

Figura 5.1. - Aplicação do “Princípio do Caminho Mais Curto”.

É possível enunciar alguns princípios como esse, cujo conjunto pode nos ser útil na atividade de escritório, para comparação de alternativas, e na de ensino, para ilustrar as aulas com exemplos de conteúdos lógicos que aparecem na concepção.

Até aqui, discutimos mais detalhadamente a questão da sensibilidade estrutural, da avaliação intuitiva do comportamento estrutural, mas, no projeto estrutural, a intuição tem também outras funções.

Lembrando o que foi discutido no capítulo 4, devemos criar uma solução que atenda, otimizadamente, não só os requisitos de segurança mas também os construtivos, os estéticos, os econômicos e sobretudo os funcionais. Os requisitos primeiros são os funcionais.

Para que a nossa intuição seja capaz de nos sugerir soluções com reais possibilidades de atingirem esse objetivo, é necessário que os conhecimentos ligados a esses requisitos sejam também interiorizados, como o foram os conhecimentos estruturais, usualmente ligados ao atendimento dos requisitos de segurança em relação ao comportamento estrutural.

Embora existam profissionais especializados nos requisitos funcionais, como os arquitetos nas edificações, os engenheiros de transportes nas rodovias, os engenheiros de produção nas indústrias etc, o engenheiro, ou grupo de profissionais, responsável pela concepção da solução de uma grande estrutura, deve conhecer com profundidade esses requisitos e os conhecimentos que estão por trás deles, a ponto de tê-los interiorizado.

O mesmo se pode dizer dos requisitos estéticos, normalmente da responsabilidade dos arquitetos. Se as necessidades funcionais e estéticas forem interiorizadas pelo engenheiro, ao mesmo tempo que as outras pelo arquiteto, certamente o entendimento entre ambos será absolutamente natural, a experiência mostra isso.

Para completar, o responsável pela concepção deve ter também interiorizados os conhecimentos relativos aos requisitos construtivos e econômicos. A crescente competição entre as alternativas vem aumentando a importância dos requisitos econômicos e, mais recentemente, também dos construtivos.

Considere-se um engenheiro responsável pela concepção de um viaduto. Ele deve necessariamente conhecer o preço, a disponibilidade e as aptidões dos materiais e dos métodos construtivos alternativos. Mais que isso, ele deve ter todos esses conhecimentos interiorizados! Na verdade, preço e disponibilidade são informações mais fáceis de obter e incorporar, mas aptidões de materiais e métodos construtivos, isto é, as vantagens e as desvantagens de cada material e de cada método, não. Assim, esse engenheiro deve se dedicar também a esses conhecimentos.

Se ele for, como usualmente, um engenheiro de estruturas, isso não quer dizer que ele deva se tornar um especialista em tecnologia de materiais ou em métodos construtivos, mas ele deve conhecer as essências, podendo, sempre que necessário, recorrer a um especialista.

Pode-se dizer que, em relação aos materiais ou aos métodos construtivos, são essenciais suas qualidades, suas limitações e suas exigências. Assim, por exemplo, em relação a um equipamento, devemos conhecer suas qualidades, inclusive sua performance, suas limitações, sobretudo os casos em que ele não é aplicável, e suas exigências, como por exemplo, gabarito de acesso, área de manobra, terreno de apoio, alimentação etc. Conhecimentos ligados ao seu funcionamento interno e sua manutenção não são, por exemplo, necessários.

A importância da interiorização desse conjunto complexo de conhecimentos se observa pelos resultados que possibilita, isto é, pela qualidade das soluções concebidas. Quanto mais completo e interiorizado está esse conjunto, mais amadurecido está o entendimento de problema e mais amadurecida deve ser a conclusão intuitiva, isto é, a solução proposta.

Como, inevitavelmente, cada profissional tem lacunas nesse conjunto de conhecimentos, a equipe precisa compensá-las, juntando profissionais que se complementem. Cabe ao coordenador de projeto orquestrar o trabalho da equipe de forma que a solução seja a mais equilibrada possível, evitando que algumas características hipertrofiadas da equipe gerem soluções desequilibradas.

Dentro de uma visão dialética da evolução da construção civil, a antiga tese de que é possível projetar e construir com base essencialmente em conhecimento intuitivo veio dando lugar à antítese de que os modelos matemáticos são a grande ferramenta do engenheiro, especialmente nos últimos 50 anos. Como é natural no processo dialético, a intuição teve sua importância muito diminuída, até mesmo negada e ridicularizada. Assim, tanto alunos como engenheiros, mesmo aqueles dotados de uma capacidade intuitiva natural, tiveram o desenvolvimento de sua intuição obstruído.

Nos últimos vinte anos, a crescente aplicação do computador veio agravar a situação. A velocidade do computador veio dificultar ainda mais o amadurecimento intuitivo e o desenvolvimento de confiança na avaliação intuitiva, a ponto do projetista preferir, no mais das vezes, a segurança da solução matemática, sobretudo quando ela é obtida por computador, ao risco de um questionamento ou avaliação intuitivos que por ventura apareçam. Por conseqüência, sempre que possível, as próprias decisões são transferidas para os números, para o computador.

Esses fatos ficam bastante evidenciados em algumas publicações.

Em primeiro lugar seria oportuno citar uma frase de Burland ^(5.14), em interpretação e tradução do autor: "O computador aumenta muito a velocidade com a qual produzimos em engenharia, mas aumenta bem mais a velocidade de produção de lixo que a de boas soluções".

Em seguida, vale a pena lembrar MacGregor^(5.15), que procura interligar essas dificuldades recentes do projeto estrutural com a personalidade usual do engenheiro de estruturas. De personalidade meticulosa, até perfeccionista, atenta a todos os detalhes, o engenheiro de estruturas, muitas vezes, confia demais nos seus métodos e modelos, a

(5.14) - Essa frase foi ouvida pelo autor na palestra de Burland, no Simpósio sobre Túneis e Escavações em Solos, realizado na FAAP, São Paulo, em 1981.

(5.15) - MacGregor, J.G., "The structural design process" - Vigésimo Congresso do IABSE, Vancouver, 1984.

ponto de pensar que pode estar livre de erros, de não aceitar críticas e de não gostar de discutir seus eventuais erros. Ocorre, até, que algumas empresas atuem no mercado de engenharia dentro dessa posição, negando, sempre e *a priori*, qualquer possibilidade de erro em seus projetos. Dentro desse ambiente, o espaço para a intuição fica muito reduzido e o auxílio que ela nos poderia trazer fica perdido.

Por conseqüência, a qualidade dos projetos fica inevitavelmente comprometida, em função do insuficiente desenvolvimento da fase de concepção.

Nesse artigo MacGregor divide o processo do projeto estrutural em 7 partes:

- “1. Problem identification and planning.
2. Generation of conceptual solutions.
3. Appraisal of consequences of various conceptual solutions.
4. Decision.
5. Checking, evaluation and elaboration.
6. Construction.
7. Testing and feedback”.

E comenta:

“The emphasis placed on each stage varies from engineering discipline to discipline and design to design. In the design of a major bridge, the structural designer and his team will carry out or be associated with all seven stages. In building design however, the architect and/or the client frequently assume responsibility for the definition of the problem and the selection of the major components of the conceptual solution, leaving the structural engineer involved only in the fifth stage... More often than not this leads to a less than optimum solution since the architect is working outside his area of expertise and the structural engineer is required to follow blindly.

In geotechnical engineering, particularly in the case of dams, slopes and deep excavations, the testing and monitoring of the structure during and after construction, and the feedback from this monitoring to the designer and the professional community is an essential stage of the design process...

Structural engineers believe implicitly that their analyses and the underlying assumptions are correct and nothing can go wrong...

Structural engineering, as it is taught at many universities and seen by many practitioners, centers around stage 5c to 5e in the above list. These steps, particularly 5c, structural analysis, are amenable to a pseudo-scientific treatment and decisiveness that appeals to many people who enter engineering. If the basic decisions can be made by a computer analysis, the engineer will not have to make them. The reasons for this emphasis on scientific treatment become more evident when we examine the personality characteristics of engineers”.

Para discutir o questão da personalidade do engenheiro, MacGregor cita os estudos do Dr. Charles Goshen:

“The engineer’s most obvious characteristic is his precision, his meticulousness, his attention to detail and accuracy, or his perfectionism. Another striking quality is his intelligence ...[which]... tends to be used in a very specialized way. There is an obvious lack of broadness in point-of-view so that the superior intelligence he has is restricted to a narrow field with the result that he is likely to know a great deal about a little bit but knows only a little bit about the world at large.

He seems to exhibit an enormous need to be right. Actually, when we get to know him, we find he is primarily interested in trying to avoid being criticized for being wrong. As a result, he demonstrates an outstanding sensitivity to criticism.

...The engineer is most useful to his organization when he has new ideas and develops them in collaboration with other new ideas. ... However the engineer’s fear of taking a chance with a new idea, based on his dread of failure and criticism often prevents him from coming up with new ideas his organization needs”.

E conclui:

“These excerpts have been quoted because they give us an insight into a major problem in structural engineering practice - the acceptance of new ideas and new methods. When the seven stages in design listed earlier are considered in light of Goshen’s comments we see that the stereotype engineer should be particularly able to carry the stages 3 to 6, especially stage 5, but will tend to be less able or interested to deal with stages 1 and 2, and may be sufficiently concerned about the outcome of stage 7 to overlook it”.

Em terceiro lugar, não devemos deixar de acrescentar o ponto de vista de Cauvin e Stagnitto^(5.16), segundo o qual, como consequência do desprezo pelo conhecimento intuitivo, muitos projetos recentes, de concepção pouco feliz, têm sido projetados e construídos, superando-se, a duras penas durante a obra, as dificuldades construtivas, econômicas e estéticas. De fato, desde que a estrutura não seja hipostática, as ferramentas de cálculo modernas as dimensionam com precisão, independentemente de suas qualidades. Isto é, os programas de cálculo simplesmente calculam as estruturas, não sabendo avaliar a qualidade de sua concepção, parabenizar ou criticar o projetista ao final de seus cálculos.

No artigo citado Cauvin e Stagnitto concluem: "The technical achievements of the master builders of the gothic period, who were able to conceive, dimension and build highly efficient structures were not probably the result of scientific discoveries (as we intend them today) which were kept jealously secret and were subsequently lost. These results were the product of an intuitive structural knowledge they were able to refine to an extraordinary degree. The modern engineers and architects, well equipped with structural analysis procedures, often lack this kind of intuition: the results are badly conceived and well analyzed structures. We need to cultivate this kind of qualitative understanding of structural behaviour which only can assist the designer in the initial (and most important) conceptual phase of structural design".

O autor acredita que o meio técnico está amadurecido para construir agora a síntese desse processo dialético, em que se juntam o computador e os métodos modernos, mais sofisticados de cálculo, à intuição e aos métodos tradicionais, mais simples. A intuição e os métodos mais simples são fundamentais na fase de concepção e predimensionamento, servindo ainda como modelo de verificação dos modelos mais sofisticados, quando esses forem efetivamente necessários.

Existe inclusive uma possibilidade de aproximação da intuição e do computador, que serviria como ferramenta para o desenvolvimento da intuição. De fato, se formos calculando e comparando cada uma das alternativas e as correspondentes previsões intuitivas, mudando uma coisa de cada vez, esse será um ótimo exercício para o desenvolvimento da intuição.

(5.16) - Cauvin and Stagnitto, "Criteria of design and methods of structural analysis of gothic ribbed vaults, using traditional and computer methods" - Anais do Congresso de Estruturas Espaciais: Herança, Presente e Futuro, Itália, 1996.

5.7. Aspectos favoráveis ao desenvolvimento da intuição

Esse capítulo não poderia ser encerrado sem que se alinhassem umas tantas circunstâncias favoráveis ao desenvolvimento do conhecimento intuitivo, da capacidade e da confiança adequada na avaliação intuitiva.

Elas podem ser resumidas, (ver também ^(5.17)), em:

1. Necessidade de um problema a resolver

Ter um problema a resolver ou uma solução que se considere insatisfatória é condição necessária para o trabalho da intuição. A necessidade premente de encontrar a solução adequada de um problema funciona como uma fonte permanente de cobrança de resultados e como fonte de energia para sua procura. Por essa razão, o incentivo à posição questionadora, àquela que procura identificar problemas e criticar soluções, é educativo.

2. Conveniência de um enunciado claro e interiorizado do problema

Quanto mais claro, conciso e sobretudo interiorizado for o enunciado do problema, mais favorável ele será ao trabalho intuitivo. Isso quer dizer que uma parte importante do trabalho intuitivo está na convivência com o problema, na percepção e interpretação de todos os seus detalhes importantes.

É interessante observar que, já nesse ponto, aparece a questão da segurança. O indivíduo deve se acostumar a conviver com problemas ainda sem solução, a esmiuçá-los, a conviver intensamente com eles a ponto de identificar-lhes a essência, sem que isso comprometa o mínimo de tranqüilidade necessário ao trabalho intuitivo.

3. A motivação para a solução do problema

A motivação é, sem dúvida, a questão central. Ela funciona transformando a energia originada na necessidade de solução do problema em uma produtiva atividade intuitiva. Sem uma grande motivação o trabalho intuitivo não evolui. Um ambiente propício ao desenvolvimento da motivação parece estar ligado a sua receptividade incentivadora de

(5.17) - Bazarian, J., "O Problema da Verdade" - Editora Alfa-Omega, 4ª Edição, 1994.

todos os tipos de questões, de soluções e de idéias. Mais especificamente, parece que o indivíduo deva encontrar algum tipo de prazer em entender, em descobrir, em criar. O ambiente poderia favorecer esse encontro, na medida em que fosse, além de receptivo e incentivador, valorizador de todos os produtos intuitivos do indivíduo.

Da mesma forma que o processo intuitivo, os mecanismos de interiorização, de motivação, são pouco conhecidos até hoje. Podemos no entanto aprender e nos desenvolver no seu uso, mesmo antes de conhecê-los melhor. Provavelmente seu próprio conhecimento vai depender ainda de longo período de convivência e utilização desses mecanismos.

A máxima "Quem procura, acha!", sintetiza a importância da motivação, não no sentido de que "quem procura sempre acha", mas sim no de que quem procura tem muito mais chance de achar, do que quem espera encontrar.

4. Ricos conhecimentos interiorizados

Conhecimentos ricos e interiorizados são muito úteis, seja para servir de base a intuições, seja para perceber que idéias lançadas por outros elementos da equipe têm potencial.

Esses conhecimentos devem ser ricos em dois sentidos: primeiro no sentido usual de volume, de quantidade de conhecimentos em relação a um determinado assunto; segundo, no sentido de interligação desses conhecimentos.

De fato, é muito conveniente que esses conhecimentos estejam interligados o máximo possível, seja por relações de causa e efeito, seja por afinidade, seja por analogia etc.

Além disso eles devem ser interiorizados, isto é, devem ter sido profundamente entendidos na sua essência e incorporados intuitivamente as nossas representações, de forma a se tornarem disponíveis. A forma como um conhecimento é incorporado também é desconhecida. O que conhecemos são os efeitos dessa interiorização, isto é, a disponibilidade e a facilidade com que cada detalhe nos vem à mente, com todas as interligações pertinentes.

É importante lembrar aqui a proposta de Husserl de pô-los todos entre parêntesis, no sentido de não tratá-los como verdades inquestionáveis. Os conhecimentos corroborados pela experiência, e que portanto passaram pelo processo de redução eidética, podem e

devem ser usados com um certo nível de segurança, mas nada além disso. Os conhecimentos que não foram corroborados, ou que não são essenciais, não passam de possibilidades e não devem atrapalhar o trabalho da intuição. Há ainda conhecimentos que foram refutados, esses devem ser vistos como possibilidades remotas.

É útil salientar aqui a diferença entre “informação” e “formação”. A formação é a informação interligada e interiorizada. Em outras palavras, através da interligação e da interiorização, a formação torna as informações disponíveis, possibilitando que depois a intuição venha a utilizá-las com facilidade.

Se observarmos com atenção, o raciocínio acima descrito pode ser resumido na união da prática com a teoria. O indivíduo formado é aquele que usa a prática para se apropriar da teoria e usa a teoria para inseminar a prática.

5. Trabalho consciente, concentrado e prolongado

O trabalho intuitivo vem sempre acompanhado de um longo trabalho consciente e concentrado.

Na verdade esse trabalho consciente acontece antes e depois do aparecimento da proposta intuitiva. O trabalho anterior aquece os motores da intuição ao relembrar todas as informações conscientes pertinentes. O trabalho posterior interpreta a proposta intuitiva e implementa os testes necessários no sentido de corroborá-la.

Como exemplo, é conveniente lembrar aqui alguns testemunhos que comprovam a importância desse trabalho consciente.

Inicialmente a célebre frase de Tomás Edison, inventor da lâmpada elétrica: “Eu preciso de 90% de transpiração para ter 10% de inspiração” (Ver (5.17)).

Em seguida o testemunho do próprio Isaac Newton, ao descrever os seus esforços para obter a Lei da Gravitação: “Durante muito tempo eu pensava sobre isso... Eu levava o objeto pesquisado constantemente na mente, virava-o de todos os lados, até que enfim foi possível encontrar a linha que me levou a uma noção clara” (Ver (5.17)).

6. Relaxamento periódico do trabalho concentrado

O relaxamento é conveniente por duas razões: primeiro porque permite ao indivíduo que descanse, uma mente cansada é ambiente desfavorável à intuição, e segundo porque é favorável ao trabalho subconsciente, uma vez que o trabalho intuitivo tem sempre uma componente não-consciente.

É fato que algumas vezes intuimos soluções ao longo do trabalho, a proposta intuitiva nos cai na mente sem o relaxamento. Muitas vezes porém, isso acontece durante um intervalo relaxado de trabalho, principalmente quando o problema é difícil!

Esse relaxamento pode ser, desde um momento de devaneio, um cafezinho, um intervalo de almoço, de lazer, ou de esporte, passando por uma sessão de relaxamento, até uma boa noite de sono.

Vale lembrar aqui a célebre frase de Einstein: “Eu penso 99 vezes e nada descubro; deixo de pensar e eis que a verdade me é revelada por intuição” (Ver (5.17)).

7. Espírito crítico, mas flexível e aberto ao novo

É preciso que se tenha um espírito crítico, capaz de nos trazer todas as questões e críticas possíveis, de forma a nos permitir penetrar os problemas. A crítica é uma ferramenta fundamental.

Por outro lado, um criticismo exagerado pode também atrapalhar, matando a idéia nova, antes mesmo dela nascer e tomar forma. É preciso ser tolerante com as idéias novas, nem tanto pelo que elas nos parecem num primeiro momento, mas pelo que elas podem vir a ser.

O inimigo número um das idéias novas e portanto da intuição é o dogmatismo. O dogmático é aquele que se apega ao dogma, considerando-o como verdade absoluta, não aceitando crítica alguma dessa verdade, muito menos uma idéia nova que venha a substituí-la.

É importante observar que foi justamente com o objetivo de evitar dogmas, verdades absolutas, que se criou o capítulo 2. Se mesmo a verdade científica é relativa, é provisória, nós não temos o direito de cultivar dogmas. Os dogmas matam as idéias

novas, a intuição e por consequência o desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Engenharia.

Ao contrário, a verdade absoluta como um desafio inatingível, mas do qual podemos nos aproximar, representa um forte incentivo à intuição.

8. A sabedoria da insegurança

A convivência com problemas sem solução, com perguntas para as quais só conseguimos respostas provisórias (como preconizado em 1), ou com a dúvida decorrente da eliminação de dogmas e verdades inquestionáveis (conforme 7) exigem do ser humano a aceitação de riscos. Viver é perigoso! Não é possível viver sem correr o risco de morrer, de amar sem correr o risco de sofrer, trabalhar sem correr o risco de errar.

Embora possa parecer paradoxal, a aceitação de que o erro faz parte de nossa atividade de trabalho, especialmente quando ela envolve a criação de soluções novas, reduz os erros no final do processo de projeto.

Aprender a viver aceitando esses riscos corresponde a desenvolver o que podemos chamar de “Sabedoria da Insegurança” (5.18).

9. O hábito de desenhar

Em muitas atividades como a Matemática, a Física e a Engenharia de Estruturas, os desenhos ou figuras são ferramentas muito úteis de trabalho. Devido a sua capacidade de sintetizar, as figuras ajudam nossa intuição a descobrir propriedades e relações antes desconhecidas, a ver melhor as questões a serem levantadas, as incompatibilidades dos requisitos, a visualizar soluções novas e avaliar a sua aptidão em atender os requisitos estabelecidos. Por consequência, é conveniente cultivar o hábito de desenhar. É o que Pearce chama de potência heurística dos diagramas (5.19).

(5.18) - Watts, A., “A Sabedoria da Insegurança” - Record, São Paulo, 1951.

(5.19) - Hartshorne, Weiss, and Burks, “Collected Papers of Charles Sanders Peirce”, conforme Ibrí, I. A., “Kósmos Poietikós”, Tese de doutoramento apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, 1994.

**6. CONCLUSÕES ÚTEIS PARA A ENGENHARIA DE
ESTRUTURAS E SEU ENSINO**

6. CONCLUSÕES ÚTEIS PARA A ENGENHARIA DE ESTRUTURAS E SEU ENSINO

Do que foi discutido nos capítulos anteriores, sobretudo nos capítulos 4 e 5, conclui-se que a atividade do engenheiro de estruturas se apóia substancialmente na intuição, pelo menos em quatro fases: na identificação do problema a resolver e seus requisitos, na criação de soluções e suas alternativas, na decisão ou escolha da solução a detalhar e ainda na garantia da qualidade.

É claro que não só nessas fases, mas sobretudo nas outras, especialmente na organização das informações disponíveis, no dimensionamento e verificação de alternativas e no detalhamento da solução escolhida existe também muito trabalho dedutivo, isto é, lógico-racional, que nada tem de intuitivo. Existe ainda o necessário rigor do trabalho de garantir que todas as rotinas e especificações aplicáveis foram atendidas, incluindo aí também a própria letra do contrato para execução do projeto.

De fato, o problema da qualidade do projeto começa no contrato. É o contrato que estabelece o produto que o contratante vai cobrar do contratado. Um escopo bem definido é um bom começo, definindo os serviços a serem executados, o tipo de produto a ser fornecido e as especificações a serem atendidas. Considerando que um projeto é o trabalho conjunto da contratada com o contratante, regido pelo contrato, a qualidade vai depender desse conjunto.

Por causa disso e pelo que foi exposto anteriormente, a qualidade do projeto transcende o contrato ao depender fundamentalmente do trabalho intuitivo da equipe toda, incluindo o contratante (sobretudo na identificação de requisitos a exigir da solução e na escolha da solução a detalhar). Transcende o contrato não só porque é impossível especificar o trabalho intuitivo, mas também porque, na época da assinatura do contrato, o conhecimento do problema a resolver era limitado e um número considerável de requisitos ainda não haviam sido identificados. Assim, não tem sentido contrato de projeto sem “fora de escopo”! O “fora de escopo” é fundamental para cobrir esses aspectos imprevisíveis, para satisfação do contratante e viabilização do contratado.

Considera-se que, dentro desse panorama, é justamente no reconhecimento da importância da intuição e todas as suas conseqüências, que existe a maior deficiência na visão atual do processo de projeto e na forma como essa visão evoluiu nos últimos anos.

Decidiu-se discutir esse problema em duas etapas, a atividade e o ensino da engenharia de estruturas.

6.1. A Engenharia de Estruturas

Dentro da atividade de Engenharia de Estruturas, o primeiro objetivo a perseguir é o reconhecimento da importância do trabalho intuitivo.

Isso pode ser conseguido começando pela simples constatação de que realmente Cauvin e Stagnitto (6.1), têm razão ao dizer que hoje em dia temos executado muitas obras bem calculadas mas mal concebidas.

Esses defeitos de concepção aparecem na execução da obra quando deparamos com detalhes senão inexequíveis, pelo menos desnecessariamente difíceis de executar. É o caso de projetos detalhados sem pensar no processo construtivo, como peças pré-moldadas de peso incompatível com a capacidade dos equipamentos disponíveis ou que se rompem no içamento por não terem sido verificadas para essa fase, ou estruturas moldadas no local onde o cimbramento é muito difícil ou caro, ou ainda materiais incompatíveis com o local da obra, seja por indisponibilidade, seja por falta de resistência aos agentes agressivos locais.

Esses efeitos aparecem também na operação, quando deparamos com problemas operacionais que não foram contemplados no projeto. É o caso de curvas executadas com sobre-elevação invertida, de cruzamentos projetados sem contemplar todos os fluxos de tráfego existentes, da falta de sinalização adequada, todos resultando em um número exagerado de acidentes.

Aparecem ainda na manutenção, quando nos damos conta de que determinados detalhes poderiam ter sido pensados de forma a facilitar a execução de determinadas operações de manutenção. É exatamente o caso de quando precisamos trocar os aparelhos de apoio de uma ponte no projeto da qual essa troca não foi prevista. Em lugar de simplesmente posicionar o macaco no nicho previsto, ele deve ser construído e a estrutura reforçada, ou, alternativamente, montada uma estrutura provisória de transição.

(6.1) - Cauvin and Stagnitto, "Criteria of design and methods of structural analysis of gothic ribbed vaults, using traditional and computer methods" - Anais do Congresso de Estruturas Espaciais: Herança, Presente e Futuro, Itália, 1996.

Esses defeitos estão usualmente ligados a requisitos que não foram lembrados ou pensados na fase de projeto, ou à aceitação de soluções que não atendam todos os requisitos previstos.

Têm sido, ainda, executadas obras onde a otimização dos requisitos foi simplesmente esquecida. A forma resulta incompatível com a estática, a implantação é ruim, o consumo de materiais é até o dobro do necessário, ou a obra resulta muito pesada e de convivência desagradável.

Finalmente, existem casos de erros graves de concepção estrutural em que a estrutura apresenta patologias resultantes do fato de que ela simplesmente não pode trabalhar do jeito que foi imaginado.

É o caso de quando, por exemplo, se admite que num armazém de grandes dimensões a cobertura metálica, em "shed", represente um tímpano que trave a cabeça de todos os pilares. Essa hipótese leva a pilares que, embora tendo 11m de altura e seção de 50x50cm, são imaginados biarticulados, na cobertura e na fundação, onde a sapata resulta de 120x120cm. Uma hipótese, incompatível com a forma da cobertura em "shed", levou a pilares que mal ficam em pé sob seu próprio peso, muito menos após receberem o restante das cargas, especialmente o vento.

Não podemos deixar de acrescentar a esses casos de defeitos de concepção aqueles de problemas estruturais que resultaram seja de erros de detalhamento, seja de erros de cálculo, estes que já foram raros outrora, mas que se tornaram relativamente freqüentes em decorrência de erros no uso de programas extremamente complexos ou de modelos que não representam adequadamente a estrutura em questão.

Como exemplo de defeito de detalhamento, é útil lembrar o caso das passarelas do Kansas City Hyatt Regency Hotel. Como relata Petroski (6.2), a queda de duas passarelas no dia da inauguração do hotel levou à morte mais de uma centena de pessoas e se transformou no acidente estrutural mais grave da história dos Estados Unidos. A figura 6.1 mostra o detalhe de suspensão original e o revisado com o objetivo de facilitar a montagem.

(6.2) - Petroski, H., "To Engineer is Human" - Vintage Books, 1992. Ver também filme do mesmo nome.

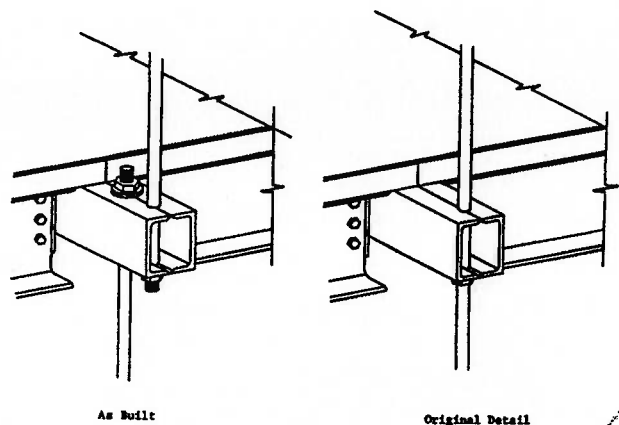


Figura 6.1 - Detalhe de suspensão das passarelas do Hyatt Regency Hotel.

Observando os detalhes com cuidado percebe-se que a ancoragem do tirante na travessa da passarela superior, mostrada na figura, deveria suportar, na solução original, uma parte do peso dessa passarela, enquanto que, no detalhe revisado, deveria suportar o dobro dessa carga, a carga original mais parcela equivalente da passarela inferior.

É importante dizer que não foi a mudança de projeto a causa do acidente, mas a falta de percepção de que era necessário verificar o novo detalhe.

A mudança do projeto era muito bem-vinda porque facilitava bastante a montagem. Na verdade, o ideal teria sido perceber e corrigir esse defeito do detalhe original na fase de projeto.

Se observarmos com mais atenção perceberemos que mesmo no detalhe original falta, idealmente falando, um enrijeecedor que transporte a carga das almas da travessa para o tirante.

Podemos concluir que, ao longo do caminho que a estrutura fornece para as cargas, esse detalhe foi como um elo fraco e esse elo fraco foi o responsável pela ruína!

Mas como, num projeto qualquer, ter certeza de que todos os elos foram verificados? Em primeiro lugar, certeza nunca podemos ter! Em segundo lugar, o único jeito de termos um controle eficaz sobre toda a corrente é pela via intuitiva. Foram inúmeros os projetos em

que o autor, ao percorrer mental e cuidadosamente toda a corrente, pela via intuitiva, identificou algum elo que faltava verificar.

Como exemplo de defeito de cálculo, podemos citar o caso relatado pelo Prof. Collins, no Terceiro Simpósio de Estruturas de Concreto na EPUSP, 1993. Tendo atuado na qualidade de consultor, o Prof. Collins teve a oportunidade de identificar a causa do acidente com a base de concreto armado de um poço petrolífero no Mar do Norte.

Essa base, como outras do mesmo tipo, é formada de alvéolos, alguns dos quais são preenchidos com água na submersão, enquanto os outros são reservados para o armazenamento de petróleo. Durante a submersão, a parede de um alvéolo se rompeu e alvéolos que deveriam ficar vazios nessa fase, se encheram. A base então adernou, afundou rapidamente e implodiu, tendo os sismógrafos do norte da Inglaterra registrado um sismo de magnitude 2,5 na escala Richter.

Embora a estrutura tivesse sido calculada com modelo tridimensional de casca considerando 1500 casos de carregamento, rodado em programa confiável, foi possível mostrar que a estrutura era deficiente, em uma única página de cálculo, onde se verificou que a casca entre dois alvéolos não tinha resistência suficiente.

A solução natural para contornar esses problemas é uma equipe de projeto com uma boa capacidade intuitiva de forma a dar-lhe capacitação para perceber antes, na fase de projeto, que todos esses erros vão trazer problemas futuros, e corrigi-los ainda nessa fase.

O ideal é que a equipe seja multifacetada, isto é, que tenha elementos criativos, descobridores e metódicos, cada um cumprindo a sua função, de forma que uns complementem o trabalho dos outros.

Todas as atividades precisam ser valorizadas, consideradas importantes para a qualidade do todo.

Admitindo, pelas razões anteriormente expostas, que a deficiência de nossas equipes esteja no campo intuitivo, parece conveniente cuidar especialmente de:

1. Interpretar intuitivamente os conhecimentos, facilitando sua interiorização. Isso pode ser favorecido por meio de discussões em grupo a respeito de dúvidas da equipe, de

deficiências detectadas nos projetos ou de novos conhecimentos, recentemente adquiridos.

2. Dividir as necessidades de aquisição de novos conhecimentos pela equipe, de forma que todas elas fiquem atendidas.

3. Criar ambiente de trabalho que favoreça a concentração por períodos prolongados de tempo.

4. Respeitar os intervalos usuais de trabalho, necessários à desconcentração, muito importante para o trabalho intuitivo.

5. Cultivar um ambiente favorável às críticas e às novas idéias, mais que isso, reconhecedor dessas contribuições.

6. Cultivar a discussão dos equívocos e deficiências de projeto, não só para prevenir as pessoas, mas também para acostamá-las a conviver com eles, aceitando que inevitavelmente erramos, mas que podemos nos organizar para evitar que esses erros cheguem ao final do processo, garantindo a qualidade de nosso projeto.

7. Exercitar o uso de figuras e desenhos nas discussões.

8. Viabilizar a visita às obras de todos os elementos da equipe, de forma a aproximá-los da realidade física da obra, especialmente nas fases de construção mais significativas.

9. Selecionar pessoas que gostem do que fazem. O prazer e a satisfação no trabalho são essenciais.

6.2. O Ensino da Engenharia de Estruturas

As escolas de Engenharia em geral, e a Escola Politécnica da USP em particular, têm, dentro do processo dialético anteriormente discutido, valorizado muito o método dedutivo e o rigor científico. Nesse ambiente são muito respeitadas as verdades científicas, sobretudo as verdades matemáticas. Quase nenhum valor se dá a avaliações intuitivas, esquecendo-se que tanto uma quanto outra foram primeiro intuídas e só depois demonstradas válidas.

Na verdade, avaliações intuitivas são recebidas com menosprezo, sendo comuns expressões como: “de onde você tirou isso?”, ou “você esta chutando!”.

Durante as aulas, na apresentação das teorias, são descritas as hipóteses e, a seguir, com base nelas e nas verdades anteriormente deduzidas, são demonstradas novas propriedades. Até mesmo nas aulas práticas quase nenhuma palavra se reserva para a discussão da intuição na criação de hipóteses, modelos e soluções em Engenharia.

Numa reavaliação desse método de ensino, expositivo e rigoroso, devemos reconhecer que uma parte significativa dos alunos saem com uma boa desenvoltura no uso desses procedimentos. Basta observar o desempenho desses novos engenheiros nas áreas acadêmicas, nas áreas financeiras dos bancos e instituições afins, em áreas de engenharia que envolvam a aplicação de regulamentos, normas ou especificações.

Devemos no entanto reconhecer também que, de um lado, durante o curso, o desgaste no aprendizado tem sido desnecessariamente grande, levando muitos alunos a ficarem completamente desmotivados e uma parte significativa deles a não entenderem com clareza o quê e para quê se está estudando um determinado assunto (ver por exemplo (6.3) ou (6.4)); por outro, é pequeno o número de engenheiros que têm se mostrado flexíveis e criativos na sua atividade profissional. É relativamente freqüente ter-se dificuldades quando se precisa de flexibilidade ou criatividade de uma equipe de engenheiros.

Sem dúvida nenhuma esse quadro vem se agravando com a penetração do computador no mundo do engenheiro, não por ser essa penetração indesejável, muito pelo contrário, mas por ela vir acelerando todos os processos, o que, aliado ao contínuo aumento do volume de conhecimentos que os alunos devem absorver, reduz drasticamente o tempo disponível para aprender. Os alunos não estão, em média, sedimentando adequadamente os conhecimentos.

O desafio está em introduzir a valorização do conhecimento intuitivo sem comprometer a precisão e o rigor já obtidos, em dar tempo aos alunos para sedimentar os conhecimentos

(6.3) - Bringham, I., “O Ensino na Escola Politécnica da USP - Fundamentos para o Ensino da Engenharia” - Escola Politécnica da USP, 1993.

(6.4) - Schwark, M. P., “Sugestões para um Curso Intuitivo de Teoria das Estruturas” - Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP em 1996.

e ao mesmo tempo contemplar o crescente aumento do volume de conhecimento a apresentar-lhes.

Como conclusão deste trabalho e como proposta para discussão dentro das escolas de engenharia, vai a seguir enumerada uma lista de providências que possibilitem, em conjunto, que se caminhe no sentido de se aproximar desses objetivos.

1. Em primeiro lugar, os alunos devem estudar Filosofia da Ciência e da Tecnologia com o objetivo de entender o que é a verdade científica e tecnológica e qual é o papel da intuição na sua construção. Não podemos ter alunos que, no quinto ano de engenharia, acham que a Lei Gravitacional de Newton é a expressão da verdade, isto é, é a verdade absoluta!

Parece fundamental a visão de Popper, de que a verdade científica é apenas provisória e mutante. Alguns exemplos de evolução científica são muito úteis, como o da Mecânica Racional.

2. Respeitando a evolução histórica dos conhecimentos, devemos apresentar aos alunos, inicialmente, os conhecimentos na sua forma intuitiva, usando modelos físicos e eventualmente casos reais. Dar-lhes tempo, para absorver intuitivamente os conceitos, usando eventualmente os modelos numéricos em computador para auxiliá-los, dando inclusive exercícios e provas de avaliação intuitiva. Assim, nenhum assunto pode ser introduzido formalmente, sua apresentação formal só deve vir após a apresentação intuitiva. Isso vale para todos e cada um dos cursos.

Como exemplo, seria o caso de começar, no laboratório, ou num filme, a estudar a resposta de uma viga biapoiada sob uma carga concentrada em posição variável ao longo do vão. Como varia a deformada? Qual o caminho que a carga descreve entre o ponto de aplicação e os apoios? Como a carga se divide entre esses caminhos? Como variam as reações de apoio com o caminhar da carga ao longo da viga?

A figura 6.2 sugere as respostas. Por exemplo, o diagrama de forças cortantes representa o caminho de cada uma das duas partes, em que fica dividida a carga P pelas condições de equilíbrio, do ponto de aplicação aos apoios. O diagrama de momentos fletores, por outro lado, representa os momentos que devem ser suportados pela viga para que o transporte dessas cargas, ao longo desse caminho, seja possível.

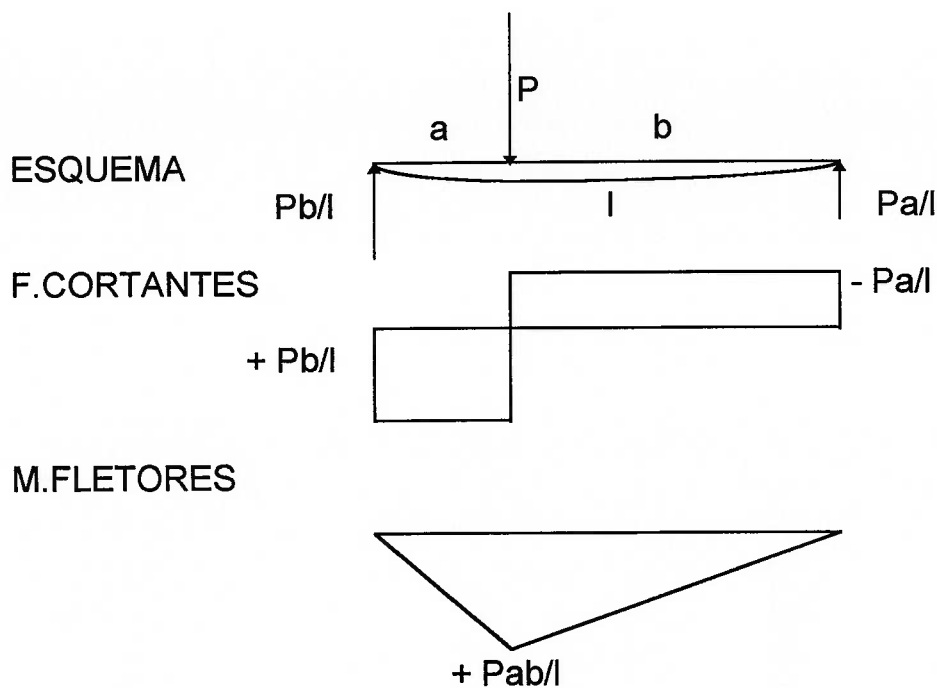


Figura 6.2 - Viga biapoiada sob carga concentrada.

3. A questão dos modelos físicos é muito importante. Não devemos deixar os alunos e engenheiros trabalharem intuitivamente apenas com modelos ideais. Não parece razoável um engenheiro formado, que pretende trabalhar com estruturas, nunca ter visto uma viga de concreto armado romper, isto é, atingir o estado limite último, ao menos no laboratório. Da mesma forma como os alunos vêm hoje a ruptura de corpos de prova de concreto, devem ver a ruptura de vigas e pilares, no mínimo, e saber interpretar ambos intuitivamente.

4. Feitos os exercícios intuitivos em que, por exemplo, os alunos são capazes de desenhar a deformada da estrutura, de prever o caminho preferencial das cargas, avaliando inclusive reações de apoio, cabe discutir as hipóteses convenientes para o desenvolvimento da teoria. É fundamental que essa discussão se faça à luz da intuição e dos modelos físicos.

5. Só a partir daí é que se desenvolveriam as teorias e os modelos matemáticos. Mesmo assim, ao obter cada equação, ela precisa ser interpretada intuitivamente. Consideremos, por exemplo, a equação de Lagrange para a teoria das placas.

$$\frac{p}{D} = \frac{d^4 w}{dx^4} + 2 \frac{d^4 w}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 w}{dy^4}$$

É de todo conveniente que cada termo dessa equação seja interpretado intuitivamente. Assim, o primeiro termo, por analogia com a teoria de viga, representa a parcela de carga transportada por flexão da placa na direção x , enquanto, analogamente, o terceiro representa a parcela relativa à flexão na direção y . Já o termo intermediário representa a parcela de carga decorrente da contribuição da torção. É preciso que o aluno perceba que o fator 2, que aparece nesse segundo termo, quer dizer que a eficiência da torção é o dobro daquela da flexão em cada direção isolada, desde que as derivadas tenham valores próximos.

O exemplo de uma placa quadrada, sob carga uniforme, apoiada nos quatro lados é conveniente para mostrar que isso realmente acontece. Os momentos fletores nas duas direções valem $pl^2/32$ e não $pl^2/16$, (para coeficiente de Poisson nulo), porque metade da carga é transportada para os apoios por torção e apenas a outra metade por flexão.

Observando a fissuração e correspondente deformação de uma laje como essa e lembrando que torção numa laje equivale a flexão inclinada em relação às arestas de apoio, conclui-se que a torção é realmente pronunciada e representa uma alternativa importante para transporte das cargas. (Ver figura 6.3.).

6. Uma revisão das convenções usuais também é conveniente, substituindo convenções puramente formais por convenções físicas. É o caso das forças cortantes, onde se sugere substituir a convenção ligada ao sentido do giro indicado em torno de seção, pelo tipo de distorção provocada no trecho da peça.

7. O desenvolvimento teórico deve ocorrer junto com a prática da aplicação. Isto quer dizer que os alunos devem fazer sistematicamente exercícios de aplicação da teoria e exercícios de projeto que envolvem, além da aplicação da teoria, a criação, isto é, a aplicação do desenvolvimento intuitivo que obtiveram.

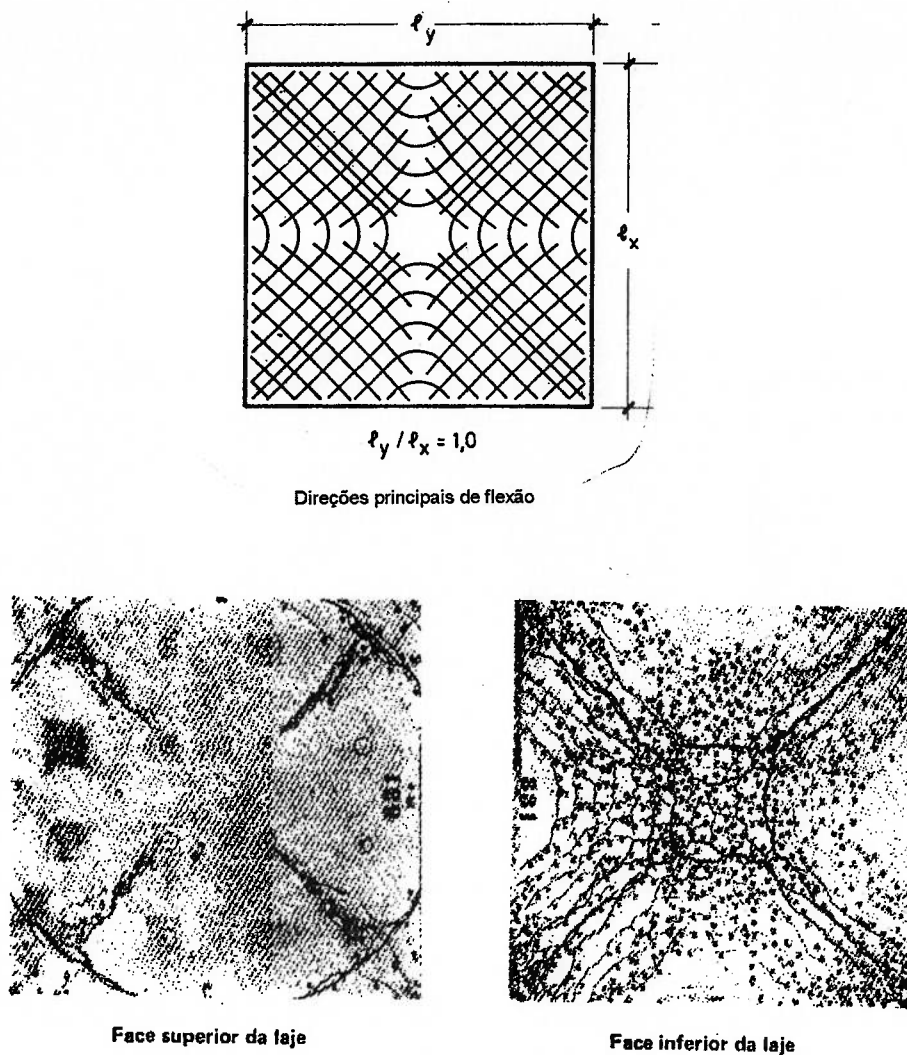


Figura 6.3 - Direções principais de flexão e fissuração da laje quadrada acima referida

8. O autor considera fundamental falar em caminho das cargas ao longo da estrutura. Sem esse tipo de descrição do comportamento estrutural fica mais difícil entender fisicamente o serviço de transporte de cargas executado pela estrutura e mais difícil ainda identificar os eventuais elos fracos como descrito anteriormente.

9. Desenvolvimento de um conjunto de princípios, úteis no momento da concepção de estruturas, semelhantes aos esboçados em (6.5), dos quais um foi aqui discutido no item 5.6.

(6.5) - Stucchi, F. R., "Notas de aula do curso de Pontes e Grandes Estruturas I" - PEF-407, EPUSP, 1989.

B. BIBLIOGRAFIA

Bazarian, J., "O Problema da Verdade" - Editora Alfa - Omega, 4ª Edição, 1994. (5.8) (5.17)

Bringhenti, I., "O Ensino na Escola Politécnica da USP - Fundamentos para o Ensino da Engenharia" - Escola Politécnica da USP, 1993. (6.3)

Cauvin and Stagnitto, "Criteria of design and methods of structural analysis of gothic ribbed vaults, using traditional and computer methods" - Anais do Congresso de Estruturas Espaciais: Herança, Presente e Futuro, Itália, 1996. (5.12) (5.16) (6.1)

CEB, "Design of concrete structures with regard to shear forces" - Buletin d'Information 126, Paris, 1978. (3.3)

CEB, "Manual of buckling and stability" - Buletin d'Information 123, Paris, 1977. (3.5)

CEB, "Manual of bending and compression" - Buletin d'Information 82, Paris, 1972. (3.7)

Dartiques, A., "O que é a Fenomenologia?" - E. Moraes, 1992. (5.11)

Fraser, D.J., "Conceptual Design and Preliminary Analysis of Structures" - Pitman, Massachusetts, 1981. (4.3)

Fusco, P.B., "Estruturas de Concreto, Solicitações Tangenciais" - Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, EPUSP, 1982. (3.4)

Galileu, "Dialogues Concerning the two New Sciences"- Britannica Great Books, vol.28, Chicago, 1952. (2.2) (2.10) (3.2)

Galileu, "O Ensaaiador" - Os Pensadores, Abril Cultural, vol. XII, 5/1973. (2.11)

Gordon, J. E., "Structures: or Why Things Don't Fall Down" - Da Capo, New York, 1978. (5.9)

Hartshorne, Weiss, and Burks, "Collected Papers of Charles Sanders Peirce", conforme Ibr, I. A., "Kósmos Poietikós", Tese de doutoramento apresentada à Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, 1994. (5.19)

Husserl, E., "Investigações Lógicas - Sexta investigação" - Os Pensadores, E. Abril, 1985. (5.3) (5.10)

Jensen T., "ISO 9001 in Consulting Engineering" - Strutural Engineering International, 1/1994. (4.6)

Kant, E., "Crítica da razão pura" - Kant (I), Os Pensadores, E. Abril, 1980. (5.1) (5.5)

Langendonck, T., "Cálculo de Concreto Armado", ABCP - S. Paulo, 1954. (3.6)

MacGregor, J.G., "The structural design process" - Vigésimo Congresso do IABSE, Vancouver, 1984. (5.15)

Magee, B., "As idéias de Popper" - Editora Cultrix/EPUSP, São Paulo, 1974. (2.15)

Newton, I., "Mathematical Principles of Natural Philosophy"- Britannica Great Books, vol. 34, Chicago, 1952. (2.5)

Petroski, H., "To Engineer is Human" - Vintage Books, 1992. Ver também filme do mesmo nome. (6.2)

Popper, K., "A lógica da Investigação Científica" - Os Pensadores, vol. XLIV, Abril Cultural, 1/1975. (2.9) (4.5)

Popper, K., "O realismo e o objetivo da Ciência" - Publicações Dom Quixote, Lisboa, 1987. (3.8)

Popper, K., "Três Concepções acerca do Conhecimento Humano" - Os Pensadores, vol. XLIV, Abril Cultural, 1/1975. (2.1) (2.13)

Reale, M., "Introdução à Filosofia" - Saraiva, 1994. (5.4)

Reale, M., "Verdade e conjectura" - Nova Fronteira, 1983. (2.12)

Schwark, M. P., "Sugestões para um Curso Intuitivo de Teoria das Estruturas" - Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da USP em 1996. (6.4)

Stucchi, F. R., "Sobre o comportamento estrutural das pontes celulares" - Dissertação de Mestrado apresentada à EPUSP em 1982. (5.6)

Stucchi, F. R., "Notas de aula do curso de Pontes e Grandes Estruturas I" - PEF-407, 1989. EPUSP, 1989. (5.13) (6.5)

Vargas, M., "Para uma filosofia da tecnologia" - E. Alfa-Omega, 1994. (2.3) (3.1)

Watts, A., "A Sabedoria da Insegurança" - Record, São Paulo, 1951. (3.9) (5.18)

Zagottis, D., "Curso de Mecânica Aplicada" - EPUSP, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações", 1985. (2.14)

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

- Laplanche, J. / Pontalis, J. B., "Vocabulário da Psicanálise" - L. Martins Editora, São Paulo, 1983.
- Russ, J., "Dicionário de Filosofia" - E. Sipione, São Paulo, 1994.
- Losce, J., "Introdução Histórica à Filosofia da Ciência" - E. Universidade de São Paulo, 1979.
- Chauí, M., "Convite à Filosofia" - E. Ática, São Paulo, 1995.
- Bion, W. R., "Volviendo a Pensar" - E. Paidós, Buenos Aires, 1985.
- Bion, W. R., "Aprendiendo de la Experiencia" - E. Paidós, Buenos Aires, 1980.
- Giuffrida, F., "Reflexões sobre alguns aspectos da 'intuição'" - Trabalho apresentado à Sociedade Brasileira de Psicanálise de São Paulo, 1996.
- D'Ambrosio, V., "Tempo e Espaço na Experiência Psicoemocional" - palestra apresentada no III Encontro Bienal da Sociedade Brasileira de Psicanálise de São Paulo, 1996.
- Santos, B. S., "Um discurso sobre as ciências na transição para uma ciência pós moderna" - Instituto de Estudos Avançados, USP, 1988.
- Mussen, P. H., "O Desenvolvimento Psicológico da Criança" - Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1972.
- Bergson, H., "Conferências" - Os Pensadores, Abril Cultural, São Paulo, 1979.
- Newton, I., "Princípios Matemáticos da Filosofia Natural" - Newton/Leibniz (I), Os Pensadores, São Paulo, 1979.
- Peirce, C. S., "Escritos Coligidos" - Pierce/Frege, Os Pensadores, Abril Cultural, 1983.
- Landau, L./Rumer, Y., "What is the Theory of Relativity" - Foreign Languages Publishing House, Moscow.
- Timoshenko, S. P., "History of Strength of Materials" - Dover Publications, New York, 1983.
- Penrose, R., "A Mente Nova do Rei" - E. Campus, Rio de Janeiro, 1991.
- Ferraz, J. C. F., "'Philosophiae Naturalis Principia Mathematica' de Newton: 300 anos"- BT/PEF-8821, EPUSP, 1988.
- Carneiro, F. L. L. B., "Galileu, fundador da teoria da resistência dos materiais" - Boletim nº 27 da RILEM, Paris, 1965 (comemoração do 4º centenário do nascimento de Galileu).
- Duddeck, H., "Codes need different structural design models than research work" - CEB, Buletin 178/179, 1986.