



O SONHO DA INTUIÇÃO ESTRUTURAL OU A NOSTALGIA DO CANTEIRO NO DESENHO

KAPP, Silke (1); SANTOS, Roberto Eustáquio (2); SILVA, Athos Souza e (3)

(1) UFMG, kapp.silke@gmail.com; (2) UFMG, ro1234ro@gmail.com; (3) UFMG, athosilva7@gmail.com

RESUMO

O termo intuição nunca deixa de comparecer nas interseções do campo da arquitetura com o campo da engenharia estrutural. Enquanto engenheiros calculam, arquitetos almejam uma apreensão intuitiva das estruturas, que lhes permitiria tomar decisões sem as penúrias da matemática. O presente texto propõe um exame do conteúdo desse sonho da intuição estrutural e das razões que o fazem persistir. Começamos pela filosofia do século XVIII (Wolff e Kant), que restringe a intuição humana à sensibilidade e às imagens. Examinamos então, à luz das proposições teóricas de Sérgio Ferro e da historiografia de Antoine Picon, como os novos engenheiros desse mesmo período se esforçam por uma subordinação do trabalho nos canteiros de obra, entrando nos meandros do processo produtivo e dismantelando o conhecimento técnico que garantia a estabilidade das construções até então. Arriscamos a interpretação de que o desenvolvimento de uma ciência das estruturas foi antes consequência do que causa daquele dismantelamento. Mas ela leva à situação contraditória de que o tempo de trabalho, medida do lucro, aumenta em vez de diminuir. Nossa hipótese é que dessa contradição decorre a busca por métodos “intuitivos” de definição das estruturas, como, particularmente, a grafoestática. Por fim, sintetizamos algumas indicações para o ensino de estruturas que derivam dessa perspectiva histórica.

Palavras-chave: Intuição sensível; Século XVIII; Ofícios da construção; Conhecimento técnico.

ABSTRACT

The word intuition never fails to appear at the intersections between architecture and structural engineering. While engineers calculate, architects long for an intuitive apprehension of structures that would enable decision making without mathematical effort. This paper explores such dream of structural intuition, and the reasons for its persistence. We begin with eighteenth century philosophy (Wolff and Kant), which restrains human intuition to the realm of senses and images. Based on Sérgio Ferro's theoretical approach and Antoine Picon's historiography, we then examine how the new engineers of this very period strove for subordinating workforce on construction sites, interfering in the minutiae of the production process, and dismantling the technical knowledge that so far had guaranteed construction stability. We venture the interpretation that structural science development was rather a consequence of such dismantling than its cause. But it led to a contradiction: working time, the measure of all profit, increased instead of diminishing. Our hypothesis is that this contradiction gave rise to the search for 'intuitive' methods of structural definition, in particular graphic statics. We conclude outlining some pointers on structure teaching based on our historical perspective.

Keywords: Sensible intuition; Eighteenth century; Building crafts; Technical knowledge.

1. INTRODUÇÃO

827

Nas interseções da arquitetura com a engenharia estrutural, seja no ensino ou na prática profissional, o termo *intuição* nunca deixa de comparecer. Um exemplo imediato está no texto de chamada para o presente evento, que menciona “o aprendizado intuitivo do funcionamento das estruturas” como um tema a tratar. Outro exemplo é o relato de Vitor Lotufo sobre como começou a lecionar disciplinas de estruturas, junto com professores de engenharia, “no objetivo de amenizar e traduzir as aulas para alguma coisa mais palatável para estudantes de arquitetura” ou, como ele diz alguns parágrafos adiante, “para mentes mais próximas da arte do que da matemática”¹. Palavras como *amenizar* e *traduzir*, assim como a contraposição de arte e matemática, são indícios do que aqui chamamos de *sonho da intuição estrutural*: enquanto engenheiros calculam, arquitetos parecem almejar uma apreensão das estruturas que lhes permitiria tomar decisões certas sem passar por aquelas operações analíticas que, além de serem morosas, sempre implicam o risco de fazer perder de vista a totalidade estrutural e até, paradoxalmente, a operação da construção.

Nosso objetivo é uma breve investigação teórica e histórica acerca desse sonho da intuição estrutural, de seus conteúdos e origens, e das razões que o tornaram tão persistente. Começamos por apontamentos acerca do significado da intuição no contexto da filosofia do conhecimento do século XVIII, isto é, na soleira da revolução industrial e urbana. Examinamos então o início de uma reorganização dos canteiros de obra nesse mesmo período, relendo, à luz das proposições de Sérgio Ferro, a história da engenharia setecentista escrita por Antoine Picon. Inspirados na manufatura, os novos engenheiros se esforçam por uma subordinação do trabalho que já não será apenas formal, mas real. Ela entra nos meandros do processo produtivo e desmantela os ofícios da construção e o tipo peculiar de conhecimento técnico que garantia a estabilidade das construções até então. Arriscamos a interpretação de que o desenvolvimento de uma ciência das estruturas foi antes consequência do que causa daquele desmantelamento. Mas ela gera uma situação contraditória, mesmo do ponto de vista do comando: o tempo de trabalho, medida do lucro, aumenta em vez de diminuir. Nossa hipótese é que dessa contradição decorre a busca por métodos “intuitivos” de definição das estruturas, como, particularmente, a grafoestática. Sabemos que a interpretação aqui ensaiada não oferece respostas pragmáticas à pergunta sobre o ensino de estruturas para arquitetos, mas ela ajuda a ver a própria pergunta com outros olhos, e disso derivam, sim, algumas indicações concretas, tratadas no último item do presente texto.

Um tema como a intuição de arquitetos *versus* o cálculo de engenheiros tende perigosamente a chavões (como intuição feminina *versus* racionalidade masculina). Por isso, cabe esclarecer desde já que nosso interesse não está na literatura de autoajuda sobre intuição nem nos papéis socialmente construídos e incorporados que ela fomenta. Interessamos, sobretudo, a diferença entre uma produção material regida por conhecimentos técnicos operativos e uma produção material regida por conhecimentos tecnológico-científicos.

¹ Trata-se de um manuscrito de ainda inédito, que o autor gentilmente nos disponibilizou e que temos estudado com grande proveito.

2. INTUITIO OU O CONTEÚDO DO SONHO

828

Intuitio, em latim, deriva do verbo *tueri*, olhar atentamente, vigiar, supervisionar. A mesma raiz está em tutor e tutela. No século XIII, Wilhelm von Moerbeke, um tradutor da obra de Aristóteles para o latim, verte por *intuitio* o grego *epivole*, imposição. Um significado mais geral de intuição seria então a apreensão que se impõe à consciência de maneira instantânea ou *i-mediata*, sem a mediação do raciocínio. Intuitivo é o contrário de discursivo, metodicamente raciocinado. Intuição é o que simplesmente “sei”, sem provar, deduzir ou explicar.

A filosofia se divide em duas frentes quanto a esse tema: ora situa a intuição em campos que a ciência não alcança (mística, religião), ora vê nela a base epistemológica irreduzível do próprio conhecimento científico. Nessa última acepção, há teorias do conhecimento que limitam a intuição à sensibilidade (apreensão de objetos empíricos), outras que a limitam ao intelecto, e ainda outras que admitem tanto intuição sensível quanto intuição intelectual. De todo modo, intuição se refere sempre a algo imediatamente presente na consciência.

O filósofo racionalista Christian Wolff retoma e detalha, em 1732, uma classificação do conhecimento e das respectivas representações (conteúdos da consciência) que, pelo menos no que diz respeito aos limites da intuição humana, reflete a concepção predominante no período do Esclarecimento ou Iluminismo (KAPP, 2004). Ela nos interessa porque nesse período começa a ser aplicada a nova ciência (a física de Newton), ensaia-se a divisão do trabalho que o século XIX levará às últimas consequências e, também, surgem as primeiras tentativas de uma ciência matemática das construções.

O nível mais rudimentar do conhecimento seria, segundo Wolff, a *cognitio obscura*, proveniente de representações que nem sequer diferenciam um objeto do seu contexto. A consciência de uma sensação do corpo tem essa característica: uma dor existe, mas não forma um objeto. O nível seguinte seria a *cognitio clara confusa*, cujas representações diferenciam um objeto com clareza, mas não diferenciam os elementos que o compõem. Confuso, aqui, significa fusionado, misturado. As imagens mentais que formamos dos objetos têm essa característica. Subindo mais um nível, o conhecimento se torna *claro e distinto*: o objeto é representado na consciência como uma totalidade composta de elementos diferenciados entre si. E quando essa diferenciação é, também, exaustiva, não ignorando nenhum dos elementos do objeto, a representação chama-se *adequada*. O conhecimento mais perfeito seria a *cognitio adequata intuitiva*, ou seja, um conhecimento que apreende a totalidade de um objeto em cada um de seus elementos e cada uma de suas relações, e que faz isso instantaneamente, sem a mediação de conceitos e sem dissecação analítica. Tal conhecimento adequado e intuitivo, no entanto, está reservado a Deus. A nós, humanos, apenas o conhecimento obscuro (das sensações) e o conhecimento claro confuso (das imagens) são dados pela intuição. Chegar aos demais níveis exige a mediação de conceitos, análise, matemática etc. Para alcançar representações claras distintas e adequadas precisamos de uma passagem pelo pensamento *que leva tempo*.

Observe-se, no entanto, que a *cognitio clara confusa*, em princípio inferior, tem a atraente característica da instantaneidade. A satisfação que propicia compensa o fato de ela não alcançar verdades últimas. Pouco depois da sistematização de Wolff, seu aluno Alexander

Baumgarten (1983 [1735]) explora justamente esse aspecto do conhecimento claro confuso para inaugurar a “ciência do conhecimento sensível” ou *Aesthetica*, que mais tarde se torna uma disciplina filosófica e uma maneira nova de conceber a recepção das (Belas) Artes.

Mas a estética como disciplina demora a se instituir. Quando Kant desenvolve, na *Crítica da Razão Pura* (1989 [1787]), a teoria do conhecimento que explicaria o revolucionário avanço da física newtoniana, ele ainda considera equivocada a apropriação do termo alemão *Ästhetik* para aquilo que em outras línguas era chamado de “crítica do gosto”. À maneira antiga, Kant entende *aisthesis* como sinônimo de receptividade dos sentidos e denomina “estética” a parte da teoria que trata do funcionamento da sensibilidade, complementar à “lógica”, que trata do funcionamento do entendimento.

Sem nenhuma pretensão de entrar nos meandros da filosofia kantiana e tomando uma distância um pouco maior do que os especialistas nesse assunto costumam fazer, talvez não seja abuso dizer que a *Crítica da Razão Pura* se lê como uma descrição da divisão do trabalho no interior do aparato cognitivo humano. As únicas portas de entrada para a consciência são os sentidos (visão, audição etc.), mas as afetações que recebem se ordenam imediatamente segundo o que Kant (1989, p. B36) chama de “formas puras da intuição sensível”: espaço e tempo. Assim, a sensibilidade produz “intuições”, dados externos informados por tempo e espaço, que constituem a matéria-prima com que a faculdade do entendimento será capaz de pensar “conceitos”. Apenas nessa conjunção de sensibilidade e entendimento se chega ao conhecimento. Para Kant, não existe conhecimento intuitivo, da mesma maneira que não existe intuição intelectual. Intuições são sempre sensíveis e o conhecimento é sempre um processamento dessas intuições mediante raciocínios.

Mais tarde, na *Crítica da Faculdade do Juízo* (1995 [1790]), Kant reconsidera a questão da estética ou crítica do gosto. A prazerosa instantaneidade do “conhecimento sensível”, como Baumgarten o chamara, é explicada como jogo livre entre as faculdades da imaginação e do entendimento, que não leva a nenhum conhecimento, mas gera o sentimento de que uma representação (da consciência) faz sentido. Pode-se dizer, numa linguagem não rigorosamente kantiana, que o belo provoca a ilusão daquele conhecimento intuitivo que na verdade nos falta; parece que apreendemos uma totalidade em todas as suas partes, sem fazer esforço.

O que seria, à luz dessas teorias, o conteúdo da intuição estrutural com que os arquitetos sonham? Tal como a intuição divina ou intelectual, intuição estrutural significaria que um arquiteto, diante de um projeto ou uma construção, teria imediatamente o conhecimento claro, distinto e adequado da estrutura, na sua totalidade e em cada elemento e relação. Como isso não é possível, costumamos recorrer às representações de que temos intuição: objetos palpáveis e imagens, de fato mais próximos das artes do que da matemática, como diria Lotufo. Fazemos modelos e desenhos para driblar ou atalhar aquilo que, não por acaso, se chama *análise* estrutural – dissecação do objeto e perda da totalidade. Mas modelos e desenhos contêm armadilhas: quando apresentam coerência visual ou são, nos termos de Kant, belos, provocam o jogo livre de imaginação e entendimento que leva à prazerosa ilusão de uma compreensão imediata que na realidade não ocorreu.

3. ARS OU A ORIGEM DO SONHO

830

Poderíamos concluir simplesmente que arquitetos precisam estudar mais teoria do conhecimento para entender que, por esse caminho, não chegarão a um domínio da ciência das estruturas. Entretanto, o que as considerações feitas até aqui não esclarecem é a origem daquele sonho e os motivos que levam a acreditar na possibilidade de uma intuição estrutural.

Como já indicado, o século XVIII é o período decisivo nesse sentido porque nele o capital, pouco a pouco, redistribuiu os papéis para organizar os procedimentos produtivos que lhe serão mais convenientes. O desmantelamento do conhecimento técnico tradicional dos ofícios faz parte desse processo, não apenas na construção, mas em toda parte. Por volta de 1680, o inglês *technology*, assim como o francês *technologie* significavam o estudo do vocabulário dos ofícios, que em grego se chamavam *technai* e em latim *ars* (WILLIAMS, 1983, p. 315). O *logos* das técnicas ou artes era o registro das palavras usadas no seu exercício. Dez anos depois, Leibniz sugeria que os homens letrados, que sabem se expressar por escrito, deveriam recolher, além do vocabulário, “a infinidade de belos pensamentos e observações úteis [...] que se acham dispersos entre os homens na prática de cada profissão” (LEIBNIZ, 1885 [1690], p. 176). O *logos* da técnica passou a ser o registro do conhecimento gerado e empregado no seu exercício. Na década de 1750, Diderot e d’Alambert começavam a publicar a *Encyclopédie ou o Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, o compêndio racionalizado de ciências, artes e ofícios, que consistiu justamente naquela coleta que Leibniz havia sugerido e que tornaria o conhecimento técnico acessível a todas as pessoas (letradas). Parece democrático, mas foi também uma afronta: validava o que era passível de codificação em palavras, números e desenhos, e desqualificava qualquer outro tipo de conhecimento, incluindo aquele adquirido na experiência concreta de operações materiais e transmitido por imitação de gestos mais do que por codificação.

As manufaturas são as organizações que tornam mais evidente a necessidade dessa “captura” de conhecimento técnico tradicional. Elas ainda não dispõem de máquinas e dependem da habilidade dos trabalhadores, mas já se assemelham à indústria mecanizada pelo fato de subdividirem a produção em operações separadas, articuladas entre si apenas por uma instância de comando. O caso mais célebre é a fábrica de alfinetes com que Adam Smith, em *Riqueza das Nações*, exemplifica o aumento de produtividade pela divisão do trabalho: “Um homem estica o arame, outro o endireita, um terceiro corta-o, um quarto o aponta, um quinto esmerilha o topo para receber a cabeça” e assim por diante, até que o tradicional ofício de alfineteiro se desdobra em “18 operações distintas” (SMITH, 2008 [1776], p. 19–20). O conjunto dos trabalhadores produz infinitamente mais alfinetes do que um grupo equivalente de alfineteiros tradicionais, mas nenhum deles conseguiria produzir, sozinho, um alfinete sequer. O resultado é o que Marx chamará depois de *idiotisme du métier*, o idiotismo adquirido pelo trabalho, mesmo em ramos outrora respeitados pela qualificação (MARX, 1972 [1847]).

Bem antes de Adam Smith, na década de 1740, o engenheiro Jean Rodolphe Perronet já estudava meticulosamente o mesmo processo manufatureiro de produção de alfinetes numa fábrica na Normandia. Segundo Picon (1992, p. 390), seu interesse “estava

precisamente na padronização dos procedimentos, na definição de tarefas e na divisão do trabalho que era reconstituído mediante o processo da manufatura”. Em 1747, logo depois de seus estudos na fábrica, Perronet se tornou o primeiro diretor da *École royale des ponts e chaussées*, cargo que ocupou por quase meio século. Nesse período não apenas escreveu para a *Encyclopédie* de Diderot e D'Alembert, como também, ainda inspirado pela fabricação de alfinetes, iniciou o novo “sistema dos engenheiros”, para reorganizar, padronizar e quantificar a construção civil (PICON, 1992).

Entender o que isso significou na prática pressupõe lembrar (ou reconhecer) que até então a estabilidade das edificações era de responsabilidade do corpo produtivo no canteiro, sem instância externa que lhe dissesse como fazer. Sérgio Ferro o mostrou de muitas maneiras em diversos escritos (por exemplo, FERRO, 2006 e 2016). É verdade que a subordinação dos canteiros remonta ao gótico tardio e que, desde o Renascimento, arquitetos se serviram dos instrumentos de desenho e de uma linguagem estranha à lógica dos materiais e processos construtivos. Mas suas prescrições levaram a uma subordinação ainda apenas formal do trabalho, na qual o conhecimento dos construtores continuou regendo o processo produtivo. As ordens “clássicas”, aparentemente estruturais, sempre foram decoração, máscara, cenário de pilastras, colunas, arquivoltas, sustentado pela carpintaria e pelas alvenarias de pedra e tijolo dos oficiais da construção (Figura 1). Essa relação tem sido obsessivamente ignorada pela historiografia da arquitetura, que, como diz Ferro (2016, p. 19), chega a discutir a sério a “competência estática” dos elementos decorativos – “é como discutir sobre as asas dos anjos de Tintoretto e sua capacidade de lhes sustentar o voo”. No entanto, repetimos, apenas o reconhecimento de que a ficção construtiva do desenho arquitetônico sempre dependeu de uma estrutura real, produzida no canteiro e segundo a sua lógica, permite compreender o que se passa quando a *École des ponts e chaussées* ascende de um mero departamento de Estado para uma instituição independente e passa a formar profissionais para orquestrar a construção.

Àquela altura, o trauma da subordinação formal parecia superado. Arquitetos, empreiteiros, oficiais, trabalhadores não qualificados haviam se arranjado uns com os outros. O negócio da construção envolvia uma infinidade de ramos e ofícios diferentes, cada qual com suas próprias regulações, hierarquias e formas de remuneração. “Um pedreiro podia construir um muro sem nenhuma ajuda externa e o mesmo era verdade, nos seus domínios, para carpinteiros e ferreiros”; os arquitetos “não tinham opção senão respeitar os costumes em vigor”, deixando que os oficiais fizessem seu trabalho; “era preciso simplesmente definir a operação requerida com alguma precisão e antecipar o resultado final” (PICON, 1992, p. 142). A construção era lucrativa, mas de capital difuso. E, a bem da verdade, continuou assim na maioria dos empreendimentos, seja na França ou em outros lugares. Basta ver que Artigas (2004, p. 203) ainda fala de “resquícios medievais”, porque os arquitetos de sua geração, antes de se tornarem modernos, costumavam deixar um vão para o escadeiro em vez de desenhar escadas.

Figura 1 – Detalhe da fachada da Loggia del Capitano, Veneza, projetada por Andrea Palladio em 1565 e construída entre 1571 e 1572.

832



Fonte: Markok / it.wikipedia.org, 2008 (Creative Commons).

Contudo, ao lado da construção ordinária, corriqueira, houve empreendimentos no tempo de Perronet que tornaram a economia de escala relevante, em particular a construção e manutenção de estradas. O sistema dos engenheiros começa a ser experimentado nesse

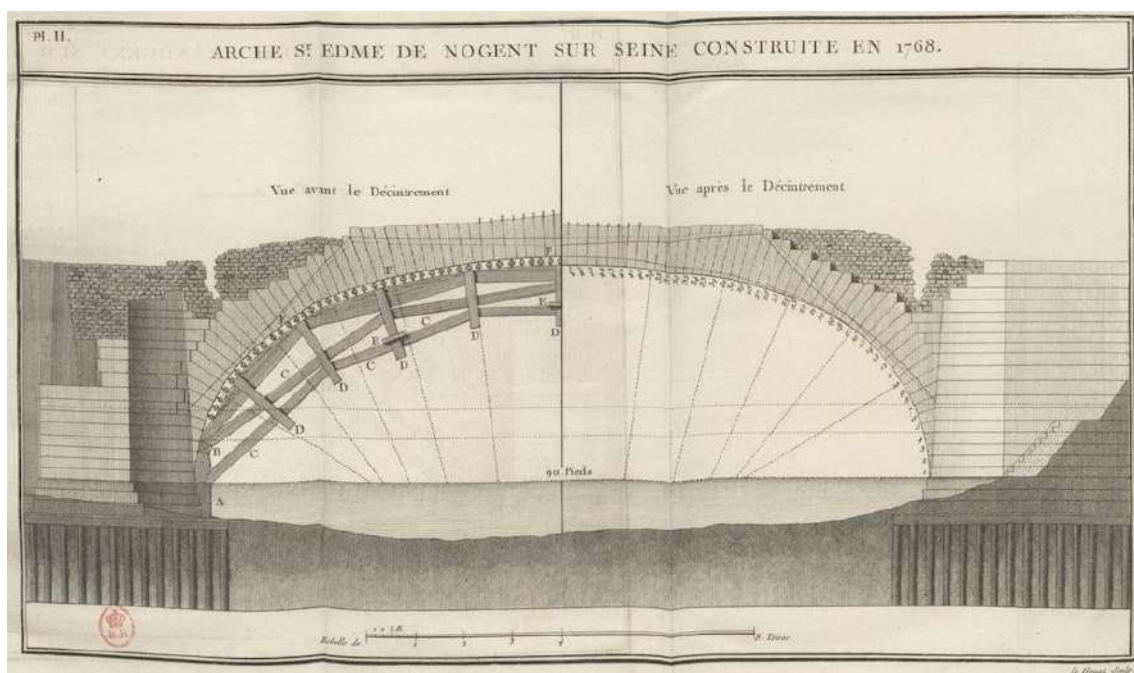
contexto, que requer operações materiais e aritméticas suficientemente simples para permitir razoáveis previsões de custos e prazos. O passo seguinte foi a tentativa de aplicar a mesma lógica à construção de pontes. Como nesse caso as operações são mais sofisticadas e a mão de obra é mais qualificada e diversa, os cálculos de materiais e tempo de trabalho se tornavam mais difíceis. Os engenheiros se aproximaram da questão por meio de descrições cada vez mais minuciosas do produto e do passo a passo de sua execução. “Como num modelo anatômico, o plano exibia as diferentes camadas da construção” (PICON, 1992, p. 153). O caminho entre concepção e realização já não era deixado às decisões de múltiplos agentes, mas passava a fazer parte do projeto.

Em 1773, por exemplo, Perronet faz uma preleção na Académie Royale des Sciences, intitulada “Memória sobre o cimbramento e o decimbramento de pontes, e sobre os diferentes movimentos dos arcos durante a sua construção”. O título e as ilustrações não deixam dúvida de que o tema é o processo (PERRONET, 1777; Figura 2). Em 1793, Perronet publica um “Projeto de uma ponte de vão de carpintaria de trinta e seis pés, aberta na parte superior [levadiça], de dez pés de largura e sem chave”. O documento contém uma única prancha de desenho, mas 27 páginas de descrição dos componentes, com todos os pesos e medidas. Ou, para citar um último exemplo, o livro mais conhecido de Perronet trata de projetos e construções de pontes, incluindo um suplemento com ilustrações dos dispositivos usados nos canteiros (PERRONET, 1789; Figura 3). À diferença dos arquitetos do classicismo francês, Perronet tenta imprimir aos empreendimentos construtivos, do início ao fim, uma única lógica, que se aplica aos meios de produção da mesma maneira que à força produtiva:

Forma e processo de construção foram fusionados, assim como trabalho e materiais foram postos na mesma condição. Como os trabalhadores, via-se a pedra 'trabalhando' no arco da ponte; ela carregava tanto a marca de sua origem geológica quanto a marca do esforço despendido em cortá-la (PICON, 1992, p. 168).

A partir de uma formação profissional atual, tendemos a imaginar que a estabilidade das construções teria sido sempre um grande problema para os construtores, até surgir uma ciência físico-matemática para salvá-los. Na realidade, nem os arquitetos do século XVIII nem os engenheiros da escola de Perronet tinham um “problema estrutural”. Dizia-se que a solidez estaria garantida se fossem respeitadas certas proporções no desenho e se a execução fosse bem feita; o que, traduzido, significa que as construções seriam estáveis se os projetistas deixassem espaço para que os construtores erguessem a estrutura portante dentro dos volumes desenhados, usando dimensões e conexões de eficácia comprovada por uma tradição empírica de séculos. O problema estrutural aparece quando o comando externo entra nos meandros desse processo em busca de economia de material e trabalho, restringindo a possibilidade de o corpo produtivo agir conforme o próprio conhecimento técnico. O intuito de uma racionalização dos canteiros abala a naturalidade (ou a cegueira) com que se costumava lidar com a duplicidade de estrutura fictícia visível e estrutura portante invisível.

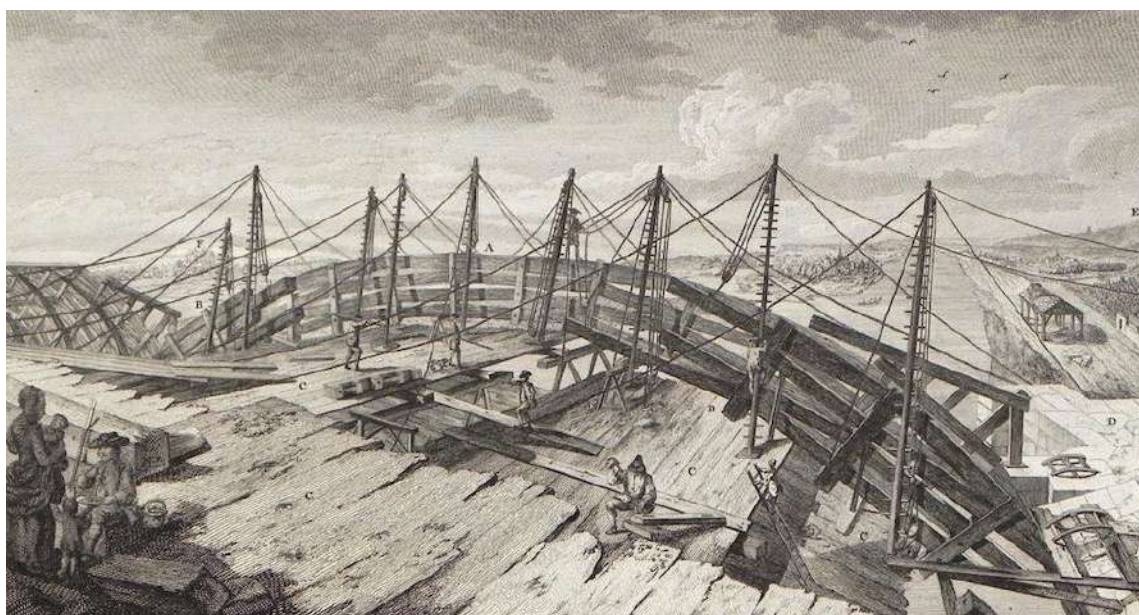
Figura 2 – Jean Rodolphe Perronet, desenho do processo construtivo de uma ponte de pedras antes e depois da retirada do cimbramento.



834

Fonte: Perronet (1777, s.p.).

Figura 3 – Jean Rodolphe Perronet, ilustração do canteiro de obras de uma ponte.



Fonte: Perronet (1789, s.p.).

Picon não explicita a questão nesses termos, mas ele nota, por exemplo, que “a construção clássica em cantaria envolvia materiais adicionais que eram usualmente escondidos dentro das grossas paredes” (PICON, 1992, p. 146). Nesse contexto, ele cita também queixas como a de Laugier acerca das “enormes massas que se encontram muito frequentemente nas nossas construções modernas” (LAUGIER apud PICON, 1992, p. 148).

Ora, a engenharia de pontes desenvolvida por Perronet levou a inovações nas formas de arcos e pilares para torná-los menos massivos do que de costume, mas, se observarmos de perto essas mudanças, elas não chegam a impressionar pela concepção estrutural. São experimentos empíricos que se apoiam inteiramente no conhecimento dos canteiros e na habilidade dos trabalhadores. Para ir além, reduzindo ainda mais o consumo de material e simplificando os procedimentos da construção (rumo aos procedimentos da fábrica de alfinetes) seria preciso, agora sim, descobrir e codificar com exatidão as premissas da solidez.

O cálculo não foi o único recurso para isso. Em paralelo e em concorrência com ele, persistiu a ideia de que uma sensibilidade (ou intuição) visual e a experiência na lida com os materiais seriam as competências mais decisivas para a estabilidade das construções. A captura do conhecimento técnico se mostrou mais difícil do que o esperado, não apenas pela resistência dos artífices em comunicar seus segredos, mas porque algo de fato se perde na tradução da técnica para a *tecnologia*, o *logos* da técnica.

É difícil descrever em palavras o que seria esse algo; caso contrário, não se perderia. No século XII, quando os ofícios floresciam como nunca, Hugo de São Vítor o denominou *scientia mechanica*: a (cons)ciência desenvolvida na manipulação da matéria (HUGO, 2001 [1127], p. 110). No final do século XX, Roger Coleman atribuiu a essa consciência operativa nada menos que todo o desenvolvimento da tecnologia moderna, e previu que sua eliminação será “tão prejudicial para o futuro quanto a destruição das florestas tropicais” (COLEMAN, 1991, p. 32). Não apenas os objetos imprescindíveis ao avanço científico – de instrumentos de medição a componentes mecânicos e vidraria – foram produzidos manualmente por artífices e com uma precisão na casa dos micrones, como também a própria inventividade necessária a esse avanço proveio dos ofícios. Sérgio Ferro fala da “fatura inventiva de um processo produtivo capaz de reagir a seu próprio andamento – o que é impossível no quadro rígido da exploração” (FERRO, 2015, p. 11). As atividades do artífice desmentem a oposição entre “os fatos do cérebro e os feitos das mãos”, como diz João Marcos Lopes (2006, *passim*). E, como mostra Richard Sennett num livro recente e de bastante sucesso, as descobertas da neurociência confirmam que há umnexo direto entre a operação manual e a capacidade intelectual – algo como uma “consciência material” ou uma “inteligência operacional” (SENNETT, 2009). O artífice, diz Sennett, é capaz de se aprofundar no processo produtivo, errar e refazer, respondendo à singularidade de um material e chegando a produtos – como os violinos Stradivari, por exemplo – de um nível de excelência que as melhores máquinas até hoje não imitam. Pena que Sennett não tenha lido Sérgio Ferro e, sem criticar a ideologia dominante, confunda a arquitetura com o ofício do desenho, que estaria se perdendo nas tecnologias digitais. Se o tivesse lido reconheceria o óbvio: a experiência da materialidade arquitetônica não está na operação do lápis sobre o papel, mas no canteiro de obras.

Por volta de 1800, os escritos do arquiteto francês Charles-François Viel dão amostras de como a ascensão do sistema dos engenheiros e do cálculo foi percebida. Seus títulos indicam o tom da controvérsia: “Decadência da arquitetura ao final do século dezoito”, “Da impotência das matemáticas para assegurar a solidez das construções”, “Da solidez das construções a partir das proporções de ordens da arquitetura” (VIEL, 1800, 1805, 1806). Viel costuma ser

lido como se fosse apenas um conservador em defesa de uma tradição teórico-arquitetônica baseada em Vitruvius. De fato, sua oposição às inovações tecnológicas também é uma defesa do conhecimento técnico dos canteiros. Ele não vocifera somente contra o “espírito de moda” e as “ordens desnaturadas”, mas ainda mais contra o “aparelho científico do cálculo” e a ciência que “certos doutores” vinham prescrevendo à construção (VIEL, 1800, p. 5, 7, 22). Considerando os problemas estruturais de algumas obras monumentais da época – em particular o Panthéon, projetado por Soufflot –, Viel pergunta: “Onde está a garantia dos novos cálculos?”. E ele conclui que os “sábios da matemática [...] não estão de acordo entre si sobre a precisão de suas teorias [quando] aplicadas à arquitetura”, nem teriam motivo para crer tais teorias “infalíveis e indispensáveis para a arquitetura, porque antes delas os monumentos mais sólidos e belos foram erguidos”, ao passo que, depois, “a solidez das construções tem sido comprometida” (VIEL, 1800, p. 25, 31).

Como, então, Viel imagina garantir solidez e durabilidade? Antes de tudo, ele desconfia das regras matemáticas porque elas se referem abstratamente ao dimensionamento geral, sem considerar minúcias e singularidades de materiais e componentes: “para construir solidamente, é certo que as regras, somente, são insuficientes [...] é impossível dar regras simples e fáceis para determinar as dimensões de todas as partes de um edifício” (VIEL, 1800, p. 28). E ele usa um argumento que continua pertinente, mesmo nas nossas circunstâncias de uma engenharia estrutural avançada e materiais predominantemente homogêneos pela produção industrial:

[...] não basta, para assegurar a solidez dos arcos, por exemplo, saber, pelo cálculo, que as paredes que deverão suportá-los terão uma espessura conforme à natureza de sua curva, o tamanho do seu diâmetro e a altura das próprias paredes, porque as modificações que se tem de fazer nas pranchas [*tables*] preparadas pelos geômetras para esse fim são infinitas na prática, seja pela divergência nos planos [...] seja pela variedade de espécies de materiais e a maneira de empregá-los na obra. É por isso que [...] as teorias das ciências exatas [...] relativas à arquitetura serão sempre defeituosas (VIEL, 1800, p. 30).

Hoje tendemos a atribuir o insucesso de concepções estruturais exímias a canteiros mal gerenciados ou a uma mão de obra incompetente. Mas Viel tem razão ao afirmar que a construção concreta precede o cálculo abstrato. A singularidade dos sítios, dos materiais e das pessoas que os operam não são, como tais, contingências ou acidentes – eles são a própria essência da atividade da construção. Viel diz que os melhores arquitetos “sabem da vantagem da experiência sobre as demonstrações matemáticas para construir” e que desenho e matemática não levam a nada sem a familiaridade com os materiais e meios de execução (VIEL, 1800, p. 20, 29). “A solidez de uma construção depende tanto da natureza de suas formas, da qualidade e da espécie dos materiais, dos seus encadeamentos e do capricho na execução, quanto da espessura de suas paredes” (VIEL, 1800, 26-27).

A formação num ofício demora pelo menos o mesmo tempo que uma formação acadêmica, o que irritava Adam Smith e seus contemporâneos porque impedia o crescimento rápido da mão de obra qualificada. Por outro lado, uma vez formados, bons artífices conseguem decidir e executar operações complexas muito mais rapidamente do que se consegue defini-las em palavras ou números. É isso que possibilita a “fatura inventiva” e as mudanças de rumo no

meio do processo. E é isso, também, que dá ao espectador externo a impressão de uma ação intuitiva, sem longos raciocínios. Portanto, a ideia da intuição estrutural – que talvez fosse melhor entendida como intuição construtiva – não é um delírio de artistas geniais que nada entendem de matemática. Sua origem está na experiência dos canteiros. O “sistema dos engenheiros” consistiu na tentativa de tornar a produção independente dessa experiência, primeiro pela quantificação de produtos e processos, e depois, sucessivamente, por uma ciência das estruturas. (Aliás, que àquela altura arquitetos saíssem em defesa do canteiro chega a ser uma ironia da história.)

4. GRAFOESTÁTICA E A PERSISTÊNCIA DO SONHO

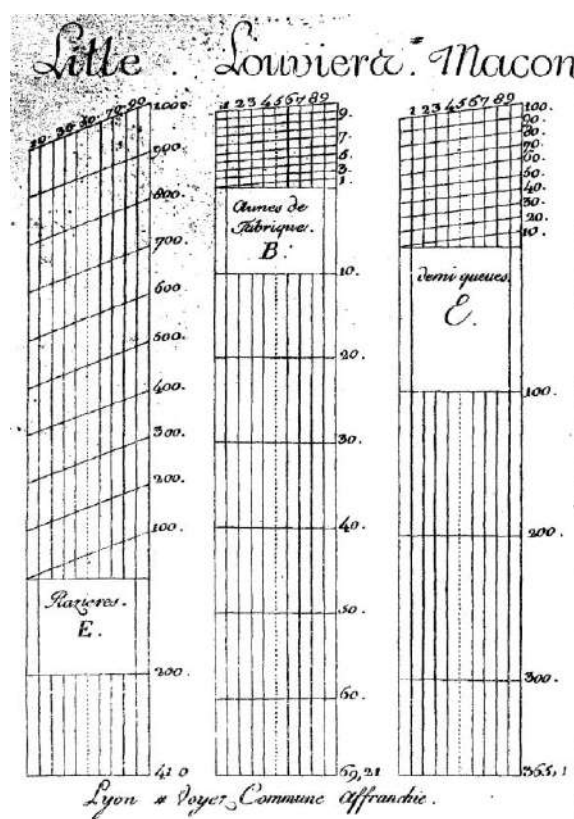
Façamos um pequeno salto no tempo e na imaginação, para uma obra de ferrovia em meados do século XIX. Ocorre uma situação inesperada: uma parte da estrutura que estava quase pronta entra em colapso. Um engenheiro tem a incumbência de dizer aos trabalhadores o que fazer. Mas para isso precisa fazer contas, muitas contas; ele pára a obra, se recolhe ao escritório. Enquanto isso, os trabalhadores começam a testar reforços na parte colapsada. Quando o engenheiro volta com a solução matemática, tudo já está de pé novamente. Mas, ao contrário do que se esperaria, ele não fica satisfeito. Com o argumento de que não pode garantir cientificamente a estabilidade daquela “gambiarra”, ele manda derrubar tudo e refazer tudo à maneira que seus cálculos exigem. – A situação é inventada, mas poderia ter acontecido. Embora cálculo, demolição e reconstrução impliquem mais tempo perdido, nosso engenheiro não pode abrir mão de sua autoridade pessoal sobre os trabalhadores e da autoridade da ciência físico-matemática sobre o conhecimento operativo. A mesma circunstância que exige processos de trabalho cada vez mais velozes, exige que nenhuma decisão seja tomada pelas pessoas que realizam esses processos. Em vez disso, é necessário prescrever de fora, a partir de um trabalho “intelectual” extremamente demorado.

Um dos indícios mais evidentes de que essa contradição se instalou cedo nos canteiros de obra é o desenvolvimento de meios gráficos para a definição das estruturas. O passo inicial nessa direção costuma ser atribuído a Louis-Ézéchiel Pouchet, proprietário de uma manufatura de algodão em Rouen, que publicou, no “terceiro ano da República”, um manual de gráficos para facilitar conversões para o novo sistema métrico usando um compasso, sem fazer contas e sem saber ler e escrever (POUCHET, 1794; ver Figura 4). O método se chamava “aritmética linear”, “cálculo linear” ou “cálculo gráfico” (TOURNÈS, 2014) e era de fato um gestual tirado da tradicional geometria operativa dos construtores (Figura 5). Em 1839, o engenheiro da *École des ponts e chaussées*, Barthélémy-Édouard Cousinéry, publica o que é considerado o primeiro tratado de cálculo gráfico: *Le Calcul par le trait, ses éléments et ses applications* (ver TOURNÈS, 2014, p. 269).

Em 1866, Karl Culmann, engenheiro suíço e professor da ETH de Zurique, publica a primeira edição de *Die graphische Statik*, a estática gráfica ou grafoestática. Na introdução ele já deixa clara a questão: “O que fazer com todas aquelas teorias a que os diversos ramos da engenharia passíveis de tratamento científico incitaram [...], mas que são demasiadamente complicadas para a aplicação a cada caso singular que se apresenta na

prática?” (CULMANN, 1866, p.V). Ele cita como precedentes Cousinéry, que considera aquém da matemática de seu tempo, bem como Poncelet, que teria sido o primeiro a tornar soluções analíticas visualmente presentes por meio de desenhos, sem, no entanto, aplicar esse recurso à construção. Também lhe é familiar o método de definição de treliças do matemático italiano Luigi Cremona, com quem tinha contato pessoal. Mas o objetivo de Culmann é mais ambicioso: em vez de facilitar operações práticas ou tornar o cálculo acessível aos menos instruídos, ele visa a um procedimento de desenho que possibilite aos engenheiros – e somente a eles – chegar determinações que, pelo cálculo, levariam anos de trabalho ou seriam mesmo impossíveis.

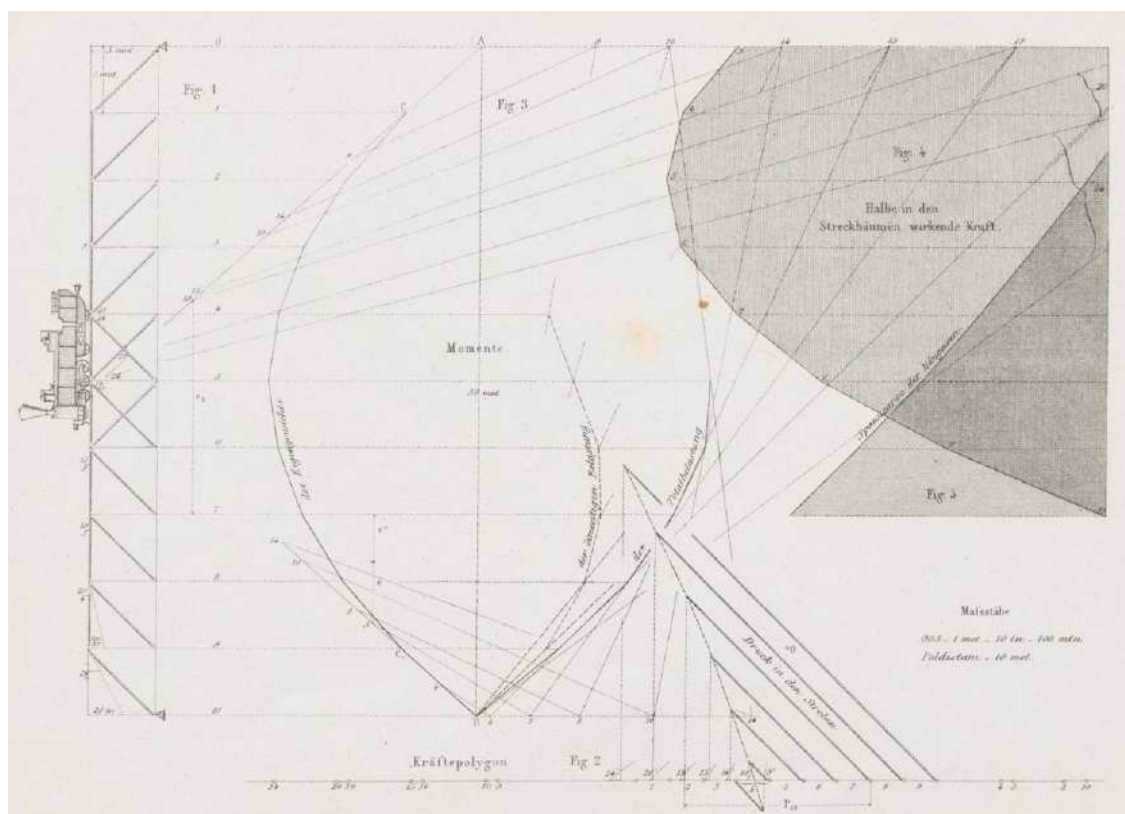
Figura 4 – Louis-Ézéchiél Pouchet, ábaco para conversão de medidas.



Fonte: Pouchet (1794, s.p.).

A grafoestática de Culmann nada tem de simples ou imediata (Figura 5). Ela exige uma formação acadêmica de vários anos, cujo currículo Culman discute longamente, lamentando a deficiência da maioria das instituições de ensino superior de seu tempo. Um prerequisite é o domínio da nova geometria de Jacob Steiner, isto é, a parte da geometria projetiva de raciocínio puramente espacial, sem coordenadas ou fórmulas. Contudo, dadas essas premissas, os engenheiros aprenderiam a lidar com as estruturas de uma maneira tão rápida e certa quanto um artífice experiente. O nexa entre seus olhos, cabeças e mãos se desenvolveria no papel em vez de se desenvolver no material de construção. Chegariam de novo àquele tipo de conhecimento que ao espectador externo parece intuitivo: apreensão imediata da totalidade e todos os seus elementos e relações.

Figura 5 – Karl Culmann, ponte ferroviária treliçada.



Fonte: Culmann (1866, s.p.).

Em 1866, Culmann não imagina que seu método seja adequado para arquitetos, porque lhes faltaria raciocínio espacial abstrato. Porém, há uma conexão direta entre sua abordagem e aquela adotada pela Bauhaus nos anos 1920. Detalhar essa história exigiria um estudo à parte, mas ela merece algumas breves indicações.

O suíço Jacob Steiner, autor da geometria em que a grafoestática se baseia, é tido por maior gênio da geometria pura depois de Euclides. Curiosamente, ele aprendeu a ler apenas aos quatorze anos de idade e, pouco depois, foi aluno de Johann Heinrich Pestalozzi, criador da chamada pedagogia intuitiva ou visual (*Anschauungspedagogik*). Pestalozzi desenvolveu uma concepção de letramento gráfico, exposta pela primeira vez num livro de 1803, intitulado *ABC der Anschauung*, o alfabeto da intuição. Por meio de exercícios de desenho, crianças ainda muito jovens aprendiam a pensar visual e graficamente, traduzindo o mundo cotidiano para uma linguagem de formas e relações geométricas. Essa pedagogia intuitiva de Pestalozzi avançou depois nos trabalhos do seu colaborador Friedrich Fröbel, de quem herdamos a instituição do *Kindergarten* e os brinquedos de madeira em formas geométricas simples e cores primárias. Mais ainda do que Pestalozzi, Fröbel combina o letramento gráfico com a manipulação de objetos e materiais.

Sua influência em concepções modernas de artes plásticas e arquitetura é conhecida. Em particular os arquitetos e artistas da primeira fase da Bauhaus conceberam um currículo que combinava o letramento visual com um letramento manual ou artesanal, aparentemente reunindo mão e cabeça, não apenas na representação gráfica, mas na operação material.

Enquanto a grafoestática de Culmann é tão abstrata quanto a análise matemática, deixando de fora tudo a que Viel atribuía à solidez das construções (escolha de materiais um a um, assentamentos e junções afinadas às singularidades, mãos habilidosas etc.), a abordagem da Bauhaus promete uma recuperação do saber de ofício. O paradoxo é que os materiais em questão são, por sua vez, abstratos. Da mesma maneira que não se aprende a construir desenhando, não se aprende a construir empilhando bloquinhos, nem fazendo roupas, bules, cadeiras ou luminárias. A intuição que se forma nesse processo tende a ser ainda mais falaciosa que a do desenho, que pelo menos sabe de sua distância da construção. Um velho brinquedo fabricado ainda hoje, “O pequeno constructor”, sintetiza o paradoxo de maneira quase caricatural: blocos de Fröbel acrescidos da figuração de um aparelho de alvenaria – de cuja função real ninguém mais se lembra e que não importa na montagem – sugerem estimular a intuição para a construção “de verdade”. Seria melhor deixar as crianças brincar de cabaninha.

5. CONCLUSÃO OU TRÊS HIPÓTESES A DISCUTIR

Vê-se, enfim, que a ideia da intuição estrutural que assombra o ensino de arquitetura vem de uma longa e intrincada história e, ao contrário do que o termo sugere, nada tem de natural ou imediata. Mas essa história abre pelo menos algumas hipóteses acerca do ensino de estruturas para arquitetos.

Em primeiro lugar, caberia considerar que análise e cálculo estruturais não coincidem automaticamente com um conhecimento de construção. Como arquitetos, tendemos a identificar a engenharia civil com os ofícios da construção porque o “sistema” que se cristaliza no século XVIII de fato altera os procedimentos nos canteiros. Mas esse sistema e a ciência das estruturas a que dá início mantêm, em relação às operações concretas, um distanciamento pelo menos tão grande quanto o dos arquitetos. Ao mesmo tempo, a abstração com que o sistema dos engenheiros opera, seja no cálculo estrutural ou na quantificação de material e trabalho, não deixa nada a dever ao desenho dos arquitetos no que diz respeito à subjugação da construção. O real é forçado a se assemelhar às abstrações que o comandam. Portanto, se quisermos adquirir conhecimentos de construção, o meio para isso não é a engenharia estrutural, mas uma aproximação direta daquilo que resta dos ofícios e do que se pode recuperar e inovar a partir deles.

Um segundo aspecto a considerar é que a matemática avançada com que a engenharia estrutural opera, por mais que seja indispensável nos modelos teóricos e nas peripécias de algumas megaobras, não é o principal determinante do que ocorre de fato na maior parte dos empreendimentos construtivos. Coeficientes de segurança de 40%, como usados no Brasil, fazem duvidar da necessidade da precisão matemática. A justificativa para isso é sempre a execução incompetente, mas não se explica por que um aumento das cargas de tal magnitude compensaria esse fator. E, ainda mais importante, a maioria das concepções estruturais rotineiras deriva de análises de elementos isolados e das respectivas simplificações geométricas, enquanto se evitam formas estruturalmente mais eficientes (curvas, sobretudo) porque sua execução não condiz com a rotina do cálculo, nem com a rotina do canteiro. Ou

seja, se quisermos tornar as construções mais eficientes do ponto de vista estrutural, caberia pensar forma, execução e matemática em conjunto, e talvez a matemática seja a menos complicada dessas questões.

841

Por último, uma hipótese sobre o uso das ferramentas digitais para a tomada de decisões relativas às estruturas e à construção de um modo geral. Elas podem ser utilíssimas, mas também multiplicam as armadilhas. Se o desenho contém a armadilha do belo (a sensação de entender o funcionamento) e os bloquinhos e modelos físicos contêm a armadilha da concretude (a sensação de manipular a matéria “de verdade”), os dispositivos digitais contêm a armadilha de uma intuição divina – tudo estará dado em todas as minúcias a qualquer tempo. Mas intuição (humana) exclui raciocínio e crítica. Por mais que pareçam “intuitivas”, decisões rápidas e competentes acerca de situações construtivas complexas, quando não são meros golpes de sorte, decorrem da experiência.

Em suma, nossa hipótese ou proposta é que voltemos aos canteiros para ali rearticular execução, forma e matemática, mobilizando todos os recursos disponíveis, analógicos e digitais, de uma maneira crítica e sem esperar milagres.

AGRADECIMENTOS

A Vitor Amaral Lotufo, pela generosidade de compartilhar seu manuscrito.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro e pelas bolsas que possibilitaram as pesquisas de que resultou o presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ARTIGAS, J. B. V. **Caminhos da arquitetura**. São Paulo: Cosacnaify, 2004.
- BAUMGARTEN, A. **Philosophische Betrachtungen über einige Bedingungen des Gedichtes**. Hamburg: Felix Meiner, 1983 [1735].
- COLEMAN, R. Design and Technology in Nowhere. **Journal of the William Morris Society**, v.9, n.2, p.28-39, 1991.
- CULMANN, K. **Die graphische Statik**. Zürich: Meyer & Zeller, 1866.
- FERRO, S. **Arquitetura e trabalho livre**. São Paulo: Cosacnaify, 2006.
- FERRO, S. **Artes plásticas e trabalho livre. De Dürer a Velázquez**. São Paulo: Editora 34, 2015.
- FERRO, S. **Michelangelo. Arquiteto e escultor da Capela dos Médici**. São Paulo: Martins Fontes, 2016.
- HUGO DE SÃO VITOR. **Didascalicon ou da arte de ler**. Petrópolis: Vozes, 2001 [1127].
- KANT, I. **Kritik der reinen Vernunft**. Stuttgart: Reclam, 1989 [1787].
- KANT, I. **Crítica da Faculdade do Juízo**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1995 [1790].
- KAPP, S. **Non satis est. Excessos e teorias estéticas no Esclarecimento**. Porto Alegre: Escritos, 2004.

LEIBNIZ, G. W. Discours touchant la méthode de la certitude et de l'art d'inventer pour finir les disputes et pour faire en peu de temps de grands progrès [1690]. In: LEIBNIZ, G. W. **Die philosophischen Schriften**. Vol. VII. Berlin: Weidmann, 1885, p. 174-183.

LOPES, J. M. A. **Em memória das mãos**: o desencantamento da técnica na arquitetura e no urbanismo. 2006. Tese (Doutorado) – Centro de Educação e Ciências Humanas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

MARX, K. Das Elend der Philosophie [*Misère de la philosophie. Réponse a la philosophie de la misère de M. Proudhon*, 1847]. In: **Karl Marx - Friedrich Engels - Werke**, Band 4. Berlin: Dietz Verlag, 1972.

PERRONET, J. **Mémoire sur le cintrement et le décintrement des ponts ; et sur les différens mouvemens que prennent les voûtes pendant leur construction**. Paris: Impr. royale, 1777.

PERRONET, J. **Description des projets et de la construction des ponts de Neuilly, de Mantes, d'Orléans, de Louis XVI & Autres. Supplément**. Paris: Didot, 1789.

PERRONET, J. **Projet d'un pont d'une travée de charpente, de trente-six pieds ouverte à son sommet, de dix pieds de largeur et sans clef**. Paris: l'Imprimerie, rue du Théâtre-François, 1793.

PESTALOZZI, J. H. **ABC der Anschauung oder Anschauungslehre der Maßverhältnisse**. Zürich: Geßner Cotta, 1803.

PICON, A. **French architects and engineers in the Age of Enlightenment**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

POUCHET, L. **Tableau des nouveaux poids, mesures et monnoies de la République française**. Rouen: edição do autor, 1794.

SMITH, A. **Riqueza das Nações**. São Paulo: Hemus, 2008 [1776].

TOURNÈS, D. Construire pour calculer. In: BARBIN, E. (ed.). **Les constructions mathématiques avec des instruments et des gestes**. Paris: Ellipses, 2014, p.265-296.

WILLIAMS, R. **Keywords**. A vocabulary of culture and society. New York: Oxford University Press, 1983.

WOLFF, C. **Psychologia empirica**. Frankfurt, 1732.

VIEL, C. **De l'impuissance des mathématiques pour assurer la solidité des bâtimens et recherches sur la construction des ponts**. Paris: edição do autor, 1805.

VIEL, C. **De la solidité des bâtimens, puisée dans les proportions des ordres d'architecture**. Paris: edição do autor, 1806.

VIEL, C. **Décadence de l'architecture à la fin du XVIIIe siècle**. Paris: edição do autor, 1800.