

Uma formulação "mais actual" da Primeira Lei da Termodinâmica no 10º ano?

(Ainda) sobre a noção de competência na educação escolar básica

A secção "Ensino da Física" é coordenada por Graça Santos, Divisão de Educação da Sociedade Portuguesa de Física  
densino@spf.pt

# ENSINO DA FÍSICA

## UMA FORMULAÇÃO "MAIS ACTUAL" DA PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA NO 10º ANO?

Por razões diferentes, fomos confrontados com o facto de, nos novos manuais de 10º ano, ocorrer uma formulação pouco convencional da Primeira Lei da Termodinâmica. De facto, num grande número deles, esta lei aparece escrita na forma:

$$\Delta U = Q^* + W^* + R$$

traduzindo o princípio de que "a variação da energia interna de um sistema é igual à energia transferida entre este e a sua vizinhança sob a forma de calor ( $Q^*$ ), de trabalho ( $W^*$ ) e de radiação ( $R$ )"<sup>1</sup>.

Face à sistemática utilização desta formulação da Primeira Lei da Termodinâmica por todos os autores dos manuais escolares consultados, tornou-se evidente que deveria existir alguma recomendação nesse sentido no programa de 10º ano recentemente aprovado, o que efectivamente se verifica. No documento relativo ao programa do 10º ano que o DES disponibiliza na sua página da Internet, pode ler-se (p. 61): "... Este contexto, bem como a referência a outros sistemas de aquecimento/arrefecimento de uso quotidiano permitirão trabalhar a Primeira Lei da Termodinâmica ( $\Delta E_i = W^* + Q^* + R$ ), calculando variações de energia interna por meio de trabalho, calor e/ou de absorção/emissão de radiação. Esta formulação da Primeira Lei da Termodinâmica, mais actual pois distingue calor de radiação electromagnética, implica a definição calorimétrica de calor (energia transferida devido a uma diferença de temperaturas)"<sup>2</sup>. Verifica-se assim que esta "nova formulação" da Primeira Lei da Termodinâmica foi deliberadamente introduzida pelos autores com um objectivo específico: o de distinguir "calor" de "radiação electromagnética".

Elaborar novos programas para um qualquer nível de ensino é, antes de mais, efectuar opções: a inclusão no programa de um determinado conjunto de tópicos em detrimento de outros, o nível de profundidade com que cada um deles deve ser abordado, as melhores estratégias para o fazer, ou mesmo, a opção de num certo contexto ser de alguma forma razoável sacrificar em algum aspecto (até que limite?) o rigor científico para o tornar num dado conceito mais acessível aos alunos. Depreende-se que, na nossa opinião, elaborar novos programas não é uma

tarefa fácil e que, além disso, o resultado final será sempre um dos (muitos) compromissos possíveis. É com esta postura de total abertura que nos propomos analisar a opção dos autores do programa, recentemente homologado, relativamente à já referida formulação da Primeira Lei da Termodinâmica.

Devemos começar por referir que a opção de incluir no programa de 10º ano um tópico tão importante como a Termodinâmica nos parece não só perfeitamente justificável como desejável, uma vez que a consideramos, sem dúvida, uma área da Física simultaneamente abrangente e formativa. Já relativamente à "nova formulação" da Primeira Lei da Termodinâmica, pelos motivos que passaremos a expor, parece-nos que os autores optaram por um caminho incorrecto e não justificável nem do ponto de vista científico, nem do ponto de vista didáctico.

Comecemos por analisar o significado do tipo de divisão normalmente feita das contribuições para a variação de energia interna de um sistema em dois termos, calor e trabalho. Por que motivo foram utilizados estes dois termos e não outros? Em Física, como aliás em qualquer outra ciência, as divisões ou classificações não são produto do acaso, traduzindo sempre, pelo contrário, uma arrumação de ideias. Se algumas destas classificações têm razões históricas e se tornam obsoletas, são melhoradas de acordo com a evolução dos conceitos. Não é o caso da formulação usual da Primeira Lei da Termodinâmica:

$$\Delta U = Q + W,$$

que continua actual.

Calor e trabalho representam transferências de energia. A razão pela qual separamos estas transferências em duas "gavetas" tem a ver não com a forma como a energia é transportada entre a vizinhança do sistema e o sistema, mas sim com a forma como essa energia é transferida para (ou dos) graus de liberdade do sistema. Assim, se o sistema recebe trabalho, tal significa que essa energia foi fornecida de uma "forma organizada", traduzindo-se numa variação média de variáveis microscópicas, que se traduz na mudança de uma variável macroscópica extensiva (grau de liberdade do sistema observável à nossa escala que depende da extensão do sistema como, por exemplo, o volume ou o número de partículas). Pelo contrário, se dizemos que o sistema recebe calor, isso significa que recebeu energia de uma "forma desorganizada" (no sentido em que não foi transferida para os graus de liberdade macroscópicos, mas sim para graus de liberdade microscópicos), ou seja, a sua entropia aumentou. Concretizemos esta sistematização com um exemplo de um sistema simples: um gás ideal (gás em que não existem interações entre as moléculas constituintes) encerrado num volume  $V$ .

Suponhamos que comprimimos lentamente este gás, fazendo diminuir o volume  $V$ . Estaremos então a alterar as posições médias de todas as partículas do gás, e esse facto tem tradução na variável extensiva "volume do sistema". Isto significa que realizámos trabalho sobre o sistema. Se não existirem outras transferências de energia (paredes adiabáticas) o aumento de energia interna é igual ao trabalho realizado. Mas podemos variar a energia interna do gás de outra forma: aquecendo-o a volume constante. Agora, a

energia cinética média de translação das partículas que constituem o gás aumenta (aumentando a temperatura), mas a sua posição média não é afectada porque o volume ocupado pelo gás se manteve constante. Não existe, portanto, nenhuma variável macroscópica extensiva que nos dê conta da variação da energia interna que o sistema sofreu. Apenas podemos ter acesso a essa informação através da medição de uma variável não extensiva: a temperatura do gás. Tal significa que a variação da energia interna do sistema se fez trocando calor.

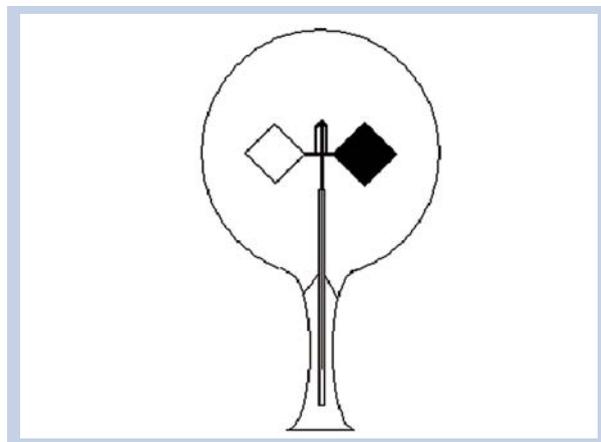


Fig. 1- Radiômetro de Crookes

A diferença entre estas duas formas essencialmente distintas de transferir energia é claramente visível se pensarmos no funcionamento de um radiômetro de Crookes, representado esquematicamente na figura. Este tipo de radiômetro é constituído por duas (ou mais) palhetas, com uma face negra e outra metalizada, montadas num eixo que pode rodar com muito pouco atrito sobre uma agulha, encerradas num balão de vidro onde foi feito vácuo. Quando exposto a luz solar, o radiômetro aquece, o que significa que as suas partículas passam a ter movimentos mais rápidos em torno das suas posições de equilíbrio mas de uma forma não correlacionada (que não se traduz na variação de posição das pás do radiômetro já que aquecem mesmo que não possam rodar). Além disso, as pás adquirem um movimento de rotação. A existência deste movimento implica uma transferência de energia de outro tipo em que as partículas adquirem também uma energia cinética suplementar mas agora correspondente a um movimento bem correlacionado das partículas, que se traduz num aumento da sua velocidade média e, por isso, num movimento macroscópico das pás do radiômetro. Estes dois tipos de transferência de energia são, no primeiro caso, calor, e, no segundo, trabalho. É claro que qualquer das transferências de energia indicadas resulta da absorção de radiação electromagnética proveniente do Sol<sup>3</sup>.

De uma maneira geral, portanto, para que haja troca de energia entre um sistema e a sua vizinhança sob a forma de trabalho, a transferência tem de ser feita para ou dos graus de liberdade do sistema observáveis macroscopicamente, como acontece, por exemplo, quando varia o volume de um gás. Se a transferência de energia, pelo contrário, se der para ou dos graus de liberdade internos do sistema, alterando o número de estados microscópicos acessíveis ao

sistema, ou a frequência com que são ocupados (associada à variação da entropia) então essa transferência de energia é designada por calor. Em consequência, calor e trabalho só podem ser definidos, do ponto de vista termodinâmico, não pelos mecanismos responsáveis pelo transporte da energia, mas sim pela forma como essa transferência de energia altera o estado do sistema.

Ao introduzir na formulação da Primeira Lei da Termodinâmica um termo de transferência de energia por radiação estamos portanto a desvirtuar a divisão anteriormente discutida. Mais do que isso, calor e trabalho deixam de poder ter os significados precisos que anteriormente discutimos, uma vez que o terceiro termo pode, como já vimos, ser de um tipo ou do outro, ou mesmo de ambos. Esta definição introduz dificuldades na apresentação de conceitos que deveriam ser definidos de forma simples. Por exemplo, como definir aos alunos um processo adiabático? Não basta dizer que um processo é adiabático se  $Q^*=0$  porque podem existir trocas de calor contidas em  $R$ ; por outro lado não podemos exigir que para o processo ser adiabático  $Q^*$  e  $R$  sejam nulos, porque  $R$  pode ser diferente de zero mas conter apenas contribuições que não são trocas de calor. Caímos, portanto, logo a este nível, num impasse.

Acresce que o objectivo enunciado no programa de distinguir "calor" de "radiação electromagnética" nos parece de alguma forma despropositado uma vez que é difícil que os dois conceitos sejam confundidos. Se o objectivo é distinguir "calor" de "transferência de energia por radiação", uma preocupação que faz algum sentido visto que, tradicionalmente, a transferência de energia por radiação (absorção ou emissão) é apresentada como um processo de transferência de energia sob a forma de calor entre sistemas que não estão em equilíbrio térmico, o exemplo simples que anteriormente se utilizou com o radiómetro de Crookes permite esclarecer inequivocamente que as transferências radiativas também podem envolver realização de trabalho. Se o objectivo for, por outro lado, o de distinguir calor de radiação electromagnética, uma confusão que se poderia considerar tão estranha como a de confundir calor com temperatura, então basta chamar a atenção dos alunos para o facto de a radiação de um feixe laser existir independentemente do alvo em que incide e que eventualmente aquece. Ou mesmo recordar que grande parte da energia armazenada no Universo é energia de radiação, e isso não significa calor nem transferência.

Poder-se-á argumentar que a introdução do termo  $R$  na equação que traduz a Primeira Lei permite resolver esta ou aquela dificuldade por parte dos alunos, mas não é óbvia a existência de qualquer vantagem a esse nível e, pelo contrário, introduz ideias erradas que serão depois mais difíceis de corrigir. Assim, a formulação actualmente referida no programa de Física do 10º ano para a Primeira Lei da Termodinâmica não simplifica os conceitos e cria sérias dificuldades do ponto de vista conceptual. Entendemos, por isso, que é urgente rever essa formulação.

M.M.Cruz e J.Maia Alves  
Departamento de Física da FCUL / CFMCUL  
Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande Ed.C8, 1749-016 Lisboa  
mmcruz@fc.ul.pt

## NOTAS

<sup>1</sup> Daniel Marques da Silva, *Desafios de Física* (Física e Química - A - 10º), Lisboa Editora, p. 53.

Alexandre Costa, Ana Maria Costa, Augusto Moisés e Francisco Caeiro, *Ver +* (Física A - 10º), p. 96.

<sup>2</sup> Ministério da Educação, Departamento do Ensino Secundário, *Programa de Física e Química A - 10º Ano*.

<sup>3</sup> No radiómetro de Crookes mais comum, o movimento das pás, que se efectua no sentido de afastar o lado negro das pás da fonte de radiação, resulta do facto de existir um aquecimento diferente do gás residual junto às duas faces das pás, o que origina um fluxo de gás entre a zona mais quente e a zona mais fria. O atrito entre o gás e os bordos das pás é responsável pelo movimento de rotação macroscópico (ver <http://math.ucr.edu/home/baez/physics/General/LightMill/light-mill.html>) e foi designado "transpiração térmica" por Reynolds. Se se pretender observar um efeito directo da radiação deve utilizar-se uma versão modificada deste radiómetro, com melhor vácuo e palhetas suspensas por fibras finas, bem como pás cobertas por um vidro inerte de forma a evitar desgasificação. Neste caso, o movimento de rotação do radiómetro efectua-se em sentido contrário sendo explicado como o efeito directo da pressão de radiação.

## (AINDA) SOBRE A NOÇÃO DE COMPETÊNCIA NA EDUCAÇÃO ESCOLAR BÁSICA

Na sequência da publicação do Decreto-Lei nº 6/2001 de 18 de Janeiro, que "estabelece os princípios da organização curricular do ensino básico, bem como da avaliação das aprendizagens e do processo de desenvolvimento do currículo nacional" (Artigo 1.º), é afirmada, em documento homologado por despacho de 21 de Outubro de 2001, a noção que deverá orientar os três ciclos incluídos neste nível de escolaridade: trata-se da noção de competência, que tem, aliás, estado presente em revisões de outros sistemas de ensino, sobretudo da Europa.

Neste documento, intitulado "Currículo Nacional do Ensino Básico: Competências Essenciais", apresenta-se o significado da referida noção e especificam-se as competências gerais, as competências transversais e as competências específicas para as diversas áreas curriculares disciplinares (não constam as competências específicas para as áreas curriculares não disciplinares, as quais fazem parte integrante do referido currículo).

Paulo Abrantes, à data director do Departamento da Educação Básica, explica na nota de apresentação que se trata, portanto, de um documento que "constitui uma referência central para o desenvolvimento do currículo", evidenciando-se como "um instrumento essencial no processo de inovação" em curso e, consequentemente, como uma orientação nacional "para o trabalho de formulação e desenvolvimento dos projectos curriculares da escola e de turma a realizar pelos professores", a partir do ano lectivo de 2001/2002. Explica, ainda, que o seu conteúdo resulta de um trabalho de

discussão, realizado ao longo de vários anos, que envolveu um grande número de professores, grupos de trabalho, reuniões e pareceres (de Universidades, Escolas Superiores de Educação, Associações de Professores e de centenas de escolas do ensino básico).

Por estas duas razões - a importância crucial do documento e a ampla reflexão a que foi submetido -, seria de esperar que encontrássemos um texto inequívoco nos planos conceptual e linguístico, compreensível pelos diversos agentes educativos. No entanto, e no nosso entender, não é isso que acontece. Uma análise atenta leva-nos a concluir tratar-se de um texto que, além de negligenciar e/ou desvirtuar importantes saberes provenientes da psicologia e da pedagogia, susceptíveis de fundamentar com segurança opções curriculares, recorre a uma linguagem redundante e obscura. Estes dois aspectos, uma vez conjugados, têm tido como consequências mais imediatas e evidentes a multiplicidade de interpretações e a instalação de dúvidas cruciais. Ora, tal circunstância faz gorar, pelo menos em parte, a intenção do texto a que nos reportamos: ser um guia curricular orientador à escala nacional.

Se nos detivermos apenas na noção de competência (sem equacionarmos, portanto, a pertinência e a essência das competências gerais, bem como a sua operacionalização aos níveis transversal e específico), verificamos que, felizmente, alguns dos seus mentores (v.g. Abrantes, 2002; Roldão, 2002) e o próprio ministério, em última instância responsável por ela, têm reconhecido dúvidas que a sua definição sugere e de entre as quais se destacam, pela sua recorrência, as seguintes: "as competências são objectivos?"; "os objectivos desaparecem do currículo?"; "as competências são capacidades?"; "as competências substituem os conteúdos?"; "qual o lugar dos conteúdos ou seja, dos conhecimentos no ensino-aprendizagem organizado por competências?"; "como é que se operacionalizam as competências?"...

É certo que se tem procurado equacionar essas dúvidas. Por exemplo, a revista *Noesis* atribuiu-lhe grande destaque no seu n.º 58, e a revista on line da Direcção do Ensino Básico dedicou-lhe o seu número 4, mas esse equacionamento, apesar de apelar com frequência a opiniões de pessoas com nome firmado na área da pedagogia - de destacar o nome de Phillippe Perrenoud -, não tem acrescentado qualquer esclarecimento relevante. E, assim, se continua sem perceber o que significa exactamente competência e, sobretudo, como se transpõe concretamente para o plano das práticas educativas. Pelo nosso lado, numa tentativa de procurar extrair o significado da noção a que nos referimos - e depois de lermos, por inúmeras vezes, os quatro parágrafos da página 9 do "Currículo Nacional do Ensino Básico", onde consta, como dissemos, a sua definição original -, chegámos à seguinte síntese:

O termo competência integra conhecimentos, capacidades e atitudes, ou seja, pressupõe a aquisição de um certo número de conhecimentos e a apropriação de um conjunto de processos fundamentais. Melhor, diz respeito ao processo de activar recursos (conhecimentos, capacidades estratégicas). Pode ser entendida como um saber em acção ou em uso e aproxima-se do conceito de literacia.

Só que esta síntese é falaciosa, uma vez que remete para um conjunto de palavras de sentido impreciso. Mas o melhor é transcre-

vermos cada um desses quatro parágrafos, assinalando os aspectos que nos suscitam comentários.

*"O documento que agora se publica apresenta o conjunto de competências consideradas essenciais no âmbito do currículo nacional. Inclui as competências de carácter geral, a desenvolver ao longo do ensino básico, assim como as competências específicas que dizem respeito a cada uma das áreas disciplinares e disciplinas, no conjunto dos três ciclos e de cada um deles. Além disso, explicita ainda os tipos de experiências de aprendizagem que devem ser proporcionadas a todos os alunos."*

Sob o ponto de vista científico, o texto começa bem, pois este parágrafo apresenta, breve e claramente, o objectivo concreto do documento, dando a entender que irá enunciar, de seguida, da mesma maneira, a noção de competência.

*"O termo competência pode assumir diferentes significados, pelo que importa deixar claro em que sentido é usado no presente documento. Adopta-se aqui uma noção ampla de competência, que integra conhecimentos, capacidades e atitudes e que pode ser entendida como saber em acção ou em uso. Deste modo não se trata de adicionar a um conjunto de conhecimentos um certo número de capacidades e atitudes, mas sim promover o desenvolvimento integrado de capacidades e atitudes que viabilizam a utilização dos conhecimentos em situações diversas, mais familiares ou menos familiares dos alunos."*

A frase inicial está correcta, porque, de facto, o termo competência, como muitos outros em pedagogia, possui inúmeros significados, não sendo possível enveredar por qualquer discussão ou proposta sem se proceder a uma explicitação fundamentada, rigorosa e inequívoca.

No entanto, logo a seguir, se põe a questão de esclarecer o que se entende por conhecimentos, capacidades e atitudes. O primeiro termo, talvez o mais consensual dos três, não se afigura nada claro neste documento pois confunde-se com competência e atitude: na página 10 afirma-se "a própria designação de competências essenciais procura salientar os saberes [conhecimentos] que se consideram fundamentais para todos os cidadãos, na nossa sociedade actual, tanto ao nível geral como das diversas áreas do currículo. Em particular, em cada uma das disciplinas, trata-se de identificar os saberes que permitam aos alunos desenvolver uma compreensão da natureza e dos processos dessa disciplina, assim como uma atitude positiva face à actividade intelectual e ao trabalho prático que lhe são inerentes". Por seu lado, o termo capacidade é omitido nesta explicação e o termo atitude, um dos mais polémicos na literatura sociológica, psicológica e pedagógica, não é, surpreendentemente, submetido a qualquer definição orientadora.

A expressão saber em acção ou em uso foi sugerida e definida por quem e em que enquadramento teórico? Visto existirem diversas outras expressões que com ela se podem confundir (por exemplo, *knowing-in-action*), que sentido concreto se lhe deve atribuir nesta proposta?

Não nos parece que aqui se esclareça a expressão em causa, o tal saber em acção, bem como as expressões conhecimento, capaci-

dade e atitude. Aliás, esta frase ainda as confunde mais, senão atente-se às duas ideias seguintes, primeiro de maneira isolada e depois, de maneira coordenada: (1ª ideia) "não se trata de adicionar a um conjunto de conhecimentos um certo número de capacidades e atitudes"; (2ª ideia) "mas sim promover o desenvolvimento integrado de capacidades e atitudes que viabilizam a utilização dos conhecimentos em situações diversas, mais familiares ou menos familiares dos alunos".

*"Neste sentido, a noção de competência aproxima-se do conceito de literacia. A cultura geral que todos devem desenvolver como consequência da sua passagem pela educação básica, pressupõe a aquisição de um certo número de conhecimentos e a apropriação de um conjunto de processos fundamentais mas não se identifica com o conhecimento memorizado de termos, de factos e procedimentos básicos, desprovido de elementos de compreensão, interpretação e resolução de problemas. A aquisição progressiva de conhecimentos é relevante se for integrada num conjunto mais amplo de aprendizagens e enquadrada por uma perspectiva que coloca no primeiro plano o desenvolvimento de capacidades de pensamento e de atitudes favoráveis à aprendizagem."*

Este esclarecimento é mais um factor perturbador da clareza, porquanto introduz mais um conceito - literacia - sem qualquer preocupação de definição.

Devemos depreender do texto anterior que a educação básica deve centrar-se na aquisição de conhecimentos de cultura geral? Se assim é, estamos perante um entendimento muito pobre de educação básica. Educação que, a seguir, se diz proporcionar a "apropriação de um conjunto de processos fundamentais", não se explicando também o que são processos fundamentais.

De facto, a educação escolar não deve procurar apenas desenvolver a memorização, deve também procurar desenvolver a compreensão, a aplicação, a avaliação, a criatividade, a resolução de problemas... Mas não podemos deixar de assinalar que a memorização é uma capacidade tão nobre e tão essencial na aprendizagem quanto as demais.

*"Com o significado que aqui lhe é atribuído, a competência não está ligada ao treino para, num dado momento, produzir respostas ou executar tarefas previamente determinadas. A competência diz respeito ao processo de activar recursos (conhecimentos, capacidades, estratégias). Em diversos tipos de situações, nomeadamente, situações problemáticas. Por isso, não se pode falar de competência sem lhe associar o desenvolvimento de algum grau de autonomia em relação ao uso do saber."*

Quatro dúvidas/reparos à ideia de competência que no texto anterior se transmite. Primeiro: a educação escolar deve dispensar o treino, quer dizer, a repetição? Acontece que muitas aprendizagens - como ler, escrever, manipular material de laboratório - para se adquirirem e consolidarem não dispensam o treino! Segundo: a produção de respostas ou execução de tarefas previamente determinadas não tem sentido? Não se pretende que os alunos demonstrem as suas aquisições? Então, por exemplo, as provas de avaliação formativa ou sumativa só podem ser um paradoxo, uma vez que servem exactamente para que eles pro-

duzam respostas ou executem tarefas previamente determinadas. Terceiro: a competência é um saber em acção ou em uso, como antes se afirmou (sugerindo esta expressão que a competência é manifestável) ou é um processo de activação de recursos (sugerindo esta expressão que a competência não é manifestável). Quarto: Neste passo, competência significa conhecimentos, capacidades, estratégias. De onde surgiu, entretanto, a noção de estratégia?

A autonomia que se pretende que os alunos adquiram é só em relação ao uso do saber ou também em relação ao uso de capacidades, de atitudes, de processos fundamentais e de estratégias?

Chegado ao fim, o leitor dirá que a nossa estratégia de análise foi a desconstrução e que nada adiantámos para clarificar a noção que pusemos em causa. De facto, assim é. Contudo, enquanto docente da área de pedagogia, devemos, antes de mais, procurar o entendimento dos conceitos basilares no actual Sistema Educativo, e o conceito de competência é, indubitavelmente, um deles.

No entanto, atendendo a que o próprio Departamento da Educação Básica mostrou disponibilidade para rever o documento supra citado, aceitando, para tanto, "críticas e sugestões de melhoramento", pensamos que é sempre oportuno reflectir sobre as questões que enunciámos.

Maria Helena Damião da Silva  
Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação  
da Universidade de Coimbra  
hdamiao@fpcl.uc.pt

## BIBLIOGRAFIA

Abrantes, P., "À conversa com... Paulo Abrantes" (entrevista de José Carlos Abrantes), *Noesis*, nº 58, 2001, p. 15-22.

Abrantes, P., "Reorganização curricular do ensino básico: os princípios e o processo", *Noesis*, nº 58, 2001, p. 24-26.

Decreto-Lei nº6/2001 de 18 de Janeiro, *Diário da República - I série A - n.º 15*.

Departamento da Educação Básica, *Currículo Nacional do Ensino Básico - Competências Essenciais*, Ministério da Educação, 2001.

Perrenoud, Ph., *Porquê construir competências a partir da escola?*, Edições Asa, 2001.

Perrenoud, Ph., "Construir competências é virar as costas aos saberes"? *Pátio - Revista Pedagógica*, nº 11, 1999, p. 15-19.

Roldão, M. C., "De que falamos quando falamos de competências"? *Noesis*, nº 58, 2001, p. 59-62.