

O RACIOCÍNIO CAUSAL E A EXPLICAÇÃO DE FENÓMENOS DO ÂMBITO DA MECÂNICA

Manuel Sequeira

Universidade do Minho, Portugal

Laurinda Leite

Universidade do Minho, Portugal

Resumo - Quando confrontados com situações problemáticas, os indivíduos tendem a estabelecer relações de causalidade para explicar essas situações e, assim, aumentar a sua compreensão do mundo. Um estudo realizado, por questionário e entrevista, com 228 alunos portugueses de Física, (desde o nono ano de escolaridade até ao quarto ano da universidade), mostrou que os alunos: a) utilizam ideias e explicações pré-Newtonianas na interpretação de fenómenos e acontecimentos do domínio da Mecânica e b) tendem a usar raciocínio causal, de modo indiscriminado, na interpretação desses mesmos fenómenos e acontecimentos. Envolvendo a Mecânica factos causados e factos determinados por leis, muitas das dificuldades sentidas pelos estudantes na aprendizagem deste tema poderão estar relacionadas com a aplicação indiferenciada do raciocínio causal a todas as situações problemáticas com que são confrontados e com a utilização de regras de inferência causal, construídas a partir de uma amostra insuficiente e limitada de experiências. Como consequência, sugere-se um modelo de ensino - aprendizagem que tenha em consideração as ideias alternativas dos alunos e as regras de inferência por eles utilizadas, no sentido de tornar mais eficaz o ensino e facilitar a aprendizagem da Mecânica.

Quando confrontados com situações problemáticas que envolvem fenómenos físicos, os indivíduos tentam encontrar explicações para esses fenómenos e, assim, aumentar a sua compreensão do mundo. A interpretação de grande parte dos fenómenos físicos envolve raciocínio causal. Pela importância que lhe é atribuída na construção de conhecimentos em diversas áreas do saber, o raciocínio causal têm sido objecto de estudo e reflexão ao longo dos tempos e dele se têm ocupado tanto escolas filosóficas como psicológicas. Dada a diversidade de posições daí decorrente, o conhecimento das várias correntes de causalidade bem como a clarificação de alguns conceitos (ex. causa e relação causal) adquire particular relevância quando se considera o ensino-aprendizagem de conceitos físicos em geral e no âmbito da

Versão adaptada de comunicação apresentada no Congresso "A Psicologia e os Psicólogos hoje", Universidade de Lisboa, Novembro de 1989.

Investigação subsidiada pela Fundação Calouste Gulbenkian.

Toda a correspondência relativa a este artigo deve ser enviada para: Manuel Sequeira, Instituto de Educação, R. Abade da Loureira, 4700 BRAGA, PORTUGAL

Mecânica em particular.

O presente trabalho pretende analisar as explicações dadas por estudantes de Física a problemas do domínio da Mecânica, tendo em conta: a) as ideias expressas pelos estudantes; e b) o modo como o raciocínio causal é utilizado na interpretação e explicação das situações físicas com que foram confrontados.

No entanto, pelas razões acima apontadas, os autores consideram que, antes de entrar na descrição do estudo propriamente dito, é necessário fazer uma síntese das principais correntes de causalidade e clarificar alguns conceitos a fim de contextualizarem a análise que fazem das explicações dadas pelos alunos.

Teorias da Causalidade e Conceitos de Causa em Física

O estudo da causalidade conduziu à existência de várias escolas de filósofos e psicólogos que, partindo de pressupostos epistemológicos diferentes, formularam diferentes teorias da causalidade. Todas estas teorias apresentam alguns aspectos comuns, embora se distingam quanto ao modo como se estabelece e/ou decorre a relação causal. De um modo muito geral, podemos considerar a existência de três principais escolas de causalidade: a empiricista, liderada por Hume, a racionalista, liderada por Kant, e a semicausalista, liderada por Bunge.

Para Hume (1973) o conhecimento é constituído por impressões (dados recebidos através dos sentidos), e por ideias (cópias das impressões recolhidas na mente após as sensações). A compreensão, por seu lado, é obtida através da associação de ideias a qual é regida pelas leis da causalidade, de tal modo que: a) causa e efeito devem estar próximas no tempo e no espaço; b) a causa deve ser anterior ao efeito; c) sempre que se produz uma causa deve ocorrer o efeito e d) se o efeito ocorreu, a causa havia sido produzida. Existe portanto uma associação entre um "acontecimento causa" e um "acontecimento efeito", próximos no tempo e no espaço, sem que haja qualquer transmissão entre eles.

Para Kant (1985) existe na mente um conjunto de conceitos ou princípios relacionados entre si e que actuam à priori sobre as sensações, fornecendo "moldes" para criar realidades ordenadas. Um desses "moldes" seria a causalidade. Os racionalistas acreditam que todos os factos são causados e que se uma determinada causa acontecer, ela deverá produzir um determinado efeito. Contudo, contrariamente aos empiricistas, os racionalistas defendem que causa e efeito não estão simplesmente associados no tempo e no espaço, mas antes existe uma transmissão entre o acontecimento causa e o acontecimento efeito, que constitui a essência da ligação causal, tendo esta valor universal.

Os semicausalistas do século XX (Bunge, 1977) concordam com a necessidade de estabelecer uma ligação (vínculo causal) entre causa e efeito, com transmissão, mas rejeitam o princípio racionalista de que todo o facto é causado (determinismo causal) para defenderem que todo o facto é regido por uma lei (determinismo "legal"). Assim, uma relação causal passa a ser um caso especial da relação legal e passam a ser aceites explicações de natureza não causal.

O semicausalismo parece ser a teoria filosófica que mais se adequa ao conhecimento físico já que, se por um lado a simples associação causa-efeito,

defendida pelos empiricistas, não explica fenómenos físicos, também por outro lado a teoria racionalista e o princípio do determinismo causal parecem não estar de acordo, tanto com a Física Newtoniana, que inclui o princípio da inércia, como com a Física pós-newtoniana, de natureza probabilística.

No que respeita às teorias psicológicas da causalidade podemos considerar três teorias/modelos como sendo os mais representativos entre a diversidade de teorias/modelos existentes e que, de certa forma, derivam dos modelos filosóficos previamente apresentados. Assim, vamos considerar a teoria da atribuição causal de H. Kelley, a teoria da causalidade de J. Piaget e o modelo de pensamento causal de J. Pozo.

A teoria da atribuição causal de Kelley (1973) estuda o modo como o sujeito constrói explicações causais, com o objectivo de analisar a informação que ele usa e o modo como a usa para determinar as causas do seu comportamento e do comportamento dos outros. Assim, seguindo uma tradição empiricista, a atribuição dá-se posteriormente à execução e observação do comportamento e com base no princípio da covariação (atribuição de um efeito a uma das suas possíveis causas com a qual ele varia ao longo das várias observações efectuadas) ou no princípio da configuração (utilização de esquemas causais para atribuir uma causa a um efeito que foi observado apenas uma vez).

Piaget considera que

"O problema central da causalidade é o das transformações geradoras de novidade, embora nessas transformações se mantenham, de forma indissociável, certas conservações" (Piaget, 1977 p. 91).

A causa produz algo novo (transformação) e há algo que é transmitido entre causa e efeito (conservação). A causalidade refere-se a um isomorfismo entre as acções que o objecto realiza e as operações do sujeito e a atribuição dá-se à priori. Uma vez que a causalidade consiste na atribuição de operações aos objectos, ela só poderá começar a ser entendida pelo indivíduo a partir do início do período das operações concretas (sete anos) e ainda assim o raciocínio causal será dominado pelo objecto/conteúdo. Apenas a partir dos onze anos (início das operações formais) o raciocínio causal se tornaria independente do objecto/conteúdo e a forma passaria a dominá-lo. Para Piaget, até aos sete anos não seria possível a um indivíduo raciocinar causalmente e, a partir dos onze anos, o raciocínio causal deveria tornar-se independente dos objectos/conteúdos, o que parece não ter sido corroborado por alguns estudos recentes (Pozo, 1987).

Seguindo a linha da teoria filosófica do semicausalismo de Bunge, Pozo serve-se de resultados de estudos sobre o pensamento formal e competência em áreas específicas para, a partir das teorias psicológicas da causalidade que o antecederam, elaborar o seu "modelo de pensamento causal". Considerando que uma boa teoria da causalidade deve guiar-se por critérios funcionais ou pragmáticos, Pozo (1987) defende um modelo causal que se ocupa das interacções complexas entre os aspectos representacionais (contidos nas teorias causais) e os aspectos processuais (regras de inferência causal). O pensamento causal teria assim três componentes

hierarquicamente organizados:

"princípios determinantes da forma do vínculo causal que seria adoptada pelos outros dois (teorias e regras de inferência) componentes, uma *teoria* ou esquema de funcionamento causal do fenómeno estudado, que tornaria possível a compreensão do mesmo e, finalmente, um conjunto de *regras de inferência* que permitiriam decidir entre várias ideias ou relações plausíveis, presentes num mesmo fenómeno e que ajudariam deste modo à construção de teorias." (Pozo, 1987 p. 60).

As regras de inferência permitiriam, portanto, identificar a causa mais provável que, de acordo com os princípios causais, produz um efeito, aumentando assim o grau de elaboração da teoria em cujo âmbito se insere o fenómeno físico em estudo. Este modelo de causalidade proposto por Pozo parece ser o modelo psicológico de causalidade que está mais de acordo não só com a natureza probabilística e "legal" das teorias em Física mas também com a moderna concepção construtivista da aprendizagem, segundo a qual o indivíduo, nas suas tentativas de compreender o mundo, vai aperfeiçoando e aumentando o grau de elaboração das suas teorias através de sucessivas reformulações das versões prévias dessas mesmas teorias.

Ao tratar da utilização de relações de causalidade em Física, torna-se imprescindível definir o conceito de causa, já que esta palavra tem tido significados diferentes ao longo da História da Ciência.

Aristóteles considerava a existência de quatro tipos diferentes de causas os quais lhe eram indispensáveis para explicar o mundo físico. Assim, para Aristóteles existia uma causa material, que seria o suporte material e passivo das outras causas; uma causa formal que consistia na essência ou qualidade dos objectos; uma causa final que seria a meta para que tendem os objectos, e uma causa eficiente que correspondia ao agente externo responsável pelo efeito. Todas estas causas eram úteis na explicação aristotélica do mundo porque ela se baseava na teoria dos quatro elementos (terra, água, ar e fogo), na tendência dos objectos para ocupar o lugar natural e na impossibilidade de existência de vácuo.

Contudo, as três primeiras causas aristotélicas deixaram de ser necessárias e, até mesmo, de fazer sentido na Física Galileana que considerava que apenas era necessário explicar as alterações do estado de um objecto e que estas só aconteciam se fossem provocadas por um agente externo. Assim, com Galileu, o conceito de causa passou a significar, em Física, apenas causa eficiente ou seja, condição necessária e suficiente para operar uma transformação.

Contudo, Kuhn (1977) considera a existência de dois tipos de causas: as causas formais, que explicam, segundo ele, a ordem da natureza, e as causas eficientes, que explicam o afastamento dessa ordem. Em nosso entender, as causas formais, descrevem e determinam mais do que explicam, uma vez que, baseando-se em leis e expressões matemáticas, se aplicam aos factos já atrás denominamos factos "legais".

Parece-nos, portanto, que o significado para a palavra causa coincide actualmente, em Física, com o significado de causa eficiente. Isto não significa, contudo, que este conceito físico de causa seja actualmente único e universalmente

usado, uma vez que, por exemplo, nas ciências sociais, continuam a fazer sentido explicações baseadas em causas finais ou teleológicas (Pozo, 1987). Por outro lado, explicações finais ou teleológicas surgem por vezes (incorrectamente) aplicadas a situações físicas por indivíduos que não podem ainda usar relações físicas causais, devido ao estágio de desenvolvimento cognitivo em que se encontram, ou por indivíduos que, podendo já raciocinar causalmente, têm dificuldade em identificar a causa física do fenómeno ou em prescindir dela, para explicar esse mesmo fenómeno ou situação problemática.

Descrição do Estudo

A amostra deste estudo é formada por 228 estudantes, de cinco escolas secundárias e uma universidade do distrito de Braga, e contém três subgrupos constituídos do seguinte modo: a) 84 estudantes (quatro turmas) do 9º ano de escolaridade, que nunca tinham estudado Mecânica (conteúdo sobre o qual versavam os problemas com que os alunos foram confrontados); b) 99 estudantes (quatro turmas) do 10º ano de escolaridade, que tinham estudado Mecânica uma vez; e c) 45 estudantes (3 turmas do 1º ano da universidade), que tinham estudado Mecânica pela terceira vez.

Selecionaram-se e adaptaram-se dois problemas qualitativos (o problema da nave espacial e o problema do lançamento da moeda, Apêndice 1) que podem ser resolvidos com base nas leis de Newton e conhecimentos gerais sobre as leis dos movimentos. Estes problemas haviam já sido usados pelo "Cognitive Processes Research Group" da Universidade de Massachusetts (Clement, 1982).

Foi pedido aos estudantes dos três subgrupos que respondessem individualmente e por escrito às várias perguntas relacionadas com cada um dos problemas e que justificassem as suas respostas de modo tão completo quanto possível. Um grupo de sete alunos (dos 9º, 10º e 12º anos de escolaridade e do 4º ano de um curso universitário de Física) foram submetidos a entrevistas clínicas baseadas nos mesmos problemas a fim de se obter uma informação mais correcta e profunda acerca do raciocínio efectuado pelos estudantes quando tentam explicar situações problemáticas do domínio da Mecânica.

As respostas dos alunos às várias questões dos problemas foram classificadas com base nos principais tipos de respostas e tendo em conta os objectivos do estudo.

Discussão dos Resultados

Na tabela 1 apresenta-se o comportamento dos estudantes nas principais categorias de respostas criadas para os problemas da nave espacial e do lançamento da moeda. Através de uma análise global de dados contidos nesta tabela pode-se verificar que a percentagem de alunos que respondeu correctamente aos problemas é muito baixa e que a maior parte dos estudantes utilizou ideias alternativas nas explicações das situações problemáticas que lhe foram apresentadas.

Contrariamente ao que determina a lei da inércia, uma percentagem relativamente elevada de estudantes parece acreditar na necessidade de um agente

TABELA 1

Comportamento dos alunos por ano de escolaridade e categoria de resposta
(N = 228)

Categoria de resposta	9º Ano (n= 84)		10º Ano (n= 99)		1º Univ. (n= 45)	
	f	(%)	f	(%)	f	(%)
1) <i>Resposta correcta</i>						
a) nave espacial	0	(0)	1	(1)	17	(38)
b) lançamento da moeda	11	(16)	11	(15)	19	(44)
2) <i>Velocidade constante requer um motor ligado</i>						
a) nave espacial	52	(68)	58	(72)	6	(15)
3) <i>Movimento requer uma força no mesmo sentido</i>						
a) nave espacial	11	(18)	16	(28)	1	(3)
b) lançamento da moeda	28	(41)	37	(52)	22	(53)
4) <i>A direcção do movimento muda instantaneamente para a direcção da força aplicada</i>						
a) nave espacial	50	(72)	56	(74)	10	(26)
5) <i>Força constante/motor ligado implica velocidade constante</i>						
a) nave espacial	12	(21)	22	(35)	5	(13)
6) <i>Ausência de força/motor desligado implica não existência de movimento</i>						
a) nave espacial	16	(23)	25	(32)	6	(16)
7) <i>Ausência de força/motor desligado implica movimento retardado</i>						
a) nave espacial	16	(23)	6	(8)	1	(3)
8) <i>Ausência de força/motor desligado implica regresso à trajectória inicial</i>						
a) nave espacial	0	(0)	5	(12)	6	(17)
9) <i>Ausência de força/motor desligado implica queda livre</i>						
a) nave espacial	4	(8)	3	(7)	8	(23)

que mantenha o movimento, ainda que esse movimento seja rectilíneo e uniforme. É interessante notar que a percentagem de alunos do 10º ano (os quais estudaram Mecânica uma vez), que acredita que "a acção de um motor (ou uma acção resultante dos vários motores) na direcção do movimento é necessária para que este seja mantido", é mais elevada do que a percentagem de estudantes do 9º ano (os quais nunca estudaram Mecânica) que exprimiram esta mesma ideia alternativa. A mesma relação verifica-se para a ideia "se a nave espacial está em movimento, tem que haver uma força aplicada na nave, força essa que tem que ter a direcção e sentido do movimento". Contudo, a percentagem de estudantes que exprime a ideia de que "o movimento requer uma força na mesma direcção e sentido" é muito menor do que a percentagem de alunos que acredita que "é necessário pelo menos um motor para que a nave se mantenha em movimento rectilíneo com velocidade constante". Isto pode significar que, embora alguns alunos não atribuam ao motor a capacidade de exercer força, esses mesmos alunos sentem a necessidade de um agente que actue sobre a nave "para que o movimento possa continuar". Esta afirmação é corroborada pelo facto de um número considerável de alunos dos vários níveis académicos ter afirmado que "a nave espacial pararia imediatamente se o único motor em funcionamento fosse desligado". O raciocínio dos alunos pode ser ilustrado pelo seguinte extracto de uma entrevista:

"Para se movimentar [a nave] tem que haver algum [motor] em funcionamento... Basta um motor; o motor N porque tem a direcção da trajectória... Não é necessário haver força aplicada na nave porque não há atrito nem gravidade... No ponto P, a velocidade é constante, o motor N está em funcionamento... Há a força da nave; para se movimentar, tem que ter uma força... Ela tem força; ninguém lha dá nem a exerce na nave... Se deixar cair uma caneta ela tem força." (10º ano de escolaridade).

Embora vários alunos admitam a hipótese de que a nave possa continuar em movimento, pelo menos por algum tempo, após o único motor em funcionamento ser desligado, poucos são aqueles que justificam esta sua atitude com base na lei da inércia e, conseqüentemente, algumas ideias alternativas (número 7, 8 e 9, tabela 1) são usadas pelos alunos nas suas respostas. As entrevistas permitiram-nos obter alguma informação mais detalhada sobre o raciocínio efectuado pelos alunos que explicam alternativamente o movimento da nave após o motor ser desligado. Assim, em primeiro lugar, parece existir uma certa tendência para a apresentação de respostas baseadas em analogias com situações familiares que, embora apresentando algumas semelhanças superficiais, são, contudo, diferentes do ponto de vista físico. Uma das alunas entrevistadas justificou o movimento da nave, com diminuição de velocidade, por analogia com um automóvel em andamento que deixa de ser acelerado, do seguinte modo:

"[A nave] continua com a velocidade que trazia mas a velocidade vai diminuir... Se tirar o pé do acelerador [de um automóvel] a velocidade

diminui e depois ele pára... Na nave diminui mas depois fica constante" (10º ano de escolaridade).

Esta aluna, que havia usado a lei da inércia em questões anteriores, revela agora uma certa dificuldade em aplicar essa lei a uma situação problemática que lhe faz lembrar uma situação familiar, que ela descreve embora talvez não compreenda completamente. No caso do automóvel que deixa de ser acelerado, a velocidade vai de facto diminuir progressivamente até que o carro pára (a menos que se encontre numa descida) devido ao atrito. No caso da nave, que a aluna tinha previamente afirmado poder deslocar-se sem qualquer motor em funcionamento, na ausência de atrito e gravidade, não haveria razão para a velocidade se alterar com a paragem do motor mas a aluna considera que a velocidade diminui (ficou por esclarecer quanto diminui) e só depois permanece constante. A comparação entre estas duas situações que se distinguem por uma variável fundamental que é o atrito, e que a aluna parece não compreender completamente em termos de efeitos produzidos, parece ser o que a levou a dar uma resposta pelo menos parcialmente incorrecta.

Uma outra aluna estabeleceu uma analogia entre a nave e ela própria, quando está a correr e quer parar, respondendo do seguinte modo:

"Continua em movimento porque ia com alguma força... Eu, quando corro, não páro imediatamente... Passado algum tempo [a nave] pára porque não há motores em funcionamento." (9º ano de escolaridade).

Contudo, depois de recordar as condições iniciais do problema, esta aluna acabou por reconsiderar a sua resposta e afirmar que:

"Se não há atrito, não pára, embora continue lentamente. Não tem muita força mas tem ainda alguma e continua a abrandar até à velocidade inicial e, então, continua em movimento, com velocidade constante." (9º ano de escolaridade)

Esta curiosa explicação da aluna, porventura algo semelhante às dos alunos que apresentaram a ideia número 8 (tabela 1), parece indicar que, deixando de se fazer sentir a causa perturbadora da situação inicial e, mantendo-se as condições iniciais, o movimento deve readquirir (pelo menos em parte) as suas características iniciais.

Uma outra analogia que parece ter influenciado alguns alunos na explicação do comportamento da nave após o motor K ter sido desligado tem a ver com a queda dos graves. Assim, a experiência quotidiana dos alunos com corpos que, à superfície da Terra, quando abandonados a si próprios, caem, parece ter levado alguns alunos a admitir que a nave, com todos os motores desligados, cai (ideia 9, tabela 1). Este facto foi também referido por uma entrevistada, do seguinte modo:

"O motor parou. Se ela [nave] tiver mais algum sítio onde estacionar, ela está no ponto onde estaciona. Acho que ela cai... A velocidade aumenta." (10º ano).

A necessidade de uma causa que mantenha o movimento conjuntamente com a dificuldade dos alunos em atribuir a um motor a capacidade de exercer uma força na nave pode também justificar a diferença dos resultados verificada para a ideia número 3 (tabela 1), entre o caso da nave e o caso da moeda. Para além disso, a elevada percentagem de alunos que afirma que "existe uma força na direcção do movimento da moeda" pode estar relacionada com a experiência quotidiana dos estudantes, segundo a qual eles precisam aplicar uma força, de baixo para cima, sobre uma moeda que pretendem lançar ao ar. Embora a força necessária para lançar um objecto seja uma força instantânea, muitos estudantes pensam que a moeda adquire a força que sobre ela é aplicada para a lançar e explicam o movimento de subida da moeda com base na existência ou de uma força constante ou de uma força decrescente, aplicada sobre a moeda. Um exemplo de explicação da subida da moeda, baseada na existência de uma força com o mesmo sentido do movimento, é fornecido pelo seguinte extracto de uma entrevista:

"Em B, há duas forças: há a força da gravidade e há a força com que eu lanço a moeda ao ar... a força que eu exerci em A [ponto de lançamento da moeda]... Em B, existem duas forças; uma que vai ser maior do que a outra. A maior é a força exercida... Ao lançar a moeda, a força que eu exerço é maior que a da gravidade e, por isso, é que ela [moeda] entra em movimento. No ponto C, também está em movimento mas, chega ao ponto D e essa força que eu actuei vai diminuir e a gravidade... vai ser mais forte... No ponto C, a força F_1 [força de lançamento] é maior que F_2 [força de lançamento no ponto D]. Em D... vou ter a força da gravidade a actuar. A força que eu exerci, pára. Depois só tenho a gravidade e a moeda cai." (4º ano da universidade).

A força da gravidade (peso) foi ignorada por grande parte do alunos na explicação da subida da moeda mas passou a desempenhar um papel fundamental, para 84% dos alunos, na explicação da descida da moeda. Este facto pode estar relacionado com a orientação relativa da força da gravidade e do movimento em análise, de tal modo que a oposição de orientações leva à não consideração da força da gravidade enquanto que a coincidência de orientações transforma a força da gravidade no principal agente responsável pela queda da moeda. Este raciocínio é ilustrado pelos seguintes extractos de entrevistas sobre o problema da moeda:

"No ponto B, teremos a força gravítica e uma força, maior que a força gravítica, e que é a força que a faz subir. Temos, no ponto C, a força gravítica, que é igual [a B]... e uma força F , que já é mais pequena [que em B]... porque a moeda vai perdendo aceleração, até chegar ao ponto D, em que a força gravítica seria igual a F ... Donde a resultante é zero... Teremos o ponto E onde a força gravítica é maior... é a única força que actua no corpo; a outra força já foi anulada... Na subida, a velocidade vai diminuindo porque a força vai diminuindo... A velocidade em D é zero... A velocidade em F é igual à velocidade em A; é máxima." (12º

ano escolaridade).

"Existe a força da mão... Este [apontando para o vector força em C] é maior [do que em B]. A força, ao princípio é maior... Depois desce... Em E é maior [do que em D - ponto máximo]. A força continua a ser a da mão, mas na moeda. Aqui [descida] já é a força da moeda sobre o chão. Aqui [ponto E] a força é maior [do que em D]... em todos os casos é a força que a mão exerceu sobre a moeda. Ela [moeda] desce; a força também aumenta. Acho que é a única solução." (10º ano de escolaridade)

Este comportamento dos alunos no problema da moeda é semelhante ao comportamento demonstrado nas suas respostas sobre a direcção do movimento da nave quando apenas um motor estava ligado. Na verdade uma percentagem bastante elevada de alunos de todos os níveis académicos considerados neste estudo afirmou que a direcção do movimento mudava instantaneamente para a direcção da força aplicada pelo motor em funcionamento (número 4, tabela 1).

Vários alunos exprimiram ainda a ideia de que "a existência de um motor em funcionamento faz com que a nave se desloque com velocidade constante" (número 5, tabela 1). Esta ideia é semelhante à ideia número 5 (tabela 1) e ambas têm implícita uma relação de proporcionalidade entre força e velocidade (em vez da correcta relação entre força e aceleração), que pode ser ilustrada através de alguns dos extractos de entrevistas sobre o problema da moeda, já apresentados, e pelo seguinte extracto de uma entrevista sobre o problema da nave:

"Temos que considerar o caso em que o motor está a trabalhar sempre com a mesma intensidade e, então, a velocidade será constante entre os dois pontos, ou, se o motor está a trabalhar progressivamente, e então esta cria uma certa aceleração; faz com que a nave, entre o ponto P e o ponto Q, vá aumentando a sua velocidade entre os dois pontos." (12º ano de escolaridade).

Se repararmos atentamente nas ideias alternativas expressas pelos alunos nas suas respostas aos problemas da nave espacial e da moeda, podemos concluir que elas reflectem a aceitação das ideias aristotélicas de que o estado de movimento (rectilíneo e uniforme) não é um estado natural (precisando por isso de uma causa explicativa), e de que os corpos tendem para o estado de repouso e, conseqüentemente, implicam a rejeição da lei da inércia como potencial explicação de certos factos/fenómenos. Na tabela 2 apresentam-se as principais ideias alternativas expressas pelos estudantes que participaram neste estudo e comparam-se essas ideias com as ideias newtonianas (ainda aceites) e com as ideias pré-galileanas. A semelhança existente entre as ideias pré-galileanas e as ideias alternativas dos alunos pode estar relacionada com o facto de, tal como os cientistas pré-galileanos, também muitos dos nossos estudantes tenderem espontaneamente a utilizar relações de causalidade para explicar todas as situações de movimento com que são confrontados, mesmo nos casos em que essas situações envolvem factos não causados,

TABELA 2

Concepções alternativas dos alunos em Mecânica
e suas ideias correspondentes na História Ciência e na Física actual

Ideias Newtonianas	Ideias alternativas dos alunos	Ideias pré-Galileanas
Objectos continuam em movimento com velocidade constante se a resultante das forças exteriores for nula.	Movimento requer uma força na mesma direcção.	Movimento é mantido pelo impetus (Buridan, séc. XIV)
Objectos param devido a uma força oposta ao movimento.	Objectos param porque gastaram a força que possuíam.	Objectos param quando o impetus acaba (Buridan, séc. XIV).
Movimento e repouso regem-se pelas mesmas leis.	Movimento e repouso regem-se por leis diferentes; o movimento necessita explicação.	Repouso é um estado natural; o movimento requer explicação (Aristóteles, (séc. IV a.C.)
Força constante implica aceleração constante.	Força constante implica velocidade constante.	O ar mantém constante a velocidade de um objecto que está em movi. violento (Aristóteles, séc. IV a.C.)
Força é proporcional à aceleração.	Força é proporcional à velocidade.	Impetus é proporcional à velocidade (Buridan, séc. XIV).
Movimento retardado é causado por uma aceleração negativa.	Movimento retardado é causado por uma força decrescente no sentido do movimento.	Um decréscimo na velocidade é devido a um decréscimo no impetus (Buridan, séc. XIV).
Forças resultam de interacções entre objectos.	Objectos têm/adquirem forças.	Objectos adquirem e desenvolvem impetus (Buridan, séc. XIV)

mas antes factos determinados pela lei da inércia. Por outro lado, a necessidade dos alunos de encontrar uma causa para todos os factos parece levá-los, por vezes, a utilizar incorrectamente algumas regras de inferência. Na verdade, a comparação que, no problema da nave, os alunos estabeleceram entre a nave, sem qualquer motor ligado, e um corpo em queda ou um corpo em movimento acelerado, faz com que esses alunos, baseados na regra da semelhança, construam explicações alternativas para o problema da nave, já que este é (apenas) superficialmente parecido com as situações de movimento invocadas pelos alunos. A semelhança aparente de situações e a necessidade de uma causa para todo e qualquer tipo de movimento parecem portanto

levar muitos alunos a não usar sistematicamente um correcto controle das variáveis do problema, controle esse que iria, em alguns casos (ex: nave com movimento constante ou motores desligados e subida da moeda), mostrar-lhes que, a causa que eles gostariam de atribuir ao fenómeno, ou não existe ou não é a verdadeira causa.

Conclusões e Implicações

Os resultados deste estudo permitem-nos concluir que: a) os estudantes utilizam ideias alternativas na interpretação e explicação de situações problemáticas do domínio da Mecânica; b) essas ideias alternativas parecem ser muito resistentes ao ensino-aprendizagem, já que surgem tanto em alunos que nunca estudaram Mecânica como em estudantes universitários que já estudaram o tema pela terceira vez; c) o ensino parece levar os alunos a exprimir algumas ideias alternativas que os alunos sem ensino não apresentam; d) as ideias alternativas utilizadas pelos alunos fazem lembrar ideias pré-galileanas; e) os estudantes parecem ter dificuldade em explicar factos físicos sem recorrer a relações de causalidade, mesmo quando esses factos, embora sendo regidos por uma lei, não envolvem uma relação causal; f) a dificuldade dos alunos em aceitar a coexistência de um determinismo "legal" com um determinismo causal, no âmbito da Mecânica, parece levá-los a uma busca de causas para factos que, na Mecânica newtoniana, as não possuem; g) a dificuldade de aceitação de situações determinadas por leis parece levar os estudantes a adoptar uma perspectiva pré-Galileana da Mecânica e a utilizar regras de inferência causal que não ponham em questão as suas ideias alternativas.

As conclusões deste estudo, conjuntamente com o nosso conhecimento empírico sobre a realidade do ensino da Física, e a nossa perspectiva construtivista do ensino-aprendizagem, levam-nos a sugerir um modelo para o ensino-aprendizagem da Mecânica, em particular, e da Física em geral, que tenha em conta as concepções alternativas dos alunos, os padrões de raciocínio por eles utilizados e que permita ao aluno um papel mais activo na construção do seu conhecimento. Este modelo consistiria essencialmente em: a) identificação/diagnóstico das concepções alternativas e dos padrões de raciocínio causal utilizados pelos alunos; b) apresentação de situações problemáticas pelo professor eventualmente conducentes ao conflito cognitivo nos alunos, de modo a permitir a comparação entre as diferentes explicações apresentadas pelos mesmos alunos; c) intervenção do professor para ajudar os alunos a clarificar/avaliar as diferentes explicações/conceitos, de modo a ultrapassarem as suas ideias alternativas e, eventualmente, adquirirem o ponto de vista cientificamente aceite e adequado ao seu nível de desenvolvimento cognitivo; d) apresentação pelo professor de outras situações problemáticas de modo a permitir aos alunos aplicar os conceitos aprendidos e a fortalecer a sua convicção no ponto de vista científico.

REFERÊNCIAS

- Bunge, M. (1977). Conjunción, sucesión, determinación, causalidad. In Piaget, J. et al. (1977). *Las teorías de la causalidad*. Salamanca: Ediciones Sigüeme.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50 (1) p. 66-71.
- Crombie, A. (1987). *Historia de la ciencia : De San Agustín a Galileo/1. Siglos V-XIII*. Madrid: Alianza Universidad.
- Hall, A. (1962). *The Scientific Revolution 1500-1800*. Boston: Beacon Press.
- Hume, D. (1973). *Traité de la Nature Humaine*. Paris: Éditions Montaigne.
- Kant, I. (1985). *Crítica da razão pura*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Kelley, H. (1973). The processes of causal attribution. *American Psychologist*, 28, 107-128.
- Kuhn, T. (1977). Las nociones de causalidad en el desarrollo de la física. In Piaget, J. et al. (1977).
- Mason, S. (1962). *A history of the sciences*. New York: Collier Books.
- Osborne, R. & Freyberg, P. (1985). *Learning in Science: The Implications of Children's science*. Auckland: Heinemann.
- Piaget, J. (1977). La causalidad según E. Meyerson. In Piaget, J. et al. (1977).
- Pozo, J. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- Rosmorduc, J. (1983). *De Tales a Einstein: História da Física e da Química*. Lisboa: Editorial Caminho.

APÊNDICE 1

Problema da nave

1 - Uma nave espacial, com 4 motores (K, L, M e N) dispostos de acordo com a fig.2, encontra-se numa região do espaço onde não há atrito (não há atmosfera) e não há gravidade.

1.1 - Imagine que a nave se desloca, com velocidade constante, passando por um ponto D, distante, e por um ponto P, mais próximo (fig.1).

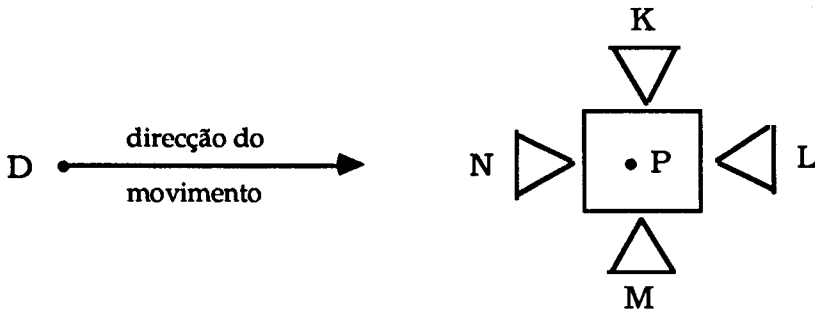


Fig. 1

1.1.1 - Estará algum motor em funcionamento, quando a nave se desloca entre os pontos D e P? Em caso afirmativo, qual/ quais?

a) Justifique a sua resposta.

1.1.2 - Na sua opinião, há alguma força aplicada na nave, quando ela passa no ponto P?

a) Justifique a sua resposta.

b) Se em 1.1.2 respondeu "sim", represente, na fig.1, a(s) força(s) que pensa actua(re)m na nave.

1.2 - Imediatamente após o ponto P, e durante dez segundos, o motor K é o único motor em funcionamento.

1.2.1- Represente a forma da trajectória que será seguida pela nave neste intervalo de tempo e designe por "Q" o ponto onde a nave se encontra ao fim dos dez segundos.

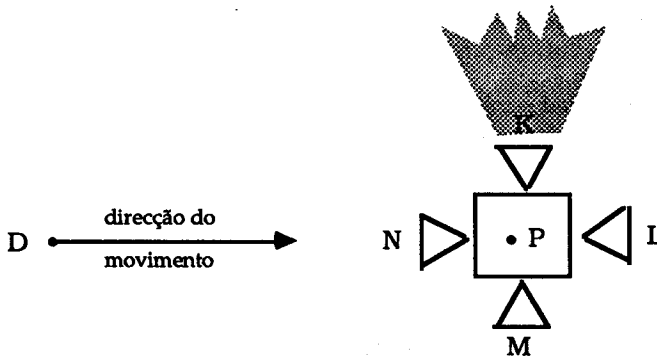


Fig. 2

1.2.2 - Descreva o que se passa com a velocidade da nave entre os pontos P e Q.

1.3 - Imediatamente após o ponto Q, o motor K é desligado.

1.3.1 - A nave pára ou continua em movimento? _____

Justifique a sua resposta.

1.3.2 - Se em 1.3.1 respondeu "continua em movimento", desenhe, na fig.3, a forma da trajectória, que, na sua opinião, será seguida pela nave; Se respondeu "pára", não precisa fazer nenhum desenho.

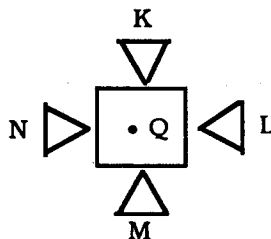


Fig.3

1.4 - No rectângulo abaixo, desenhe a trajectória completa da nave e assinale os pontos P e Q. Relembre que: A nave se desloca com velocidade constante entre o ponto D e o ponto P; entre o ponto P e o ponto Q o motor K é o único motor em funcionamento; logo após o ponto Q o motor K é desligado

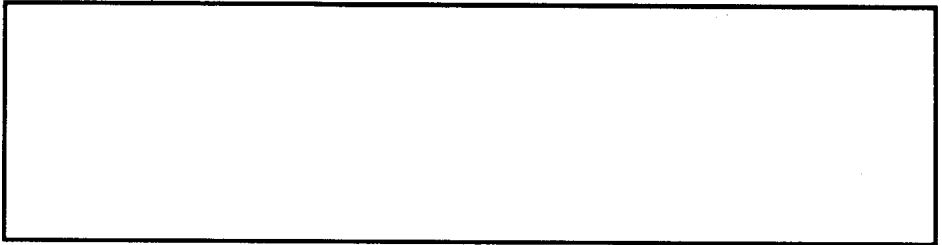


Fig.4

Problema do lançamento da moeda

1 - A figura 5 representa a trajectória seguida por uma moeda que é lançada ao ar, na vertical, deixando a mão no ponto A, atingindo um ponto máximo D, caindo verticalmente, e sendo apanhada no ponto F. A resistência do ar é desprezável.

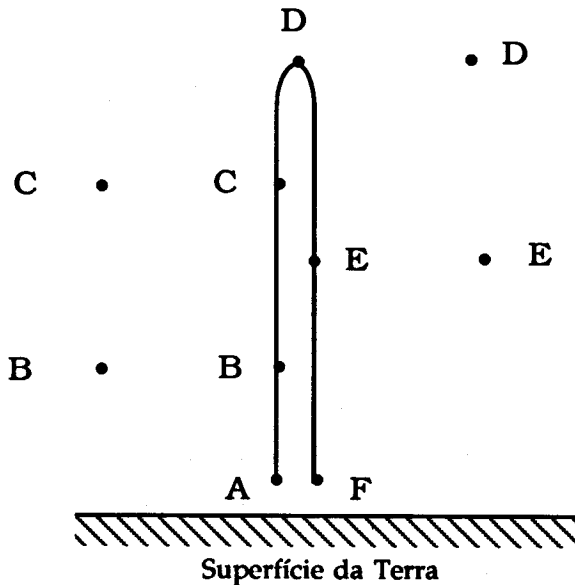


Fig. 5

2.1 - Represente, nos pontos colocados lateralmente, a(s) força(s) que actua(m) na moeda quando ela se encontra nos pontos B, C, D e E. Identifique devidamente a(s) força(s) representada(s).

2.2 - Descreva o raciocínio que efectuou para responder à pergunta anterior.

2.3 - Descreva o que se passa com a velocidade da moeda

1.3.1 - durante a subida.

1.3.2 - durante a descida.

CAUSAL REASONING AND THE EXPLANATION OF MECHANICS PHENOMENA

Abstract - When individuals are faced with new problematic situations they tend to formulate causal relationships in order to both explain those situations and improve their understanding of the world. The authors carried out a study involving 228 Portuguese physics students (from 9th grade to 4th year university), in order to investigate students' explanations of mechanics phenomena. Data were collected by means of a questionnaire and an interview. The results of the study have shown that students: a) express pre-Newtonian ideas when interpreting mechanics facts and phenomena and b) tend to generalise the use of causal reasoning to the interpretation of any mechanics fact or phenomenon. Mechanics includes causal facts and also facts which are determined by laws. Therefore, some students' difficulties in learning mechanics may be related to the over generalised use of causal reasoning as well as the use of causal inference rules, constructed from an insufficient and limited sample of experiences. The authors argue for the use of a teaching and learning model that takes into account both the students' alternative ideas and their causal inference rules, in order to increase the teaching effectiveness and to facilitate the learning of mechanics.

LE RAISONNEMENT CAUSAL ET L'EXPLICATION DE PHENOMENES DU DOMAINE DE LA MECANIQUE

Résumé - Confrontés à des situations problématiques, les individus ont tendance à établir des relations de causalité pour expliquer ces situations et, ainsi, augmenter leur compréhension du monde. Une étude réalisée, à travers un questionnaire et des interviews, avec 228 élèves portugais de Physique, (de la neuvième année de scolarité jusqu'à la quatrième année de l'université), a montré que les élèves: a) utilisent des idées et des explications pré-newtoniennes au niveau de l'interprétation de phénomènes et d'événements du domaine de la Mécanique et b) ont tendance à utiliser le raisonnement causal, de manière indiscriminée, au niveau de l'interprétation des mêmes phénomènes et événements. Bien des difficultés ressenties par les étudiants lors de l'apprentissage de ce thème peuvent être en relation avec l'application indifférenciée du raisonnement causal à toutes les situations problématiques auxquelles ils sont confrontés et avec l'utilisation de règles d'inférence causale, construites à partir d'un échantillon insuffisant et limité d'expériences. Par conséquent, on suggère un modèle d'enseignement-apprentissage qui considère les idées alternatives des élèves et les règles d'inférence qu'ils utilisent, pour rendre l'enseignement plus efficace et faciliter l'apprentissage de la Mécanique.