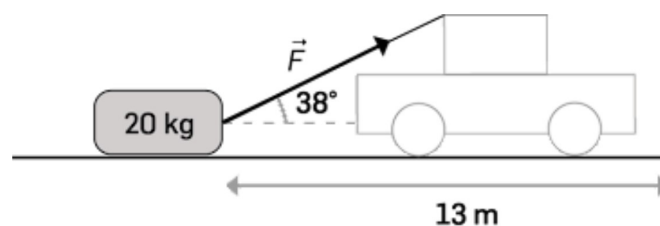
(C) $E_B < E_A$

(D) $E_B > E_A$

Marcar apenas uma oval.

- ☐ (A)
- ☐ (B)
- ☐ (C)
- ☐ (D)

3. Uma corda ligada a um carro puxa um bloco, com a massa de 20 kg, exercendo-lhe uma força de 25 N segundo um ângulo de 38° com a horizontal, num percurso retilíneo horizontal de 13 m.

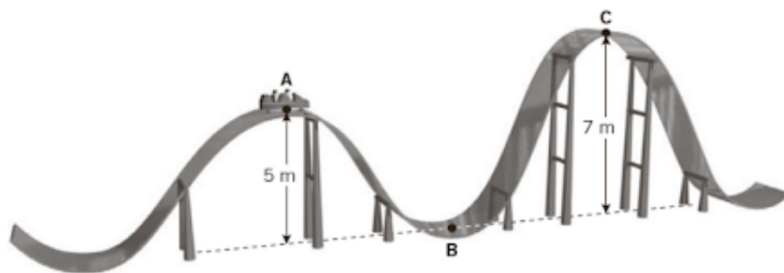


6. O trabalho realizado sobre o bloco pela força exercida pela corda é *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ (A) 260 J
☐ (B) 325 J
☐ (C) 256 J
☐ (D) 200 J

4. A figura (que não está à escala) representa o movimento de um carrinho com 1 kg de massa, numa montanha-russa. Considera que a velocidade do carrinho, quando passa na posição A, é 7 m/s. Despreza as forças de atrito.



7. 4.1. Selecciona a opção correta. *

Marcar apenas uma oval.

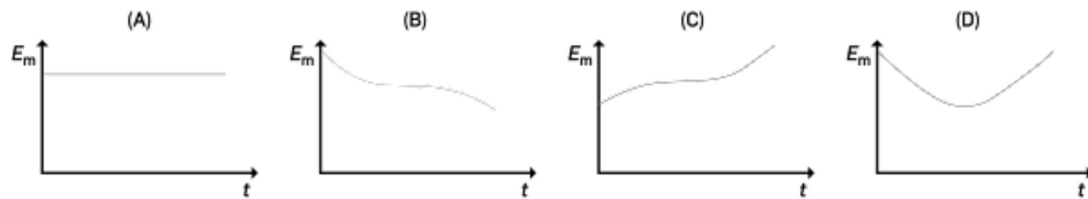
- ☐ (A) A velocidade do carrinho na posição B é inferior a 7 m/s
☐ (B) A velocidade do carrinho na posição C é igual a 7 m/s
☐ (C) A velocidade do carrinho na posição C é inferior a 7 m/s
☐ (D) A velocidade do carrinho na posição B é igual a 7 m/s

8. 4.2. Qual das seguintes opções traduz corretamente as transformações de energia que ocorrem no sistema. *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ (A) Na posição C, a energia potencial gravítica do sistema «carrinho + Terra» é 7/5 da energia potencial gravítica do sistema, quando o carrinho está em A.
☐ (B) A energia cinética do carrinho aumenta entre A e C e a energia potencial gravítica do sistema «Terra + carrinho» também aumenta.
☐ (C) A energia mecânica do carrinho é nula.
☐ (D) Durante todo o percurso de A até C, a energia potencial gravítica diminui.

9. **4.3.** Selecciona o gráfico que pode representar a energia mecânica do sistema *carrinho + Terra* em função do tempo, correspondente ao percurso de A até C. *



Marcar apenas uma oval.

- ☐ (A)
- ☐ (B)
- ☐ (C)
- ☐ (D)

5. Deixou-se cair uma bola de basquetebol (massa 500 g) de uma altura de 1,20 m e mediu-se a altura atingida no primeiro ressalto: 0,76 m. O efeito da resistência do ar é desprezável.



10. **5.1.** Selecciona a alternativa que contém os termos que preenchem, sequencialmente, os espaços seguintes, de modo a obter uma afirmação correta. *

"Enquanto a bola desce, e antes de embater no solo, a sua energia cinética _____ e a energia potencial gravítica do sistema *bola + Terra* _____."

Marcar apenas uma oval.

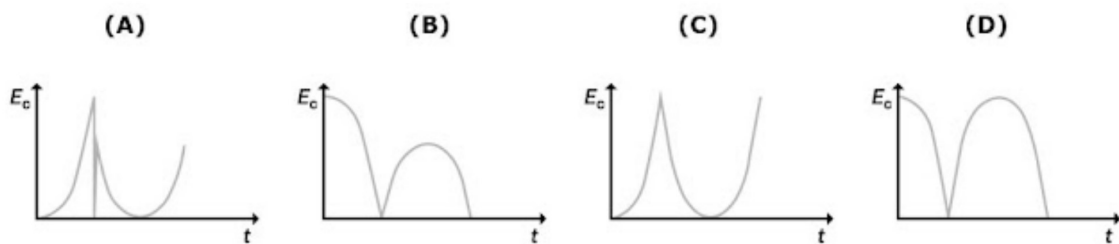
- ☐ (A) aumenta ... diminui
- ☐ (B) mantém-se constante ... diminui
- ☐ (C) diminui ... aumenta
- ☐ (D) diminui ... mantém-se constante

11. **5.2.** O trabalho realizado pelo peso do corpo, durante a queda inicial, foi de *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ (A) - 6 J
☐ (B) 6 J
☐ (C) - 0,6 J
☐ (D) 0,6 J

12. **5.3.** Selecciona o gráfico que pode representar a energia cinética da bola, E_c , em função * do tempo, t , desde o instante em que é abandonada até ao instante imediatamente antes da segunda colisão com o solo.



Marcar apenas uma oval.

- ☐ (A)
☐ (B)
☐ (C)
☐ (D)

B.2 Teste de cinemática

	Física e Química A 11º Ano Questão de aula 21 de out de 2022 Nome _____ Nº _____ 11º A
---	---

Grupo I

Nas questões de 1 a 6, seleciona a opção correta.

- Num gráfico posição-tempo do movimento de uma partícula, o declive da reta tangente ao gráfico, num dado ponto, dá-nos:
 - A rapidez da partícula.
 - O valor da aceleração da partícula.
 - O valor da velocidade média da partícula.
 - O valor da velocidade instantânea da partícula.
 - A posição da partícula.
- O Pedro está em repouso no ponto 3. Momentos depois, caminha até ao ponto 1, e fica lá um momento, antes de correr para o ponto 2 e ficar lá. Qual dos gráficos da Figura 1 abaixo descreve corretamente este movimento?

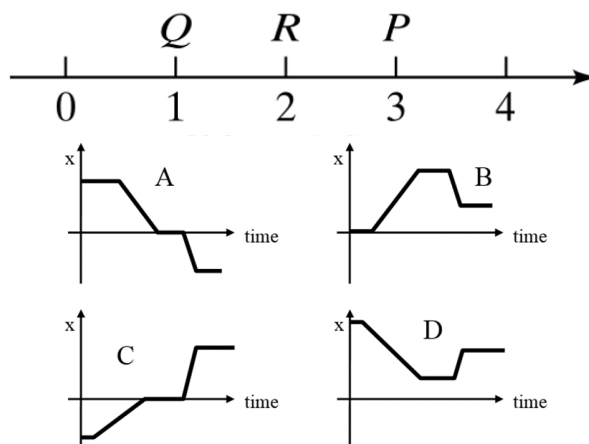


Figura 1 – Alternativas de gráficos posição-tempo para o movimento do Pedro.

- A componente escalar da velocidade de uma partícula é representada na Figura 2. Qual dos gráficos abaixo melhor representa o valor da aceleração em função do tempo?

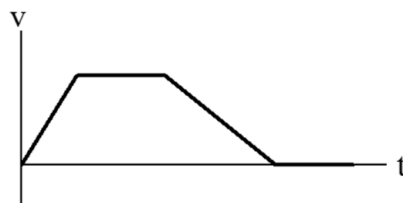
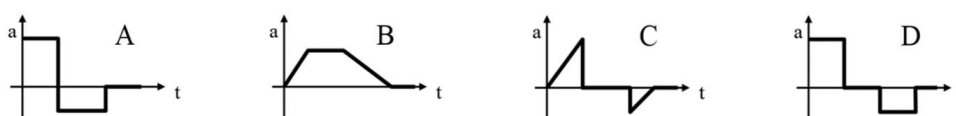


Figura 2 – Gráfico velocidade-tempo



4. O gráfico da Figura 3 abaixo representa o movimento retilíneo de uma partícula.

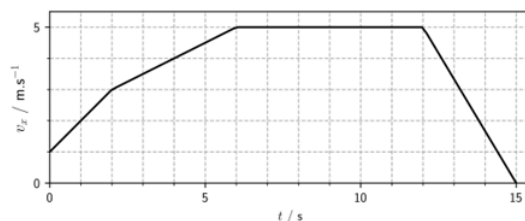


Figura 3 – Gráfico velocidade-tempo do movimento de uma partícula a uma dimensão.

- 4.1. Qual foi o valor da aceleração média da partícula entre os instantes $t=0$ s e $t=6,0$ s?
- $3,0 \text{ m.s}^{-2}$
 - $1,5 \text{ m.s}^{-2}$
 - $0,83 \text{ m.s}^{-2}$
 - $0,67 \text{ m.s}^{-2}$
 - $0,75 \text{ m.s}^{-2}$
- 4.2. Qual foi o valor do deslocamento da partícula entres os instantes $t=0$ s e $t=6,0$ s?
- 20,0 m
 - 8,0 m
 - 6,0 m
 - 1,5 m
 - Nenhum dos anteriores.
- 4.3. Qual foi a rapidez média da partícula nos primeiros 6,0 segundos?
- 3,3 m/s
 - 3,0 m/s
 - 1,8 m/s
 - 1,3 m/s
 - Nenhuma das anteriores.
5. O gráfico da Figura 4 descreve a posição de dois comboios, A e B, que se deslocam em duas linhas paralelas, em função do tempo. Qual das seguintes afirmações é verdadeira?
- No instante t_c , ambos os comboios têm o mesmo valor de velocidade.
 - Ambos os comboios têm a mesma rapidez.
 - Ambos os comboios têm o mesmo valor de velocidade em algum instante antes de t_c .
 - Ambos os comboios têm o mesmo valor de aceleração em algum instante antes de t_c .
 - Nenhuma das afirmações acima é verdadeira.

B.3 Force Concept Inventory

Tradução livre, pelo Grupo de Investigação em Ensino e Divulgação da Física, da Universidade do Porto, do *Force Concept Inventory* (Mazur, 2014), originalmente produzido por Hestenes et al. (1992).

- Teste Diagnóstico: Forças -		
Escola:		Duração: 1 h 00 min
Curso:	; Disciplina:	
Nome:		Sexo:

Para cada pergunta, indique a resposta que lhe parece mais correcta, assinalando com um círculo o respectivo número.

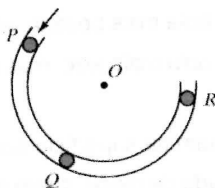
1. Duas bolas de metal têm o mesmo tamanho, mas uma das bolas tem o dobro do peso da outra. As duas bolas são deixadas cair do telhado de uma casa no mesmo instante. O intervalo de tempo que as bolas demoram a chegar ao chão será:
 1. cerca de metade para a bola mais pesada.
 2. cerca de metade para a bola mais leve.
 3. mais ou menos o mesmo tempo para as duas bolas.
 4. consideravelmente menor para a bola mais pesada, mas não necessariamente metade.
 5. consideravelmente menor para a bola mais leve, mas não necessariamente metade.
2. As duas bolas da questão anterior rolam na superfície de uma mesa horizontal com a mesma velocidade. Chegando em simultâneo à extremidade da mesa, caem em direcção ao chão. Nesta situação:
 1. as duas bolas atingem o chão aproximadamente à mesma distância horizontal da base da mesa.
 2. a bola mais pesada atinge o chão a cerca de metade da distância horizontal da base da mesa do que a bola mais leve.
 3. a bola mais leve atinge o chão a cerca de metade da distância horizontal da base da mesa do que a bola mais pesada.
 4. a bola mais pesada atinge o chão consideravelmente mais perto da base da mesa, mas não necessariamente a metade da distância da bola mais leve.
 5. a bola mais leve atinge o chão consideravelmente mais perto da base da mesa, mas não necessariamente a metade da distância da bola mais pesada.
3. Uma pedra é deixada cair do telhado inclinado de uma casa em direcção à superfície da Terra. Nesta situação:
 1. a pedra alcança a velocidade máxima logo após iniciar a sua queda e depois cai com velocidade constante.
 2. a velocidade aumenta à medida que a pedra cai porque a atracção gravítica vai ficando mais forte à medida que a pedra se aproxima da superfície da Terra.
 3. a velocidade aumenta devido a uma força gravítica quase constante que actua sobre a pedra.
 4. a pedra cai devido à tendência natural de todos os objectos para repousarem na superfície da Terra.
 5. a pedra cai devido aos efeitos combinados da força gravítica e da força do ar que a empurram para baixo.

4. Um camião choca frontalmente com um pequeno carro. Durante a colisão:

1. o camião exerce uma força maior no carro do que a força que o carro exerce no camião.
2. o carro exerce uma força maior no camião do que a força que o camião exerce no carro.
3. nenhum deles exerce uma força no outro; o carro é destruído apenas porque se encontra no caminho do camião.
4. o camião exerce uma força no carro, mas o carro não exerce nenhuma força no camião.
5. o camião exerce no carro a mesma força que o carro exerce no camião.

Use a afirmação e a figura seguintes para responder às questões 5 e 6.

A figura seguinte mostra uma calha com a forma de um segmento de círculo centrado no ponto O. A calha está fixa na superfície horizontal de uma mesa. A mesa é observada de cima. As forças exercidas pelo ar podem ser desprezadas. Considere também desprezáveis as forças de atrito. Uma esfera é disparada a grande velocidade para o interior da calha no ponto P e sai da calha no ponto R.



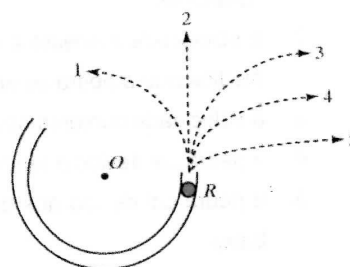
5. Considere as seguintes forças:

- A- A força gravítica.
- B- A força exercida pela calha que aponta de Q para O.
- C- A força na direcção do movimento.
- D- A força que aponta de O para Q.

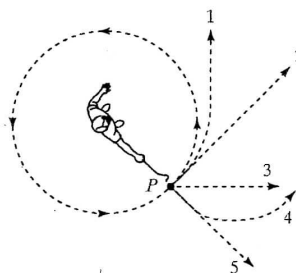
Qual ou quais das forças acima mencionadas actuam na esfera quando ela se encontra dentro da calha na posição Q?

1. Apenas a força A.
2. As forças A e B.
3. As forças A e C.
4. As forças A, B e C.
5. As forças A, C e D.

6. Qual dos percursos 1-5 ilustrados a seguir vai a esfera seguir, após a saída da calha no ponto R, ao deslocar-se na superfície da mesa sem atrito?

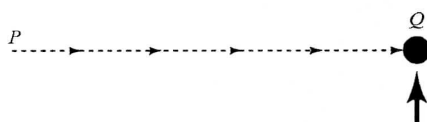


7. Uma esfera de aço está ligada a um fio e roda numa trajectória circular num plano horizontal, de acordo com a figura seguinte. No ponto P, o fio parte-se subitamente. Se estes eventos forem observados de cima, qual dos percursos 1-5 vai a esfera seguir quando o fio parte?

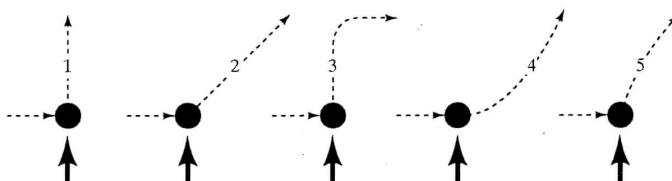


Use a afirmação e a figura seguintes para responder às questões 8 a 11.

A figura seguinte ilustra um disco de hóquei, visto de cima, que desliza com velocidade constante de valor v_0 em linha recta, do ponto P para o ponto Q, numa superfície horizontal sem atrito. As forças exercidas pelo ar podem ser desprezadas. Quando o disco atinge o ponto Q recebe uma tacada horizontal, na direcção e sentido da seta indicada na figura. Se o disco estivesse em repouso, a tacada teria colocado o disco em movimento horizontal com velocidade de valor v_k na direcção e sentido da tacada.



8. Qual dos percursos 1-5 melhor representa o percurso seguido pelo disco após a tacada?

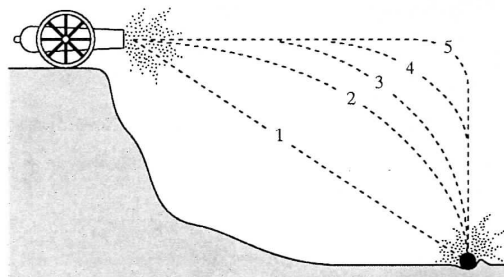


9. O valor da velocidade do disco após a tacada é:
1. igual ao valor da velocidade, v_0 , que tinha antes de receber o golpe.
 2. igual ao valor da velocidade, v_k , que resulta do golpe e é independente da velocidade v_0 .
 3. igual à soma aritmética dos valores das velocidades, v_0 e v_k .
 4. menor do que v_0 e menor do que v_k .
 5. maior do que v_0 e do que v_k , mas menor do que a soma aritmética das duas.
10. Ao longo do percurso sem atrito escolhido na questão 8, o valor da velocidade do disco após a tacada:
1. é constante
 2. aumenta continuamente.
 3. diminui continuamente.
 4. aumenta durante algum tempo mas depois diminui.
 5. é constante durante algum tempo mas depois diminui.

11. Ao longo do percurso sem atrito escolhido na questão 8, a(s) principal(ais) força(s) a actuar no disco é (são)

1. a força gravítica.
2. a força gravítica e uma força horizontal na direcção e sentido do movimento.
3. a força gravítica, uma força vertical e ascendente exercida pela superfície e uma força horizontal na direcção e sentido do movimento.
4. a força gravítica e uma força vertical e ascendente exercida pela superfície.
5. nenhuma. (Não há forças a actuar no disco).

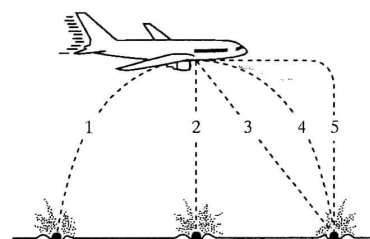
12. Uma bola é disparada por um canhão no topo de uma ravina de acordo com a figura seguinte. Qual dos percursos 1-5 melhor representa o percurso seguido pela bola?



13. Um rapaz atira uma esfera de aço directamente para cima. Considere o movimento da esfera um instante após ter deixado a mão do rapaz e antes de ter tocado o chão, e assuma que as forças exercidas pelo ar são desprezáveis. Nestas condições, as forças a actuar na esfera são:

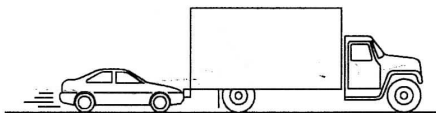
1. uma força gravítica e uma força vertical e ascendente que diminui gradualmente.
2. uma força vertical e ascendente que diminui gradualmente desde o momento em que a esfera deixa a mão do rapaz até que chega ao ponto mais alto; no percurso descendente actua uma força gravítica que aumenta gradualmente à medida que a esfera se aproxima da superfície da Terra.
3. uma força gravítica quase constante e uma força vertical e ascendente que diminui gradualmente até a esfera alcançar o ponto mais alto; no percurso descendente actua apenas uma força gravítica quase constante.
4. apenas uma força gravítica quase constante.
5. nenhuma das opções anteriores. A esfera cai para o chão devido à sua tendência natural para repousar na superfície da Terra.

14. Uma bola de *bowling* cai acidentalmente da zona de carga de um avião que voa numa direcção horizontal. De acordo com uma pessoa de pé na Terra e observando o avião de acordo com a figura seguinte, qual dos percursos 1-5 melhor descreve a trajectória seguida pela bola após deixar o avião?



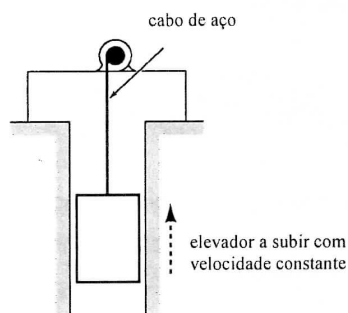
Use a afirmação e a figura seguintes para responder às questões 15 e 16.

Um caminhão avaria na estrada e é empurrado até à garagem por um pequeno carro, como mostra a figura seguinte.



15. Enquanto a velocidade do carro aumenta, quando começa a empurrar o caminhão,
1. a força com que o carro empurra o caminhão é igual à força com que o caminhão empurra o carro para trás.
 2. a força com que o carro empurra o caminhão é menor do que a força com que o caminhão empurra o carro para trás.
 3. a força com que o carro empurra o caminhão é maior do que a força com que o caminhão empurra o carro para trás.
 4. o motor do carro está a funcionar, pelo que o carro empurra o caminhão, mas o motor do caminhão não está a funcionar pelo que o caminhão não pode empurrar o carro para trás. O caminhão é empurrado apenas porque está no caminho do carro.
 5. nem o carro nem o caminhão exercem qualquer força um no outro. O caminhão é empurrado apenas porque está no caminho do carro.
16. Depois de o carro ter alcançado uma velocidade constante, à qual o seu condutor deseja empurrar o caminhão,
1. a força com que o carro empurra o caminhão é igual à força com que o caminhão empurra o carro para trás.
 2. a força com que o carro empurra o caminhão é menor do que a força com que o caminhão empurra o carro para trás.
 3. a força com que o carro empurra o caminhão é maior do que a força com que o caminhão empurra o carro para trás.
 4. o motor do carro está a funcionar, pelo que o carro empurra o caminhão, mas o motor do caminhão não está a funcionar pelo que o caminhão não pode empurrar o carro para trás. O caminhão é empurrado apenas porque está no caminho do carro.
 5. nem o carro nem o caminhão exercem qualquer força um no outro. O caminhão é empurrado apenas porque está no caminho do carro.
17. Um elevador é puxado para cima com velocidade constante, de acordo com a figura seguinte. O atrito pode ser desprezado. Nesta situação, as forças exercidas no elevador são tais que:
1. o valor da força vertical e ascendente exercida pelo cabo de aço é superior ao da força gravítica.
 2. o valor da força vertical e ascendente exercida pelo cabo de aço é igual ao da força gravítica.
 3. o valor da força vertical e ascendente exercida pelo cabo de aço é inferior ao da força gravítica.

4. o valor da força vertical e ascendente exercida pelo cabo de aço é superior ao da soma da força gravítica com a força vertical descendente devida ao ar.
5. nenhuma das anteriores. (O elevador sobe porque o cabo de aço está a ser encurtado, não por causa de uma força ascendente exercida pelo cabo sobre o elevador).



18. A figura seguinte mostra um rapaz num balanço. A amplitude do movimento do balanço ocorre num ponto mais alto do que P. Considere as seguintes forças:

- A- A força gravítica.
- B- A força exercida pela corda que aponta de P para O.
- C- A força na direcção do movimento do rapaz.
- D- A força que aponta de O para P.

Quais das forças acima mencionadas actuam no rapaz quando ele está no ponto P?

1. Apenas a força A.
2. As forças A e B.
3. As forças A e C.
4. As forças A, B e C.
5. As forças A, C e D.



19. As posições de dois blocos A e B em intervalos de tempo sucessivos de 0,2 s, estão representadas pelos quadrados numerados da figura seguinte. Os blocos deslocam-se para a direita. A primeira marca indica a posição dos blocos no instante inicial $t = 0,0$ s.

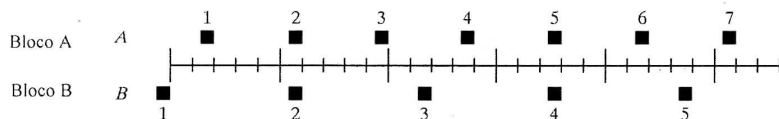


Há algum instante em que os blocos têm a mesma velocidade?

1. Não.
2. Sim, no instante 0,2 s.
3. Sim, no instante 0,8 s.

4. Sim, nos instantes 0,2 s e 0,8 s.
5. Sim, num instante do intervalo 0,4 a 0,6 s.

20. As posições de dois blocos A e B em intervalos de tempo sucessivos de 0,2 s, estão representadas pelos quadrados numerados da figura seguinte. Os blocos deslocam-se para a direita. A primeira marca indica a posição dos blocos no instante inicial $t = 0,0$ s.

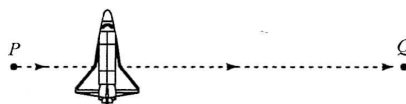


As acelerações dos blocos estão relacionadas da seguinte maneira:

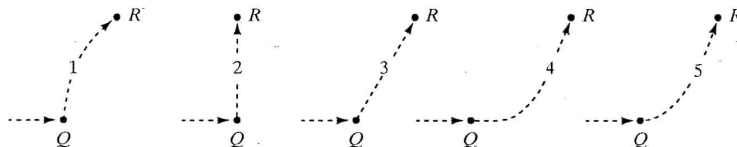
1. a aceleração do bloco A é superior à aceleração do bloco B.
2. a aceleração do bloco A é igual à aceleração do bloco B. As duas acelerações são diferentes de zero.
3. a aceleração do bloco B é superior à aceleração do bloco A.
4. a aceleração do bloco A é igual à aceleração do bloco B. As duas acelerações são iguais a zero.
5. Não é dada suficiente informação para responder a esta questão.

Use a afirmação e a figura seguintes para responder às questões 21 a 24.

Uma nave espacial desliza lateralmente no espaço sideral, do ponto P para o ponto Q, de acordo com a figura seguinte. A nave não está sujeita a forças exteriores. Começando na posição Q, o motor da nave é ligado e é produzida uma força impulsiva constante em ângulo recto com a linha PQ. A força constante é mantida até a nave atingir um ponto R no espaço.



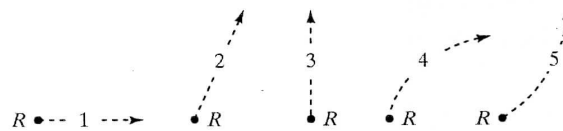
21. Qual dos seguintes percursos 1-5 melhor representa o percurso seguido pela nave entre os pontos Q e R?



22. À medida que a nave espacial se desloca do ponto Q para o ponto R o valor da sua velocidade:

1. é constante.
2. aumenta continuamente.
3. diminui continuamente.
4. aumenta durante algum tempo e depois é constante.
5. é constante durante algum tempo e depois diminui.

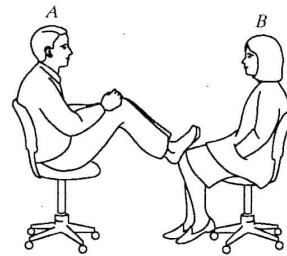
23. No ponto R o motor da nave é desligado e a força impulsiva diminui imediatamente para zero. Qual dos percursos 1-5 melhor descreve o rumo da nave depois do ponto R?



24. Ultrapassado o ponto R, o valor da velocidade da nave:

1. é constante.
 2. aumenta continuamente.
 3. diminui continuamente.
 4. aumenta durante algum tempo e depois é constante.
 5. é constante durante algum tempo e depois diminui.
25. Uma mulher exerce uma força horizontal numa caixa grande. Como resultado, a caixa desloca-se horizontalmente no chão com velocidade constante de valor v_0 . A força constante aplicada pela mulher:
1. tem a mesma intensidade que a do peso da caixa.
 2. tem uma intensidade superior à do peso da caixa.
 3. tem a mesma intensidade que a da força que se opõe ao movimento da caixa.
 4. tem uma intensidade superior à da força que se opõe ao movimento da caixa.
 5. tem uma intensidade superior tanto à do peso da caixa como à da força que se opõe ao movimento da caixa.
26. Se a mulher da questão anterior duplicar a força horizontal constante que exerce na caixa, para a empurrar horizontalmente no mesmo chão, a caixa move-se:
1. com velocidade constante que é o dobro da velocidade de valor v_0 da questão anterior.
 2. com velocidade constante que é superior à velocidade de valor v_0 da questão anterior, mas não necessariamente o dobro.
 3. durante algum tempo com velocidade constante e superior à velocidade de valor v_0 da questão anterior e depois com velocidade progressivamente superior.
 4. durante algum tempo com velocidade que aumenta gradualmente e depois com velocidade constante.
 5. com velocidade que aumenta progressivamente.
27. Se a mulher da questão 25 deixar subitamente de aplicar a força horizontal na caixa, então esta:
1. pára imediatamente.
 2. continua em movimento com velocidade constante durante algum tempo e depois abranda até parar.
 3. começa imediatamente a abrandar até parar.
 4. continua em movimento com velocidade constante.
 5. aumenta a sua velocidade durante algum tempo mas depois começa a abrandar até parar.

28. Na figura seguinte, o estudante A tem uma massa de 75 kg e a estudante B tem uma massa de 57 kg. Eles estão sentados em cadeiras idênticas e virados um para o outro. O estudante A coloca os seus pés descalços nos joelhos da estudante B. O estudante A começa então a afastar os seus pés do corpo, fazendo com que ambas as cadeiras se desloquem.



Durante o intervalo de tempo do contacto, em que os dois estudantes se tocam:

1. Nenhum deles exerce uma força sobre o outro.
2. O estudante A exerce uma força na estudante B, mas esta não exerce qualquer força sobre o estudante A.
3. Qualquer dos estudantes exerce uma força sobre o outro, mas a estudante B exerce uma força maior.
4. Qualquer dos estudantes exerce uma força sobre o outro, mas o estudante A exerce uma força maior.
5. Ambos exercem forças, um sobre o outro, de igual intensidade.

29. Uma cadeira vazia está em repouso no chão. Considere as seguintes forças

- A- A força gravítica.
- B- A força vertical e ascendente exercida pelo chão.
- C- A força vertical e descendente exercida pelo ar.

resultante

Quais das forças anteriores estão a actuar na cadeira?

1. Apenas a força A.
2. As forças A e B.
3. As forças B e C.
4. As forças A, B e C.
5. Nenhuma. (Como a cadeira está em repouso, não há forças a actuar nela).

30. Apesar de um vento contrário muito forte, uma tenista consegue atingir a bola de forma que esta passe sobre a rede e toque o chão do outro lado do campo. Considere as seguintes forças:

- A- A força gravítica.
- B- A força exercida pela raquete.
- C- A força exercida pelo ar.

Quais das forças anteriores actuam na bola de ténis depois de ela ter deixado de contactar com a raquete e antes de tocar o chão?

1. Apenas a força A.
2. As forças A e B.
3. As forças A e C.
4. As forças B e C.
5. As forças A, B e C.

Tratamento estatístico e definições

C.1 Testes de significâncias

Para determinar a significância de diferenças aparentes nas taxas de sucesso observadas entre diferentes tipos e subtipos de grupo, aplicou-se, à semelhança daquilo feito em Lee e Didiş Körhasan (2022), o teste qui-quadrado de Pearson, como descrito em Lewis (2014).

N.º de resp. corretas	Tipo de maioria	Variedade	NO, n.º de grupos "bem" sucedidos	N - NO, n.º de grupos "mal" sucedidos	N.º de grupos	NE, n.º esperado de acertos "aleatórios"	1 - NE, n.º esperado de erros "aleatórios"	Tipo de maioria	"Bem" sucedidos	"Mal" sucedidos
B	c, maioria	P	65	8	73	62,6	10,4	Correct maj.	0,094	0,566
	t, empate		19	6	25	21,4	3,6	Tie	0,275	1,6514
			84	14	98					
								χ^2	2,586	
								df	1	
								p-value	0,11	

FIGURA C.1: Esquema-exemplo, numa folha de dados, do cálculo do teste qui-quadrado de Pearson. Neste exemplo comparam-se as taxas de sucesso observadas, dentro de grupos do tipo B, de grupos com maioria de resposta correta na fase individual e de grupos com empate entre a resposta correta e uma resposta incorreta específica na fase individual. O p -value obtido é de 0,11, correspondente a um valor de significância para a diferença observada de $1 - 0,11 = 89\%$ de confiança.

No 1.º conjunto de colunas, organiza-se o número observado de grupos “bem” sucedidos (que responderam corretamente na fase de grupo), NO, o número de grupos “mal” sucedidos (que não responderam corretamente) e o número total de grupos identificados para cada subtipo. No exemplo apresentado na figura C.1, os subtipos em comparação são: B–c, com 65 instâncias em que foram “bem” sucedidos e 8 em que foram “mal” sucedidos (num total de 73 instâncias observadas), e B–i, com 19 “bem” sucedidos, 6 “mal” sucedidos e 25 em total. (Ambos apresentam um tipo de diversidade parcial, P.) Para além disto, e para uso no passo seguinte, calcula-se o número total (entre estes subtipos) de instâncias de grupos “bem” sucedidos e de grupos “mal” sucedidos.

No par de colunas seguinte, encontram-se os números (calculados) esperados de grupos “bem” e “mal” sucedidos, fosse o sucesso na resposta de grupo independente do subtipo de grupo (no exemplo, tipo de maioria dentro dos grupos de tipo B). No caso de as variáveis serem independentes, a nossa hipótese nula, o número de grupos, de um dado subtipo, “bem” sucedidos, p. ex., é simplesmente calculado como o produto entre o número de grupos totais desse subtipo e a probabilidade de um qualquer grupo ser “bem” sucedido (definida como o número total de grupos “bem” sucedidos e o número total de grupos). Assim, para calcular, p. ex., o número esperado, NE, de grupos “bem”

sucedidos, assumindo a hipótese nula, para os grupos do subtipo B-c, teríamos:

$$N_{B-c} \times \frac{NO_{total}}{N_{total}} = 73 \times \frac{84}{98} = 63$$

No último conjunto de colunas, calcula-se, efetivamente, o desvio do número observado em relação ao número esperado. Na continuação do parágrafo anterior, o desvio associado aos grupos “bem” sucedidos de subtipo B-c é calculado como:

$$\chi^2_{B-c} = \frac{(NO_{B-c} - NE_{B-c})^2}{NE_{B-c}} = \frac{(65 - 62,6)^2}{62,6} = 0,094$$

A estatística de teste cumulativa, o χ^2 , é a soma de todos estes desvios anteriores. No exemplo, é igual a 2,586. O *p-value* para cada valor de χ^2 e respectivos graus de liberdade é calculado com recurso à função *CHISQ.DIST.RT*, do *Microsoft Excel* (mas disponível em qualquer *software* atual de análise de dados), correspondente ao valor para o teste unicau-dal.

Geralmente, o *p-value* padrão para rejeição da hipótese nula, i.e. que as duas variáveis são independentes (ou, neste caso, que o subtipo não tem correlação com o sucesso de grupo), é de 0,05. (Benjamin et al., 2018) (Dahiru, 2018) No entanto, tratando-se de um ensaio investigativo, com uma amostra de estudo muito reduzida, decidiu-se considerar *p-values* de 0,1 e, em casos particulares, 0,15 como *indicativos* de significância.

N.º de resp. corretas	Tipo de maioria	Variedade	ÑO, n.º de grupos que "mantiveram resposta"	N - ÑO	N.º de grupos	ÑE, n.º esperado	1 - ÑE	Tipo de maioria	Mantiveram	Não mantiveram
A	c, maioria	S	27	0	27	26,3	0,7	Correct maj.	0,018	0,692
D	i, incorreta		11	1	12	11,7	0,3	Tie	0,041	1,5577
			38	1	39					
								χ^2	2,309	
								df	1	
								p-value	0,129	

FIGURA C.2: Exemplo da aplicação do teste qui-quadrado na comparação das taxas com que grupos, de tipo S, mantêm respostas da fase individual (não de TO).

C.2 A média dos ganhos e o ganho médio

Marx e Cummings (2007) defendem que a forma mais razoável de caracterizar os ganhos de um grupo (entre um pré-teste e um pós-teste) é calcular a mudança normalizada¹ (individual) de cada elemento, de acordo com a eq. 2.1) e, depois, fazer a média de todas as mudanças individuais. A esta grandeza atribui-se o nome de média da mudança normalizada, $c_{média}$ (análoga à média dos ganhos, $g_{médio}$).

¹Análoga ao ganho relativo (Hake, 1998), mas definida também para ganhos absolutos negativos, como apontado na secção 2.3.3.1.

A alternativa seria calcular a mudança normalizada das médias, $\langle c \rangle$, a partir da média dos pré-testes e da média dos pós-testes. Para o cálculo da média da mudança normalizada, $c_{\text{média}}$, e da mudança normalizada das médias, $\langle c \rangle$, as fórmulas seriam:

$$c_{\text{média}} = \frac{1}{N} \sum_i^N c_i(\text{pré}_i, \text{pós}_i) \quad (\text{C.1})$$

$$\langle c \rangle = c(\text{pré}_{\text{médio}}, \text{pós}_{\text{médio}}) \quad (\text{C.2})$$

Um exemplo ilustrativo do problema com a mudança normalizada das médias é dado, também, em Marx e Cummings (2007). Dois estudantes diferentes obtêm 80% no pré-teste. O ganho potencial (positivo) máximo, para cada, é de 20% (o que pode ganhar e o ganho potencial negativo é de 80% (o que pode perder). Digamos agora que um obtém 85% no pós-teste, enquanto o segundo obtém 75% (ganhos absolutos simétricos).

O primeiro apresenta uma mudança normalizada¹ de 25%, já que:

$$c_1 = \frac{\text{pós}_1 - \text{pré}_1}{1 - \text{pós}_1} = \frac{0,85 - 0,8}{1 - 0,8} = 0,25$$

Já o segundo estudante apresenta uma mudança normalizada de cerca de -6% . Porque o ganho absoluto é negativo, temos, de acordo com a eq. 2.1:

$$c_2 = \frac{\text{pós}_2 - \text{pré}_2}{\text{pós}_2} = \frac{0,75 - 0,8}{0,8} = -0,0625$$

A média da mudança normalizada seria, então:

$$c_{\text{média}} = \frac{1}{2}(c_1 + c_2) = \frac{0,25 - 0,0625}{2} = 9,4\%$$

E a mudança normalizada das médias seria bastante diferente. Porque $\text{pré}_{\text{médio}} = \text{pré}_1 = \text{pré}_2 = 0,8$ e $\text{pós}_{\text{médio}} = \frac{0,85+0,75}{2} = 0,8 = \text{pré}_{\text{médio}}$, então, pela eq. 2.1:

$$\langle c \rangle = 0$$

A média da mudança normalizada reflete o ganho relativo, de grupo, positivo. Isto é, que a mudança relativa do 1.º estudante, 5% em 20% possíveis, é maior do que a mudança relativa do 2.º estudante, 5% em 80%. Por outro lado, a mudança normalizada das médias esconde esta informação.

¹Usa-se a grandeza mudança normalizada (Marx & Cummings, 2007) precisamente porque o ganho absoluto do segundo estudante, negativo, não nos permite o cálculo de ganho (relativo) de Hake (1998).

