

**Artigo original****Diagnosticando as aprendizagens sobre a radiação do corpo negro: o caso de alunos da 12.^a classe do ensino secundário em Moçambique****Rogério Eleazar Carlos Cossa¹ e Nilza Maria Vilhena Nunes da Costa²**¹*Ministério da Educação e Desenvolvimento Humano, Moçambique*²*Universidade de Aveiro, Portugal*

RESUMO: Este estudo decorre dentro da premissa de que, no processo de elaboração de questões de avaliação usando o Modelo Gerador de Questões (MGQ), a aplicação de testes de avaliação formativa no formato impresso pode ajudar a identificar as dificuldades de aprendizagem e “erros” mais comuns dos alunos. O estudo, que segue como paradigma o estudo de caso, está integrado numa investigação em curso no âmbito do programa doutoral em Educação, que consiste no desenvolvimento de questões de avaliação de aprendizagens usando o MGQ. Ele foi realizado em três escolas secundárias, envolvendo uma amostra de alunos da 12.^a classe que em 2013 frequentaram a disciplina de Física. Nas três escolas, um dos testes aplicados foi sobre a radiação do corpo negro. No entanto, para análise e discussão no âmbito deste artigo, foram considerados apenas dados de uma só escola correspondentes a uma turma de 42 alunos. O facto de este conteúdo ser o primeiro contacto dos alunos com elementos da Física Moderna foi a razão para a avaliação do seu nível de compreensão. Os resultados mostraram que a integração de perguntas de construção de respostas constituiu uma boa fonte para identificar as dificuldades de aprendizagem e os “erros” mais comuns dos alunos. Mostraram também que os alunos enfrentam dificuldades ao interpretar a teoria de Prévost e o conceito de corpo negro. Em função dessas constatações, o estudo sugere que os professores recorram a estratégias inspiradas no conceito vigotskiano de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) para o estabelecimento da “ponte” entre a teoria de Prévost e o conceito de corpo negro.

Palavras-chave: avaliação, calor, radiação do corpo negro, temperatura.

Diagnosing learning outcomes on the concept of black body radiation: the case of standard 12 secondary students in Mozambique

ABSTRACT: This study has been developed under the assumption that applying printed formative evaluation assignments may help identifying students’ learning difficulties and their most common “errors”. Part of an ongoing doctoral research in Education, the case study here presented is based on developing assessment questions using MGQ (Question Generating Model). The study was conducted in 2013 in three Mozambican secondary schools and targeted standard 12 students taking Physics classes. Assessment tests on the topic black body radiation were administered to samples of the targeted group. Meanwhile, the results presented and discussed in this paper refer to a sample of only 42 students of a unique class of just one of the three schools involved in the overall research. The fact that this content be the first contact of students with elements of Modern Physics was the reason for the assessment of their level of understanding. The results of the study indicate that the integration of open questions in a test is a good source for identifying students’ learning difficulties and their most common mistakes students. The results also showed that students face difficulties in explaining Prévost’s theory of radiation exchanges and the concept of black body. Thus, it is suggested that teachers should make use of strategies inspired from the vygotskian concept of Zone of Proximal Development (ZDP) to “bridge” the Prévost’s theory and concept of black body.

Keywords: evaluation, heat, black body radiation, temperature.

Correspondência para: (correspondence to:) rogerio_cossa@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

Este estudo é parte de uma investigação intitulada “*O Modelo Gerador de Questões no estudo das radiações e conteúdos de Física Moderna: O Caso do Programa Moçambicano de Física da 12ª classe*”, que está sendo levada a cabo no âmbito de um programa doutoral em Educação. Na investigação ora em curso, o objecto de estudo está centrado no desenvolvimento de material didático digital de Física, baseado no Modelo Gerador de Questões (MGQ), para apoiar alunos e professores na aprendizagem e abordagem das radiações e conteúdos de Física Moderna, no contexto do programa de Física da 12.ª classe do currículo educativo Moçambicano. A baixa qualidade de ensino que é fornecida e que se reflete no elevado número de reprovações é um dos grandes problemas que Moçambique enfrenta no seu processo educativo. Entre outros fatores, o elevado número de reprovações pode estar relacionado com a fraca utilização dos materiais e recursos de aprendizagem disponíveis e a fraca preparação de professores (MOÇAMBIQUE.MINED, 2012, 2009).

No referido programa de Física, os conteúdos sobre a Física Moderna abordados estão relacionados com a Radiação do corpo negro, Fenómeno fotoeléctrico, Níveis de energia, Raios-X e Radioactividade (MOÇAMBIQUE.MINED e INDE, 2010a). No entanto, neste artigo apresenta-se e discute-se apenas os resultados do diagnóstico feito das aprendizagens de alunos relativamente ao conteúdo Radiação do corpo negro. No Ensino Secundário, o conteúdo sobre a radiação do corpo negro marca o primeiro contacto dos alunos com elementos de Física Moderna. Por essa razão, e aliado ao facto de não se encontrarem trabalhos de investigação sobre propostas de materiais de avaliação

de aprendizagens baseadas em MGQ nos conteúdos sobre a Física Moderna para o nível secundário, constituiu motivação para o estudo.

Ostermann e Moreira (2000), realizando uma pesquisa bibliográfica exaustiva sobre a linha de pesquisa “Física Moderna no nível secundário”, concluíram que há uma grande concentração de publicações sobre esta matéria em forma de divulgação ou como bibliografia de consulta para professores. No entanto, trabalhos sobre concepções alternativas para os alunos relativamente a estes conteúdos são escassos, o mesmo acontece com pesquisas que relatam propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem. Estudos de Pereira e Osterman (2009), realizados na base de consulta de 102 artigos publicados no período de 2001 a 2006 sobre o ensino da Física Moderna no nível secundário, também apresentam as mesmas conclusões dos autores anteriormente referidos. Trabalhos específicos versando sobre o ensino e aprendizagem do conteúdo radiação do corpo negro no nível secundário também são escassos.

Assim, em reconhecimento das dificuldades na abordagem destes conteúdos, no plano curricular e nos programas de Física do Ensino Secundário em Moçambique destaca-se a necessidade de uma avaliação formativa e abrangente que utiliza formas diversificadas para obter a imagem do progresso feito pelos alunos em relação aos objetivos e competências básicas definidas (MOÇAMBIQUE.MINED e INDE, 2007). Para tal, é preciso que se proponham tarefas e desafios que incitem os alunos a mobilizar os seus conhecimentos, habilidades e valores, evidenciando mais os aspectos qualitativos e fenomenológicos do que os aspectos quantitativos (MOÇAMBIQUE.MINED e INDE, 2010a).

Na educação em ciências naturais, Tekos e Solomonidou (2009) e Nicol e Dick (2006) referem que uma instrução só poderá ser efectiva se estiver estreitamente ligada aos objectivos de aprendizagem, *feedback*, variedade de actividades e ao uso de materiais de aprendizagem para motivar os alunos a desenvolver os conceitos científicos, processos e habilidades.

Para uma instrução efectiva, o MGQ desenvolvido na Universidade de Aveiro no âmbito do Projecto Matemática Ensino (PmatE) é uma das ferramentas informáticas pela qual as aprendizagens dos alunos podem ser potenciadas através da avaliação (PEIXOTO, 2010). Esta ferramenta, segundo Miranda, Oliveira e Anjo (2007) e Vieira, Carvalho e Oliveira (2004), pode ser entendida como uma estrutura lógico-matemática que gera questões, do tipo falso-verdadeiro, sobre um certo tema ou conteúdo curricular previamente definido, obedecendo a uma determinada classificação por objectivos de ensino e aprendizagem e por níveis de dificuldade. *“As questões são geradas aleatoriamente por expressões parametrizadas, com k ($k \geq 4$) opções de resposta, onde os domínios dos parâmetros dependem do nível etário e escolar a que se destinam”* (VIEIRA, CARVALHO e OLIVEIRA, 2004, p. 106). As questões geradas pelo modelo são visualizadas no ecrã do computador e são constituídas por um texto inicial comum e um conjunto de quatro itens de proposições distintas (MIRANDA, OLIVEIRA e ANJO, 2007).

Neste sentido, para que as aprendizagens dos alunos possam ser potenciadas através da avaliação, é extremamente importante que se esteja ciente das principais dificuldades de aprendizagem dos alunos e dos “erros” mais comuns por eles cometidos. Assim, no processo de elaboração de modelos, a testagem dos mesmos através da aplicação de testes ou provas de avaliação de aprendizagens aos alunos no formato impresso pode ser de vital importância para identificar as

dificuldades e os “erros” mais comuns dos alunos relativamente ao conteúdo sobre a radiação do corpo negro. Deste modo, com a aplicação dessas provas estabelecem-se bases seguras para aumentar o grau de aleatoriedade dos modelos. A aleatoriedade, segundo Aquino (2013), é uma das principais características de um MGQ.

A identificação dos “erros” mais comuns através da aplicação de testes no formato impresso, para além de permitir o aumento do grau de aleatoriedade dos modelos, pode também estabelecer bases seguras para o desenvolvimento de questões de avaliação que promovam aprendizagens no plano da Zona de Desenvolvimento Próximo (ZDP) referido na teoria de Vygotsky.

Vygotsky defende que o desenvolvimento humano tem uma área intermediária que estabelece um diálogo entre os conhecimentos adquiridos e os novos conhecimentos a serem adquiridos (BERTRAND, 1998). Esta área é a ZDP referida anteriormente. De acordo com esta teoria, o desenvolvimento e aprendizagem são aspectos interdependentes ou interrelacionados (MIRANDA, 2005). O desenvolvimento é suscitado e impulsionado pela aprendizagem e esta depende de condições de desenvolvimento. Por isso, para levar o aluno ao desenvolvimento constante, o trabalho do professor será o de conhecer esta ZDP e maximizar a aprendizagem do aluno, pondo em interacção os conhecimentos já adquiridos e os novos conhecimentos que o professor pretende que o aluno aprenda (BARRA, 2014; BARROS, 2013).

A ZDP implica o trajeto que o aluno tem de percorrer para passar do Nível de Desenvolvimento Real ou Actual (NDA) e desenvolver funções que estão em processo de amadurecimento e que, a partir de um processo de aprendizagem, se tornam funções consolidadas, implicando um novo NDA. A ZDP é dessa forma uma zona

cognitiva em constante transformação. Aquilo que é ZDP hoje será o nível NDA amanhã. Assim, para Vygotsky, o desenvolvimento dos processos cognitivos superiores é resultado de uma actividade mediada (FINO, 2001; BERTRAND, 1998; GALLIMORE e THARP, 1990). Interpretando este posicionamento de Vygotsky em função do processo de produção de modelos, pode, então, dizer-se que a identificação prévia das principais dificuldades dos alunos e dos “erros” mais comuns por eles cometidos pode permitir o desenvolvimento de questões de avaliação sobre a radiação do corpo negro que ajudem os alunos na resolução de questões que estejam fora do seu alcance (CLERMONT e BELL, 1988).

Para que a ZDP não seja estimada nem muito aquém nem muito além das reais potencialidades do aluno, a intervenção metodológica na ZDP deverá ter em conta procedimentos didáticos que priorizam: (i) Avaliação do NDA (avaliação diagnóstica). Significa que o professor só pode agir na ZDP dos alunos se ele avaliar as suas capacidades reais antes da sua intervenção (o “erro”, tomado como fonte das dificuldades dos alunos, é um termómetro importante da aprendizagem); (ii) O trabalho com o Nível de Desenvolvimento Potencial (NDP). Neste exercício, a partir das capacidades reais dos alunos, dos objetivos de ensino e do contexto escolar, o professor levanta hipóteses em relação ao NDP dos alunos); (iii) Avaliação do novo NDA através da avaliação formativa (BARROS, 2013).

Desta forma, vão-se produzindo sucessivas ZDPs, cabendo ao professor a responsabilidade de estabelecer movimentos de aproximação do NDA para o NDP. Portanto, os alunos e os seus professores são os agentes da produção de ZDPs em salas de aula. Se a sala de aula não cumpre a função de levar os alunos a progredirem de um certo nível de entendimento para outro, então a sua

existência não faz sentido (FRADE e MEIRA, 2012).

Radiação do corpo negro

No contexto do programa de ensino da 12.^a classe, a abordagem do conteúdo sobre a radiação do corpo negro está relacionada com a Teoria de Troca de Prévost e com as Leis de Stefan-Boltzmann e Deslocamento de Wien (INDE e MOÇAMBIQUE.MINED, 2010a).

A radiação do corpo negro é um dos problemas com que os físicos se depararam no século XIX e que não tinha resposta dentro da Física Clássica, pois as bases já estavam bem estabelecidas naquela época (GIBBS, 1990).

Pensava-se que apenas corpos “quentes” emitiam radiação, mas é claro que o que pode ser quente quando comparado com um conjunto de ambientes pode ser “frio” quando comparado com outro. Neste sentido, em 1792, Prévost (1724-1803) aplica a ideia de equilíbrio dinâmico à radiação, tendo sugerido que, uma vez atingido o equilíbrio termodinâmico a uma certa temperatura, a radiação total emitida por um corpo deve ser igual à radiação total absorvida (GIBBS, 1990; MUNCASTER, 1989). Desta forma, estabeleceu-se uma nova teoria, que ficou conhecida como teoria de Prévost e que de acordo com Nelkon e Parker (1987) pode ser entendida do seguinte modo: “*When the temperature of a body is constant, the body is losing heat by radiation, and gaining it by absorption, at equal rates*”^{vi} (p.726).

Portanto, isto significa que, quando um corpo está à mesma temperatura que o meio que o circunda, a distribuição espectral da radiação emitida para o meio é igual à da radiação absorvida pelo mesmo meio. Assim, como consequência desta teoria, um corpo que é um bom absorvente de radiação é também um bom emissor, pois caso contrário, a sua temperatura iria aumentar para além da temperatura do

meio circundante (SERWAY e BEICHNER, 2000).

A primeira menção a corpos negros deve-se a Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) em 1860. Em Física, entende-se por corpo negro todo o objecto sólido que absorve totalmente a radiação electromagnética que nele incide, portanto sem reflectir nem refractar nenhuma radiação (BRIMICOMBE, 1990; NELKON e PARKER, 1987). Este conceito é um modelo idealizado: um sistema ideal que

absorve toda a radiação que nele incide, sendo por isso ideal para o estudo da radiação térmica (MUNCASTER, 1989), pois elimina a dependência do espectro da radiação emitida, nas propriedades da superfície emissora.

O modelo apresentado na obra de Muncaster (1989) pode elucidar que o corpo negro é uma cavidade quase completamente fechada (Figura 1), com o seu interior completamente negro e munido de uma pequena abertura.

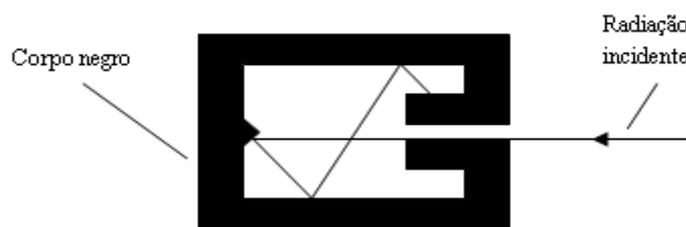


FIGURA 1: Corpo negro

Adaptado em Muncaster (1989, p. 308).

A luz que incide para o interior da cavidade, através da abertura, sofre várias reflexões nas paredes da cavidade. Durante este processo a energia da luz incidente, na prática, é totalmente absorvida pelas paredes internas devido à muito baixa probabilidade que a radiação tem de sair (GIBBS, 1990; MUNCASTER, 1989; YAVORSKI e DETLAF, 1980). Estes investigadores explicam que se demonstra experimentalmente que o aquecimento do corpo a uma certa temperatura produz a emissão para o meio de radiação electromagnética da cavidade negra a que se dá o nome de radiação de corpo negro. A distribuição espectral desta radiação depende apenas da temperatura das paredes da cavidade e não das suas propriedades.

Um corpo negro é caracterizado pela sua emissividade, isto é, a razão entre a energia irradiada por um determinado material e a energia irradiada por um corpo negro à mesma temperatura. O seu valor depende

da natureza da superfície do corpo e varia entre 1 e 0, consoante absorve toda a radiação (corpo negro) ou reflecte toda a radiação nele incidente (corpo branco). Se o corpo não for negro, então, a energia que emite a qualquer temperatura será menor que a emitida por um corpo negro da mesma área superficial à mesma temperatura.

O estudo foi realizado com o objectivo de identificar as dificuldades e os “erros” mais comuns de alunos sobre a radiação do corpo negro, com vista a melhorar os protótipos de modelos construídos sobre esta temática. As seguintes questões de investigação orientaram o estudo:

- a) Como é que os alunos interpretam a teoria de Prévost?
- b) Como é que os alunos interpretam o conceito de corpo negro?

- c) Em função da forma como os alunos interpretam a teoria de Prévost e o conceito de corpo negro, que aspectos dos protótipos de modelos construídos previamente poderão ser melhorados?

METODOLOGIA

Para identificar as dificuldades e os “erros” mais comuns de alunos no estudo da radiação do corpo negro foram colectados dados qualitativos que posteriormente foram transformados em quantitativos numa abordagem de estudo de caso. O estudo, estando integrado na investigação em curso no âmbito do programa doutoral anteriormente referido, foi conduzido em três escolas secundárias onde no ano lectivo 2013 se leccionou a disciplina de Física à 12.^a classe. O instrumento usado para a colecta de dados consistiu em testes de avaliação formativa sobre a radiação do corpo negro, aplicados no formato impresso a alunos de três escolas secundárias.

“O estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenómeno contemporâneo em profundidade e em seu contexto de vida real, especialmente quando os limites entre o fenómeno e o contexto não são claramente evidentes” (YIN, 2009, p. 39). Para este autor ele pode ser conduzido para um dos três propósitos: Explorar, descrever ou ainda explicar um fenómeno. Bogdan e Biklen (1994) também salientam que *“o estudo de caso consiste na observação detalhada de um contexto, ou indivíduo, de uma única fonte de documentos ou de um acontecimento específico”* (p. 89).

Deste modo, tendo em conta que no caso concreto deste estudo se pretendia diagnosticar as aprendizagens de alunos da 12.^a classe em termos de como é que eles interpretam a teoria de Prévost e o conceito de corpo negro, considerou-se esta abordagem como apropriada para explorar

e identificar os “erros” mais comuns de alunos, com o objectivo de usar a informação obtida no desenvolvimento de conteúdos digitais baseados em MGQ. Como foi referido anteriormente, estes “erros” permitiriam o aumento do grau de aleatoriedade no desenvolvimento dos MGQ.

O universo do estudo foi constituído por 912 alunos de três escolas secundárias de três províncias da zona sul do país que frequentaram a 12.^a classe no ano lectivo de 2013 na secção de ciências, onde é leccionada a disciplina de Física. Nas três escolas, foram aplicados testes de avaliação formativa sobre a radiação do corpo negro. No entanto, para análise e discussão no âmbito deste artigo, foram considerados apenas dados de uma só escola correspondentes a uma só turma de 42 alunos.

O teste de avaliação de aprendizagens, aplicado como avaliação formativa após a leccionação do conteúdo sobre a radiação do corpo negro, continha quatro itens de perguntas. As três primeiras questões eram do tipo construção de resposta, mas que exigiam respostas curtas. Nas duas primeiras procurou-se avaliar como é que os alunos interpretam a teoria de Prévost. Na terceira pretendeu-se avaliar se os alunos reconhecem que, em consequência da teoria de Prévost, um corpo que é um bom absorvente de radiação é também um bom emissor de radiação. Finalmente, na quarta pergunta, do tipo selecção de respostas (falso/verdadeiro) procurou-se avaliar como é que os alunos caracterizam um corpo negro.

Nas questões colocadas, o aluno interpreta uma situação, traduz ou descreve um processo com as suas próprias palavras, extrapola o que vai para além dos dados e interpola informação com base no conhecimento prévio. Quando isto acontece, Ornstein e Lasley II (2004), consideram que em termos de nível de assimilação na taxonomia de Bloom, as

questões enquadram-se na **Compreensão**. Segundo os mesmos autores, em termos de resultado do desempenho comporta o Saber + Compreender.

Em termos de validação, antes da aplicação do instrumento aos alunos nas três escolas envolvidas no estudo no âmbito do programa doutoral referido, foi feita uma validação com o principal objectivo de testar os instrumentos no que concerne ao nível de compreensão das questões características dos modelos, para que na sua base fossem melhorados os modelos em processo de elaboração. A validação foi feita considerando em dois momentos:

No primeiro momento a validação foi feita em apenas uma (1) escola secundária da zona sul do País (diferente das três escolas envolvidas no estudo), no terceiro trimestre do ano letivo, nos meses de agosto a setembro de 2012, envolvendo um (1) professor e seus 240 alunos de quatro turmas da 12^a classe. No segundo momento, a validação foi feita usando os professores de Física das três escolas secundárias envolvidas na investigação no âmbito do programa doutoral referido. Em ambos os momentos foram envolvidos elementos do PmatE que produzem MGQ.

Para uma melhor orientação na validação foi disponibilizado aos professores um questionário. De um modo geral, os professores consideraram o teste de avaliação bem estruturado e ao nível dos alunos. Referiram também que as questões colocadas faziam uma evolução gradual dos conteúdos e consideraram bastante positivo o facto de os alunos terem de apresentar uma justificação em algumas questões, pois, os professores acreditam que os alunos desta forma podem expressar as suas concepções. A insistência nas questões, isto é, a colocação de uma mesma questão de formas diferentes foi considerada também boa para certificar se os alunos não estavam a responder ao acaso. No entanto, não foi visto com muito agrado o uso de frases na forma negativa

na formulação de questões, pois consideram que por distração os alunos podem não se aperceber da existência da palavra "Não" na frase. Por esta razão, eles sugeriram o seu destaque na frase quando usada.

No concernente à análise, os dados resultantes da aplicação do teste de avaliação foram interpretados segundo a estatística descritiva usando o pacote estatístico SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), versão 14. Assim, foram analisadas as respostas dos alunos por pergunta, sem ter em conta as variáveis sexo, idade, escola e turma.

Tendo em conta que o instrumento era baseado em perguntas fechadas e abertas que exigem resposta curta, então, considerou-se que o *software* SPSS podia ser apropriado para avaliar as dificuldades e os “erros” mais comuns dos alunos relativamente ao corpo negro. No caso das perguntas abertas, cada uma delas foi codificada de acordo com o tipo de resposta esperado e outras que emergiram durante a codificação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que o objectivo principal era identificar as dificuldades e os “erros” mais comuns dos alunos com vista a melhorar os protótipos de modelos construídos, então, a análise de dados será feita apresentando-se e discutindo-se as respostas dos alunos, tendo em conta as questões de investigação formuladas.

Resultados na interpretação da teoria de Prévost

Para avaliar a compreensão dos alunos relativamente à interpretação desta teoria, primeiro são analisadas as respostas dos alunos sobre as trocas de calor entre um corpo e o meio à mesma temperatura. De seguida, são analisadas as respostas dos alunos relativamente à radiação emitida para o meio por um corpo à mesma temperatura que o meio. Por fim,

analisadas as respostas no que diz respeito à relação entre um corpo bom absorvente e bom emissor de radiação.

Respostas dos alunos sobre trocas de calor entre um corpo e o meio à mesma temperatura

Os alunos, solicitados a responderem e justificarem se há ou não troca de calor entre um corpo e o meio quando o corpo está a mesma temperatura que o meio que o circunda, acreditam, na sua maioria, que continua a haver trocas de calor entre o corpo e o meio quando ambos estão à mesma temperatura. No entanto, as dificuldades para explicarem as razões

dessa continuidade de troca são imensas, totalizando-se uma percentagem de cerca de 62% que não conseguiu justificar correctamente porque é que continua a haver trocas.

A resposta correta - continua a haver troca de calor porque nas condições referidas, a radiação emitida para o meio que o circunda é igual à radiação absorvida pelo mesmo meio (SERWAY e BEICHNER, 2000; GIBBS, 1990; NELKON e PARKER, 1987) - não foi referida por nenhum aluno. Isto pode revelar o quão este fenómeno é abstracto para eles.

TABELA 1: Respostas dos alunos sobre trocas de calor entre um corpo negro e o meio

Pergunta 1	Categorias de respostas	Escola A % N = 42
Interpretação da teoria de Prevost	Sem resposta	2,4
	Não há porque as temperaturas são iguais	33,3
	Há porque o corpo e o meio estão a mesma temperatura	7,1
	Há porque o corpo negro tem a capacidade de absorver calor	33,3
	Há (sem justificação)	7,1
	Não há (sem justificação)	2,4
	Há. Dependendo da natureza de cada corpo	14,3
	Há porque radiação emitida meio igual absorvida meio	0

N.B.: Negrito representa resposta correcta

Um outro grupo de respostas que se verificou é de alunos que consideram impossível haver trocas de calor quando o corpo e o meio estão à mesma temperatura (um total de cerca de 40%). As razões por trás desta resposta podem estar associadas às aprendizagens obtidas em classes anteriores para se explicar a troca de calor entre corpos com base no conceito de equilíbrio térmico. Os alunos aprenderam em classes anteriores, na Física clássica, que um corpo encontra-se em equilíbrio térmico se não ocorre nenhuma troca de calor no seu interior ou entre ele e a sua vizinhança (INDE e MOÇAMBIQUE.MINED, 2010b). Um exemplo clássico por eles muito conhecido

é quando se colocam em contacto dois corpos que se encontram a temperaturas diferentes. Neste caso, observa-se que o corpo mais frio aquece e o corpo mais quente arrefece até ao momento em que a temperatura dos dois corpos se iguala e, nesse momento, cessa a transmissão de calor e atinge-se então o equilíbrio térmico (INDE e MOÇAMBIQUE.MINED, 2010b; PEREIRA, SOUTO e GONÇALVES, 1997).

Como se pode notar, a teoria de Prevost, que estabelece que quando um corpo está à mesma temperatura que o meio que o circunda, a radiação emitida para o meio que o circunda é igual à radiação absorvida

pelo mesmo meio, parece contraditória face aos conhecimentos prévios dos alunos. Por isso, quando se aborda a temática sobre as trocas de calor por radiação pela primeira vez com os alunos, há que investigar e explorar conjuntamente as ideias dos alunos, no que tange a energia transferida por processos térmicos, para que se consiga estabelecer devidamente uma base de experiência e partilha dos conhecimentos e concepções prévias dos alunos. A observância deste aspecto é de extrema importância, pois, conforme referiram Fino (2001), Gallimore e Tharp (1990) e Bertrand (1998), existe na mente dos alunos, uma ZDP, que representa a diferença entre o que o aluno pode fazer individualmente (NDA) e aquilo que é capaz de atingir com a ajuda do professor ou de colegas mais aptos na matéria (NDP).

Importa também referir o facto de 14,3% dos alunos justificar a continuidade das trocas de calor entre o corpo e o meio com base na natureza de cada corpo. Neste caso, provavelmente os alunos não ficaram esclarecidos sobre a influência da natureza dos corpos na emissão e absorção da radiação. Por isso, é importante que se explore com os alunos esta questão, para que fique clara a ideia de equilíbrio dinâmico da radiação estabelecido por Prévost. É também importante que se clarifique aos alunos que Prévost, ao referir-se à natureza dos corpos na emissão e absorção da radiação, pretendia explicar que um corpo emite radiação a uma taxa que depende somente da natureza da sua superfície e da sua temperatura e que ele absorve radiação a uma taxa que depende da natureza da sua superfície e da temperatura do seu ambiente (MUNCASTER, 1989; NELKON e PARKER, 1987).

Uma outra situação é o facto de 33,3% dos alunos justificar a continuidade de trocas de calor entre corpo e meio porque o corpo negro tem a capacidade de absorver calor. Para este grupo de alunos, o problema

pode residir no facto de eles não aceitarem ainda que um bom absorvente de radiação é também um bom emissor de radiação, como refere Muncaster (1989) e Nelkon e Parker (1987). Por isso, ao nível da sala de aulas há que desenvolver estratégias de ensino e aprendizagem para estimular a ZDP para que eles possam aceitar que um corpo com capacidade de absorver calor tem também a capacidade de emitir calor. Esta zona, se bem explorada, possibilitará trabalhar satisfatoriamente com os alunos de modo a levá-los a um desenvolvimento constante.

Respostas dos alunos sobre a radiação emitida para o meio por um corpo à mesma temperatura que o meio

Neste caso, os alunos deviam responder justificando que quando um corpo está à mesma temperatura que o meio que o circunda, a radiação emitida para o meio que o circunda é maior, menor ou igual à radiação absorvida pelo meio.

As percentagens das respostas apresentadas na Tabela 2 mostram que, à semelhança da questão anterior, os problemas dos alunos são enormes relativamente a este conteúdo. Apenas 26,2% de um total de 42 alunos conseguiu dar uma justificação correta ao considerar que a radiação emitida para o meio por um corpo à mesma temperatura que o meio é igual devido ao equilíbrio térmico que existe entre corpo e meio. No entanto, 19% dos alunos considera que a radiação emitida para o meio é menor porque o corpo negro absorve toda a radiação. Esta resposta pode fazer muito sentido para os alunos e pode estar associada à forma como o conceito de corpo negro foi abordado na sala de aula e como foi estabelecida a relação com a teoria de Prévost. Como os alunos aprenderam que um corpo negro é todo o objecto sólido que absorve totalmente a radiação electromagnética que nele incide, então eles julgam que se absorve toda radiação então vai emitir pouca de seguida ou

mesmo nenhuma. Por isso, neste caso também é importante que os alunos estejam cientes de que um bom absorvente de radiação é também um bom emissor, como referem Muncaster (1989) e Nelkon e Parker (1987). Mas, para que tal

aconteça, uma estratégia a pôr em prática podia ser o estabelecimento da “ponte” entre a teoria de Prévost e o conceito de corpo negro para que a aprendizagem ocorra na ZDP referida por Vygotsky na sua teoria.

TABELA 2: Respostas dos alunos sobre a radiação emitida para o meio por um corpo à mesma temperatura que o meio

Pergunta 2	Categorias de respostas	Escola A % N = 42
Interpretação da teoria de Prevost	Sem resposta	9,5
	Igual porque há equilíbrio térmico entre corpo e meio	26,2
	Igual devido ao poder absorvente dos corpos	9,1
	Maior porque a emissividade é maior	23,8
	Igual porque a emissividade é proporcional à temperatura	7,1
	Menor (sem justificação)	2,4
	igual (sem justificação)	2,4
	Menor porque corpo negro absorve toda radiação	19,0

N.B.: Negrito representa resposta correcta

Do mesmo modo, para os alunos que consideram que a radiação emitida para o meio é maior porque a emissividade é maior (23,8 %), provavelmente pensam que pelo facto de o corpo negro ser considerado como aquele que absorve toda a radiação electromagnética que nele incide, então, consequentemente, vai emitir mais radiação em relação ao meio. Esta resposta pode estar associada ao facto de os alunos saberem que quanto maior for a emissividade maior é a capacidade de um material emitir energia por radiação da sua superfície, daí eles julgarem que a radiação emitida para o meio é maior. Este tipo de resposta leva a suspeitar que provavelmente os alunos estejam em conflito cognitivo com o conceito de emissividade, que relaciona a energia irradiada por um determinado material e a energia irradiada por um corpo negro à mesma temperatura.

Respostas dos alunos sobre um corpo bom absorvente e bom emissor de radiação

Neste caso, os alunos deviam responder

justificando que um corpo que é um bom absorvente de radiação é também um bom emissor de radiação.

De um modo geral as respostas apresentadas na Tabela 3 mostram que os alunos julgam que um corpo que é um bom absorvente de radiação não pode ser um bom emissor de radiação. Analisando as respostas deste ponto de vista, constata-se que 28,6% argumenta que um bom absorvente não pode ser um bom emissor porque um bom absorvente emite pouca radiação. Por sua vez, 23,8% argumenta que um bom absorvente de radiação não pode ser um bom emissor de radiação porque um corpo não pode ter as duas capacidades em simultâneo. Estes argumentos mostram mais uma vez que as dificuldades na interpretação da teoria de Prévost se reflectem também nesta questão, do mesmo modo que nas questões anteriores. Isto leva a crer que, para que os alunos compreendam efectivamente a questão de um bom absorvente de radiação ser também um bom emissor, se lhes deve

explicar claramente, como salientam, Muncaster (1989) e Nelkon e Parker (1987), que se o corpo que é bom absorvente de radiação não fosse também um bom emissor, a sua temperatura iria aumentar para além da temperatura do meio que o circunda.

Relativamente ao grupo de alunos que considera que realmente um corpo que é um bom absorvente de radiação é também um bom emissor, as percentagens apresentadas na Tabela 3 mostram que se registaram 21,4 % dos alunos que argumenta que este fenómeno acontece pelo facto de o corpo possuir a mesma capacidade de emitir e absorver. Este argumento, embora não esteja claro procura de certa forma fazer uma

interpretação correta da teoria de Prévost. Provavelmente, pela mesma capacidade de emitir e absorver a que se referem, os alunos estejam a querer dizer que a radiação emitida para o meio que o circunda é igual à radiação absorvida pelo mesmo meio. Constatam-se também que 11,9 % dos alunos aceita que um corpo que seja um bom absorvente de radiação também seja um bom emissor. No entanto, o argumento apresentado é contraditório porque dizem que depende da natureza do corpo. Portanto, ao argumentarem desta forma, significa que aceitam e ao mesmo tempo que não aceitam que um bom absorvente de radiação seja também um bom emissor.

TABELA 3: Respostas dos alunos sobre um corpo bom absorvente e bom emissor de radiação

Pergunta 3	Categorias de respostas	Escola A % N = 42
Interpretação da teoria de Prévost	Sem resposta	4,8
	Não porque bom absorvente emite pouca radiação	28,6
	Não porque depende da natureza dos corpos	7,1
	Sim porque tem mesma capacidade de emitir e absorver	21,4
	Não porque um corpo não pode ter as duas capacidades em simultâneo	23,8
	Sim porque dependendo da natureza do corpo	11,9
	Não (sem justificação)	2,4
	sim. porq caso contrário, temp do corpo iria aumtar acima da temp do meio	0

N.B.: Negrito representa resposta correcta

Resultados na interpretação do conceito de corpo negro

A avaliação dos alunos sobre a interpretação do conceito de corpo negro foi feita com base em questões do tipo falso/verdadeiro. Com o objectivo de avaliar a consistência nas respostas, algumas das questões foram colocadas repetidamente e nas formas positiva e negativa. Por exemplo, era questionado se

o corpo negro é (não é) aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética.

As percentagens das respostas apresentadas na Tabela 4 revelam que, de um modo geral, os alunos têm de facto dificuldades em interpretar o conceito de corpo negro, o que pode estar associado às dificuldades apresentadas anteriormente relativamente à interpretação da teoria de Prévost.

TABELA 4: Respostas dos alunos sobre o conceito de corpo negro

Pergunta 4	Alternativas de respostas	Respostas	% N =42
Caracterização de um corpo negro	É aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética.	Correcta	61,9
		Incorrecta	38,1
	É aquele que melhor absorve radiação electromagnética e não emite-a.	Correcta	31,0
		Incorrecta	69,0
	É aquele que apenas melhor emite radiação electromagnética.	Correcta	31,0
		Incorrecta	69,0
	Não é aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética.	Correcta	26,2
		Incorrecta	73,8
	Não é aquele que apenas melhor absorve radiação electromagnética.	Correcta	42,9
		Incorrecta	57,1
	Não é aquele que apenas melhor emite radiação electromagnética.	Correcta	54,8
		Incorrecta	45,2

N.B.: Negrito representa resposta correcta

A avaliar pelas opções de respostas dadas constata-se que a problemática de o corpo negro ser um corpo que melhor absorve e emite radiação, não é totalmente aceite pelos alunos. Portanto, ao mesmo tempo que uma boa parte dos alunos acredita que corpo negro é aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética, também acredita que corpo negro é aquele que melhor absorve radiação electromagnética e não a emite ou que apenas melhor emite radiação electromagnética.

Resultados sobre a melhoria de protótipos de modelos construídos

Analisando comparativamente as questões formuladas nos protótipos de modelos que haviam sido construídos com as respostas dos alunos apresentadas a partir da aplicação do teste no formato impresso, constata-se que nos protótipos as questões formuladas não incluíam algumas das interpretações dos alunos discutidas anteriormente. Por isso houve a necessidade de se rever e actualizar os protótipos no sentido de incluir questões que fossem ao encontro de outro tipo de “erros” dos alunos que não tinha sido previsto nos protótipos. Este procedimento reforça as condições para a progressão dos

alunos de um certo nível de entendimento para outro, fortalecendo-se assim os movimentos de aproximação do NDA para o NDP.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De um modo geral, os resultados do estudo mostraram que os alunos têm dificuldades em interpretar a teoria de Prévost e o conceito do corpo negro. A teoria de Prévost parece muito abstracta para os alunos. Na interpretação desta teoria, a maioria de alunos não aceita que continua a haver trocas de calor quando corpo e meio estão à mesma temperatura. Os que consideram que continua a haver trocas não consegue dar uma justificação correcta sobre o fenómeno. Assim, ao abordar-se este conteúdo ao nível da sala de aula, recomenda-se a priorização de explicações baseadas em conhecimentos prévios, correspondentes ao NDA, na teoria de Vygotsky, desenvolver vocabulário e providenciar experiências na medida do possível para reforçar e potenciar a compreensão dos alunos. Isto sugere a intervenção do professor na ZDP (uma zona cognitiva em constante transformação), conforme sugere Vygotsky

(BARROS, 2013; MIRANDA, 2005). Desta forma, sucessivas ZDPs vão-se produzindo, cabendo ao professor a responsabilidade de estabelecer movimentos de aproximação do NDA para o NDP (FRADE e MEIRA, 2012). Como ponto de partida, o estabelecimento de uma diferença clara entre as três formas de transmissão de calor (condução, convecção e radiação) poderá criar bases para que os alunos compreendam os fenómenos.

O facto de os alunos enfrentarem dificuldades ao interpretar correctamente a teoria de Prévost, faz com que tenham também dificuldades em compreender o conceito de corpo negro como aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética. Por isso, há que mostrar claramente ao aluno que a questão de um corpo absorver e emitir melhor é consequência da teoria de Prévost.

A integração de perguntas de construção de respostas no teste de avaliação usando material impresso constitui uma boa fonte para identificar as dificuldades de aprendizagem e os “erros” mais comuns dos alunos. Assim, foi possível apurar que os alunos usam diferentes argumentos para explicarem a teoria de Prévost e o conceito de corpo negro. Como alguns desses argumentos não foram tidos em conta na elaboração dos primeiros protótipos de modelos, então, no processo de actualização dos protótipos foram reformuladas e elaboradas outras questões que incluíssem os “erros” mais comuns dos alunos identificados ao longo do presente estudo. As categorias de respostas indicadas nas Tabelas apresentadas constituíram a base para a actualização dos protótipos, reforçando-se desta forma o desenvolvimento de questões no plano da ZDP e conseqüentemente o grau de aleatoriedade dos modelos. Portanto, como referiram Clermont e Bell (1988), a acção educativa somente terá sentido se for realizada no plano da ZDP, para ajudar os alunos na resolução de problemas que estejam fora do seu alcance. Por isso, para

levar o aluno ao desenvolvimento constante, o trabalho do professor será o de conhecer a ZDP e maximizar a aprendizagem do aluno, pondo em interacção os conhecimentos já adquiridos com os novos conhecimentos que o professor pretende que o aluno aprenda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, S. I. V. M. P. **O Projecto PmatE e a aprendizagem da Matemática no Ensino Superior**, 2013. Tese (Doutoramento e Educação. Universidade de Aveiro, 2013).
- BARRA, A. S. B. Uma análise do conceito de zona de desenvolvimento proximal. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v.12, n.1, p. 765-774, 2014.
- BARROS, E. M. D. Aproximações entre o funcionamento da Metodologia das Sequências Didáticas e o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal. **Calidoscópico**, v.11, n.1, p. 76-89, 2013.
- BERTRAND, Y. **Teorias contemporâneas da educação**. Lisboa: Instituto Piaget, 1998.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto: Porto editora, 1994.
- BRIMICOMBE, M. **Physics in focus**. Hong Kong: ELBS edition, 1990.
- CLERMONT, A. N. P.; BELL N. Learning processes in social and instructional interactions. In RICHARDSON, K.; SHELDON, S. (Ed.). **Cognitive Development to Adolescence**. Milton Keynes: Open University, 1988.
- FINO, C. N. Vygotsky e a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP): três implicações pedagógicas. **Revista Portuguesa de educação**, v.14, n.2, p. 273-291, 2001.
- FRADE, C.; MEIRA, L. Interdisciplinaridade na escola: subsídios para uma zona de desenvolvimento

- proximal como espaço simbólico. **Educação em Revista**, v. 28, n.1, p. 371-394, 2012.
- GALLIMORE, R.; THARP, R. O pensamento educativo na sociedade: ensino, escolarização e discurso escrito. In: MOLL, Luis C. (Ed.). **Vygotsky e a educação: implicações pedagógicas da psicologia sócio-histórica**, 1990. p. 171 – 199).
- GIBBS, K. **Advanced Physics**. 2 ed. Nova York: Cambridge University Press, 1990.
- MOÇAMBIQUE. MINED; INDE. **Física: programa da 12^a classe**. Maputo: DINAME, 2010a.
- MOÇAMBIQUE. MINED; INDE. **Física: programa da 9^a Classe**. Maputo: DINAME, 2010b.
- MOÇAMBIQUE. MINED; INDE. **Plano curricular do ensino secundário geral: documento orientador, objetivos, política, estrutura, plano de estudos e estratégias de implementação**. Maputo: Imprensa Nacional, 2007.
- MOÇAMBIQUE. MINED. **Plano estratégico da educação 2012 - 2016**. Maputo: Imprensa Nacional, 2012.
- MOÇAMBIQUE. MINED. **Estratégia do ensino secundário geral 2009 - 2015**. Maputo: Imprensa Nacional, 2009.
- MIRANDA, M. Conceitos centrais da teoria de Vygotsky e a prática pedagógica. **Ensino em Re-Vista**, v. 13, n.1, p. 7-28, 2005.
- MIRANDA, D.; OLIVEIRA, L.; ANJO, A. B. **Um estudo de caso com o sistema PmatE (10ºano, geometria)**, 2007. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/7148>> Acesso em: Setembro de 2015.
- MUNCASTER, R. **A-Level Physics**. 3 ed. Londres: Stanley Thornes (Publishers) Ltd, 1989.
- NELKON, M.; PARKER, P. **Advanced level Physics**. 16 ed. Londres: Heinemann Educational, 1987.
- NICOL, D. J.; MACFARLANE-DICK, D. Formative assessment and self-regulated learning: a model and seven principles of good feedback practice. **Studies in Higher Education**, v. 31, n. 2, p. 199-218, 2006.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma Revisão Bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n.1, p. 23-48, 2000.
- ORNSTEIN, A. C.; LASLEY II, T. J. **Strategies for Effective Teaching**. 4 ed. Nova York: Mcgraw-Hill, 2004.
- PEIXOTO, E. M. R. **Modelos Geradores de Questões no âmbito da Geociências**, 2010. Dissertação (Mestrado em Educação. Universidade de Aveiro, 2010).
- PEREIRA, A.; SOUTO A.; GONÇALVES, C. **Eu gosto de Física, 9º ano**. Lisboa: Texto Editora, 1997.
- PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.14, n.3, p. 393-420, 2009.
- SERWAY, R. A.; BEICHNER, R. J. **Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics**. 4 ed. Nova York: Saunders College Publishing, 2000.
- TEKOS, G.; SOLOMONIDOU, C. Constructivist learning and teaching of optics concepts using ICT tools in Greek Primary School: a pilot study. **J. Sci Educ Technol**, v. 18, n.5, p.415 – 428, 2009.
- VIEIRA, J. C. D.; CARVALHO, M. P.; OLIVEIRA, M. P. Modelo Gerador de Questões. In **Actas da Conferência IADIS Ibero-Americana WWW/Internet2004, 2004**. Disponível em: <http://www.iadis.net/dl/final_

uploads/200405L014.pdf> Acesso em:
Setembro de 2015.

YAVORSKI, B. M.; DETLAF, A. A.
Prontuário de Física. Moscovo: Editora

Mir, 1980.

YIN, R. K. **Case study research: design
and methods.** 4 ed. London:Sage
publications, Inc., 2009.

**APENDICE: AVALIAÇÃO SOBRE
RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO**

Escola Secundária

Física 12^a Classe

Data:

NomeIdade.....

Sexo..... Turma.....Nº.....

Responda às questões abaixo colocadas
relativas ao corpo negro.

1. Quando um corpo está a mesma temperatura que o meio que o circunda **há** ou **não há** troca de calor entre o corpo e o meio? _____

Justifique a sua resposta!

2. Quando um corpo está a mesma temperatura que o meio que o circunda, a radiação emitida para o meio que o circunda é **maior**, **menor** ou **igual** que a radiação absorvida pelo meio?

Justifique a sua resposta!

3. Será que um corpo que é um bom absorvente de radiação é também um bom emissor de radiação? _____

Justifique a sua resposta!

4. Analise cada uma das afirmações que se seguem e classifique-as de verdadeiras (V) ou falsas (F).

Corpo negro é aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética. ____

Corpo negro é aquele que melhor absorve radiação electromagnética e não emite-a. ____

Corpo negro é aquele que apenas melhor emite radiação electromagnética. ____

Corpo negro não é aquele que melhor absorve e emite radiação electromagnética. ____

Corpo negro não é aquele que apenas melhor absorve radiação electromagnética. ____

Corpo negro não é aquele que apenas melhor emite radiação electromagnética. ____

Bom trabalho!

ⁱ Quando a temperatura de um corpo é constante, o corpo está perdendo calor por radiação, e ganhando-o por absorção, a taxas iguais (Tradução livre).