



# Capital cultural e o ensino de física: Exemplos em ótica

.....

**A.C.F. Santos\***

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

## RESUMO

Existe uma relação entre a classe social e o sucesso escolar. Muitos estudantes não atingem os objetivos estabelecidos pelos currículos e esse fracasso mostrou-se fortemente correlacionado com a classe social do aluno. O aprendizado em ciências atua como uma barreira, ampliando as oportunidades daqueles mais bem preparados e limitando as oportunidades daqueles menos privilegiados. Estudantes das classes sociais menos favorecidas falham em assuntos que são considerados importantes e altamente valorizados. A educação científica torna-se assim um fator-chave na reprodução de uma sociedade desigual. Assim, a escola deve assumir um papel essencial, facilitando e estimulando o acesso dos alunos aos bens culturais e sociais, minimizando os mecanismos de seleção social. Neste artigo, mostramos como isso é possível numa aula de ótica geométrica.

**Palavras-chave:** ótica geométrica; capital cultural; arte

.....

## 1. Introdução

*“Concebo na espécie humana dois tipos de desigualdade: uma que chamo natural ou física, porque é estabelecida pela natureza e consiste na diferença das idades, da saúde, das forças do corpo e das qualidades do espírito ou da alma; a outra que podemos chamar desigualdade moral e é estabelecida, ou pelo menos autorizada, pelo consentimento dos homens. Essa consiste nos diferentes privilégios que alguns usufruem em detrimento dos outros, como o de serem mais ricos, mais honrados, mais poderosos que eles, ou mesmo o de se fazerem obedecer por eles.”*

Jean Jacques Rousseau, *Discurso Sobre a Origem e os Fundamentos das Desigualdades Entre os Homens*

**B**ourdieu e Passeron [1] desconstruem o sofisma do sistema escolar como organismo fomentador da mobilidade social. Enquanto os estudantes oriundos das classes mais privilegiadas adquirem o capital cultural de forma natural, graças tanto ao ambiente familiar como ao ambiente extrafamiliar, os alunos provenientes das classes sociais menos privilegiadas vivenciam o processo de aprendizagem mais arduamente, pelo fato de esse capital cultural estar distante de seu cotidiano. A escola fomenta, mesmo de

forma não intencional, a criação de uma “aristocracia social”, indo contra o cânone da igualdade de oportunidades, fundamental para os sistemas educacionais. O sucesso e o destino escolares dos estudantes são determinados desde a infância, pelo sistema de ensino que frequentou, pelo ambiente familiar e pelas expectativas dos pais e dos professores em relação à cultura dominante [1, 2]. Os capitais social, cultural e econômico afetam o desempenho dos estudantes em ciências [3]. Entende-se capital como “o trabalho acumulado, em sua forma materializada ou incorporada que, quando apropriado por meio de agentes ou grupos de agentes, permite-lhes apropriar a energia social sob a forma de mão de obra” [1]. Dentre os vários capitais simbólicos definidos por Bourdieu, destacamos neste artigo o capital cultural.

O capital cultural está associado às práticas, saberes, e interesses adquiridos pelo sujeito [1]. É o domínio obtido por meio de leitura, viagens e idas a museus e teatros. O capital cultural é herdado de forma efetiva, sendo possível obtê-lo através da interação social. O capital cultural é fomentado pelo capital econômico, que constitui o conjunto

dos bens materiais e econômicos do indivíduo [1].

Cerca de 70% do desempenho escolar em ciências é justificado pelos capitais simbólicos [4]. Estudantes oriundos das classes privilegiadas alcançam uma escolaridade maior e ganham

salários maiores do que os estudantes das classes menos favorecidas. As habilidades cognitivas e não cognitivas são responsáveis apenas por uma

**Cerca de 70% do desempenho escolar em ciências é justificado pelos capitais simbólicos. Estudantes oriundos das classes privilegiadas alcançam uma escolaridade maior e ganham salários maiores do que os estudantes das classes menos favorecidas**

\*Autor de correspondência. E-mail: toni@if.ufrj.br.

parte dessas diferenças. Esses dados sugerem que mesmo que ao final do Ensino Médio os alunos das classes menos privilegiadas tenham adquirido o mesmo nível de habilidades cognitivas e possuam o mesmo desejo de frequentar o ensino superior, eles possuem uma chance menor do que seus colegas das camadas mais privilegiadas [5].

As vantagens econômicas, sociais e culturais atuam sobre o sucesso escolar dos estudantes, dado que a viabilidade de aquisição de valores culturais e educacionais está intimamente associada aos capitais adquiridos no meio familiar. Desconsiderar a importância da origem social sobre o sucesso escolar é subestimar o fato de que os privilégios sociais se reproduzem e se amplificam de modo contínuo ao longo da trajetória acadêmica [1].

Os êxitos de Cuba nos exames internacionais de ciências, linguagem e matemática, confrontando-se com as realidades brasileira e chilena, ilustram que, apesar do fato de o Brasil e o Chile exibirem índices socioeconômicos superiores aos de Cuba, os estudantes cubanos possuem melhor desempenho que os estudantes brasileiros e chilenos [5]. É função primordial do professor possibilitar o acesso dos estudantes aos capitais culturais e sociais, minimizando os mecanismos de distinção social. Os professores podem, pela utilização dos recursos a sua disposição, oferecer atividades educacionais e culturais estimulantes. A escola pode e deve minimizar as barreiras entre as distintas classes sociais.

Nas palavras de Zanetic [6]: “Quando se fala em cultura, raramente a física comparece na argumentação. Cultura é quase sempre evocação de obra literária, sinfonia ou pintura; cultura erudita, enfim. Tal cultura, internacional ou nacional, traz à mente um quadro de Picasso ou de Tarsila, uma sinfonia de Beethoven ou de Villa Lobos, um romance de Dostoiévski ou de Machado de Assis, enquanto a cultura popular faz pensar em capoeira, num samba de Noel ou num tango de Gardel. Dificilmente, porém, cultura se liga ao teorema de Godel ou às equações de Maxwell!”. Na próxima seção apresentamos alguns exemplos de como contextualizar o ensino de ótica geométrica e ao mesmo tempo fomentar a aquisição de capital cultural pelos estudantes.

## 2. Exemplos com ótica geométrica

A ótica geométrica tem perdido

espaço e importância nos ensinos Médio e Superior brasileiros, devido à falsa e difundida ideia de que é um assunto de interesse limitado. De forma anedótica, tomamos conhecimento de que vários professores, ex-alunos de cursos de licenciatura, lamentam não terem tido oportunidade de estudar ótica geométrica durante a graduação e sentem-se inseguros quando devem ensinar esse conteúdo. Estudos da compreensão dos estudantes sobre ótica geométrica foram realizados por Goldberg e McDermott [7] e por Wosilait e cols. [8]. Muitos estudantes demonstram concepções ingênuas sobre a luz e suas propriedades [8]. Essas concepções espontâneas persistem mesmo após uma exposição convencional, que geralmente dá ênfase aos aspectos quantitativos em detrimento dos qualitativos. A utilização bem-sucedida de equações não indica a compreensão de um assunto. Os estudantes raramente são incentivados a visualizar toda a gama de fenômenos físicos associados à reflexão e à formação de imagens.

Um ponto que merece destaque é o mecanismo de transferência de imagens, que faz parte da teoria da luz e da visão e que tem uma história mais antiga do que muitos outros ramos das ciências da natureza [9]. Várias teorias concorrentes sobre a visão foram desenvolvidas na Grécia antiga. Os pitagóricos sugeriram a teoria da visão de emissão, de acordo com a qual o “fogo interno” sai do observador e viaja para os objetos vistos. Osatomistas, por outro lado, sugeriram a teoria da intromissão e insistiram em uma *eidolon* (imagem), uma réplica do objeto visto, viajando pelo espaço em direção ao olho humano. Ambas as teorias foram desenvolvidas em paralelo e seus apologistas estavam em contínuo diálogo uns com os outros até que Al-Hazen (965-1039) chegou ao seu próprio entendimento de visão, valendo-se de várias idéias gregas [10]. Na sua opinião, a luz, sendo composta por raios de luz, é refletida de todos os pontos da superfície de um objeto e viaja em todas as direções. Uma imagem ótica é criada quando os

raios de luz relevantes penetram no olho do observador e atingem a superfície da lente do olho. Cada ponto da imagem é criado por um único raio de luz do objeto. A teoria de Al-Hazen tornou-se conhecida na Europa através de traduções do árabe para o latim nos séculos XII e XIII [10]. Roger Bacon, em Oxford (1214-1292), foi um dos primeiros no Ocidente a aceitar as novas ideias, na segunda metade do século XIII. A nova teoria apareceu posteriormente nos manuscritos de Witello e Pecham e circularam na Europa Ocidental. Desde então, e até o trabalho de Kepler em 1604, a compreensão da luz e imagens óticas no quadro da teoria de Al-Hazen prevaleceu entre pessoas educadas na língua latina. A seguir, ilus-

tram-se alguns exemplos de contextualização em sala de aula, exemplos nos quais as ideias científicas e humanistas coexistem.

A formação de imagens é de primordial importância no estudo da ótica. Pesquisas identificaram uma ampla variedade de concepções alternativas que os alunos constroem em relação à transferência de imagens. O conhecimento dos alunos sobre a ótica pode ser represen-

tado por esquemas de conhecimento [10]. Um desses esquemas equivocados em relação à imagem ótica foi identificado. No esquema holístico, considera-se que a imagem viajou do objeto para o observador ou um espelho. Os alunos geralmente descrevem a imagem como saltando para fora do espelho ou mesmo sendo criada por ele [10]. A imagem ótica é então considerada um objeto material. Esse esquema, desenvolvido de forma independente pelos alunos, representa uma substituição ontológica da imagem ótica (apresentando uma iluminação padrão), para que a imagem seja considerada um objeto material. A seguir, apresentamos alguns exemplos que podem ser trabalhados em sala de aula.

A pintura a óleo *O casal Arnolfini*, de 1434, é uma das obras mais famosas do pintor flamengo Jan van Eyck. A

**Nas palavras de Zanetic :  
“Quando se fala em cultura,  
raramente a física comparece na  
argumentação. Cultura é quase  
sempre evocação de obra  
literária, sinfonia ou pintura;  
cultura erudita, enfim. Tal  
cultura, internacional ou  
nacional, traz à mente um quadro  
de Picasso ou de Tarsila, uma  
sinfonia de Beethoven ou de Villa  
Lobos, um romance de  
Dostoiévski ou de Machado de  
Assis, enquanto a cultura popular  
faz pensar em capoeira, num  
samba de Noel ou num tango de  
Gardel. Dificilmente, porém,  
cultura se liga ao teorema de  
Godel ou às equações de  
Maxwell!”**

pintura mostra Giovanni Arnolfini e sua esposa Giovanna Cenami, residentes da cidade de Bruges, atual Bélgica, no século XV. O casal é representado em sua alcova. A pintura, considerada inovadora para a época, ilustra diversos conceitos relacionados com perspectivas. Um espelho aparece ao fundo, formando uma imagem invertida da cena, conforme mostram as Figs. 1 e 2. Com base na configuração da imagem, o professor pode perguntar aos alunos sobre a forma do espelho pendurado na parede ao fundo. Seria um espelho plano? Côncavo? Convexo? Um tipo de questão com grande



Figura 1 - *O casal Arnolfini*, de Jan van Eyck. National Gallery, Londres.

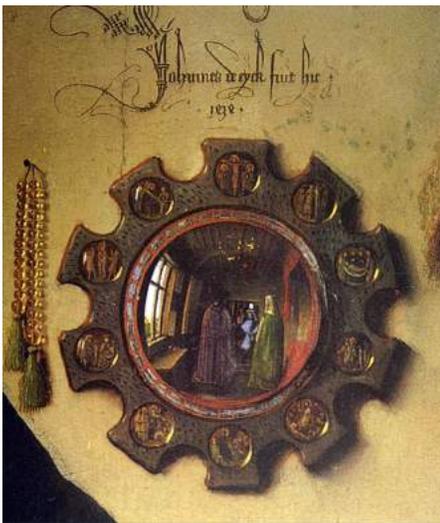


Figura 2 - Detalhe do quadro *O casal Arnolfini*.

potencial didático é “o que acontece se...” [11]. Por exemplo, explorando o fato de que, a despeito da localização do objeto, as imagens em espelhos convexos são sempre virtuais, direita e de tamanho relativo reduzido, uma possível pergunta seria “se o casal se aproximasse ou se afastasse do espelho, a imagem passaria de direita a invertida?”.

A Fig. 3 mostra a pintura *Vênus ao espelho*, de Diego Rodriguez de Silva Y Velázquez (1599-1660), pintor do século XVII e principal artista do Século de Ouro espanhol. Velázquez pintou esse quadro entre 1648 e 1651 durante sua estadia na Itália. A tela encontra-se exposta na National Gallery em Londres sob o título *The toilet of Venus* ou *The Rokeby Venus*. Esse nu foi um predecessor dos vários nus da renascença. O quadro mostra o dorso de uma mulher, a deusa Vênus, que olha para um espelho segurado por seu filho Cupido, o deus romano do amor físico. Por não ser comum naquela época retratar o nu feminino, *Vênus ao espelho* gerou polêmica. Na pintura, o espelho reflete uma face. Aqui o professor pode trabalhar com os estudantes a reversibilidade dos raios, visto que Vênus não pode estar olhando a si mesma, uma vez que o observador pode observar a imagem do rosto de Vênus. Esse fenômeno ficou conhecido como “efeito Vênus”. A obra representaria a partida ou a chegada do observador, mostrando o corpo de Vênus de costas para ele. *Vênus ao espelho* é a única

obra de Velázquez mostrando o nu feminino que resistiu até os dias atuais. Nus artísticos eram raros na arte espanhola do século XVII, cuja sociedade foi controlada pela Inquisição. A obra foi levada para a Inglaterra para ser exibida em Rokeby Park, Yorkshire (daí seu apelido *Rokeby Venus*). A pintura foi comprada e levada para a National Gallery em 1906. A obra foi gravemente danificada pela sufragista Mary Richardson em 1914 e restaurada em seguida.

Estudos mostram que interpretações incorretas persistem em um número elevado de estudantes, mesmo no caso simples de espelhos planos [12]. Aqui, o professor encontra uma boa oportunidade, por exemplo, de discutir a reversibilidade dos raios óticos, a diferença entre reflexão especular e difusa, imagens virtual e real. O conceito de imagem virtual fica ainda mais obscuro para os estudantes no contexto de lentes e espelhos curvos. Outro ponto que o professor pode explorar é a falsa ideia de que há troca da direita para a esquerda entre a imagem e o objeto, mas não há troca na vertical<sup>2</sup>. Existe uma crença comum entre estudantes que um espelho inverte uma imagem da esquerda para a direita. No entanto, o efeito do espelho plano é mudar a quiralidade (por exemplo, a rosca no sentido horário de um parafuso é vista no sentido anti-horário). O fascinante fenômeno da inversão pelo espelho plano foi reconhecido há milhares de anos, e sempre foi objeto de



Figura 3 - *Venus ao espelho*, de Diego Velázquez. National Gallery, Londres.

intriga. Ensinar esses tópicos ajuda os alunos a entenderem que um espelho “faz” para a imagem e o que “não faz”.

O óleo sobre tela do pintor francês Édouard Manet, *Um bar no Folies-Bergères* (Fig.4), considerado sua última

grande obra, retrata uma cena onde a jovem Suzon, empregada do famoso café em Paris, aparenta indiferença e certa tristeza. Porém, o reflexo de Suzon não se apresenta como uma imagem exata da cena, não só quanto à sua posição, mas também pela presença de um homem à sua frente. Seria esse “erro” proposital? O professor poderia explorar o erro de perspectiva de acordo com as leis de formação de imagens em espelhos planos.

O artista italiano Michelangelo Merisi da Caravaggio (1571-1610) retrata na tela *Narciso* (Fig. 5) o personagem eternizado pela mitologia grega. Segundo a lenda, Narciso inclinou-se para beber água num lago e, ao ver a sua imagem refletida na superfície, encantou-se por ela. Esse enamoramento levou Narciso a deixar de se alimentar e dormir, definhando o corpo e morrendo.

O artista holandês Maurits Cornelis Escher (1898-1972) [13] é reconhecido pelas suas representações de construções impossíveis. A Fig. 6 mostra uma litografia de 1935, *Mão com uma esfera refletora*, ou *Autorretrato num espelho esférico*. A litografia mostra uma mão portando uma esfera refletora. É possível observar a imagem de Escher, assim como o ambiente ao redor. Essa obra constitui uma boa oportunidade de estudar as propriedades dos espelhos esféricos.



Figura 4 - Reprodução da obra *Um bar no Folies Bergères*, de Édouard Manet. Courtauld Institute Galleries, Londres.



Figura 5 - *Narciso* é uma pintura do mestre barroco italiano Caravaggio (1597-1599). Está exposto na Galleria Nazionale d'Arte Antica em Roma. Foi Roberto Longhi quem atribuiu a pintura a Caravaggio em 1916.



Figura 6 - *Autorretrato num espelho esférico*, de M.C. Escher.

### 3. Conclusões

Em suma, as formas do capital cultural são objetificadas por meio de obras de arte e incorporadas pelo reconhecimento de distinção, pelo gosto. Outra característica importante é que, ao contrário do capital econômico que pode ser adquirido muito rapidamente, ganhando na loteria, por exemplo, o capital cultural demanda tempo. Não será em uma aula, ou apenas em um semestre, mas é adquirido através de um processo de assimilação sistemático, por meio da *ação pedagógica*,<sup>3</sup> implicando em um *trabalho pedagógico*<sup>4</sup> cuja duração deve ser longa o bastante para produzir uma formação efetiva.

Nesse sentido, apresentamos neste artigo uma proposta de como o profes-

sor, no contexto de uma aula de ótica geométrica, poderia contribuir para minimizar as desvantagens dos estudantes oriundos das classes menos favorecidas, que no ambiente familiar não encontram o estímulo para o cultivo do capital cultural. O professor deve valer-se de todos os meios disponíveis para romper o círculo vicioso de perpetuação das desigualdades. Para os estudantes que não gozam do acesso aos valores culturais ou de convívio social que facilite a aquisição desses capitais, a escola assume o papel primordial de transmissão da herança cultural. É preciso compreender a crise escolar para além dos fatores puramente econômicos, enxergando a escola como parte de um todo social em que os recursos

materiais, relacionais e inspiracionais se traduzem em resultados educacionais. Os capitais social e cultural podem ser fomentados pela escola mediante estratégias desenvolvidas em sala de aula, pelo fomento de um ambiente escolar estimulante e de iniciativas que fomentem a aprendizagem. Reforçamos a necessidade de professores qualificados, com boa formação e valorizados para que a falta de sucesso escolar entre a população mais pobre deixe de ser um fato.

### Agradecimentos

O autor agradece o apoio do Programa Abdias Nascimento (CAPES) e ao CNPq.

### Referências

- [1] P. Bourdieu e Jean-Claude Passeron, *Os Herdeiros, os Estudantes e a Cultura* (Editora UFSC, Florianópolis, 2014).
- [2] D.P. Kauchak, P.D. Eggen, *Learning and Teaching, Research-Based Methods*, Fifth Edition, (Pearson, Londres, 2007), p. 36.
- [3] E.B.Vilela-Ribeiro, A.M.C.Benite, *Ciências & Educação* **23**, 403 (2017).
- [4] R.W. Rumberger, *Economics of Education Review* **29**, 246 (2010).
- [5] M. Carnoy, A.K. Gove, J.H. Marshall, *Cuba's Academic Advantage: Why Students in Cuba do Better in School* (Stanford University Press, California, 2007).
- [6] J. Zanetic, *Ciência e Cultura* **57**, 21 (2005)
- [7] F.M. Goldberg, L.C. McDermott, *Am. J. Phys.* **55**, 108 (1987).
- [8] K. Wosilait, P.R.L. Heron, P.S. Shaffer, L.C. McDermott, *Am. J. Phys.* **66**, 906 (1998).
- [9] I. Galili, B. Zinn, *Science & Education* **16**, 441 (2007).
- [10] D. Hockney, *O Conhecimento Secreto, Redescobrimos as Técnicas Perdidas dos Grandes Mestres* (Cosac & Naify, São Paulo, 2001).
- [11] A.B. Arons, *Teaching Introductory Physics* (Hoh Willey & Sons, Inc. New York, 1997), part I, p. 264.
- [12] F.M. Goldberg, L.C. McDermott, *The Physics Teacher* **24**, 472 (1986).
- [13] Bruno Ernst, *O Espelho Mágico de M.C. Escher* (Taschen, São Paulo, 1991).

### Notas

<sup>1</sup>A catóptrica refere-se à ótica das superfícies refletoras, em oposição à dióptrica, que se refere à ótica dos elementos refringentes.

<sup>2</sup>Este é um ponto raramente discutido nos livros didáticos. Por que, ao atingir nossos olhos, a luz refletida pelo espelho é trocada na direção horizontal, mas não na vertical? Na verdade, não há nada que faça o eixo horizontal tão especial no contexto de uma reflexão de raios num espelho plano. Os espelhos não revertem direita com a esquerda, mas sim, de frente para trás, ou seja, é invertida ao longo da direção perpendicular ao plano do espelho, como um guarda-chuva que se abre ao contrário numa ventania.