

Dupla transferência

O caso da mecânica dos solos

Milton Vargas

INTRODUÇÃO

Quando se discute atualmente o processo de transferência de tecnologia de um país mais desenvolvido para outro menos, é comum enfocá-lo como um processo econômico muito próximo do de importação de mercadorias. Sob tal ótica, haveria um agente estrangeiro detentor de um produto, aparelho ou projeto, elaborado, construído ou industrializado por seus parceiros, detentores de conhecimentos e autores de realizações técnicas, dos quais resultara o produto. Esse agente se disporia então a vendê-lo, emprestá-lo ou instalá-lo cobrando *royalties*, juros e dividendos.

Não há dúvida que a transferência de tecnologia, realizada sob tal enfoque, resulta numa subordinação do desenvolvimento tecnológico do país receptor ao país produtor. Pois provavelmente conduziria a uma industrialização subordinada aos interesses econômicos vigentes nos países já industrializados. Evidentemente uma tal indústria se limitaria a produzir localmente aquilo que foi estudado, pesquisado e comprovado no estrangeiro, sem interesse ou conveniência direta no desenvolvimento sociocultural do país comprador. É o que se denomina atualmente de "vassalagem industrial" de uma nação em relação à outra.

Note-se, entretanto, que todo esse enfoque está subordinado à idéia errônea de que é a indústria (ou a agricultura) que puxa a tecnologia, sendo essa última a puxar o desenvolvimento social. A indústria (ou a agricultura) está muito mais relacionada com a técnica (industrial ou agrícola) do que diretamente com a tecnologia. Porém, é essa última que se relaciona com o desenvolvimento. Assim, se se distingue técnica, como um simples saber-fazer; e tecnologia, como a utilização de conhecimentos científicos na solução de problemas técnicos, não será mais possível confundir a tecnologia com os seus produtos industriais (ou agrícolas). Assim, ela não poderá ser entendida como mercadoria que se vende ou compra; mas sim, como saber que se aprende; isto é cultura. Note-se que cultura é constituída pelo acervo de saberes, artes e crenças de um povo, quando esse acervo é subordinado a uma unidade de ponto de vista que o caracteriza como tal. Assim, a tecnologia é cultura quando unificada a todas as outras manifestações sapienciais e artísticas de um determinado povo. Mas, quando ela é entendida como objeto isolado de transações comerciais não pode mais ser considerada cultura.

Pois é provável que, sob esse novo enfoque, seja possível efetivar-se mais convenientemente todo processo de transferência de tecnologia, necessário para o desenvolvimento econômico dos países mais pobres. Com efeito, a aquisição de conhecimento tanto das ciências básicas como das aplicadas é relativamente desimpedida. É conseguida através de livros, revistas, correspondência direta, cursos e congressos e, mesmo, por aprendizado local com professores estrangeiros. Por outro lado, a aquisição de conhecimentos técnicos é mais difícil e, muitas vezes, barrada por patentes industriais. Já há mesmo a tendência, não só nas indústrias que fazem suas próprias pesquisas, como tam-

MILTON VARGAS é professor titular aposentado da Escola Politécnica da USP e foi chefe da Seção de Solos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. É autor de vários livros, entre eles *Metodologia da pesquisa tecnológica* Editora Globo).

bém nas próprias universidades, de patentear teorias. Esse é um novo sério entrave à utilização de conhecimentos científicos no desenvolvimento das nações. Contra essa prática as nações menos desenvolvidas deveriam se rebelar. Seria urgentemente necessário que cortes internacionais definissem o que pode e o que não pode ser patenteado. É justo que se patenteie um processo de fabricação industrial; mas não é justo que se subordine um conhecimento teórico a pagamentos de *royalties*. O puro conhecimento deve ser considerado, como ainda o é na ciência pura, patrimônio da humanidade – res-salvada, evidentemente, a autoria de seu descobridor. Essa deve ser honrada, mantida, prestigiada e defendida, mas não comercialmente. A cobrança pela cessão de direitos de uso, ou transferência de *know-how* dos processos industriais, é um direito comercial do seu detentor. Mas qualquer tentativa de cobrança de conhecimentos científicos publicados não deve ser respeitada. Por outro lado, sabe-se que é praticamente impossível manter por muito tempo em segredo uma descoberta científica. Na maioria das vezes os avanços de conhecimento científico resultam de um determinado estado alcançado pela ciência, em sua forma universal. Daí ser comum surgirem, mais ou menos simultaneamente, os mesmos resultados nas pesquisas de diferentes cientistas. Enfim, é necessário manter-se, a qualquer custo, a internacionalização dos conhecimentos científicos, para que se preserve a liberdade das nações, em face do seu desenvolvimento tecnológico.

Sob essa perspectiva pode-se supor que a transferência por compra de tecnologia é um problema econômico – com todas suas vantagens e desvantagens – que afeta a economia industrial; mas é um equívoco, pois o afetado, em questão, é o próprio desenvolvimento nacional. O que pode romper estruturas sociais inibidoras do desenvolvimento é a aquisição de cultura e, dentro dessa, conhecimentos científicos. Dessa forma, seria às universidades, em íntima relação com institutos de pesquisa, que caberia, nos países em desenvolvimento, absorver os conhecimentos científicos dos mais desenvolvidos, para utilizá-los na solução de problemas técnicos, a fim de satisfazer necessidades nacionais. Contudo, é preciso convir que, se o desenvolvimento de um país é primordialmente cultural e, só depois, industrial, não se pode negar uma constante e necessária retroação entre os dois pólos – sem a qual a síntese final não se realiza.

É verdade que a forma de transferência de tecnologia através do aprendizado é lenta e custosa; provavelmente mais cara que a tecnologia comprada. Sendo lenta contraria a uma urgência, própria dos tempos atuais, de sair do subdesenvolvimento o mais rapidamente possível. Portanto, é necessário que a forma industrial coexista com a forma cultural. Mas isso só se pode dar convenientemente quando já se tiver desenvolvido uma certa consciência nacional de comprar quando é conveniente, sem prejuízo de aprender quase sempre. Além disso, o aprendizado tecnológico tem que ser progressivo, enfrentando erros e fracassos, por etapas, desde as tecnologias mais simples, só chegando às mais avançadas quando as mais simples estiverem dominadas. Isso, num mundo em progresso acelerado, pode ser fator de aparente atraso; mas é um atraso fecundo em face da esterilidade de se pretender saltar etapas culturais.

Esse enfoque cultural da transferência de tecnologia traz em si o problema de sua adaptação ou adaptabilidade à sociedade para a qual é transferida. Em que circunstâncias a tecnologia deve ser adaptada às condições sociais locais? Ou: haveria vantagens culturais no fato dessas condições locais serem adaptadas à tecnologia importada? Aceitando-se que a aquisição de tecnologia não é um fim em si, mas algo que visaria o desenvolvimento socioeconômico da nação, não se poderia pensar em adquirir tecnologia sem a modernização do país, isto é, sem a transformação social do país, no sentido de assimilá-lo aos países desenvolvidos. Mas isso, na maioria das nações, só poderia ser feito com uma violenta ruptura das tradições nacionais. Esse problema é pungente nos países asiáticos, onde há um subdesenvolvimento econômico ao lado de elevada cultura tradicional, mas é quase inexistente na América Latina, onde o subdesenvolvimento econômico alia-se à pobreza cultural.

Daí o caráter dialético e de retroação que torna o processo de desenvolvimento tecnológico extremamente complexo. Além de toda sua complexidade econômica e cultural o processo exige certas “chances” históricas, certas qualidades humanas e, mesmo, biossociológicas que nem todos os povos possuem. A capacidade das sociedades em adaptarem-se às tecnologias e à sua própria capacidade de inovar, depende não só de conhecimentos adquiridos mas, também, de sua própria competência em resolver complexos problemas que surgirão na aquisição de tecnologias.

Note-se que a ciência moderna surgiu na Europa Central no século XVII, como algo de radicalmente novo, trazendo em seu bojo o germe da tecnologia atual. Portanto, es-

tava ligada historicamente às condições sócio-histórico-culturais daquela região, naquela época. Mesmo na Europa Central a tecnologia só se firmou nos meados do século XIX, quando lá foram estabelecidas condições que tornaram possível o sucesso da utilização de conhecimentos científicos na solução de problemas técnicos. O que, aliás, só veio a se completar plenamente, muito recentemente, com o advento da computação eletrônica. Daí a razão por que, até hoje, um número muito limitado de nações conseguiu adquirir pleno desenvolvimento tecnológico autônomo.

Só no final do século passado a tecnologia, como associação de ciência e técnica, se expandiu para a Rússia, os Estados Unidos e, finalmente, para o Japão. Mas só se estabeleceram como autônomas nesses países no início do presente século. No restante do mundo, tal não aconteceu. Na Península Ibérica e conseqüentemente na América Latina, a ciência moderna só veio a ser considerada no final do século passado e a tecnologia só teve aqui entrada no início desse século. Mas a independência científica e a autonomia tecnológica ainda está para ser conquistada.

Esse fato histórico mostra que a aquisição de tecnologia sempre foi precedida pelo estabelecimento de uma ciência independente. A simples industrialização do país não é suficiente para se chegar à autonomia tecnológica. A tendência atual da instalação de complexos industriais em países menos desenvolvidos, a fim de aproveitar condições favoráveis de mão-de-obra e incentivos fiscais, não garante a aquisição de tecnologia, se essa não for assegurada pelo estabelecimento local de uma ciência independente.

TÉCNICA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Em toda essa argumentação que vimos fazendo, o essencial é distinguir técnica de tecnologia e, essa última, de ciência. Técnica é uma dessas palavras que de tão gerais tornam-se difíceis de definir ao mesmo tempo que, por abranger atividade fundamental do homem, adquirem significado óbvio. Pois a técnica, como um simples saber-fazer manual, surge juntamente com a linguagem na aurora da humanidade.

A técnica é assim uma atividade humana baseada num aprendizado simbólico; isto se dá quando na mente do fabricante forma-se a imagem do objeto fabricado. A paleo-etnologia atual vem mostrando evidências claras desse processo. Por isso é que ela pode aperfeiçoar-se ao longo dos anos; pois traz consigo a propriedade dos símbolos lingüísticos de, associando-se entre si, denotarem situações e objetos novos a serem inventados.

Assim, a técnica evoluiu de um estado auroral, mítico, em que o saber-fazer instrumentos aperfeiçoou-se lentamente, durante milhares de anos, até o estado artesanal em que foi possível ser ensinada por tratados, tais como a *Medicina* de Hipócrates ou a *Arquitetura* de Vitruvius. A princípio tratava-se de segredos revelados aos homens pelos deuses, depois passou a ser ensinada de geração em geração pelos mestres aos aprendizes. Note-se que dois inventos da técnica mítica deram origem à História: a escrita e a contagem do tempo. Mas a técnica artesanal só pôde vir a estabelecer-se com o fim das civilizações míticas, quando a evolução do espírito humano permitiu o pensamento unitário, capaz de abranger a realidade sob um ponto de vista individual. Isto é, quando pôde aparecer o mestre, como uma pessoa perfeitamente individualizada, autor dos processos técnicos e capaz de ensiná-los aos aprendizes.

Porém, ao contrário do que aparenta, a ciência não nasceu com o homem. Pelo menos no seu conceito ocidental, ela é um tipo de saber teórico (*episteme theoretike*) que surgiu em tempos históricos, no século VI a. C. na Jônia e que tem autores perfeitamente conhecidos: os filósofos gregos. A nossa ciência é, portanto, um saber originariamente teórico. A teoria nasceu com a geometria grega, quando se percebeu que, além do triângulo toscamente traçado na areia, havia um triângulo perfeito cujas propriedades poderiam ser deduzidas logicamente de axiomas evidentes por si próprios. Cremos que uma descrição perfeita desse novo tipo de saber está num dos mais antigos textos quase completos da filosofia grega: o poema de Parmênides. A nova forma de pensar é revelada a Parmênides pela deusa da sabedoria, quando ela lhe mostra que pensar e ser são a mesma coisa, mas que, no pensar, há dois caminhos a tomar: o da verdade, que leva ao conhecimento do ser, como aquilo que é idêntico a si mesmo e não contraditório; e o das opiniões baseadas em aparências enganosas que conduzem à falsidade. A teoria é o primeiro caminho, quando o pensamento é conduzido pelos três princípios que irão formar o embasamento da lógica: o da identidade, o da contradição e o do terceiro excluído (não há outro caminho senão o da verdade ou o da falsidade).



Embora seja comum dizer-se que Parmênides funda uma metafísica, é possível também interpretar seu poema como a revelação da maneira de pensar teórica, necessariamente conduzida pela lógica. Mais tarde isso vem a ser confirmado por Aristóteles, quando subordina todo seu sistema teórico ao pensamento guiado pela lógica: o instrumento (*organon*) para a procura da verdade. E assim, tanto a filosofia como a matemática gregas se estabelecem como sabedorias teóricas: a primeira como *noiesis* (conhecimento do essencial nas coisas), a segunda como *dianoia* (conhecimento propedêutico da filosofia). São essas últimas a origem da nossa ciência. Portanto, originariamente, ciências são sistemas teóricos, organizados de acordo com as regras da lógica e, conseqüentemente, verdadeiros em si.

Na Grécia antiga, o interesse que movia tais sistemas foi originariamente o conhecimento da natureza (*peri physeis*), mas, com a derrocada do mundo antigo, o desinteresse pela natureza e o estabelecimento do cristianismo, eles voltaram-se para o conhecimento de Deus. Desta forma o pensamento teórico foi preservado e atravessou toda a Idade Média como teologia (o conhecimento teórico de Deus). Mas, já no fim dessa época, o interesse pelo conhecimento da natureza retornou, curiosamente através da própria teologia, como interesse pelas coisas criadas por Deus. Mas, então, a verdade dos sistemas teóricos, baseados no manejo do instrumento da lógica, foi abalada. As disputas teológicas entre os monges medievais



já tinham abalado esse alicerce; pois a lógica começara a ser entendida mais como um instrumento para formar argumentos corretos do que para alcançar a verdade. Com o novo interesse pela natureza, esses argumentos deveriam, para serem verdadeiros, adequarem-se àquilo que era visto e vivido nela. No Renascimento esse novo critério de verdade, como "visão direta" domina o pensamento. Daí a sentença de Leonardo da Vinci: "A experiência é a mestra da razão".

Com isso tem origem a Ciência Moderna, como um sistema teórico, organizado coerentemente pela lógica, mas cujas conclusões deveriam ser confirmadas pela experiência. Contudo, com Galileu aperfeiçoa-se mais o conceito de ciência, pela idéia de que a experiência não pode ser qualquer, simplesmente vivida pela observação através da "visão direta". Ela deve ser um "experimento", ou "observação", cuidadosamente organizado, levando em conta o que se pensou teoricamente sobre o fenômeno em estudo. Essa é a forma atual da ciência.

No início do século XVII, dois fatos cooperaram para o aparecimento da tecnologia como uma aproximação da técnica com a ciência moderna. O primeiro foi o aparecimento, na Europa, de uma crença de que tudo que pudesse ser feito pelo homem poderia sê-lo por intermédio de conhecimentos científicos. O segundo foi que a ciência experimental exigia, para seus experimentos, instrumentos de medida precisos que teriam de ser fabricados ou por cientistas com dotes artesanais, ou por artesãos, informados pelas teorias científicas. Dentro desse contexto é que se compreende porque Galileu inicia os seus "Discursos sobre duas novas ciências", evocando o que costumava observar nos arsenais de Veneza, quando presenciava como agiam os artilheiros ao construir navios. É justamente uma das suas "novas ciências" a que hoje se chama Resistência dos Materiais – uma ciência aplicada, onde se ensina a aplicação dos teoremas da mecânica racional ao problema técnico do dimensionamento das peças resistentes de uma estrutura ou de uma máquina.

Essa, sem dúvida, foi a origem da tecnologia como utilização das teorias científicas na solução de problemas técnicos. Mas, como utilização, foi malsucedida por muito tempo ainda. Vários cientistas decidiram resolver problemas técnicos sem êxito. Os primeiros sucessos apareceram ao se explicar o funcionamento das máquinas a vapor por meio de teorias científicas. Esse sucesso firmou-se com a aplicação de teorias científicas para a construção de máquinas elétricas e confirmou-se com a eletrônica, não se sabe exatamente onde termina a ciência e começa a técni-



ca. É o conjunto interativo de ciência, técnica e suas aplicações práticas na engenharia, na indústria ou na agricultura que forma o que poderíamos chamar de sistema tecnológico, o qual, aliás, não é isolado a um único campo de aplicações, nem a uma só disciplina científica ou processo técnico. As tecnologias tendem a unificar-se de tal forma que cada uma interage sobre as outras e o desenvolvimento tecnológico tende a ser global.

A tecnologia alimenta a engenharia, a indústria e a agricultura, e é alimentada pelas ciências aplicadas e essas pelas ciências básicas. Mas não há um contato direto entre essas várias instâncias. Entre elas há o que se pode chamar de “filtros sociais”, constituídos por órgãos de educação, de gerenciamento e orientação científicos e tecnológicos, comunidades científicas e profissionais, e, também, a opinião pública e os governos. São tais “filtros” que apressam ou atrasam o desenvolvimento tecnológico e julgam a conveniência ou adaptabilidade das tecnologias. Enfim, são esses também que atuam como instâncias éticas para julgar o perigo ou a moralidade de uma determinada ação tecnológica.

MECÂNICA DOS SOLOS

Até a década de 20 do presente século, os problemas de engenharia relacionados com o solo (fundações de estruturas, muros de arrimo, aterros e cortes de estradas, barragens de terra, etc.) eram resolvidos por processos técnicos, envolvendo apenas um mínimo de conhecimentos científicos. Isto é: utilizavam-se técnicas construtivas que eventualmente apareciam em manuais ou tratados de construção, baseadas em conhecimentos adquiridos no ofício da própria profissão ou transmitidos de geração em geração, pelos mestres de obras aos seus aprendizes.

É verdade que desde os tempos da Revolução Francesa já havia, principalmente na França, o interesse por parte de matemáticos e físicos em aplicar teorias científicas na solução de problemas técnicos. Um exemplo notável é o de Coulomb, que publica em 1776 seu *Ensaio sobre a aplicação das regras de máximo e mínimo a alguns problemas de estática relativos à arquitetura*. Com a criação da “École Polytechnique” em 1774 as aplicações da matemática à solução de problemas técnicos avolumaram-se; mas, na área das técnicas de fundações e obras de terra, elas mantiveram-se muito tímidas, até que em 1925 Karl Terzaghi publicou, em Viena, seu clássico livro *A mecânica dos solos – baseada em princípios da física dos solos*.

Era tal a necessidade dessa sistematização, naquele momento em que a engenharia civil desenvolvia-se vertiginosamente, que foram criadas cátedras de Mecânica dos Solos nas principais politécnicas do mundo, tais como na “Technische Hochschule” de Viena em 1924, no M. I. T., em 1926, e até numa universidade humanística como a de Harvard, em 1932, onde tinha sido criada uma “Graduate School of Applied Sciences”. Entretanto, a nova ciência aplicada só se estabeleceu internacionalmente quando um discípulo de Terzaghi, Arthur Casagrande, organizou um congresso internacional em Cambridge, Mass., em 1936.

A partir de então estabeleceu-se como prática corrente na engenharia civil de solos e fundações a utilização das teorias, processos e ensaios da mecânica dos solos: uma ciência aplicada à solução dos problemas de engenharia relacionados com os solos, baseada na mecânica racional e na física dos solos. É verdade que, antes disso, já havia uma geologia aplicada visando a solução de problemas não só de mineração como também de engenharia civil. Na década de 40, apareceu uma mecânica das rochas para a solução de problemas técnicos relacionados com as rochas. E o conjunto da mecânica dos solos, mecânica das rochas e geologia aplicada à engenharia, veio a tomar o nome de geotecnia, ou melhor, geotecnologia.

Assim formou-se um sistema tecnológico, baseado em teorias, métodos e processos da mecânica racional, da física e da geologia utilizado na solução de problemas técnicos relacionados com o uso do solo, como material de construção, como suporte de estruturas ou obras de terra. Note-se que há uma diferença entre engenharia civil, como profissão daqueles que projetam e constroem estruturas, estradas, portos, canais, etc., e tecnologia civil, como utilização de conhecimentos científicos na solução de problemas envolvidos em tais obras.

No Brasil só se pôde contar com uma tecnologia de solos quando essa começou a ser transferida dos países mais desenvolvidos para cá, a partir da década de 30, por intermédio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. Como se processou essa

transferência é que se pretende aqui transcrever, a fim de ilustrar o que já foi dito a respeito do processo de transferência de tecnologia, à luz do conceito de tecnologia que aqui se adotou.

Essa transferência foi iniciada por idéia de Ary Torres, então superintendente do IPT quando esse entrou em contato com o prof. Arthur Casagrande, da Universidade de Harvard, em 1937, para enviar aos EUA o jovem engenheiro do IPT, Odair Grillo, a fim de receber os ensinamentos necessários para a organização, no IPT, de uma Seção de Solos e Fundações, com a finalidade de desenvolver e aplicar, no Brasil, os preceitos da mecânica dos solos às nossas obras de engenharia civil.

É verdade que já havia, nessa época, vários precursores de mecânica dos solos – quer defendendo teses no estrangeiro, como por exemplo Alberto Ortenblad; quer publicando trabalhos na *Revista Brasileira de Engenharia* como, por exemplo, Emidio de Moraes Vieira; quer utilizando métodos de geologia aplicada em construção de estradas ou represas d'água, como o geol. Arrojado Lisboa – mas a institucionalização generalizada da mecânica dos solos no Brasil é obra do IPT. Mas, de qualquer forma, já havia uma tradição de ensino e prática da engenharia e da geologia por mais de um século. Essa tradição foi básica para o sucesso da transferência em questão. Não existisse ela não se poderia contar com uma massa crítica de engenheiros ou geólogos capazes de receber os ensinamentos tecnológicos, difundi-los e aplicá-los em seus estudos, projetos e obras. Essa é, na realidade, a primeira condição para que se dê realmente qualquer transferência de tecnologia.

Quando Odair Grillo regressou ao Brasil, em 1938, após ter assistido ao curso de Mecânica dos Solos, ministrado por Arthur Casagrande, na Universidade de Harvard, e visitado o prof. Karl Terzaghi, na “Technische Hochschule” de Viena, dois problemas técnicos relativos aos solos afligiam a engenharia civil brasileira. Eram o das fundações de pontes e grandes estruturas de concreto armado que começavam a ser construídas, em São Paulo e no Rio, e o da pavimentação das estradas de terra que tinham sido abertas, a partir dos anos 20. A primeira tarefa do IPT foi então desenvolver um método de sondagem adaptado à exploração do subsolo para fins de engenharia civil – pois os métodos aqui empregados para mineração ou pesquisa de água subterrânea não permitiam a retirada de amostras representativas do solo para fins geotécnicos – e a montagem de um laboratório para os ensaios físicos e mecânicos das amostras colhidas.

Entretanto, para a solução e aplicação prática desses problemas, fazia-se necessário uma estreita colaboração entre o instituto de pesquisa e uma organização pública ou privada que utilizasse os resultados das pesquisas em obras de engenharia. Essa colaboração foi conseguida através de um convênio muito bem-sucedido entre o IPT e o Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo, DER.

A técnica específica de sondagens foi desenvolvida e adaptada às condições do país, começando pelo projeto e construção de um equipamento nas próprias oficinas do IPT e, depois, pelo aprendizado do uso do mesmo, durante todo o ano de 1939, na exploração dos terrenos de fundação de dezenas de pontes rodoviárias do DER de São Paulo. Quando considerada já suficientemente esclarecida e adaptada ao nosso meio, a nova técnica de sondagens foi divulgada em publicação do IPT. Daí, então, começou a ser utilizada na investigação dos terrenos de fundações dos edifícios altos de São Paulo e, em seguida, adotada por firmas particulares que se encarregaram, desde então até hoje, à prática da exploração do subsolo para fins de engenharia civil.

A partir dos dados e amostras obtidos em tais sondagens foram projetadas e construídas as fundações de grandes edifícios, primeiramente em São Paulo e depois no Rio e, atualmente, em todas as grandes cidades do país. Para aprimorar as técnicas de fundação a Seção de Solos do IPT, desenvolveu um programa de pesquisa tecnológica concernente à capacidade de carga de sapatas, estacas e tubulões, além da observação do comportamento das fundações de cerca de vinte grandes edifícios de São Paulo e Santos. Pela primeira vez os resultados dessas pesquisas foram apresentados em congresso internacional, realizado em Rotterdam em 1948.

No que se refere ao campo de pavimentação de estradas, tratava-se, na época, de introduzir no Brasil a técnica dos pavimentos de solos estabilizados – com o que se procurava resolver o problema daquelas novas estradas: o excesso de poeira na estação seca e de lama, na chuvosa. Uma longa série de investigações, tanto de laboratório como de campo, a princípio quase desencorajadas – porque o tráfego de nossas estradas já era intenso demais para a adoção de pavimentos simplesmente estabilizados – chegou-se à solução final das bases de pavimentos estabilizados com cimento *portland* e revestidas



com uma capa relativamente delgada de asfalto.

Note-se que, nessa época, já estavam sendo traduzidas e adaptadas ao nosso meio as especificações para a construção de auto-estradas, semelhantes às *autobahnen* alemãs, que eram o máximo que se atingia na época em construção rodoviária. A finalidade era o projeto e a construção, na década de 40, das vias Anchieta e Anhangüera – nas quais a contribuição do IPT, tanto no projeto como no controle de construção de aterros, cortes e pavimentação, foi intensa. Assim, observe-se uma característica da evolução da nova tecnologia: a passagem quase imediata de técnicas simples de estabilização de solos, próprias às estradas vicinais, para as mais avançadas, necessárias para a construção de auto-estradas de alta velocidade e tráfego intenso.

A experiência adquirida pelo IPT na tecnologia da pavimentação de estradas tornou possível sua participação no projeto de pistas pavimentadas dos aeroportos Santos Dumont e Congonhas, e o estudo, adaptação e divulgação entre nós do método californiano de dimensionamento de pavimentos flexíveis de pistas aeroviárias – desenvolvido durante a guerra – em aeroportos brasileiros construídos em colaboração com o exército americano.

Uma terceira série de estudos foi iniciada em 1947, com os problemas de estabilidade das encostas da serra de Cubatão, durante os trabalhos de ampliação da usina hidroelétrica de Cubatão e da construção da Via Anchieta. Terzaghi veio ao Brasil, convidado pela “Light” para dar solução ao primeiro caso em 1947. Nessa ocasião ele introduziu, entre nós, a disciplina que estava ensinando em Harvard: a Geologia de Engenharia, com seis palestras na Escola Politécnica, abordando principalmente os estudos dos solos residuais que ocorrem nas zonas tropicais. Aliás, o estudo das características mecânicas dos solos residuais – isto é, provenientes da decomposição *in situ* das rochas – tinha sido iniciado no IPT desde 1941, durante a investigação do subsolo para as fundações da usina de Volta Redonda. A partir de então é que a geologia da engenharia foi sistematizada no Brasil, principalmente sob a ação de Ernesto Pichler, a princípio estreitamente correlacionada com escorregamentos de taludes naturais provocados por chuvas violentas, e mais tarde ligada aos estudos geotecnológicos para a implantação das usinas hidroelétricas que começaram a ser realizadas sob projeto e construção nacionais, na década de 50.

A instalação de um centro de pesquisa tecnológica no país, para onde se decide transferir tecnologia, só se torna eficiente quando há divulgação dessa tecnologia entre os seus possíveis usuários. No caso da mecânica dos solos essa divulgação deu-se por três vias principais. Primeiro: a publicação pelo IPT de tradução de trabalhos estrangeiros sobre a questão, imediatamente seguida pela de trabalhos nacionais relatando os resultados obtidos em experiência e observação de campo. Segundo: a vinda ao IPT de engenheiros de outros institutos nacionais de pesquisa, ou órgãos governamentais interessados em engenharia de solos, para organizarem seções de solos nos seus locais de origem. Assim, por exemplo, no Rio de Janeiro as pesquisas geotécnicas foram iniciadas em 1943, no Instituto Nacional de Tecnologia, por Mario Brandi Pereira que, no ano anterior, estagiara no IPT. A correlação carioca com órgãos usuários de tecnologia foi feita através do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem e de uma firma de fundações de origem belga. A primeira companhia nacional usuária da mecânica dos solos instalou-se simultaneamente no Rio de Janeiro e São Paulo, em 1945, sob a direção de Odair Grillo que naquele mesmo ano deixava o IPT, depois de haver terminado a organização da Seção de Solos daquele instituto. Terceiro: a instalação no país do ensino universitário da mecânica dos solos, junto aos cursos de engenharia civil; primeiramente integrado às cátedras de Materiais de Construção (no caso do Rio de Janeiro) ou de Pontes e Grandes Estruturas (no caso de São Paulo) e, posteriormente, como cadeira autônoma. Naquela época a principal finalidade desse ensino era, por um lado, tornar todos os engenheiros civis capazes de reconhecer e enfrentar problemas de engenharia relacionados com o solo e, por outro, formar especialistas e pesquisadores em engenharia de solos, para os quadros do ensino, da pesquisa e da atuação prática em geotecnologia. As universidades brasileiras só vieram a intervir diretamente em pesquisa geotecnológica a partir de 1964, quando foram instituídos os cursos de pós-graduação. Antes disso a pesquisa tinha sido restrita aos institutos de pesquisa.

Se se admitir que a mecânica dos solos adquiriu maioridade a partir do início da década de 50, poder-se-ia considerar que foi esse o início de uma fase importante da evolução do processo de transferência de tecnologia – a qual se caracteriza, por uma inversão do fluxo de conhecimentos, do país menos desenvolvido para o mais desenvolvido.

A tecnologia, ao ser adotada e adaptada a uma certa região cujas circunstâncias diferem das da origem, encontra novos problemas relacionados com essas novas circunstâncias, os quais exigem soluções e invenções de processos e instrumentos diferentes dos originais. As novas soluções são então exportadas para os países mais desenvolvidos e lá melhor assimiladas do que aqui, na cultura tecnológica geral. É que lá há meios melhores e mais aperfeiçoados e os pesquisadores dispõem de melhor organização de ensino, pesquisa e aplicação de resultados. Isso leva a considerar como correta uma conclusão de teoria de informação a qual diz que quando se estabelece um canal de informação entre dois meios, a informação, paradoxalmente, corre do menos para o mais desenvolvido.

Foi isso que aconteceu, no caso da geotecnologia brasileira, principalmente no campo dos solos tropicais a partir daquela época. Inicialmente, conhecimentos ainda precários sobre esse tipo de solo foram-nos transmitidos pelo próprio prof. Karl Terzaghi, como já foi dito, em suas conferências, aulas e atuação como consultor no Brasil, desde 1948 até meados da década de 50. Depois disso, porém, investigações de laboratório e observações de campo dos próprios tecnólogos brasileiros, sobre as propriedades tecnológicas dos solos residuais, foram-se avolumando. Aliás, numa conferência internacional, Terzaghi elegeu os engenheiros brasileiros como responsáveis pelo desenvolvimento da mecânica dos solos nessa área. A observação e análise de comportamento de estruturas sobre solos residuais em instalações industriais, tais como as da usina de Volta Redonda, trouxeram um conhecimento bastante preciso das intrincadas propriedades de tais solos. Isso permitiu, com outros eventos, a elaboração e defesa de uma tese de cátedra em 1952, sob o título "Resistência e compressibilidade das argilas residuais", na Escola Politécnica da USP, por parte do autor deste trabalho. Resumos dos resultados dessa pesquisa foram apresentados, em dois trabalhos, à conferência internacional realizada em Zurich, em 1953. Uma série de escorregamentos catastróficos de terra, em Santos, em 1956, foi motivo de trabalho pioneiro, sobre escorregamentos de solos residuais, apresentado internacionalmente em congresso realizado em Londres em 1957. Os acontecimentos catastróficos ocorridos em 1962 e repetidos em 1966 e 1967, no Rio de Janeiro, foram igualmente relatados em congresso internacional no México, em 1969, por dois eminentes engenheiros cariocas.

A partir de 1950, com a necessidade nacional de construir usinas geradoras de eletricidade, apareceu o problema do projeto e construção de barragens de terra – as quais se mostravam como técnica e economicamente mais convenientes para as circunstâncias nacionais. Dadas as conclusões geológicas prevalentes no país, tais barragens deveriam ser construídas com solos tropicais residuais ou colúviais. Isto exigiu a pesquisa das propriedades geotécnicas de tais solos, quando compactados. Assunto ainda então pouco conhecido nos países mais desenvolvidos, onde as condições geológicas e climáticas são outras. Tais pesquisas foram iniciadas nos laboratórios do IPT, porém, mais tarde, seguidas pelos laboratórios de solos tanto das universidades de São Paulo e do Rio, como nos de firmas particulares especializadas. Um dos primeiros trabalhos sobre o assunto apresentado ao congresso internacional de Mecânica dos Solos, no México, em 1969, é de autoria de um professor da USP. A alta capacitação nacional nesse ramo da engenharia de solos foi reconhecida internacionalmente quando um professor da USP – o qual, aliás, foi presidente da Sociedade Internacional de Mecânica dos Solos entre 1985 e 1989 – foi convidado a ministrar, em Londres, uma *rankine lecture* sobre a tecnologia de barragens de terra, em 1977.

Assim, o conhecimento das propriedades tecnológicas dos solos residuais e colúviais, formados em condições climáticas tropicais, firmou-se no Brasil a tal ponto que o primeiro congresso internacional sobre tal tipo de solos foi realizado em Brasília, em 1985. Foi essa a fase final atingida pela transferência de tecnologia no campo da mecânica dos solos, no Brasil. Já há agora uma retransferência de tecnologia, daqui para os países mais desenvolvidos. Esses, porém, mantêm-se como fontes produtoras de conhecimento, uma vez que absorvem nossos dados e observações e os incorporam a teorias e processos gerais. Essa presente situação só pode ser superada se houver um intenso desenvolvimento da nossa própria capacidade de realizar pesquisa tecnológica, baseado em pesquisas científicas fundamentais também aqui realizadas paralelamente às primeiras. Só assim será possível atingir-se uma tecnologia independente. Entenda-se, entretanto, por tecnologia independente não aquela que se isola, mas a que é capaz de estabelecer um fluxo retroativo e equilibrado entre centros de pesquisa e áreas de utilização de tecnologias igualmente capacitados.



Finalmente pode-se afirmar que foi o aprendizado, seguido da aplicação prática da mecânica dos solos, em particular, e da geotecnologia em geral – evidentemente ao lado de outras ciências aplicadas e tecnologias da engenharia civil – que permitiu o projeto e a construção, a partir de 1950, por firmas nacionais, das estruturas dos nossos complexos industriais e das estações geradoras de energia. Por outro lado, os problemas tecnológicos enfrentados durante essas obras retroagiram sobre os conhecimentos das tecnologias de solos, fundações e obras de terra e esses promoveram o desenvolvimento de ciências aplicadas e básicas, tais como, por exemplo, a geologia nacional e, pela necessidade do cálculo eletrônico, a própria matemática aplicada. O que ilustra o fenômeno de retroação dos vários ramos da tecnologia, das ciências e das indústrias, durante o processo de desenvolvimento econômico.

Note-se que, nesse processo, as próprias multinacionais que aqui se instalaram muito se beneficiaram da existência de uma engenharia civil já suficientemente desenvolvida. Disso se poderia concluir que, pelo menos, no caso brasileiro, a rápida transformação do país em exportador de bens manufaturados não é simples resultado da instalação, aqui, de indústrias multinacionais. Pelo contrário, o sucesso dessas ter-se-ia dado porque já havia aqui uma bem desenvolvida tecnologia civil.

CONCLUSÃO

Se se compreende por tecnologia um complexo sistema retroativo, pelo qual se estabelece a utilização de conhecimentos científicos na solução de problemas técnicos, ela não pode ser considerada como simples mercadoria que se venda ou compre, mas antes como cultura que se adquire evoluindo. É verdade que tais problemas técnicos aparecem principalmente na cultura material de uma nação: em sua indústria, agricultura ou pecuária, em sua engenharia, medicina ou nas profissões em geral. Mas sua solução adequada depende, além de habilidades técnicas, também de educação tecnológica baseada em aplicações científicas.

O caso da utilização, no Brasil, da mecânica dos solos, da mecânica das rochas e da geologia de engenharia, na solução de problemas técnicos relacionados com fundações de estruturas e obras de terra e rocha, ou em terra e rocha, ilustra o fato. Essa utilização foi bem-sucedida porque existe aqui a real necessidade de resolver problemas nacionais relacionados com edificações, transportes, energia e telecomunicações. Além disso, a aquisição da tecnologia adequada à solução desses problemas foi possível porque, em primeiro lugar, existe no país uma tradição de ensino da engenharia e da geologia de mais de cem anos. Em segundo lugar já aparecera no país a pesquisa tecnológica correspondente, em institutos de pesquisa no Rio e São Paulo. A terceira condição está no fato de que o processo de industrialização do país já evoluíra a ponto de permitir a atuação autônoma de uma indústria da construção civil.

Desta forma, a transferência de tecnologia de um país mais desenvolvido para outro menos só se fará eficientemente quando, nesse último, estabelecerem-se condições culturais aptas para absorver e utilizar a nova tecnologia. Assim sendo, o papel das universidades e dos institutos é tão importante quanto a instalação de organismos produtores industriais, agrícolas ou profissionais.

Mas, além de tudo, é necessária uma decisão nacional autônoma, pois é totalmente ilusório pensar que seja possível adquirir tecnologia – ou por compra ou por aprendizado – sem que se estabeleça uma retroação, não só entre vários setores tecnológicos, como também com o próprio sistema social da nação receptora. Portanto, é necessário que se garanta a existência de “filtros sociais” interpostos entre os vários órgãos do sistema tecnológico, a fim de que seja possível o julgamento público da conveniência, valor, vantagens e desvantagens e, mesmo, moralidade da aquisição e aprendizado de novas tecnologias.

BIBLIOGRAFIA

- GINZBERG, Eli. *Tecnologia e transferência social*. Rio de Janeiro, Ed. Forense, 1966.
MAMMANA, C. Zamitti. “A tradução matemática da tecnologia: teoria e aplicação”, in *Dados e Idéias* nº 3. Rio de Janeiro, dez.-jan./1976-77.
RATTNER, H. *Tecnologia e sociedade*. São Paulo, Ed. Brasiliense, 1980.
VARGAS, M. *O “logos” da técnica*. São Paulo, Publicação IPT-1789, 1989.
— . *O início da pesquisa tecnológica no Brasil*. São Paulo, Publicação IPT-1738, 1987.
— . “Origem e desenvolvimento da geotecnologia no Brasil”, in *Quiipu*, vol. 2, nº 2. México, maio-agosto/1985.