

Material Suplementar para “Feynman e suas conferências sobre o ensino de física no Brasil”

ANEXO

O PROBLEMA DO ENSINO DE FÍSICA NA AMÉRICA LATINA¹

por Richard P. Feynman²

O problema do ensino de física na América Latina é apenas uma parte do problema mais amplo do ensino de física em qualquer lugar. Na verdade, é parte do problema de ensinar qualquer coisa em qualquer lugar - um problema para o qual nenhuma solução satisfatória é conhecida.

Há muitos planos novos em diversos países para tentar ensinar física, o que mostra que ninguém está satisfeito com qualquer dos métodos. É provável que muitos dos novos planos pareçam bons porque ninguém ainda os testou o tempo suficiente para descobrir o que está se passando com eles, enquanto que todos os velhos métodos têm estado conosco bastante tempo para exibirem claramente suas falhas.

O fato é que ninguém sabe muito bem como dizer a alguém como ensinar. Então, quando nós tentamos descobrir como ensinar física temos de ser um pouco modestos, porque ninguém realmente sabe como fazê-lo. É, ao mesmo tempo, um problema sério e uma oportunidade para novas descobertas.

O problema do ensino de física na América Latina pode também ser generalizado de outra maneira; ele nos remete à questão de se fazer qualquer coisa na América Latina. Temos de nos envolver, pelo menos parcialmente, nos problemas específicos - sociais, políticos e econômicos - que existem aqui.

Todos os problemas ganham um foco mais nítido se estiver diante de nós, logo de início, a visão clara das razões para se ensinar física. Assim, vou tentar fornecer algumas razões pelas quais acredito que devemos ensiná-la. Poderemos nos perguntar, em seguida, se um plano educacional particular está, de fato, satisfazendo alguma destas razões.

¹ Publicado em *Engineering and Science*, novembro de 1963, p. 21-30. [Nota do tradutor]. Tradutor: Ildeu de Castro Moreira.

² "O Problema do Ensino de Física na América Latina" é uma transcrição da palestra feita por Richard Feynman na Primeira Conferência Inter-Americana de Educação em Física, que ocorreu no Rio de Janeiro, em junho de 1963. O Dr. Feynman é Richard Chace Tolman Professor de Física Teórica no Caltech.

A primeira razão é, naturalmente, que a física é uma ciência básica, e como tal é usada na engenharia, química e biologia, e em todos os tipos de aplicações tecnológicas. A física é a ciência, ou conhecimento da natureza, que nos diz como as coisas funcionam. Em particular, estou enfatizando aqui como funcionam os dispositivos de vários tipos, inventados pelas pessoas na tecnologia atual e na futura. Portanto, aqueles que conhecem física serão muito mais úteis para lidar com os problemas técnicos que surgem na indústria local.

Pode-se argumentar, e, na prática, argumenta-se, que, nos estágios iniciais de desenvolvimento industrial que temos na América Latina, tal capacidade técnica é completamente supérflua, porque é muito fácil importar pessoal tecnicamente bem treinado dos países mais avançados do exterior. Portanto, é realmente necessário formar localmente pessoas com alta qualificação técnica?

Eu provavelmente não sei economia o suficiente para responder corretamente, mas vou tentar, de qualquer maneira, dar uma opinião sobre isto. Eu acho que é de vital importância aprimorar a capacidade técnica das pessoas na América Latina. Pela educação, o homem com maior capacidade técnica é capaz de produzir mais, e eu acredito que a melhoria da capacidade técnica dos povos da América - e, portanto, da produtividade - encontra-se a fonte de um progresso econômico real.

Não é economicamente viável importar continuamente pessoas tecnicamente qualificadas. Se os latino-americanos fossem bem formados tecnicamente eles iriam encontrar posições nas indústrias que estão se desenvolvendo aqui; e seria percebido rapidamente pelas pessoas, que agora importam esses trabalhadores, que há um suprimento de homens realmente capazes neste país e que essa oferta local tem muitas vantagens. As pessoas locais não precisariam de salários tão elevados, conheceriam os costumes e hábitos do país, e ficariam felizes em ocupar postos de trabalho mais permanentes.

É verdade que os latino-americanos com os mesmos graus de formação, em ciência ou engenharia, que seus homólogos estrangeiros parecem ser bem menos capazes. Isto, como explicarei, é porque a eles realmente não foi ensinada qualquer ciência. Esta experiência provavelmente tem condicionado os industriais a dedicar muito pouca atenção às universidades e aos cientistas locais. Se os empresários fossem espertos veriam o problema bem ao contrário e seriam os primeiros a pedir por um encontro, do tipo do que estamos tendo hoje, para descobrir o que está acontecendo com o produto local e como ensinar física de uma maneira de fato satisfatória em seus países. No entanto, nenhum deles está aqui.

Uma razão secundária para o ensino de física, ou de qualquer ciência experimental, é que ele, incidentalmente, ensina como fazer coisas com as mãos. Ela ensina muitas técnicas para manipular as coisas - bem como técnicas de medição e cálculo, por exemplo - que têm aplicações muito mais amplas do que apenas no campo específico de estudo.

Outra razão importante para ensinar a física é a própria ciência. A ciência é uma atividade humana; para muitas pessoas ela é uma fonte de grande prazer e ela não deveria ser negada à população de uma grande parte do mundo simplesmente por causa de uma falha ou deficiência no sistema educacional. Em outras palavras, uma das razões para o ensino da ciência é formar cientistas que não irão apenas colaborar com o desenvolvimento da indústria, mas que também contribuirão para o avanço do conhecimento, juntando-se a outros nesta grande aventura dos nossos tempos, e, claro, obtendo enorme prazer em fazê-lo.

Em terceiro lugar, há uma boa razão em estudar a natureza: para apreciar as suas maravilhas e a sua beleza, mesmo que a pessoa não vá se tornar um cientista profissional trabalhando ativamente em ciência. Este conhecimento da natureza também gera uma sensação de estabilidade e de realidade sobre o mundo e elimina muitos medos e superstições.

Uma quarta razão para o ensino de ciências é ensinar como as coisas são descobertas. O valor do questionamento e do livre pensar ficam evidentes, não apenas para o desenvolvimento da ciência, mas também pela importância da liberdade de ideias em todos os campos. A ciência é uma maneira de ensinar como algo se torna conhecido, a aprender o que não se sabe, a perceber até que ponto as coisas são conhecidas (pois nada é conhecido absolutamente), a saber como lidar com dúvidas e incertezas, a aprender o que são as regras de evidência, a pensar sobre coisas de modo que julgamentos possam ser feitos, e a distinguir a verdade da fraude e da pirotecnia. Estas são, certamente, consequências secundárias importantes que decorrem do ensino de ciências, e da física em particular.

Finalmente, aprendendo ciência você aprende a lidar com tentativa e erro, a desenvolver um espírito de invenção e de livre investigação, que é de enorme valor muito além da ciência. Aprende-se a perguntar: "Existe uma maneira melhor de fazer isso?" E a resposta para isso não é o reflexo condicionado: "Vamos ver como eles fazem isso nos Estados Unidos" porque certamente deve haver uma maneira melhor de fazê-lo. Nós devemos tentar pensar em algum novo truque ou ideia, e a encontrar alguma melhoria na técnica. Esta questão é fonte de uma grande dose de pensamento livre e independente, de invenção e de progresso humano em todos os domínios.

Aqui termina minha lista de razões para o ensino da física como uma ciência. Deixe-me voltar agora para a descrição de algumas das principais características da educação científica na América Latina, que me parecem ser motivo de preocupação especial para nós.

Em primeiro lugar, e mais grave, creio eu, é o ensino e a aprendizagem quase exclusivamente por meio de mera memória abjeta. Isso, de modo algum, ensina a física como uma ciência. Nada é entendido; é apenas lembrado. Isso de maneira alguma satisfaz as razões que descrevi para o ensino de ciência. A memorização das leis não permite que a pessoa faça aplicações dessas leis a novas situações; ela não possibilita a ninguém o prazer de, em última análise, fazer contribuições científicas. Ela não permite ensinar qualquer técnica manual. A partir da memorização, o conhecimento não é compreendido, e a beleza da natureza não é apreciada. Ele não diz como as coisas foram descobertas, e nem revelam o valor de uma mente livre inventiva.

Por exemplo, o telescópio é um dispositivo interessante para construir, para compreender, para observar através dele e para se divertir com ele. Ele conduziu as ideias e as mentes dos homens para novas direções e deu um grande impulso à moderna revolução do pensamento. Por um longo tempo ele foi o único revelador da vastidão dos céus e do modesto lugar que o homem ocupa nela. Mas, na América Latina se aprende que existem quatro tipos de telescópios: o de Newton, o Cassegraniano, etc, etc. No primeiro, a imagem é virtual e invertida, etc. [Eu coloquei em tudo isso "etc" porque eu realmente não sei quantos tipos de telescópios existem, ou os nomes que eles têm, nem o tipo de imagem em cada um deles. Mas não me subestimem, eu sei muito sobre telescópios - como eles funcionam, como fazer e como usar um, as suas potencialidades e limitações, etc]. O resultado é que o telescópio está perdido. Não há mais telescópio, nem lentes, nem estrelas, nem olhos, nem luz - apenas palavras memorizadas sem a necessidade de entendimento. Mas exames ocorreram, e a pergunta era: "Quais são os quatro tipos de telescópios?"

Devo dizer logo que não sou contra a memorização. Algumas coisas, até mesmo muitas (embora nada de especial) pode ser aprendido de cor; por exemplo, é bom, mas não essencial, saber de cor $7 \times 8 = 56$. O que me oponho a qualquer filosofia de ensino é que ela seja usada de forma exclusiva; mas, neste caso, isto é especialmente grave porque sobra muito pouco para o conteúdo.

Para as pessoas de meu país o relato de como os conteúdos são memorizados na América Latina, sem qualquer entendimento, era incompreensível. As aulas são ditadas tão lentamente que os estudantes podem copiá-las palavra por palavra em seus cadernos - e frases são repetidas até que eles possam conferi-las novamente.

Quando perguntados sobre o que é a lei de Brewster, os estudantes de nível superior respondem em um instante: "a luz incidindo sobre um material de índice n é 100 por cento polarizada, com o campo elétrico perpendicular ao plano de incidência, se a tangente do ângulo de incidência for igual ao índice de refração".

Para esses mesmos estudantes eu disse, então: "Olhem para fora, para a baía, onde a luz solar está sendo refletida. Se eu olhar para que esta reflexão através deste pedaço de polaroide e girá-lo, o que vai acontecer?" Tudo o que recebo de volta são olhares vazios. Ninguém sabe. Mas eu ouço gritos de surpresa e alegria quando eles experimentam e vêm as reflexões se tornarem mais brilhantes e depois menos intensas.

Isso mostra que algo está completamente errado. Não há conhecimento algum sobre a natureza: com o ponto de partida errado, a memorização é inútil. Esses alunos são como livros, nada mais. Eu posso olhar no índice de um livro sob o título "A lei de Brewster" e encontrar uma referência equivalente à resposta dos alunos. Mas no índice não consigo encontrar "Sol que se reflete na baía".

O que os alunos sabem que não está direta e facilmente disponível em um livro? As coisas que podem ser encontradas em um livro são apenas uma parte do conhecimento. Quem quer um estudante destes para trabalhar em uma fábrica se um livro, que não requer nenhuma comida ou manutenção, está disponível, dia após dia, para dar as mesmas respostas padronizadas? Quem quer ser um estudante assim, ter trabalhado tão duro, ter perdido tanto do interesse e do prazer, e ser superado por uma lista impressa e inanimada de "leis"?

A experiência que tenho me faz pensar que esta é uma das principais falhas na educação dos estudantes na América Latina.

Um segundo problema na América Latina é que os estudantes estão todos sozinhos. Eles não podem conversar com os outros estudantes; eles não podem perceber quão estúpidos são alguns de seus colegas. Isto ocorre, principalmente, por alguma razão psicológica. Eles não querem ser vistos como inseguros, pois eles seriam ridicularizados. Eles não podem fazer perguntas em sala de aula porque os outros mais tarde poderão dizer: "Por que você desperdiça o tempo de todos nós? Todo mundo sabe isso!". Então, para livrar a cara, todos eles exibem um show de conhecimento, frustrando assim uma discussão aberta e a troca de ideias, que é uma das maneiras mais agradáveis e fáceis de aprender as coisas. Há muita encenação e também muita formalidade na sala de aula o que inibe qualquer exercício de pensar livremente e de debater.

Um terceiro problema é a falta de liberdade na estrutura da universidade. Você não pode mover-se de um assunto para outro ou de um laboratório para outro. Aqueles que vão para o exterior para aprender quando retornam acham difícil comunicar seus novos conhecimentos diretamente para os outros estudantes da universidade - pois não conseguem encontrar um lugar na estrutura da universidade, nem são bem-vindos a ela. Por uma razão ou outra, torna-se necessário para essas pessoas criar institutos de pesquisa novos e separados. O espírito de excitação que surge nessas instituições, à medida que a pesquisa avança, não é encontrado nas universidades, e isso é muito lamentável.

Outro problema na América Latina é que há pouquíssimas alternativas para os estudantes que não querem se tornar cientistas completos. Não é fácil para eles obter empregos nas indústrias que se desenvolvem aqui. Talvez se aqueles estudantes fossem efetiva e adequadamente treinados, as empresas gradualmente perceberiam o seu valor e esse problema desapareceria. Muitos desses estudantes entusiasmados não são gênios, mas deve haver algum lugar para eles trabalharem - mesmo se não farão alguma contribuição científica e nem tornar-se-ão novos Einsteins.

Quando comecei a estudar no MIT iniciei com a matemática, e pensei que provavelmente iria me tornar um matemático. Mas descobri, então, que o único uso da matemática mais avançada é ensinar mais matemática avançada. Voltei-me, então, para algo mais prático: a engenharia elétrica. Finalmente, percebi que tinha ido longe demais na outra direção e escolhi algo entre os dois: a física.

Isso tudo foi muito fácil, porque, para tais áreas estreitamente relacionadas as disciplinas feitas pelos alunos, em cada curso, eram quase exatamente as mesmas e ensinadas pelos mesmos professores. Os engenheiros estudavam física ensinada pelos físicos; por outro lado, os físicos aprendiam um pouco de eletricidade em um curso ministrado pelos professores de engenharia elétrica. É fácil para os alunos se moverem de um lado para outro entre cursos relacionados. Se a física é muito difícil para eles, ou matemática é abstrata demais, eles podem ir para a engenharia e, mais tarde, podem ter a esperança de encontrar um posto de trabalho em algum lugar. Tais mudanças são muito mais difíceis nas universidades latino-americanas.

Outra característica da situação na América Latina é o pequeno número de pessoas envolvidas com a ciência. O resultado são flutuações rápidas e irregularidades na estrutura das organizações e das instituições. Se algo ocorre ou não, depende muito de indivíduos particulares.

Finalmente, devemos mencionar o problema dos melhores alunos que deixam a região e vão para outros países. Isto ocorre por causa da falta de oportunidades na América Latina, do clima de rigidez que existe nas universidades, e dos caprichos do acaso nas instituições de pesquisa, uma vez que seus orçamentos têm, de ano para ano, apoio desigual proveniente do governo e das fontes privadas de recursos.

Gostaria agora de mencionar algumas perguntas para as quais, penso, devemos buscar respostas aqui. Em primeiro lugar, como é que podemos livrar os níveis anteriores de ensino, a educação secundária, da praga da memorização que existe no momento atual? É bem conhecido que você pode tornar as crianças muito interessadas na ciência, de um modo verdadeiro, vivo e ativo, enquanto elas ainda são jovens. Às vezes se diz que você não pode torná-los interessados quando já estão na universidade, mas isso não é verdade, desde que não tenham sido destruídos como seres humanos pensantes nos níveis anteriores de ensino.

Gibbon disse: "O poder da instrução é de pouca eficácia, exceto naqueles casos felizes onde é quase supérfluo." Isso não é bem verdade. É verdade para uma boa instrução, mas uma instrução ruim pode ser, de fato, muito eficaz ao convencer alguém de quão incrivelmente chato algum assunto pode ser. É possível destruir a excitação e o interesse que os estudantes podem ter ganho por descobrir um pequeno livro na biblioteca, ou por comprar um conjunto de química ou um pequeno motor elétrico para brincar um pouco. De fato, uma das mais importantes fontes de motivação e interesse pela ciência está em um brinquedo, ou em um livro especial, ou naqueles poucos professores que são suficientemente livres das amarras do sistema educacional para serem capazes de manter as crianças excitadas e inspiradas, fornecendo-lhes sugestões, demonstrações e jogos.

É uma experiência bem conhecida na educação que, apesar de todos os planos e programas, quase tudo depende, em última análise, dos professores - de professores individuais. Você pode ter professores ruins e, não importa o que você tenta fazer com eles, os alunos aprendem muito pouco. Ou você pode ter bons professores e não faz muita diferença o que você faz, desde que você deixe o professor livre. Acho, então, que devemos dar liberdade para aqueles poucos professores que podem ser inspiradores para as crianças. É importante que esses professores inspiradores trabalhem em conjunto com as crianças, sugerindo experimentos e realizando-os livremente.

A segunda questão que devemos tentar responder é como trazer engenheiros e outros cientistas experimentais para mais perto do mundo real das aplicações. Não é suficiente para eles se lembrarem exatamente de como usar uma fórmula se

a situação for a mesma daquela apresentada na escola de engenharia, quando o professor ditou a palestra. Temos de fazer algo para tornar o engenheiro mais flexível, de modo que ele seja competente em uma ampla gama de aplicações.

Uma forma pode ser ter verdadeiros cientistas - e especialmente físicos ativos em pesquisa experimental - ensinando física para estudantes de engenharia. A física experimental gera problemas técnicos. Para ter sucesso, você tem que trabalhar com suas mãos; você tem que se defrontar com a realidade. Apenas a memória pura não vai adiantar. Ou seja, as pessoas que são boas em física experimental sabem como são os problemas de engenharia.

O desenvolvimento da tecnologia industrial é, em grande medida, simplesmente a aplicação mais ampla de técnicas que, na maioria dos casos, foram desenvolvidos por cientistas tentando fazer experiências. Isto porque, na tentativa de fazer algum experimento em ciência, você tem que levar alguma técnica ao seu extremo. Ao fazer isso, você aprende como as coisas podem ser feitas. Os físicos experimentais, de início, exploraram os problemas de como se fazer um vácuo mais elevado ou uma temperatura mais baixa e que nunca haviam sido atingidos; atualmente, alto vácuo e baixas temperaturas são instrumentos da tecnologia industrial.

Portanto, a ciência experimental é uma fonte de engenharia e ela deve ser ensinada a engenheiros na escola de engenharia para mantê-los cientes da grande variedade de técnicas disponíveis e das possibilidades em aberto para o futuro. Talvez, então, depois de termos formado um número suficiente de engenheiros com valor real para a indústria na América Latina, ela vai se dar conta de que não há nenhuma vantagem em contratar engenheiros do exterior e vai querer mais pessoas formadas localmente; e irá apoiar as escolas que utilizam métodos de ensino que produzem esses engenheiros. Teremos, então, a bola rolando...

Sei que o número de escolas de engenharia na América Latina está crescendo rapidamente. Por exemplo, no Brasil, há hoje o dobro de escolas de engenharia do que havia há dez anos. Se este for o caso, então talvez o problema possa se resolver por si mesmo. Se estas escolas não estiverem todas organizadas sob o mesmo sistema, se houver uma variedade nas escolas, então uma ou outra escola poderá desenvolver uma maneira de produzir excelentes estudantes - se a preparação da escola secundária não os tiver arruinado antes. Em seguida, esta escola adquirirá uma boa reputação, os jovens tentarão ir para lá, outras escolas vão tentar competir e copiar os melhores métodos e assim por diante, até que o problema se resolva.

O terceiro problema que temos aqui é como encorajar os verdadeiros trabalhadores da pesquisa e como mantê-los permanentemente em seus locais. Temos que fornecer-lhes livros, equipamentos experimentais, recursos para visitas ao exterior e um círculo de estudantes ativos e interessados. Não, desculpem-me, este círculo se formará automaticamente se o pesquisador for bom e puder chegar aos estudantes de alguma maneira.

É imperativo incentivar o verdadeiro trabalhador científico, que está fazendo contribuições para a ciência, a criar sua base em seu próprio país. Isso não deve ser difícil, porque há fortes sentimentos de patriotismo nessas pessoas; elas sabem que têm muito para dar a seu país e querem fazê-lo. As dificuldades são os terríveis problemas que têm em casa. Por exemplo, o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, no Rio, que é um dos líderes na América Latina, tornou-se isolado do resto do mundo por causa de uma coisa muito simples: ninguém quer pagar para adquirir as revistas *Physical Review* ou *Nuovo Cimento*. Ninguém quer pagar por essas revistas que podem manter as pessoas informadas sobre o que acontece em outros lugares.

Isto, juntamente com o fato de que os salários são absurdamente baixos, mostra uma falta de interesse do governo brasileiro, da população e da indústria no desenvolvimento da ciência neste país. É uma atitude que não respeita ou compreende o valor dessas pessoas. Estes cientistas criativos deveriam ser tratados com dignidade e terem o poder de controlar seu próprio destino e também o da ciência e da educação em seus países. Este destino estaria em mãos seguras e dedicadas.

É a partir do manancial de trabalhadores da pesquisa, que compreendem o que a ciência realmente é, que o verdadeiro espírito de investigação se espalhará como uma ‘chuva’ sobre seus estudantes e sobre os alunos de seus estudantes e, finalmente, se as coisas estiverem corretamente organizadas, permeará todo o sistema educacional e acelerará o desenvolvimento tecnológico do país.

O quarto problema, então, é como ter de volta esses investigadores para as universidades a que pertencem. Assim, a ‘chuva’ terá uma passagem muito mais fácil e direta para os estudantes, os novos cientistas do país.

Gostaria de enfatizar, ao abordar a minha quinta e última questão para o problema, a importância de fazer cada uma dessas coisas de uma forma constante, consistente, contínua e modesta. Nada deve ser feito como um grande show, com muito dinheiro, com muita publicidade e que não tenha o suporte, no futuro, de uma manutenção efetiva. Manutenção adequada está faltando em muitos destes projetos, porque estas coisas já aconteceram antes. Pulsos de energia foram

liberados, passos à frente foram dados, apenas para se escorregar de volta por falta de apoio continuado. É necessário manter todas as coisas que estão funcionando. É necessário fornecer um apoio consistente, perpétuo, contínuo e fazer coisas mais modestas para que a continuidade do apoio possa ser mantida. Um grupo de pesquisa torna-se famoso mundialmente apenas após anos e anos de pesquisas frutíferas. Um ano sem apoio e as pessoas vão embora, e nada mais resta.

Compreendo que este é um problema de grande dificuldade e seriedade porque envolve intrinsecamente todas as circunstâncias sociais e econômicas do país, e as dificuldades são muitas vezes (mas nem sempre) apenas o reflexo de problemas enormemente mais sérios do destino cambiante do país como um todo. No entanto, devemos discutir mais este problema aqui. Podemos tentar ver se existem maneiras de se construir um esquema para que o sistema educacional, ou pelo menos as partes críticas dele relativas aos pesquisadores ou aos professores especialmente bons, seja parcialmente independente das oscilações no desempenho dos governos.

Talvez ele não deva ser totalmente mantido pelo governo. Talvez esforços maiores para a obtenção de fundos privados possam funcionar. Possivelmente mais confiança em, e mais contato, com instituições mais permanentes, como escolas religiosas, possa sustentar a continuidade desses esforços.

Discuti os problemas da forma mais direta e franca possível, como eu os vejo. Não quero fazer criticismos a esmo, exceto dentro do mesmo espírito que qualquer discussão que teremos mais tarde poderá significar uma crítica. Porque, certamente, não vamos todos achar que está tudo bem com a situação atual da educação em física na América Latina. Se assim fosse, não teria havido este encontro. Tentei evitar um excesso de propostas específicas de como atuar, porque este é o nosso trabalho para o restante deste encontro.