

# Problematizando o ensino-aprendizagem de Óptica com acadêmicos da área de Saúde

## Questioning teaching-learning in Optics with students in Health area

*Mário Sergio Teixeira de Freitas<sup>1</sup>, Charlie Antony Miquelin<sup>2</sup>, Awdry Feisser Miquelin<sup>3</sup>*

1– DAFIS – PPGFCET - UTFPR - msergio58@yahoo.com.br

2– DAFIS – PPGFCET - UTFPR – *charlie@utfpr.edu.br*

3– DAFIS – PPGFCET - UTFPR – *awdry@utfpr.edu.br*

### Resumo

Este artigo apresenta a investigação do processo educativo num estudo de caso com estudantes de Radiologia. Considerando um alto desinteresse destes na aprendizagem de Física, delimitamos um problema do ensino da Óptica, mediante estratégias diferenciadas de ensino-aprendizagem em cursos de natureza interdisciplinar. Com base na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, articulamos a lei de Malus da polarização com conceitos mais familiares aos acadêmicos, como opacidade e densitometria. Numa atividade empírica envolvendo a comparação visual da luz projetada por polarizadores e uma escala de tons de cinza, os acadêmicos sintetizaram observações concordantes com o modelo teórico, antes mesmo que este fosse apresentado em aula. Indicadores das respostas dos estudantes foram comparados com dados de turmas anteriores. A análise das informações indica que tais estratégias podem prover aos acadêmicos destes cursos a potencialização do processo de ensino-aprendizagem das bases tecnológicas de Física e uma maior aproximação com o conhecimento envolvido.

**Palavras-chave:** Subsunçores, Ensino de Física, Óptica, Polarização, Radiologia.

### Abstract

This article presents the research on educational process in a case study with students of Radiology. Considering their high lack of interest in learning Physics, we delimited a problem of teaching on Optics, through different strategies of teaching-learning in interdisciplinary nature courses. Based on Ausubel's Theory of Meaningful Learning, we articulated Malus' polarization law with familiar concepts to scholars, such as opacity and densitometry. In an empirical activity involving visual comparison of the projected light by polarizers and by a greyscale, academics synthesized observations which fitted to the theoretical model, even before the later was presented in class. Indicators of response of students were compared with data from previous classes. Analysis of all information indicates that such strategies can provide the academic of these courses the teaching-learning enhancement process for the technological bases of Physics, and a closer relationship with the involved knowledge.

**Key words:** Subsumers, Physics Teaching, Optics, Polarization, Radiology.

## Introdução

O ensino de Física para acadêmicos do curso superior de Tecnologia em Radiologia, no qual lecionamos e investigamos, se vê imerso em uma questão abrangente que diz respeito à dificuldade de aprendizagem de Ciências Exatas pelos acadêmicos: são constatados altos índices de desistência em unidades curriculares desta área, contrastando com um maior interesse e aproveitamento nas disciplinas cujo conteúdo é mais próximo das Ciências Biológicas. Mesmo nas turmas onde há menor desistência, os índices de reprovação também se revelam frequentemente preocupantes, sobretudo em Óptica Física (Tabela 1).

**Tabela 1:** Porcentagem de aprovados nas disciplinas de Física do Curso de Tecnologia em Radiologia [Fonte: Sistema Acadêmico da UTFPR].

semestre	Mecânica	Fluidos e Processos Térmicos	Eletromagnetismo	Física Atômica e Nuclear	Óptica Física
2009/1	62 %	60 %	30 %	83 %	44 %
2009/2	66 %	54 %	37 %	89 %	17 %
2010/1	59 %	47 %	50 %	92 %	33 %
2010/2	58 %	45 %	61 %	91 %	31 %

De acordo com depoimentos dos docentes da instituição, as dificuldades verificadas estão relacionadas a um diagnóstico conduzido verbalmente em sala de aula, revelando que grande parte dos acadêmicos matriculados no referido curso não o consideram como primeira opção de ingresso na universidade: muitos entre eles, por mais de uma vez, tentaram sem sucesso ingressar em cursos como Medicina, Odontologia ou Enfermagem. Em outras palavras, a maioria dos acadêmicos que ingressam em nosso curso de Radiologia possuem um perfil de desejo inicial voltado à área Biológica, esperando evitar a vivência com as bases tecnológicas previstas para um graduado em Radiologia, as quais envolvem um conteúdo considerável de Física, Matemática e Informática [INEP, 2010]; [MEC, 2011].

Nesse sentido, a questão se estende a cursos de Tecnologia em Radiologia ofertados por outras instituições brasileiras, conforme já discutido num evento promovido em Brasília pelo MEC, no qual tivemos participação [MEC, 2007]. Em nosso curso de Radiologia verificamos que, diante das dificuldades a serem enfrentadas na aprendizagem de Física, nossos estudantes, forçados a adotar uma linguagem e procedimentos com os quais ainda não adquiriram afinidade, costumam assumir atitudes contraproducentes diante das avaliações realizadas, como por exemplo, insistir em automatizar a resolução de problemas numéricos, ou mesmo memorizar conceitos físicos antes de havê-los compreendido a contento, vendo-se, nas palavras de Ausubel, “presos numa teia de incompreensão” [AUSUBEL, 2003, p. 167].

Nesse contexto, nos propomos a investigar uma questão específica: "Em cursos de graduação da área de saúde, como é possível fazer com que se reduzam os índices de desistência nas disciplinas de física, e potencializando o processo de ensino-aprendizagem?".

Como uma primeira hipótese, colocamos que a transposição didática comumente adotada pelos autores de livros de Física Básica para o Ensino Superior envolve uma linguagem distante da realidade de cursos interdisciplinares, focada estritamente na área das Ciências Exatas [HALLIDAY *et al.*, 2002], [NUSSENZVEIG, 1998]; assim, apesar dos acadêmicos do curso demonstrarem em outras áreas do conhecimento uma disposição

considerável para aprender, no caso específico dos conteúdos de Física costumamos notar uma resistência muito maior, o que leva à nossa segunda hipótese: a disposição para aprender poderia ser despertada articulando os conceitos científicos com alguns conhecimentos da área de formação profissional do estudante, no caso, a área de Saúde.

Objetivamos assim, desenvolver estratégias diferenciadas para o ensino-aprendizagem de Física no problema que expusemos, esperando configurar uma matriz de soluções que componha a parte integrante de sua solução. O que apresentamos neste artigo é fruto desta investigação, e pontualmente trata do processo educativo problematizando as abordagens didático-metodológicas em Óptica Física, balizadas na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, proporcionando um procedimento mais adequado à realidade dos acadêmicos com os quais interagimos. Conduzimos um estudo de caso ao longo de um semestre letivo, com uma turma de Óptica Física composta por 30 matriculados no quarto semestre do curso superior de Tecnologia em Radiologia ofertado por nossa instituição de origem.

## **Metodologia**

Nossa investigação estruturou-se em dois momentos. Primeiro, identificamos a questão mais geral a ser abordada e, em seu contexto, a delimitação do problema. Em seguida, caracterizamos os instrumentos de coleta de dados. A Figura 1 (final do texto) fornece uma visão geral de nossa estratégia investigativa de abordagem.

Nosso objetivo neste trabalho foi sendo mais claramente explicitado à medida que o estudo investigativo se desenrolou, caracterizando uma unidade dentro de uma questão mais ampla. Tendo sido sistematicamente percebido, nas turmas de semestres anteriores, um desempenho frustrante nos tópicos referentes ao fenômeno da polarização da luz, idealizamos uma estratégia didática que articulasse o conteúdo de um tópico específico da Óptica a conhecimentos adquiridos anteriormente pelos acadêmicos em outras disciplinas do curso.

Deste modo, tomamos o modelo matemático da variação da intensidade luminosa filtrada por polarizadores cruzados em diferentes ângulos, articulando-o com uma linguagem na qual os acadêmicos de Radiologia estivessem familiarizados, ligada aos conceitos de opacidade e de densitometria, e ainda, que exigisse deles o exercício de uma habilidade já desenvolvida, que é a de distinguir visualmente entre tons de cinza muito próximos. A escolha de um tópico referente à polarização da luz se revela interessante, por ser este um campo que, até o momento da redação deste trabalho, se mostra relativamente pouco explorado na área de Ensino: por ocasião do levantamento realizado pelos autores, conduzido nos periódicos mais relevantes da área, foram encontrados poucos trabalhos sobre o ensino de Óptica Física, por exemplo, sobre medidas de intensidade em laboratório [COSTA, 2002] e no contexto de um recurso para produzir a visão tridimensional [CÂMARA, 2005]; contudo, este fenômeno tem potencial para proporcionar estudos que envolvam seu caráter interdisciplinar, que remete à fisiologia da visão humana e de animais [SHUTE, 1974]; [ROSSEL e WEHNEL, 1986]; [SHASHAR *et al.*, 1998]. Portanto, apesar de no momento não estarmos possibilitados de confrontar os resultados obtidos com os de outros pesquisadores, argumentamos que é mais do que justificável que seja inicializada uma investigação envolvendo o processo de ensino-aprendizagem sobre os fenômenos da polarização da luz.

## **Identificação da questão e revisão da bibliografia**

Começamos por rastrear documentos institucionais e governamentais que evidenciassem a existência de uma questão mais ampla referente ao Ensino de Física para a

Tecnologia em Radiologia [INEP, 2010]; [MEC, 2011]. Também levantamos depoimentos de docentes de nossa instituição que indicassem o enquadramento do curso por nós ofertado no contexto na questão identificada, sendo incluídos no grupo os próprios autores deste trabalho.

Como fundamento teórico para as etapas seguintes, buscamos na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel [AUSUBEL, 2003]; [MOREIRA, 2009] os pressupostos com os quais pudessem ser associados os problemas verificados, assim como um possível caminho para desenvolver uma estratégia que tente solucioná-los. Uma vez identificada a questão mais abrangente das dificuldades dos acadêmicos de Radiologia na aprendizagem de Ciências Exatas, passamos à fase de delimitação do problema a ser acompanhado no estudo de caso. Neste caso Ausubel [2003], quando define a aprendizagem significativa, expressa exatamente a natureza da solução que buscamos:

A aprendizagem por recepção significativa envolve, principalmente, a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado. Exige quer um mecanismo de aprendizagem significativa, quer a apresentação de material *potencialmente* significativo para o aprendiz. Por sua vez, a última condição pressupõe (1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma *não arbitrária* (plausível, sensível e não aleatória) e *não literal* com *qualquer* estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado 'lógico') e (2) que a estrutura cognitiva *particular* do aprendiz contenha ideias *ancoradas* relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. A interação entre novos significados potenciais e ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz dá origem a significados verdadeiros ou psicológicos. Devido à estrutura cognitiva de cada aprendiz ser única, todos os novos significados adquiridos são, também eles, obrigatoriamente únicos. [AUSUBEL, 2003, p.1]

Com isso, além de optarmos pela problematização do processo educativo em Óptica Física, decidimos acompanhar mais de perto o processo de aprendizagem de um tópico do conteúdo que admitisse a articulação com conceitos já aprendidos pelos acadêmicos em outras unidades curriculares do curso, ligadas ao reconhecimento de padrões em imagens radiográficas, assim como à própria formação destas imagens.

Foi justamente este recorte, esquematizado na Figura 1 (final do texto), que nos possibilitou focar os mecanismos de aprendizagem, associando-os a conceitos referidos por Ausubel, tais como subsunçores e organizadores iniciais [AUSUBEL, 2003, p. 167].

Este viés nos levou a investigar os possíveis subsunçores para nossas estratégias didáticas, onde, balizados nisso, procuramos transformar o quadro que detectamos, o qual era extremamente compatível com o que Ausubel [2003] descreve a seguir:

Em resultado desta prática inadequada, os estudantes e os professores são coagidos para tratarem os materiais potencialmente significativos como se possuíssem um carácter memorizado e, conseqüentemente, os primeiros passam por dificuldades desnecessárias e por um êxito diminuído quer na aprendizagem, quer na retenção. O ensino da matemática e das ciências, por exemplo, continua a basear-se muito na aprendizagem memorizada de fórmulas e de passos de procedimentos, no reconhecimento memorizado de 'problemas tipo' estereotipados e na manipulação mecânica de símbolos. Na ausência de ideias claras e estáveis, que podem servir como pontos de ancoragem e de focos de organização para a incorporação de material novo e logicamente significativo, **os estudantes vêm-se presos numa teia de incompreensão** e possuem poucas tarefas de aprendizagem, mas memorizadas, para fins de avaliação. [AUSUBEL, 2003, p. 167, grifos nossos.]

## Estratégias para coleta de dados

Prevendo a contínua atenção dos autores a novos elementos com os quais pudessem se deparar durante o estudo, e que os levassem inclusive a levantar hipóteses alternativas, a estrutura básica da investigação baseou-se em fontes de informação diversificadas, conforme [LÜDKE e ANDRÉ, 1986]. Ao adotarmos os critérios para selecionar estas fontes de informação, vários pontos de conexão com a teoria de Ausubel foram evidenciados, conforme descrito a seguir.

a) Acompanhamento por coleta de imagens da atividade empírica desenvolvida em sala de aula, envolvendo a filtragem por polarização.

Durante dois tempos de aula, os estudantes se organizaram em duplas para realizar uma atividade empírica proposta pelo professor. Nesta atividade, na qual esperávamos que alguns conceitos subunçores já presentes na mente dos estudantes se tornassem mais prontamente acessíveis para a aula seguinte (quando seria apresentado o modelo matemático da lei de Malus), tomamos partido do potencial didático de um recurso visual [SCHREIBER, 2007]. Assim, seria favorecida a interação entre o novo conteúdo e aspectos já conhecidos do estudante. Ao longo da atividade, foram coletadas imagens fotográficas da turma trabalhando, a partir de diversos pontos de vista. Para que fiquem mais explícitas as diretrizes adotadas, cabe neste item uma breve descrição da atividade.

Sobre um retroprojetor aceso na sala de aula, foram colocados um par de filtros polarizadores, um transferidor, e também uma escala de tons de cinza devidamente numerados, conforme a Figura 2 (final do texto). Juntamente com a projeção, foi distribuído um material impresso sugerindo uma sequência lógica para o trabalho de observação: uma dupla deveria ir ao retroprojetor e, com a ajuda do transferidor, dispor o par de filtros formando um certo ângulo entre zero e  $90^\circ$ ; em seguida, todas as outras duplas observariam o tom de cinza exibido na interseção dos filtros, tentando associá-lo, por comparação visual, a um dos números da escala de tons de cinza projetada. Uma vez que todos houvessem feito a identificação, outra dupla alteraria o ângulo, para que a turma identificasse novamente.

Por se tratar de acadêmicos de um curso de Tecnologia em Radiologia, a tarefa proposta representou um desafio exequível, pois requer o exercício de uma habilidade desenvolvida em disciplinas do curso ligadas à área Biológica. Tivemos o cuidado de registrar tanto aspectos individuais quanto coletivos, procurando observar a aparência da projeção vista de diferentes carteiras, a manipulação do transferidor pelas duplas, o comportamento geral do grupo com o passar do tempo, os rabiscos nas folhas distribuídas, os próprios gráficos esboçados. Reforçamos que, nesta etapa, dado o intento dos autores ao administrar a atividade, a construção do gráfico foi conduzida pelos acadêmicos tendo unicamente por base sua observação visual, antes ainda de ter sido apresentado o modelo matemático em sala de aula. Devido aos princípios físicos distintos envolvidos na imagem da escala de tons de cinza e na dos polarizadores cruzados, nesta situação entendemos que, de acordo com Ausubel, a estratégia adotada ofereceu aos estudantes “organizadores comparativos” para propiciar uma melhor discriminação entre as ideias novas e as existentes, por estas se revelarem “essencialmente diferentes, mas confusamente semelhantes” [AUSUBEL, 2003, p. 152].

b) Participação ativa dos estudantes na aula teórica sobre a lei de Malus

Por ocasião da apresentação da lei de Malus, experimentamos observar as reações da turma diante de uma linguagem que, ao contrário da encontrada nos livros de Física adotados no curso, se referisse a um jargão próprio da Radiologia. Partindo do vetor campo elétrico da

onda luminosa, convidamos os próprios estudantes a contribuírem com ideias para encontrar um caminho que levasse à expressão da intensidade filtrada (lei de Malus). Para tanto pesquisamos, na bibliografia específica do curso, termos estranhos aos livros tradicionais de Física Básica, tais como “atenuação”, “opacidade”, ou “densidade óptica” [JOHNS e CUNNINGHAM, 1983].

Consideramos pertinente, neste ponto, expor resumidamente a fundamentação científica que deu suporte à atividade didática: Do ponto de vista da Física, se um feixe de radiação linearmente polarizado se propaga através de um filme impregnado por moléculas ou micro-cristais que seguem uma direção preferencial, a transmissão de energia é máxima (mínima absorção) se o campo elétrico da onda estiver perpendicular a esta direção (propriedade de dicroísmo), correspondendo então a um valor de intensidade  $I_0$  [HECHT, 2002, p. 335]. Considerando o feixe polarizado genérico cujo campo elétrico forma o ângulo  $\theta$  com a direção correspondente a este máximo, a intensidade transmitida respeita a relação de Malus:  $I(\theta) = I_0 \cdot \cos^2\theta$ . O expoente 2 pode ser justificado considerando a projeção do campo elétrico na direção de máxima intensidade, e que a intensidade da onda plana, calculada em termos do valor médio do vetor de Poynting, mostra uma relação de dependência com o quadrado da amplitude do campo elétrico [HALLIDAY *et al.*, 2002].

Especificamente para estudantes de Radiologia, faz mais sentido transpor didaticamente o conteúdo do parágrafo acima em termos do *escurecimento* sofrido pela imagem quando a luz não-polarizada é transmitida através de dois filtros polarizadores cruzados: o *máximo escurecimento* ocorre na situação dos filtros estarem perpendiculares. A *gradação de tons de cinza*, dependente do ângulo formado entre os filtros, remete à mesma gradação que se verifica depois de ser revelado um filme radiográfico, o qual é analisado colocando-se o mesmo em frente a uma fonte de luz branca uniforme (negatoscópio), onde a parte *mais opaca* (a qual foi exposta à radiação ionizante) aparecerá na cor preta, e a *menos opaca* (não exposta à radiação) na cor branca, ou seja, na escala de tons de cinza, as partes *mais escuras* correspondem aos tecidos *menos densos* do organismo. Portanto, assim se define matematicamente a *densidade* de um filme radiográfico: Se o brilho da fonte luminosa é  $B_0$  e a quantidade de luz transmitida é  $B$ , o filme terá densidade  $D = \log_{10}(B_0/B)$ , ou seja, a fração de transmissão está relacionada com o enegrecimento do filme radiográfico [JOHNS e CUNNINGHAM, 1983]. É nesse contexto que os conceitos já subsumidos sobre a Densidade Óptica de um filme radiográfico podem fazer o papel de subsunçores para o novo conteúdo, referente à Lei de Malus para a polarização da luz por absorção, e propiciar a aprendizagem e a retenção significativas, considerando que o exercício contínuo de tais conceitos no curso de Radiologia caracteriza-os como claros e estáveis [AUSUBEL, 2003, p. 65].

### c) Manifestações individuais dos estudantes em Atividades Práticas Supervisionadas

Nossa instituição recomenda a implementação das assim chamadas Atividades Práticas Supervisionadas (APS) [UTFPR, 2011]. No caso, estas foram estruturadas pelo professor de forma a incentivar os estudantes a registrar fenômenos ópticos em seu campo visual fora do ambiente de aula, conectando estes registros a uma breve explicação dentro da linguagem da Óptica, envolvendo, se necessário, esquemas, gráficos, ou mesmo equações. A escolha do fenômeno óptico observado é totalmente livre, podendo este ser tão simples quanto a formação de um reflexo, a distorção de uma imagem por refração, ou mesmo a projeção de uma sombra com penumbra. Nada impede, contudo, que o estudante opte por efeitos mais complexos, como miragens no asfalto, padrões coloridos em poças com óleo ou em bolhas de sabão, ou ainda, por fenômenos atmosféricos, tais como a iridescência em nuvens ou o arco-íris. Nosso intento ao propor este trabalho específico foi, por um lado, verificar a capacidade dos estudantes em conectar uma observação do seu cotidiano ao conhecimento científico

apresentado no curso, e, por outro, despertar de alguma forma o caráter lúdico e afetivo [PIETROCOLA, 2004] ligado à contemplação da Natureza ou do próprio ambiente urbano, visando uma maior disposição para a aprendizagem da Óptica.

d) Respostas dos estudantes em instrumentos regulares de avaliação do semestre.

Os instrumentos de avaliação aplicados para a turma em estudo foram elaborados em formato semelhante aos dos semestres anteriores, para que o levantamento em termos de índices de desistência e de reprovação pudessem ser confrontados com maior propriedade com a Tabela 1. Trata-se de provas presenciais, nas quais são propostos problemas e questões teóricas especialmente elaborados no contexto de situações fictícias, porém relativamente verossímeis. Cumpre ressaltar que, a cada semestre, têm sido disponibilizados para a turma de Óptica Física todos os enunciados das provas aplicadas em semestres anteriores, para que seu estudo possa ser organizado de acordo com os procedimentos didáticos adotados por nossa metodologia.

e) Respostas a um questionário abordando aspectos relacionados ao curso de Radiologia.

Num instrumento que foi preenchido de forma anônima, procuramos contemplar as percepções e interações dos acadêmicos, relacionadas ao contexto do seu curso, mediante questões objetivas, e com espaço livre para um breve pronunciamento dissertativo opcional. Fundamentamos em [LÜDKE e ANDRÉ, 1986] a diversidade de caráter entre os 8 itens incluídos no questionário [FREITAS, 2011].

Em grande parte, a análise dos diversos dados coletados se deu concomitantemente com o desenvolvimento da etapa descrita acima. Na seção seguinte, apresentamos nossos resultados.

## **Interpretação dos dados**

Cada uma das estratégias idealizadas pelos autores para coleta de dados revelou resultados insólitos, considerando a continuidade observada em turmas de semestres anteriores. Por questão de ordem, sistematizamos a apresentação desses resultados de acordo com os itens descritos na seção anterior.

Nos dois tempos de aula nos quais conduzimos a atividade empírica sobre a filtragem por polarização, não foi notada nas duplas de trabalho nenhuma forma de comportamento dispersivo ou indisciplinado. Dos 27 presentes nesta aula, todos registraram em suas folhas os valores numéricos referentes aos tons de cinza comparáveis à interseção dos polarizadores para cada ângulo estabelecido. Contudo, houve aqueles que hesitaram quanto à forma correta de lançar os valores em um gráfico cartesiano, só conseguindo completar a tarefa com a ajuda do professor-autor.

Por ocasião da análise destes gráficos constatamos que, apesar da maioria destes estudantes se mostrarem com pouco domínio no comportamento de funções matemáticas, muitas entre as curvas empiricamente esboçadas revelaram a percepção visual da mudança mais brusca do tom de cinza projetado pelos polarizadores cruzados no entorno dos  $45^\circ$  (Figura 3, final do texto), valor que efetivamente corresponde ao ponto de máximo do módulo da derivada de  $f(\theta)=\cos^2\theta$ , ou seja,  $f'(\theta) = 2(\sin \theta)(\cos \theta) = \sin 2\theta$ . Tal desempenho se mostrou altamente benéfico na aula seguinte, na qual foi introduzida a lei de Malus  $I(\theta)=I_0 \cdot \cos^2\theta$  [HALLIDAY *et al.*, 2002]. Nesse sentido, a aplicação do instrumento de coleta de dados superou as expectativas, pois além de despertar o acesso aos conceitos subsunçores dos estudantes, propiciou a criação de “organizadores avançados”, que por sua relevância e especificidade, reforçam o processo de aprendizagem significativa [AUSUBEL, 2003, p.65],

ou seja, a lei de Malus foi apresentada em seu rigor matemático após os estudantes terem relacionado sua interpretação física a uma estrutura cognitiva que já possuíam.

Dos 26 que estiveram presentes na aula sobre a lei de Malus, chamou maior atenção por registro a participação ativa de 6 acadêmicos. Estes demonstraram estar totalmente à vontade com a terminologia emprestada dos livros de Radiologia, e passaram a adotar estes termos conjuntamente com a nova linguagem que ia sendo introduzida. Articulando o conceito de intensidade luminosa a partir do valor médio do vetor de Poynting com a decomposição do vetor campo elétrico da onda, chegaram em conjunto, com a ajuda do professor, à expressão desejada:  $I(\theta)=I_0.\cos^2\theta$  [HALLIDAY *et al.*, 2002].

Mesmo se tratando de uma minoria dentro da turma, este resultado é expressivo em relação aos os semestres anteriores. Atribuímos esta diferença tanto à atividade que precedeu a aula teórica, quanto à adoção de uma linguagem complementar, mais familiar aos estudantes. Nesse sentido, encontramos um caminho para a confirmação da primeira hipótese por nós formulada, sobre o descompasso entre a linguagem de áreas interdisciplinares e a dos livros de Física Básica, o qual, sendo devidamente tratado no processo de transposição didática, pode contribuir para que o conteúdo venha a se tornar, de acordo com Ausubel, potencialmente significativo [AUSUBEL, 2003, p. 1].

Para proceder à análise do material das APS (Atividades Práticas Supervisionadas), expomos aqui três exemplos muito díspares entre si, de fenômenos ópticos registrados pelos estudantes de Radiologia no semestre letivo no qual conduzimos o estudo de caso. O primeiro acadêmico aproveitou para fotografar um efeito curioso enquanto organizava amostras de secreção humana para análises clínicas em seu atual ambiente de trabalho: reflexos coloridos apareciam na região da lamínula. Segundo sua conclusão, fundamentada na bibliografia de Física Básica, tais reflexos se devem à interferência nas interfaces de filmes finos, revelando a natureza ondulatória da luz.

Já uma segunda acadêmica preferiu montar em sua casa uma espécie de simulação de arco-íris usando uma lanterna, um copo d'água e um anteparo branco, tendo referenciado o endereço eletrônico no qual encontrou essa ideia.

Especialmente dignas de nota são as palavras do terceiro acadêmico, após este haver pesquisado sobre um fenômeno atmosférico: *“... por volta das 20 horas, eu observei a presença de círculos coloridos, levemente amarelo-alaranjados ou ‘cor de ferrugem’, quem sabe, ao redor da Lua. Confesso que eu nunca havia notado tal fenômeno, ao menos não conscientemente, assim, resolvi registrar minhas observações...”* Referenciando um site particular mantido por um especialista internacional no assunto, acrescenta que *“... decidi classificar o fenômeno como uma aoréola (sic), já que não são identificados exatamente anéis coloridos ao redor do satélite e sim, um borrão de luz laranja-amarelada ao seu redor”*. E ao final do trabalho, inclui: *“Assim, chego a conclusão de que diariamente, talvez devido ao ritmo frenético com que levamos a vida, olhamos ao nosso redor, porém não enxergamos os milagres e espetáculos diários com que a natureza nos brinda. Essa matéria, além do óbvio, a óptica, ensinou-me a observar melhor o mundo ao meu redor, e a pensar em como ele funciona, a ver no simples e no comum, aquilo que muitos, muitas vezes não veem, ou melhor, não enxergam, pois não basta olhar.”*

Tais resultados indicam um forte engajamento com o processo de aprendizagem, contrastando em muito com o desinteresse verificado em turmas de semestres anteriores. E aqui temos um indicativo para a segunda hipótese que formulamos, associada à falta de disposição do estudante para aprender: Uma vez que se consiga despertar seu imaginário, sua criatividade, o caminho para a aprendizagem significativa pode ser desobstruído.

Pela análise dos primeiros instrumentos de avaliação aplicados no semestre, o desempenho desta turma na resolução de problemas mostrava apenas uma pequena melhora em relação às turmas de semestres anteriores, havendo uma amostra considerável de estudantes que adotaram caminhos confusos e sem uma base lógica aparente. Por outro lado, a assiduidade às aulas foi alta desde o início: dos 30 matriculados, apenas dois desistiram no início do semestre, e a média de frequência dos 28 que persistiram até o final foi de 89%. Por ocasião da última prova, as respostas de muitos estudantes já se mostraram melhor focadas, se bem que a organização para a resolução de problemas ainda se mostra um tanto sofrível. Mesmo assim, o índice de aprovação foi consideravelmente mais alto que o das turmas anteriores (80%, incluindo no total os desistentes; compare-se com a Tabela 1).

Dos 28 acadêmicos que frequentaram as aulas de Óptica Física até o final do semestre, 22 responderam quase integralmente ao questionário anônimo mencionado na seção anterior. Relacionamos abaixo, por um lado, os itens que tiveram respostas muito divergentes, e por outro, os que tiveram quase uma unanimidade na resposta.

Por exemplo, numa consulta sobre a opção pela Radiologia por ocasião do ingresso na universidade, apenas 6 responderam que esta era realmente sua primeira opção. Dos restantes, 15 afirmaram ter sido sua primeira opção outro curso na área de Saúde, e apenas um fora da área de Saúde. Este fato, que corrobora levantamentos informais feitos por docentes do curso, pode ser determinante na dificuldade de grande parte da turma na aprendizagem de Ciências Exatas.

Outro item avaliou, em termos puramente qualitativos, se o acadêmico lembrava a quais tópicos do programa alguns exemplos listados se associavam. Tais exemplos haviam sido intensivamente trabalhados em aula e articulados com a teoria, e aparentemente despertavam o interesse da maioria da turma. Entretanto, de acordo com o resultado, a assimilação das associações foi fraca, com índice médio de acertos de 41%. Supomos que, nesse aspecto, a complexidade da questão na qual nosso problema está imerso mereça uma investigação mais detida, principalmente no que concerne ao processo de dissociação previsto por Ausubel, entre o novo conteúdo e os subsunçores, uma forma de esquecimento que oblitera a aprendizagem significativa até que, gradualmente, a assimilação e a retenção possam se efetivar por completo (Ausubel, 2003, p. 61).

No mesmo questionário aplicado, merece especial atenção a pergunta que foca diretamente a repercussão da atividade empírica envolvendo os filtros polarizadores: 21 alunos assinalaram que *“Compreendi o assunto com maior segurança do que sentiria numa abordagem convencional”*, e um único estudante optou por *“Compreendi o assunto, mas teria compreendido com a mesma facilidade numa abordagem convencional”*. Ninguém na turma optou pela alternativa *“Fiquei um pouco confuso, talvez tivesse sido melhor uma abordagem mais tradicional”*.

Outras perguntas se referiam, por exemplo, a uma comparação da Óptica com as outras disciplinas de Física em termos de dificuldade (a tendência dominante foi considerá-la mais difícil do que as outras), à contribuição que o estudo da Óptica pode representar na formação profissional do Tecnólogo em Radiologia (a maioria considera a contribuição como positiva), e inclusive uma consulta sobre a intenção de desistência da disciplina ao longo deste semestre (muitos chegaram a pensar em desistir, mas apenas superficialmente).

## **Conclusão**

Conforme discutimos neste artigo, o panorama de problemas existentes no ensino-aprendizagem de Física de cursos superiores interdisciplinares, especialmente no nosso caso

da Tecnologia em Radiologia, compõe vários fatores relacionados ao interesse, afinidade e estratégias didático-metodológicas para lidar com o conhecimento físico que possui natureza voltada à área das Exatas.

Procurar construir estratégias didático-metodológicas balizadas pela Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel foi fundamental para os resultados que obtivemos, pois aproximou os conceitos, já aprendidos pelos acadêmicos em outras disciplinas, dos conceitos e procedimentos de natureza física que nos propusemos a ensinar nesta disciplina, como, por exemplo, a Lei de Malus.

Este processo de configuração e investigação do problema mostrou-se essencial para o desenvolvimento das estratégias, mas o que mais chamou atenção foi o processo que isso desencadeou ao aproximar os acadêmicos da disciplina, e os momentos de aprendizagem e descobertas que os mesmos viveram, até mesmo reestruturando suas percepções de fenômenos ópticos não só para o conhecimento profissional, mas também em seu cotidiano, o que consiste, conforme o entendimento dos autores, num expressivo resultado de ensino-aprendizagem.

Visualizamos que práticas educacionais voltadas à investigação de procedimentos metodológicos norteados pela consolidação de uma aprendizagem significativa que valoriza e confronta subsunçores potencializa em muito o ensino-aprendizagem de Física no ensino superior, pois envolve a realidade profissional futura dos acadêmicos ao conhecimento físico elaborado possibilitando o estabelecimento de um diálogo efetivo entre docente e discente. Isso pode contribuir para o enriquecimento das discussões em torno do Ensino de Ciências no ensino superior para disciplinas de natureza básica em cursos interdisciplinares fornecendo a teoria de Ausubel, neste palco que descrevemos e estamos investigando, o arcabouço teórico satisfatório.

Concluimos então que, pela importância do conhecimento envolvido nas bases tecnológicas da Física para a formação do profissional em Radiologia, é preciso desenvolver mais estratégias em outras disciplinas deste curso utilizando a Aprendizagem Significativa, e continuar encarando nossos processos educacionais como momentos de inquirição contínua sobre o ensino-aprendizagem de Física em palcos que envolvam interações interdisciplinares.

## Referências

AUSUBEL, D. P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.

CÂMARA, M. C. S. Visão Estereoscópica, 3D, como motivador de conceitos de Física. Oficina apresentada no XVI SNEF, Rio de Janeiro, 2005.

COSTA, E. V. Medidas de Intensidade Luminosa. Polarização. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 24, n. 1, p. 37-40, março de 2002.

FREITAS, M. S. T. Questionário aplicado à turma de Óptica Física. Disponível em:

<http://www.pessoal.utfpr.edu.br/msergio/Optfis-quest.pdf> . Acesso em: 01/7/2011.

HECHT, E. Optics, 4th ed. San Francisco: Addison Wesley, 2002.

INEP. Portaria nº 230 de 13/7/2010. Publicada no D.O.U., Seção 1, p.839. Disponível em:

<http://www.in.gov.br/imprensa/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=839&data=14/07/2010>

>. Acesso em: 01/7/2011.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas. São Paulo: Ed. Pedagógica e Universitária, 1986.

MEC – Catálogo Nacional dos Cursos Superiores de Tecnologia. Disponível em: <[http://portal.mec.gov.br/index.php?Itemid=86&id=12352&option=com\\_content&view=article](http://portal.mec.gov.br/index.php?Itemid=86&id=12352&option=com_content&view=article)>. Acesso em: 01/7/2011.

MEC - I Seminário dos Cursos de Agroindústria e Radiologia – Brasília, 2007.

MOREIRA, M. A. *Subsídios teóricos para o professor pesquisador em ensino de ciências: A Teoria da Aprendizagem Significativa*. 2009. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios6.pdf>>. Acesso em: 01/7/2011.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica, v. 4. São Paulo: E. Blücher, 1998.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física, v. 4, 6ªed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

JOHNS, H. E.; CUNNINGHAM, J.R. The Physics of Radiology, 4th ed.: Charles C. Thomas, Publisher, Springfield, Illinois, 1983.

PIETROCOLA, M. Curiosidade e Imaginação – Os Caminhos do Conhecimento nas Ciências, nas Artes e no Ensino. In: Carvalho, A. M. P. (org.). Ensino de Ciências. São Paulo: Thomson, p. 119 – 133, 2004.

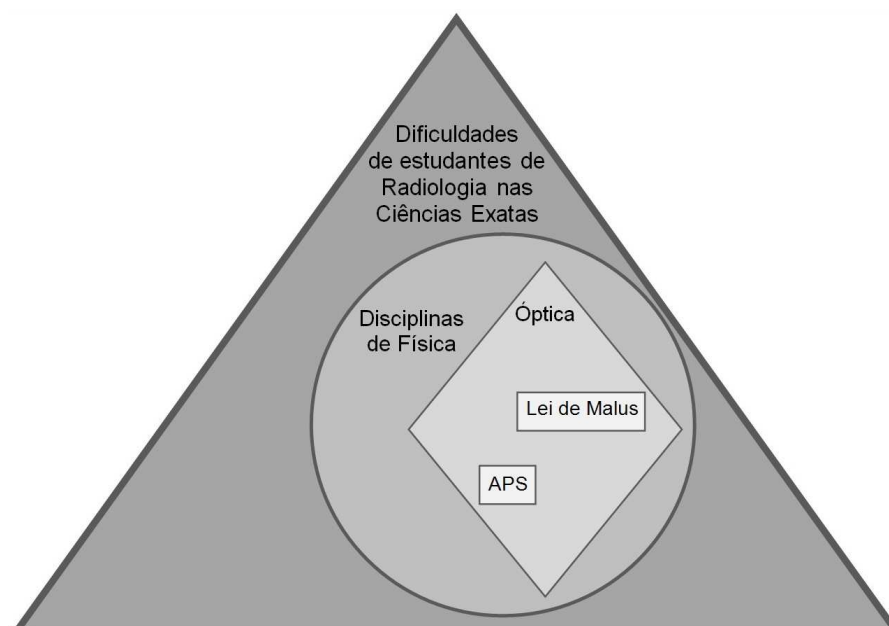
ROSSEL, S.; WEHNEL, R. Polarization vision in bees. Nature 323, p. 128-131, 1986.

SCHREIBER, P. How to get Information by Viewing? Prague Studies on the History of Science and Technology, New Series, Vol. 9, 2007, p. 51-57.

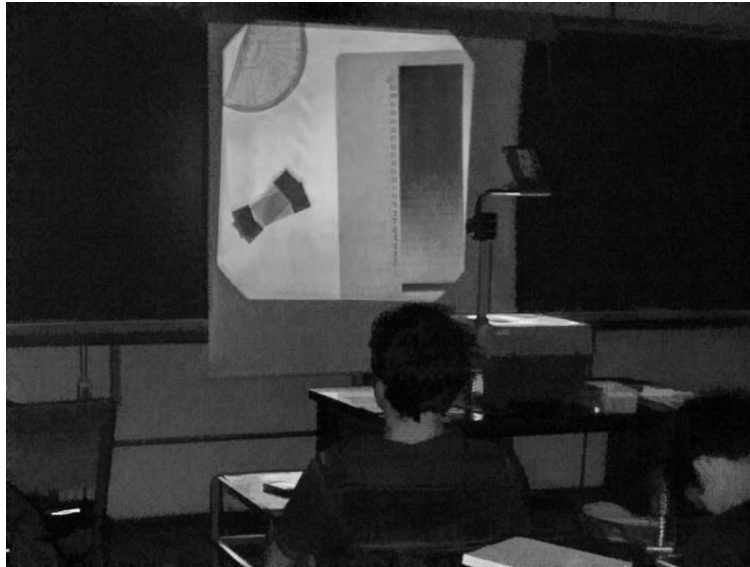
SHASHAR, N.; HANLON, R. T.; PETZ, A. Polarization vision helps detect transparent prey. Nature 393, p. 222-223, 1998.

SHUTE, C. D. D. Haidinger's brushes and predominant orientation of collagen in corneal stroma. Nature 250, p. 163-164, 1974.

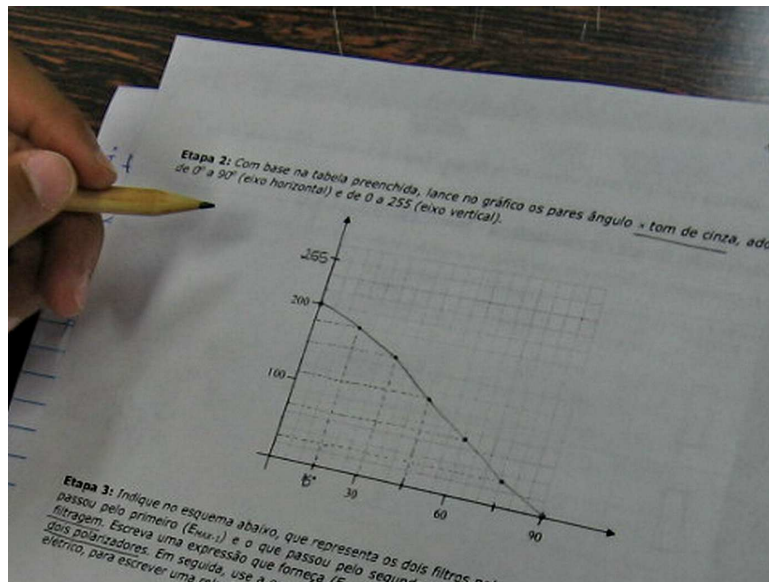
UTFPR. Regulamento das Atividades Práticas Supervisionadas da UTFPR - Resolução nº 78/09 – COEPP. Curitiba, 2009. Disponível em: < <http://www.utfpr.edu.br/estrutura-universitaria/pro-reitorias/prograd/legislacao/utfpr-1/regulamentoaps.pdf/view>> Acesso em 2 dez. 2011.



**Figura 1:** Delimitação do problema inserido na questão ampla das dificuldades de estudantes de Radiologia nas Ciências Exatas: selecionamos, entre as disciplinas de Física constantes na matriz curricular do curso, a de Óptica Física, prevista para o quarto semestre; para uma turma desta disciplina, tratamos do problema específico do ensino da Lei de Malus, apoiando nossa coleta de dados também em outros aspectos, como a assiduidade às aulas, desempenho nas avaliações, criatividade nas APS, e informações de um questionário (esboço dos autores).



**Figura 2:** A projeção apresentada às duplas de trabalho, durante a atividade empírica envolvendo filtros polarizadores (tomada dos autores, em 29/3/2011).



**Figura 3:** Curva obtida empiricamente por uma das duplas, mostrando uma declividade maior na região central do intervalo, o que concorda com a função cosseno ao quadrado presente na lei de Malus. Uma vez que esta lei ainda não havia sido apresentada em aula, foi surpreendente constatar que boa parte das duplas chegou a resultados como o ilustrado acima (fotografia tomada dos autores, em 29/3/2011).