

O modelo gerador de questões na identificação de dificuldades de alunos da 12ª classe de Moçambique na explicação do efeito fotoelétrico

Rogério Eleazar Carlos Cossa

Ministério da Educação e Desenvolvimento Humano (Direção Nacional do Ensino Secundário), Moçambique
rogerio_cossa@yahoo.com.br ou rogerio.cossa@ua.pt

Nilza Maria Vilhena Nunes da Costa

Departamento de Educação; Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores; Universidade de Aveiro; Portugal
nilzacosta@ua.pt

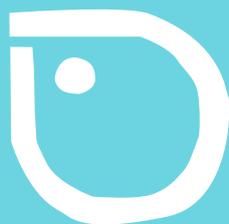
Resumo

O presente artigo apresenta parte dos resultados de um projeto de doutoramento que consiste em desenvolver, no formato digital, questões de avaliação de aprendizagens baseadas no Modelo Gerador de Questões (MGQ), para professores e alunos, destinadas ao ensino, aprendizagem e avaliação de conteúdos de Física Moderna e radiações, no contexto do programa de Física da 12ª classe do currículo moçambicano. Os resultados reportados neste artigo são referentes apenas ao conteúdo do fenómeno fotoelétrico. Com o objetivo de identificar as principais dificuldades dos alunos, foram aplicadas, em 2013, questões de avaliação a 50 alunos de três turmas de duas escolas secundárias em Moçambique. As questões foram disponibilizadas na Plataforma do Projeto Matemática Ensino (PmatE) e resolvidas na mesma em 22 grupos de dois a três alunos. Os resultados mostraram que o MGQ é uma ferramenta importante que contribui para a identificação das dificuldades dos alunos. Através do MGQ constatou-se que os alunos enfrentam dificuldades em interpretar processos que ocorrem no interior dos átomos. A sugestão apontada para a abordagem didática do conteúdo em causa, com base nas dificuldades identificadas e na literatura, é o recurso a uma experiência que pode ser realizada com um eletroscópio munido de folhas de ouro no seu interior e uma placa de zinco.

Palavras-chave: Avaliação das Aprendizagens, Dificuldades de alunos, Fenómeno Fotoelétrico, Modelo Gerador de Questões, Proposta Didática

Abstract

This article presents some results of a PhD project which main aim is to develop, in a digital format, assessment questions based on a Questions Generator Model (MGQ), for teachers and students, in order to guide the teaching, learning and assessment process of contents of Modern Physics and Radiation, in the context of the Physics Curriculum of the 12th class in Mozambican. The results reported in this article refer only to the content of the photoelectric phenomenon. In order to identify students' main difficulties, assessment questions were applied, in the academic year of 2013, to 50 students from three classes of two secondary schools in Mozambique. The questions were available in the Mathematics Teaching Platform Project (PmatE) and solved in 22 groups of two or three students.



The results showed that the MGQ is an important tool that contributes to the identification of students' difficulties. Through the MGQ it was found that students face difficulties in interpreting processes that take place inside atoms. The suggestion pointed to a didactic approach of the content in question, based on the difficulties identified and on the specialized literature, consisting of an experiment that can be performed with an electroscope equipped with gold leaf and using also a zinc plate.

Keywords: Learning assessment, Students' difficulties, Photoelectric phenomenon, Questions Generator Model, Didactical proposal

Résumé

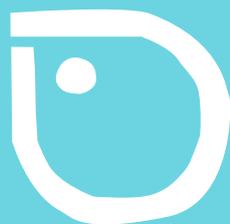
Cet article présente résultats d'un projet de thèse visée de développer, en format digital, des questions d'évaluation de l'apprentissage basé sur le modèle Questions Générateur (QMG), pour les enseignants et les étudiants, pour l'enseignement, l'apprentissage et l'évaluation des matières de Physique Moderne et Rayonnement, dans le contexte du programme de Physique de la 12e classe au Mozambique. Les résultats rapportés dans cet article ne concernent que le contenu du phénomène photoélectrique. Afin d'identifier les principales difficultés des élèves ont été appliquées, en 2013, des questions d'évaluation à 50 élèves de trois classes de deux écoles secondaires au Mozambique. Les questions étaient disponibles en projet de plateforme d'enseignement de mathématique (PMATE) et résolus dans 22 groupes de deux ou trois élèves. Les résultats ont montré que le QMG est un outil important qui contribue à la d'identification des difficultés des étudiants. Grâce à la QMG il a été constaté que les étudiants confrontés à des difficultés dans les processus qui ont lieu à l'intérieur des atomes. L'approche didactique suggérée du contenu en question, sur la base des difficultés constatées et de la littérature, est l'utilisation d'une expérience qui peut être réalisée avec un électroscope équipée avec des feuilles à l'intérieur d'or et une plaque de zinc.

Mots-clés: Évaluation de l'apprentissage, Difficultés des étudiants, Phénomène photoélectrique, Générateur Questions Modèle, Proposition didactique

Introdução

O Projeto Matemática Ensino (PmatE) da Universidade de Aveiro (UA), Portugal, é um projeto de investigação e desenvolvimento de *software* educativo que nasceu em 1989, por iniciativa do Departamento de Matemática da UA. O combate aos maus resultados dos alunos nesta disciplina em diferentes graus de ensino foi a principal motivação para a criação do projeto. Este tinha como principal finalidade trazer para o sistema educativo novas ferramentas para o ensino e aprendizagem, ferramentas essas mais atrativas, interativas e complementares às usadas em sala de aula, no sentido de promoverem a consolidação dos conhecimentos matemáticos e a criação de hábitos de estudo (quer individuais quer em grupo), colocando o aluno no centro da aprendizagem e o professor como mediador. A unidade fundamental do *software* desenvolvido no PmatE é o Modelo Gerador de Questões/MGQ (Miranda, Oliveira & Anjo, 2007; Peixoto, 2009).

O MGQ é uma estrutura lógico-matemático que gera questões, do tipo falso-verdadeiro, sobre um certo tema ou conteúdo curricular previamente definido, obedecendo a uma determinada classificação por objetivos de ensino e aprendizagem e por níveis de dificuldade (Miranda, Oliveira



& Anjo, 2007; Vieira, Carvalho & Oliveira, 2004). No MGQ:

"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 et al., 2004, p. 106).

As questões são corrigidas de forma automática pelo sistema. Assim, ao terminar a realização de uma questão, ou conjunto de questões, o aluno pode ter logo acesso ao resultado da mesma e é-lhe indicado em que quais acertou ou errou, mas sem nenhuma explicação do porquê do erro, na medida em que a plataforma não dispõe de funcionalidades que possam explicar os erros cometidos. Com base neste tipo de *feedback* o aluno pode, então, decidir quando rever as matérias devidamente não aprendidas ou quando solicitar ajuda aos seus colegas, aos seus professores ou a outros intervenientes. O professor, por sua vez ao aceder à correção das questões do seu aluno, também toma conhecimento das dificuldades que este apresenta nos conteúdos avaliados, permitindo-lhe obter informação acerca do cumprimento dos objetivos nos diversos conteúdos. O professor pode ainda identificar os pontos fortes e fracos dos seus alunos, permitindo-lhe ajustar a prática letiva a essas evidências. Portanto, este tipo de utilização, em que o professor constrói as questões para os seus alunos e em que pode aceder aos resultados por eles obtidos, é que faz com que a plataforma constitua uma ferramenta informática de apoio ao ensino e aprendizagem (Miranda, Oliveira & Anjo, 2007; Silva, Anjo, Vieira & Rocha, 2004; Vieira et al., 2004).

Com base no PmatE e no MGQ, e no âmbito de um Projeto de Doutoramento, desenvolveu-se um estudo centrado agora em conteúdos da Física da 12ª classe em Moçambique. O estudo empírico envolveu alunos de três escolas secundárias de Moçambique onde foram aplicadas questões de avaliação de aprendizagens versando tópicos como ondas electromagnéticas, radiação do corpo negro, fenómeno fotoelétrico, níveis de energia no átomo de hidrogénio e raios-x. Neste artigo são apresentados apenas parte dos resultados obtidos, relativos ao conteúdo fenómeno fotoelétrico. O objetivo foi caracterizar as dificuldades dos alunos na explicação desse fenómeno e sugerir uma abordagem didática para as superar.

Contextualização teórica

Segundo Yavorski e Detlaf (1980), o fenómeno fotoelétrico pode ser observado nos gases (ionização dos átomos e das moléculas de gás pela ação da luz), sólidos e líquidos. Os mesmos autores salientam também, que nos sólidos e líquidos pode verificar-se o efeito fotoelétrico externo (emissão fotoelétrica) e interno (redistribuição dos eletrões segundo os estados energéticos dentro dos semicondutores e dielétricos sólidos e líquidos, sob a ação exercida pela luz). No entanto, no contexto deste artigo discutir-se-á apenas o fenómeno fotoelétrico externo que ocorre apenas nos metais.

O fenómeno fotoelétrico, como referem Moyle, Allan, Millar, e Molde (1988) e Watt (1999), foi observado experimentalmente pela primeira vez por Henrich Hertz (1857 – 1894) em 1887 quando investigava a natureza eletromagnética da luz. Estes autores descrevem que as experiências de Hertz envolviam a produção de descargas elétricas através do carregamento de uma esfera metálica com uma tensão elétrica suficientemente alta para que a faísca resultante da descarga pudesse passar através do espaço para uma outra esfera vizinha, ligada à terra. Desta forma, a esfera carregada negativamente descarregava-se quando os eletrões passavam, através do espaço,



para a esfera ligada à terra. Referem ainda que Hertz observou que eram produzidas descargas fortes quando se fazia incidir luz ultravioleta sobre a esfera metálica carregada negativamente. Este efeito da luz ultravioleta na descarga elétrica era algo novo para o qual não havia explicação, referem os mesmos autores.

No ano seguinte, isto é, em 1888, explicam Nelkon e Parker (1987), o cientista Hallwachs (1859 - 1922) descobriu que uma chapa de zinco isolada, carregada negativamente, perdia a sua carga quando exposta à luz ultravioleta. Mais tarde, investigadores como Lenard (1862 – 1947), e outros mostraram que os eletrões eram libertados da chapa de zinco quando expostos à luz ultravioleta (Duncan, 1983; Gibbs, 1990). Este fenómeno, designado de fenómeno fotoelétrico (ou ainda efeito fotoelétrico ou emissão fotoelétrica), é explicado admitindo-se que a luz transmite energia aos eletrões nos átomos da superfície do metal e permite que eles abandonem a superfície.

Estas descobertas empíricas foram muito surpreendentes e deixaram os cientistas intrigados quanto à:

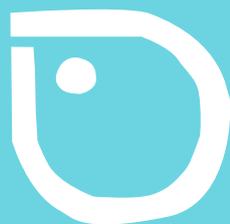
- energia cinética dos eletrões emitidos que não mostrava dependência da intensidade da radiação que incidia sobre a superfície metálica;
- energia cinética dos eletrões emitidos pela superfície metálica que variava com a frequência da radiação incidente.

Quando se procurou explicar estes efeitos, usando a teoria ondulatória da luz ou teoria eletromagnética clássica da luz, constatou-se que a variação da velocidade máxima dos fotoeletrões em função da frequência da radiação incidente e a existência da frequência limite a partir da qual se dá início ao fenómeno fotoelétrico, não podiam ser interpretadas apenas na base da teoria ondulatória da luz (Muncaster, 1989; Watt, 1999; Yavorski & Detlaf, 1980). Baseando em Giancoli (1998), as previsões dos cientistas para a compreensão do fenómeno a partir da teoria ondulatória eram as seguintes:

- se a intensidade da luz for aumentada, o número de eletrões emitidos e a sua energia cinética máxima deviam aumentar porque intensidade elevada significa maior amplitude do campo elétrico, e o maior campo elétrico devia emitir eletrões com alta velocidade;
- a frequência da luz não devia afetar a energia cinética dos eletrões emitidos. Apenas a intensidade devia afetar a energia cinética máxima dos eletrões emitidos.

A teoria ondulatória não pode explicar porque é que a velocidade máxima dos fotoeletrões varia em função da frequência da radiação incidente e é independente da intensidade da radiação incidente (Nelkon & Parker, 1987). Ora, de acordo com a teoria ondulatória seria de se esperar que, quando a intensidade da radiação é baixa, nenhum eletrão absorve energia suficiente para se libertar da superfície irradiada. No entanto, esta previsão não é consistente com a observação experimental. Além disso, como um aumento da intensidade da radiação incidente aumenta a energia com que a radiação atinge a superfície (a intensidade de energia que deve ser absorvida pelos eletrões), então, seria de se esperar pela teoria clássica que o aumento da intensidade da radiação incidente provocasse um aumento da velocidade máxima ou da energia cinética dos fotoeletrões (Jewett & Serway, 2008; Muncaster, 1989; Nelkon & Parker, 1987). Isto também é inconsistente com a observação experimental, portanto a teoria ondulatória não pode dar nenhuma explicação sobre a dependência da energia cinética dos eletrões emitidos e da frequência da radiação incidente (Muncaster, 1989).

A dependência da intensidade da corrente fotoelétrica da fonte luminosa, pode ser compreendida



do ponto de vista da teoria clássica ou ondulatória da luz. Assim, se se assumir que a luz é emitida por ondas a partir de uma fonte luminosa, então consegue-se perceber facilmente com base na teoria clássica, que se a radiação incidente é de maior intensidade, maior intensidade deve ser absorvida pelos eletrões e desta forma, ser possível emitir-se mais eletrões da superfície irradiada (Giancoli, 1998; Nelkon & Parker 1987; Tipler, 1984). Do ponto de vista ondulatório, também é compreensível que os fotoeletrões tenham velocidades que vão de zero até um valor máximo, pois, como se sabe, no átomo os eletrões possuem energias diferentes dependendo da camada eletrónica em que se encontram.

Por isso, a teoria dos fotões faz previsões completamente diferentes da teoria ondulatória. Estas previsões, referidas na obra de Giancoli (1998), foram demonstradas experimentalmente e consistem no seguinte:

- um aumento na intensidade do feixe de luz significa mais fotões a incidirem na superfície metálica e assim mais eletrões serão emitidos; mas desde que a energia dos fotões não é alterada, a energia cinética máxima dos eletrões não é alterada;
- se a frequência da luz aumenta, a energia cinética máxima dos eletrões emitidos aumenta;
- se a frequência ou o comprimento de onda da radiação incidente forem menores que os valores limites, nenhum eletrão será emitido independentemente da intensidade da radiação incidente;

Na teoria clássica, os eletrões devem ser sempre emitidos pela luz de qualquer frequência ou comprimento de onda, desde que o feixe de luz incidente seja suficientemente intenso para libertar os eletrões da superfície irradiada.

Ostermann e Moreira (2000), realizando uma revisão bibliográfica sobre a abordagem de conteúdos de Física Moderna no ensino médio no Brasil (equivalente ao ensino secundário em Portugal), referem que deve existir uma abertura para a adoção de metodologias adequadas na sua abordagem. No entanto, reservam um papel de destaque à história da ciência no ensino desta temática e à utilização de experiências como recurso didático para a construção ou esclarecimento de conceitos difíceis e de natureza controversa. Constataram também 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 dos alunos relativamente a estes conteúdos são escassos, o mesmo acontecendo 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 relativamente a esta matéria, também chegam conclusões idênticas.

McKagan, Handley, Perkins e Wieman (2009), baseando-se em estudos realizados por outros pesquisadores relativamente à aprendizagem de alunos no ensino superior sobre o fenómeno fotoelétrico consideram importante a sua abordagem nos currículos e apontam que a compreensão do fenómeno pelos alunos não é fácil. Referem, ainda, que os alunos enfrentam muitas dificuldades para compreenderem aspetos mais básicos do fenómeno, tais como resultados experimentais e implicações acerca da natureza da luz. Estes autores, baseando-se em trabalhos feitos por outros investigadores, sistematizam as dificuldades específicas dos alunos considerando que neles existem as seguintes crenças e dificuldades: (i) a relação entre a tensão, intensidade da corrente e resistência elétrica ($V=IR$) é aplicada no fenómeno fotoelétrico; (ii) não diferenciação entre intensidade da luz (consequentemente o fluxo de fotões) e a frequência da luz (consequentemente a energia de um fotão); (iii) um fotão é um objeto carregado; (iv) ausência de explicação relativa a fotões no fenómeno



fotoelétrico. Estas crenças e dificuldades mostram que aos alunos faltam os conhecimentos sobre os circuitos elétricos e o modelo clássico da luz, necessários para a compreensão do fenómeno fotoelétrico. Em resposta a estas dificuldades consideram os mesmos autores que o ensino assistido por computador, que contempla simulações interativas do fenómeno fotoelétrico, pode ajudar os alunos a compreenderem o fenómeno em causa. Por isso, a necessidade de uma melhor organização curricular para atender a estas dificuldades é de extrema importância. Por sua vez, Rodrigues e Silva (2013), analisando o impacto da inserção do fenómeno fotoelétrico no contexto do ensino médio no Brasil por meio da diversidade metodológica, sugerem que essa diversidade pode facilitar o ensino de conteúdos de Física Moderna e que vale a pena empreender novas pesquisas nessa direção.

Metodologia e Procedimentos do Estudo Empírico

Em termos metodológicos, para a identificação das dificuldades dos alunos na explicação do fenómeno fotoelétrico, o estudo baseou-se numa abordagem mista que consistiu na combinação de métodos qualitativos e quantitativos. O estudo foi conduzido durante o período letivo de 2013, com alunos Moçambicanos da 12ª classe do Ensino Secundário, numa altura em que o conteúdo sobre o fenómeno fotoelétrico tinha já sido lecionado. As aulas relativamente a este conteúdo não foram acompanhadas pelos investigadores. Por isso, a ideia que se tem quanto à forma como os conteúdos foram abordados resulta da interpretação dos objetivos do programa em vigor e de se reconhecer que praticamente nas escolas não são realizadas aulas laboratoriais.

Para uma melhor identificação das dificuldades dos alunos, primeiramente foi desenvolvido uma árvore de objetivos nos conteúdos da Física Moderna com base na análise do programa Moçambicano de Física da 12ª classe do ensino secundário. Na análise do programa considerou-se o levantamento dos objetivos principais, secundários e micros como aspetos importantes a ter em conta.

A construção da árvore obedeceu à estrutura das árvores construídas nas diferentes disciplinas no âmbito do PmatE. A figura 1 representa, para o fenómeno fotoelétrico, um fragmento dessa árvore de objetivos, onde T significa tema e entre parenteses indica-se o seu respetivo número de código; ST o subtema com a indicação do seu código; OP o objetivo principal também com o seu código; OS o objetivo secundário igualmente com o seu código e OM o objetivo micro, também com códigos. Nesse fragmento pode-se ler que o tema é o fenómeno fotoelétrico e o subtema leis do fenómeno fotoelétrico. Pode-se observar também que a hierarquia dos objetivos é do principal até ao mais específico ou micro (OM).

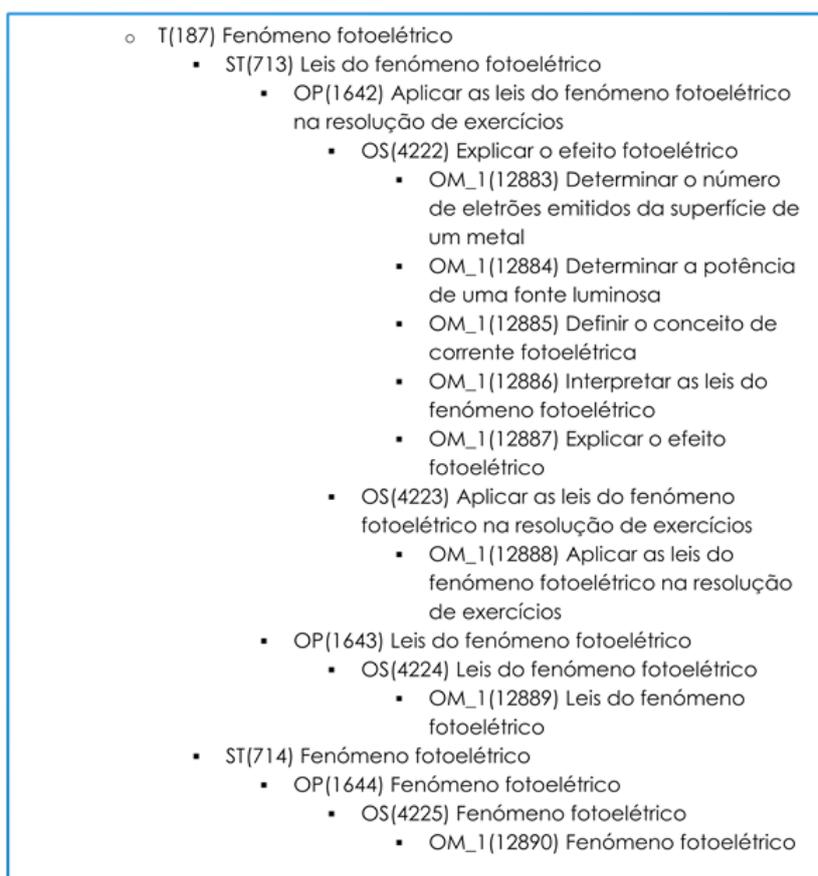
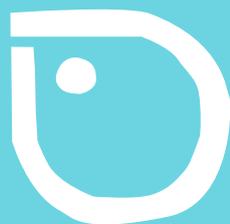


Figura 1: Árvore de objectivos para o efeito fotoelétrico

Após a construção da árvore de objetivos seguiu-se o desenvolvimento de MGQ ou simplesmente modelos com base no *template* usado no PmatE. De seguida, os modelos foram validados com professores de Física de escolas secundárias, alunos e equipa do PmatE. Na validação dos modelos foram tomadas em conta a validade de conteúdo e a dimensão conceptual. A validação de conteúdo tinha como objetivo assegurar se os itens dos instrumentos cobriam imparcial e compreensivamente, com profundidade e abrangência, os conteúdos que eram supostos serem cobertos em função dos objetivos do estudo (Vilelas, 2009). A validação conceptual foi usada para testar a clarificação das questões de avaliação em termos da sua construção e estruturação. Após a validação seguiu-se então à sua programação.

Concluído todo o processo de construção, os modelos foram armazenados na base de dados na Linguagem de Representação de Modelos (LRM) criada pelo PmatE. Para a visualização dos modelos na Web, o processador de LRM, ao interpretar as instruções da programação, permite que os mesmos sejam visualizados (Isidro, Pinto & Anjo, 2005).

A partir da árvore referida foram elaboradas questões de avaliação constituídas por um certo



conjunto de MGQ. Posteriormente, o conteúdo de cada MGQ foi associado ao conteúdo da árvore de objetivos. Este procedimento consistiu em classificar os MGQ e respetivas respostas em função dos objetivos definidos. A associação dos MGQ à árvore permitiu que eles se encontrassem referenciados e agrupados por objetivos, favorecendo uma análise mais detalhada dos resultados dos alunos por objetivos e a organização do processo de criação das questões.

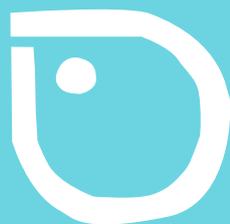
As questões eram geradas a partir de uma ligação à internet através dos browsers *Internet Explorer 9* (ou superior), *Firefox*, *Google Chrome*, *Opera* ou *Safari*, devendo-se escrever pra tal na barra de endereços <http://pmate.ua.pt>. Uma vez dentro desse endereço, o utilizador faz um registo (se não estiver registado) para poder entrar na sua área pessoal. Se tiver sido registado é só introduzir os dados de acesso (nome do utilizador e palavra chave) e depois seguir os seguintes passos: selecionar o módulo didática; escolher o ano 2013/2014; ir para provas; ir para provas criadas e avaliar a prova desejada.

Na presença do investigador, os alunos realizaram no ano lectivo 2013 provas do tipo corridas em grupos de 2 a 3 alunos. Nas provas corridas são apresentadas, na mesma página, todas as questões geradas para essa prova. Percorrendo a página, o aluno pode ver todas as questões e não é obrigado a respondê-las por uma ordem predefinida, como acontece nas provas por níveis. A submissão da prova só é possível após terem sido respondidas todas as questões.

Assim, no conteúdo sobre o fenómeno fotoelétrico, foram realizadas 22 provas que avaliaram cinco objectivos secundários definidos na árvore de objetivos, nomeadamente, (i) Explicar o efeito fotoelétrico; (ii) Explicar os princípios da teoria de Planck; (iii) Resolver exercícios usando gráfico da energia cinética em função da frequência da radiação incidente; (iv) Interpretar a equação de Einstein; e (v) - Resolver exercícios usando gráfico do potencial de paragem em função da frequência da radiação incidente.

No entanto, neste artigo são apresentados e discutidos apenas os resultados obtidos relativos à avaliação do objetivo secundário "Explicar o efeito fotoelétrico". Na avaliação deste objetivo ficaram registadas na plataforma do PmatE 22 provas com um total de 176 itens de questões. As provas registadas são de três turmas pertencentes a duas escolas secundárias. Considerando que os alunos trabalharam em grupos de dois e em alguns casos de três, calcula-se em 50 o número de alunos que participaram na prova sobre o fenómeno fotoelétrico.

A unidade de análise considerada foi as provas realizados pelos alunos a partir da plataforma do PmatE. O nível de análise foi a discussão do desempenho dos alunos em função dos objetivos micros (OM) definidos para o objetivo secundário em causa e em função da revisão bibliográfica. Como unidade de registo foram tidas em conta as respostas dos alunos registadas qualitativamente na plataforma (certas, erradas e não dadas) em função dos OM. Assim, com o objetivo de quantificar o desempenho por OM as respostas dos alunos registadas qualitativamente na plataforma foram transformadas em dados quantitativos (Amado, 2013).



Resultados

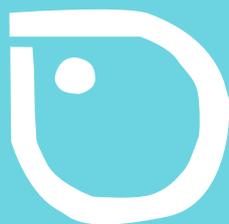
A tabela 1 mostra a percentagem de respostas dadas em função dos OM referentes ao objetivo secundário avaliado através do uso de MGQ.

Tabela 1: Percentagem de respostas em função dos objetivos micros

Objetivo Secundário: Explicar o efeito fotoelétrico				
Objectivos micros	Corretas	Erradas	Não respondidas	% de corretas
interpretar as leis do fenómeno fotoelétrico	47	36	5	53,41
Determinar o número de electrões emitidos da superfície de um metal	27	18	2	57,45
Determinar a potência de uma fonte luminosa	31	9	1	75,61
Total:	105	63	8	59,66

Na tabela pode-se constatar que o desempenho dos alunos nos objetivos micros avaliados evidenciou maior dificuldade para os dois primeiros objetivos: interpretação das leis do fenómeno fotoelétrico e para a determinação do número de electrões emitidos da superfície de um metal (apenas 53,4% e 57,4% de respostas corretas respetivamente). A determinação da potência da fonte luminosa foi onde se verificou uma maior percentagem de respostas corretas (75,6%).

Assim, e embora se registre uma diferença (devido à aleatoriedade que caracteriza o MGQ), no total de questões geradas para cada OM, pode-se dizer que onde os alunos tiveram maiores dificuldades foi nas questões do OM relativo à interpretação das leis do fenómeno fotoelétrico. As questões de avaliação neste OM exigiam que os alunos identificassem as respostas correctas para questões do tipo: o número de fotoelectrões aumenta/não aumenta ou diminui/não diminui com o aumento ou diminuição da intensidade luminosa; a velocidade máxima dos fotoelectrões altera-se/não se altera com o aumento/diminuição/variação da intensidade luminosa ou da frequência da radiação incidente. Para este OM os resultados mostram que apenas pouco mais de metade dos alunos (53,41 %) conseguiu responder correctamente as questões relacionadas com a interpretação das leis do fenómeno fotoelétrico. Por exemplo, da análise das provas registadas na plataforma, constatou-se que ao mesmo tempo que alguns grupos de alunos consideram que o número de electrões emitidos da superfície de um metal aumenta com o aumento da intensidade da fonte luminosa, também consideram que não depende da intensidade da fonte luminosa e ainda que não diminui com a diminuição da potência da fonte luminosa. Portanto, embora esta questão seja aparentemente fácil de compreender do ponto de vista da teoria ondulatória, como referem Giancoli (1998), Nelkon e Parker (1987) e Tipler, (1984), os resultados mostram que ainda existe uma percentagem considerável de alunos que ainda não tem os conhecimentos consolidados, pois verificam-se contradições nas suas respostas.

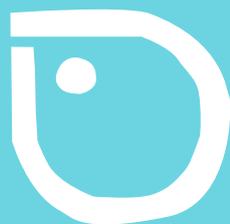


Ainda relativamente a este OM, também se constatou da análise das respostas das provas registadas na plataforma que ao mesmo tempo que os alunos consideram que a velocidade máxima dos fotoelétrons varia com a variação da frequência da radiação incidente, também aceitam que ela aumenta ou que diminui com o aumento ou diminuição da intensidade da radiação incidente, respetivamente. Também em termos de frequência limite, ao mesmo tempo que eles aceitam a necessidade da existência de uma frequência limite para que se dê início ao fenómeno fotoelétrico, consideram por isso que ele só pode ocorrer quando a frequência da radiação incidente for igual à frequência limite. Isto traz, naturalmente, dificuldades na interpretação da relação entre a frequência da radiação incidente e a energia cinética ou velocidade dos fotoelétrons. A figura 2 mostra o teor de algumas questões colocadas, sob forma de MGQ, para avaliação do OM relativo à interpretação das leis do fenómeno fotoelétrico.

Resposta	Possibilidades de afirmações	Afirmações verdadeiras	
R ₂	Durante o fenómeno fotoelétrico a velocidade máxima dos fotoelétrons, altera-se	$C_1 \wedge (C_3 \vee C_3)$ $C_2 \wedge (C_2 \vee C_2)$	
	não se altera		C_{11} C_{12}
	com o aumento da intensidade luminosa ou potência da lâmpada		C_{21}
	com a diminuição da intensidade luminosa ou potência da lâmpada		C_{22}
	com a variação da frequência da radiação incidente		C_{23}
	com a variação da frequência da luz emitida pela fonte que provoca o fenómeno fotoelétrico		C_{24}
R ₃	Durante o fenómeno fotoelétrico, quanto	$C_1 \wedge C_1$ $C_2 \wedge C_2$	
	Maior		C_{11}
	Menor		C_{12}
	é a frequência da radiação incidente		
	Maior		C_{21}
	Menor		C_{22}
	é a velocidade máxima dos fotoelétrons		

Figura 2: Exemplo de questões colocadas na interpretação do fenómeno fotoelétrico

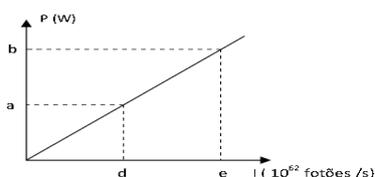
Em relação aos OM relativos à determinação do número de eletrões e da potência da fonte luminosa, os principais erros dos alunos tiveram a ver com a leitura de gráficos na determinação do número de eletrões ou da potência da fonte luminosa em função da corrente fotoelétrica. Estas dificuldades levam a concluir que a leitura de gráficos e a interpretação da proporcionalidade



directa ainda constituem problema para muitos alunos. A discussão do fenómeno fotoelétrico na base deste tipo de questões pode ajudar os alunos a assimilarem que o número de foteletrões não tem nenhuma relação com a velocidade dos eletrões emitidos.

A figura 3 mostra o teor de algumas questões colocadas, sob forma de MGQ, para a avaliação dos OM relativos à determinação do número de eletrões emitidos da superfície de um metal e da potência de uma fonte luminosa.

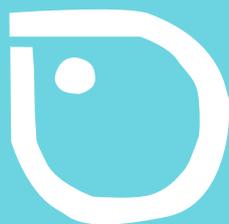
Observe o gráfico e analise as questões que se seguem, classificando-as de verdadeiras ou falsas.



Resposta	Possibilidades de afirmações	Afirmações verdadeiras	
R ₁	Quando a potência da fonte é a W, o número de eletrões emitidos da superfície do metal (foteletrões) em cada segundo	$C_{11} \wedge C_{41}$	
	é	C ₁₁	
	não é	C ₁₂	
	$d \cdot 10^{62}$	C ₄₁	
	C_{21}		
	$e \cdot 10^{62}$	C ₃₁	C ₄₂
	d	C ₃₂	
e	C ₃₃		
R ₂	Para que sejam emitidos $e \cdot 10^{62}$ eletrões por segundo, a potência da fonte luminosa	$C_{11} \wedge C_{31}$	
	deve	C ₁₁	
	não deve	C ₁₂	
	ser		
	b W	C ₃₁	$C_{12} \wedge C_{32}$
	$b \cdot 10^{62} W$	C ₂₁	C ₃₂
	d W	C ₂₂	
a W	C ₂₃		

Domínio dos parâmetros

$$d \in \{3;6;12;15;.....30\} \cap \mathbb{N}; a = 200.d; e = d + 3; b = 200.e$$



Recomendações e Conclusões

As dificuldades dos alunos em torno da explicação do fenómeno fotoelétrico podem estar associadas ao facto de a interpretação de processos que se dão no interior dos átomos exigirem dos alunos mais abstracção comparativamente a outros fenómenos macroscópicos (Ostermann & Moreira, 2000). Estudos realizados por McKagan et al. (2009), apontam também nesse sentido ao considerarem que a compreensão do fenómeno pelos alunos não é fácil e que os alunos enfrentam muitas dificuldades para compreenderem aspetos mais básicos do fenómeno.

Por isso, para que possam explicar correctamente o fenómeno fotoelétrico é importante que os alunos compreendam os processos que ocorrem para que se dê início ao fenómeno. Tendo em conta as dificuldades que as escolas moçambicanas possuem em levar a cabo aulas experimentais (devido a falta de material de laboratório ou pouca experiência dos professores), uma das formas didáticas que pode ajudar para explicar o fenómeno fotoelétrico a alunos do ensino secundário é partir-se de uma representação idêntica de electroscópios (Da Silva e Assis, 2012), como os representados nas Figuras 2 a) e b). A identidade destas figuras pode ser entendida com o facto de em ambas predominar a carga positiva, pois em b) apenas algumas cargas positivas e negativas é que se neutralizam. O objetivo desta abordagem é fazer compreender ao aluno que o que determina a carga do eletroscópio é o tipo de carga em excesso ou em falta e a partir daqui criar as bases para que ele relacione os processos que ocorrem no fenómeno fotoelétrico .



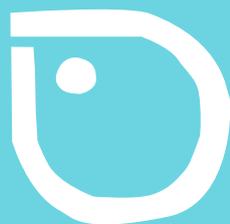
a)

b)

Figura 2: Representação de um eletroscópio carregado positivamente

Assim, o professor poderá discutir com os alunos considerando primeiro o caso em que é dado ao eletroscópio carga positiva por indução. Então, nestas condições o professor poderá explicar-lhes que parte da carga se espalha para as folhas, as quais abrem-se (Figuras 3 a) e b)).

Seguidamente, o professor discute com os alunos o que se observa quando numa sala escura a superfície da chapa de zinco for exposta a radiação ultravioleta a partir de uma pequena lâmpada L colocada nas proximidades (Figura 3 a)). O professor pode concluir com os alunos que se observará que as folhas permanecerão abertas (Figura 3 b)). Continuando, o professor mostra que a explicação para este fenómeno é que quando a superfície de zinco é carregada positivamente, nenhum electrão é emitido a partir da superfície metálica por causa da força atrativa entre os eletrões e os prótons da rede metálica da superfície de zinco. Isto significa que quaisquer eletrões emitidos seriam atraídos de volta para a superfície, como se pode observar na Figura 3 b) (Giancoli, 1998;



Gibbs, 1990; Nelkon & Parker, 1987).

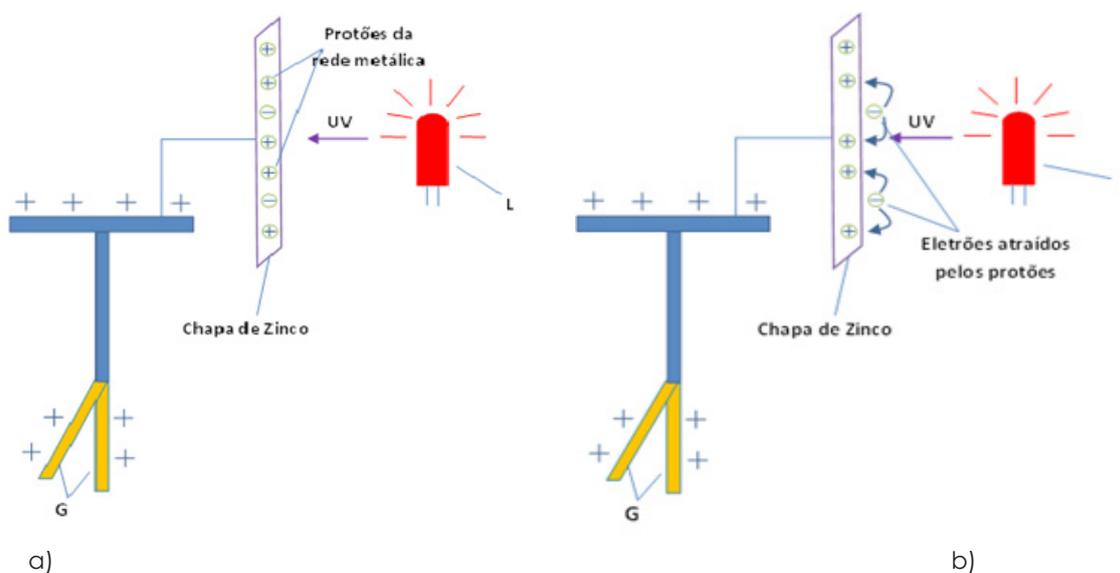


Figura 3: Explicação do fenómeno fotoelétrico

Prosseguindo, o professor poderá discutir com os alunos o que se observa quando a experiência for repetida com a superfície da chapa de zinco carregada negativamente (Figura 4 a)). Neste caso, o professor leva os alunos a concluírem que as folhas se fecham (Figura 4 b)). Prosseguindo, o professor pode assim concluir com os alunos que a explicação para este fenómeno é que quando a superfície de zinco é carregada negativamente, os eletrões emitidos pela superfície são agora repelidos para longe da superfície, o que faz com que o eletroscópio se descarregue. Logo, a superfície de zinco perde a carga negativa e as folhas fecham-se como se pode observar na Figura 4 b) (Giancoli, 1998; Gibbs, 1990; Nelkon & Parker, 1987).

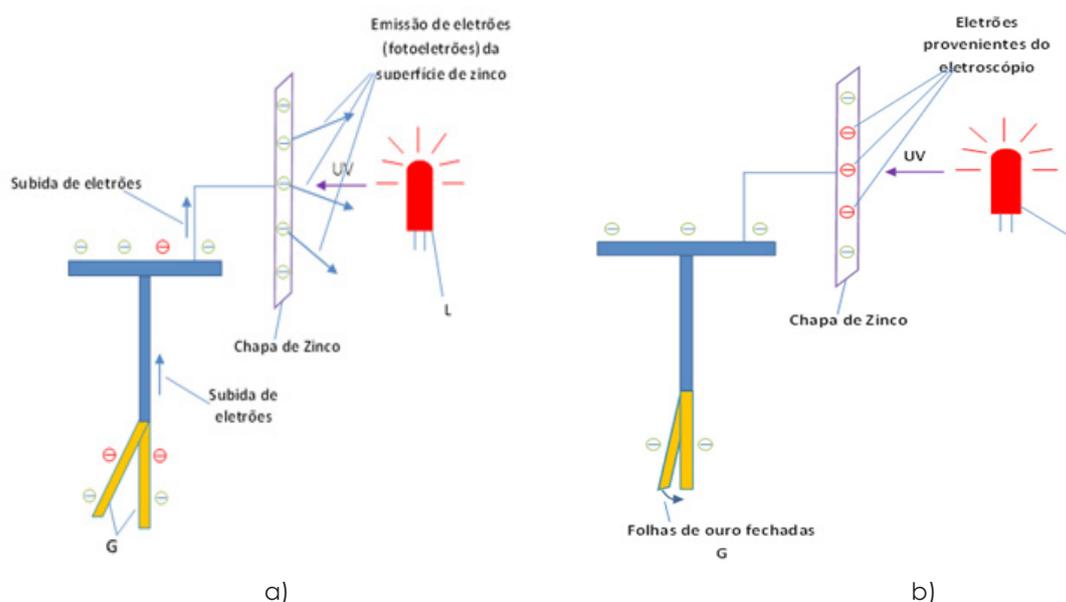
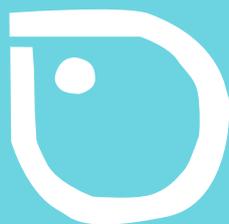


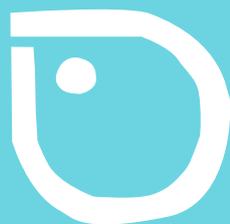
Figura 3: Explicação do fenômeno fotoelétrico

Para uma compreensão cada vez melhor do fenômeno, o professor pode na discussão com alunos referir, a título de exemplo, que na figura 4a) é como se subissem do eletroscópio três elétrons que são emitidos da superfície da chapa de zinco. Mas, ao fazer-se esta referência, deve-se garantir que não está em causa a concepção alternativa de um número muito pequeno de elétrons envolvidos no fenômeno, pois são “número de Avogadro” de elétrons que estão envolvidos.

Por fim, o professor poderá discutir o fenômeno utilizando radiação luminosa de outros comprimentos de onda ou frequências, ou mesmo considerando outras superfícies metálicas. Por exemplo, quando se utiliza a radiação vermelha, não se observa nenhuma modificação na descarga do eletroscópio, independente da intensidade do feixe de luz. Desta forma, os alunos poderão compreender cada vez melhor o fenômeno.

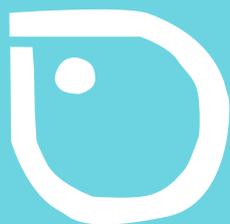
A abordagem que acabou de ser descrita necessita de ser validada em sala de aula.

Concluiu-se, ainda, do estudo que a plataforma do PmatE, que suporta o MGQ, é uma ferramenta que pode contribuir positivamente para a identificação das dificuldades dos alunos, também na disciplina de Física. Para o professor, a plataforma pode ser uma ferramenta útil na avaliação das aprendizagens dos seus alunos, permitindo a adaptação constante das estratégias de ensino às características e necessidades dos alunos. Para os alunos ela pode constituir-se como uma ferramenta para a sua auto-avaliação e por conseguinte para o seu estudo. Os erros, que por vezes têm um caráter punitivo e inibidor, passam a ser construtivos para a aprendizagem, na medida em que eles poderão revelar elementos a respeito do processo de aprendizagem do aluno, podendo assim, auxiliar o professor nas suas estratégias de ensino na abordagem do efeito fotoelétrico.



Referências

- Amado, J. (2013). *Manual de investigação qualitativa em educação*. Coimbra: Imprensa universitária. Portugal.
- Da Silva, L. F., & Assis, A. (2012). Física Moderna no Ensino Médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29(2), 313-324.
- Duncan, T. (1983). *Physicks For Today and Tomorrow (Second edition)*. London: John Murray.
- Giancoli, D. C. (1998). *Physics: Principles with applications (Fifth Edition)*. USA: Prentice-Hall.
- Gibbs, K. (1990). *Advanced Physics (second edition)*. New York: Cambridge University Press.
- Isidro, R. O., Sousa Pinto, J., & Batel Anjo, A. (2005). SA3C-Platform of Evaluation System and Computer Assisted Learning. *WEAS Transactions on Advances in Engineering Education*, 1(2), 1-6.
- Jewett, J. W., Jr. & Serway, R. A. (2008). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (Seventh Edition)*. Canada: Brooks/Cole and Cengage Learning.
- McKagan, S. B., Handley, W., Perkins, K. K., & Wieman, C. E. (2009). A research-based curriculum for teaching the photoelectric effect. *American Journal of Physics*, 77(1), 87-94.
- Miranda, D., Oliveira, L. & Anjo, A. B. (2007). *Um estudo de caso com o sistema PmatE (10ºano, geometria)*. obtido em 18 de janeiro de 2012, em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/7148>
- Moyle, D. G., Allan, P. T., Millar, G. L. & Molde, T. A. (1988). *Year 12 Senior Physics (First edition)*. Australia: Macmillan.
- Muncaster, R. (1989). *A-Level Physics (Third edition)*. London: Stanley Thornes (Publishers) Ltd.
- Nelkon, M. & Parker, P. (1987). *Advanced level Physics (sixth edition)*. London: Heinemann Educational.
- Ostermann, F., & Moreira, M. A. (2000). Uma Revisão Bibliográfica sobre a área de pesquisa Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(1), 23 - 48.
- Pereira, A. e Ostermann, F. (2009). Sobre o Ensino da Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. *Investigações em Ensino das Ciências*, 14 (3), 393-420.
- Rodrigues, M. I. R., & Silva, N. P. (2013). *Física moderna no ensino médio: O efeito fotoelétrico sob quatro diferentes abordagens didáticas*. Obtido em 24 de Julho de 2015, em http://www.researchgate.net/profile/Maria_Ines_Rodrigues/publication/268685896_FSICA_MODERNA_NO_ENSINO_MDIO_O_EFEITO_FOTOELTRICO_SOB_QUATRO_DIFERENTES_ABORDAGENS_DITICAS/links/54735afe0cf216f8cfafad52.pdf
- Silva, M. H., Anjo, A. B., Vieira, J. D., & Rocha, R. (2004). G EXI@Mat. Uma Experiência de Ensino Assistido. In Conferência IADIS Ibero-Americana WWW/Internet2004 (pp. 493-496). Obtido em 16 de março, em: http://www.iadis.net/dl/final_uploads/200405C020.pdf
- Tipler, P. (1984). Física (Vol. 2b) (H. Macedo, Trad.). Rio de Janeiro: Guanabara Dois (Obra original publicada em 1982).
- Vieira, J. C. D., Carvalho, M. P., & Oliveira, M. P. (2004). Modelo Gerador de Questões. In Atas da Conferência IADIS Ibero-Americana www/Internet2004. obtido em 15 de abril de 2012, em http://www.iadis.net/dl/final_uploads/200405L014.pdf.



Vilelas, J. (2009). *Investigação: O Processo de Construção do Conhecimento* (1ª ed.). Lisboa: Edições Sílabo.

Watt, A. (1999). *New Higher Physics* (First edition). London: Hodder & Stoughton.

Yavorski, B. M. & Detlaf, A. A (1980). *Prontuário de Física*. (A. Kutchumov, Trans.). Moscovo: Editora Mir.