

NOTAS SOBRE A NOÇÃO DE SISTEMA TÉCNICO

Notes on the Notion of Technological System

Christian Pierre Kasper

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica crítica sobre sistemas técnicos. Examina como as interdependências necessárias ao funcionamento de técnicas cada vez mais complexas podem ser entendidas a partir da noção de sistema tal como elaborada pela cibernética e pela teoria geral dos sistemas. Partindo do trabalho de Thomas Hughes sobre os "grandes sistemas técnicos", investiga possíveis princípios de desenvolvimento e de funcionamento que sejam comuns a sistemas de tamanho e de tipo diversos, sendo decorrente apenas do grau de organização alcançado. Por fim, examina em que medida a coerência sistêmica proporciona a autonomia dos conjuntos técnicos, os quais se tornariam, em ampla medida, independentes das decisões humanas.

Palavras-chave: Sistema técnico; Sociologia da técnica; História da técnica; Teoria Geral dos Sistemas.

Abstract

This paper presents a critical bibliographic review of technological systems. It examines how the interdependencies required by the operation of increasing complex technologies can be understood based on the notion of a system as that constructed by cybernetics and general systems theory. Based on the work done by Thomas Hughes on "large technological systems," it investigates some principles of development and operation that are shared by systems of different sizes and types, but that result from the extent of their organization alone. Finally, it examines to what extent systemic consistency enables the autonomy of technological sets to be autonomous and largely become independent from human decisions.

Keywords: *Technological system; Sociology of technology; History of technology; General system theory.*

Preâmbulo

A noção de sistema expressa a intuição fundadora da Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 1971), a saber, a organização interna dos conjuntos como fator de emergência de novas propriedades. Intuição cuja expressão comum é: o todo é mais do que a soma das partes. Como veremos, as implicações da organização sistêmica vão muito além desta fórmula simplificadora, a qual, no entanto, tem o mérito de assinalar o salto qualitativo que ocorre quando elementos passam a coordenar suas atuações respectivas, a funcionar como partes solidárias de uma entidade maior.

O “sistema” apresenta, em primeiro lugar, um problema de percepção. Com efeito, não é dado de forma imediata aos sentidos, não pode ser visto nem tocado, pois carece da unidade formal própria ao objeto. Sua unidade é de **funcionamento**: é parte do sistema o elemento que participa de seu funcionamento, por meio de um acoplamento que não é sempre visível. Essa dimensão pode ser percebida no marketing dos telefones celulares: os aparelhos, embora promovidos por suas qualidades de objetos – servem de máquina fotográfica, etc. – são vendidos por um preço muito baixo pelas operadoras. Isso porque o que está sendo vendido, de fato, é o uso futuro do aparelho, através da rede que permite seu funcionamento. Para a operadora, o objeto-aparelho é apenas um meio de incluir o usuário no seu sistema.

A técnica como sistema

Os objetos usuais não somente dependem de redes para funcionar – rede elétrica, redes de comunicação, etc. – mas também para sua produção. Do projeto ao produto acabado, todo um conjunto complexo de técnicas interdependentes é mobilizado. Para descrever o conjunto dessas inter-relações, o historiador das técnicas Bertrand Gille propôs a noção de sistema técnico:

(...) todas as técnicas são, em grau diverso, dependentes umas das outras, e é necessário que haja entre elas uma certa coerência: este conjunto de coerências nos diferentes níveis de todas as estruturas de todos os conjuntos e de todas as feiras compõe o que se pode chamar de um sistema técnico. E as ligações internas, que garantem a vida desses sistemas técnicos são cada vez mais numerosas na medida em que se avança no tempo, na medida em que as técnicas se tornam cada vez mais complexas. (1978, p.19).

Gille propõe um mapa do sistema técnico do início do século XIX, centrado no ferro e no carvão e movido pela máquina a vapor, que mostra as inter-relações entre as diversas feiras que o compõem. Não há lugar aqui para entrar em detalhe sobre aquele sistema técnico. Basta notar como as diversas técnicas cuja exploração configurou a chamada revolução industrial (indústria têxtil, siderurgia, mineração, construção mecânica, etc.) eram ligadas entre si por uma densa rede de interdependências, como se vê a partir da máquina a vapor: movendo a indústria têxtil, entre outras, ela necessitava do carvão para funcionar, do aço e das novas máquinas ferramentas para ser fabricada.

Redes

Aparecem, no decorrer do século XIX, novas técnicas cuja complexidade e extensão territorial configuram imediatamente como sistemas. Alain Gras (1993) apontou três dessas técnicas: o trem, a eletricidade e o telefone e chamou essas entidades de macrossistemas técnicos. Esses sistemas tem um importante traço comum: visando disponibilizar um serviço em diversos pontos repartidos numa ampla extensão geográfica, instalam-se de imediato como redes. Uma delas, a rede que assegura a geração e a distribuição de energia elétrica, foi particularmente estudada pelo historiador Thomas Hughes, que desenvolveu a partir dela uma teoria dos *large technical systems*, termo que nos parece equivalente a macrossistemas técnico e pelo qual será doravante traduzido. Encontramos, no modelo de Hughes, duas propriedades geralmente atribuídas aos sistemas pela cibernética: a interdependência dos elementos que o compõem e a subordinação desses ao objetivo do sistema: "um artefato – quer seja físico ou não – funcionando como componente de um sistema, interage com outros artefatos, os quais

contribuem diretamente ou por intermédio de outros componentes ao objetivo comum do sistema.” (1989, p. 51)

Foi conforme a essa perspectiva sistêmica que Hughes estudou a invenção da lâmpada incandescente por Edison (Hughes, 1985), seguindo nisso o próprio inventor. Com efeito, a lâmpada era apenas um componente – embora um componente crítico – do sistema completo de iluminação projetado por Edison com a finalidade de substituir a iluminação a gás. Cada componente do sistema foi assim desenvolvido tendo em vista o custo global do serviço, que tinha de ser inferior ao da iluminação a gás. É dentro desse contexto que se inscreve sua busca por um filamento de alta resistência elétrica, exigido por critérios de economia no transporte da energia elétrica.

Na visão de Hughes, os macrossistemas são, desde sua criação, entidades que envolvem tanto artefatos quanto relações regradas entre pessoas, isto é, formas de organização. Para o autor, “as pessoas que constroem sistemas de iluminação elétrica e de geração de energia inventam e desenvolvem não apenas geradores e linhas de transmissão, mas também formas organizacionais tais como fábricas de material elétrico e empresas de controle de serviços públicos” (1989, p. 52). A concepção de sistema proposta por Hughes vai assim muito além daquilo que os engenheiros costumam chamar de “sistema técnico”, considerando apenas os componentes físicos, pois inclui também a literatura científica e os programas de pesquisas relevantes, como outros componentes imateriais indispensáveis ao desenvolvimento do sistema. O sistema assim definido é, portanto, tanto social quanto técnico, unindo artefatos e pessoas em torno de um objetivo comum.

A respeito do modelo de Hughes, interessem-nos particularmente as eventuais propriedades emergentes, isto é, fenômenos próprios ao grau de organização considerado, o macrossistema técnico. Além do *momentum* que será discutido depois, dois efeitos importantes são apontados por Hughes, o *reverse salient* e o coeficiente de carga, que podem ser considerados determinações internas dos sistemas. Por determinações internas, entendemos exigências colocadas pelo funcionamento ou pelo desenvolvimento do sistema enquanto entidade coerente.

Analisando as diversas fases pelas quais passa um macrossistema (invenção, desenvolvimento, crescimento, consolidação, etc.), Hughes mostra

que as questões que ocupam os especialistas de uma determinada área técnica – tal como, por exemplo, a eletrotécnica – são frequentemente definidas pela lógica de desenvolvimento de um sistema determinado. Hughes tomou de empréstimo do vocabulário da estratégia militar, onde designa uma falha numa linha de frente, o termo de *reverse salient* para denotar os pontos problemáticos que bloqueiam o desenvolvimento de um sistema: “os *reverse salients* são componentes do sistema que ficaram para trás ou defasados com relação aos outros” (1989, p. 73). O desenvolvimento de um novo tipo de gerador elétrico, por exemplo, pode levar a modificar um outro componente do sistema, tal como um motor, cujas características – resistência, voltagem – devem ser alteradas para obter um funcionamento ótimo em conjunção com o gerador; “enquanto isso não for feito, o motor continua sendo um *reverse salient*” (ibid). Vemos que a própria coerência sistêmica é o que define o *reverse salient*; o imperativo (econômico) de otimizar o sistema como um todo implica em sua correção, o que faz dos *reverse salients* um dos motores do progresso técnico.

Outro fator importante de determinação interna ao sistema é o coeficiente de carga (*load factor*), um parâmetro importante dos macrossistemas técnicos em geral, e da rede de fornecimento de energia elétrica em particular. O coeficiente de carga exprime a taxa de utilização do equipamento como porcentagem do produto (por exemplo, a energia elétrica, expressa em kWh) efetivamente consumido relativamente à capacidade total que seria possível fornecer. Segundo Hughes, “o coeficiente de carga é, provavelmente, a maior explicação do crescimento dos sistemas técnicos de capital intensivo numa sociedade capitalista” (1989, p. 72). Isso porque o capital fixo, imobilizado nas instalações, custa o mesmo sendo utilizado ou não. Maximizar seu rendimento significa, portanto, aumentar o coeficiente de carga. Com relação à energia elétrica, Forty (2007) mostra como o esforço para aumentar o coeficiente de carga levou os produtores de energia a promover seu uso doméstico, particularmente fora dos horários de maior utilização pela indústria, a iluminação pública e o transporte. A criação de muitos aparelhos eletrodomésticos respondeu, assim, a uma necessidade inerente ao sistema.

Humanos e não-humanos

Vimos com Hughes que um sistema técnico supõe, ao mesmo tempo, artefatos de diversas espécies e atores humanos enquadrados em formas de organização. Norbert Wiener, o fundador da cibernética, havia notado que as organizações eram tipos de máquinas:

Quando os átomos humanos estão estreitamente unidos para compor uma organização (...) pouco importa que sua matéria prima seja de carne e osso. Aquilo que se utiliza como elemento de uma máquina é, de fato, um elemento da máquina (WIENER, 1962, p. 234).

A equivalência de princípio entre componentes humanos e não humanos é um dos pressupostos metodológicos de uma corrente importante da atual sociologia da técnica, a escola chamada *Actor Network Theory* - doravante abreviada ANT – representada por autores como Bruno Latour, Michel Callon, John Law e Madelein Akrich. Procurando superar a dicotomia técnica/sociedade, a sociologia ANT elegeu a rede como princípio organizador. Sendo construídas por associação de dispositivos materiais e de atores humanos, as redes são de imediato sociotécnicas.

Uma questão, neste ponto, pode ser colocada: existe alguma diferença significativa entre elementos humanos e não humanos no seio de um sistema técnico? Podemos pensar que, porque “não foram criados pelos construtores do sistema, os indivíduos e os grupos nos sistemas tem um grau de liberdade que os artefatos não possuem” (HUGHES, 1989, p. 54)? O mesmo Hughes, no entanto, nota que os criadores de sistemas tenderam a rotinizar e padronizar as tarefas, seguindo os princípios de F. Taylor em tratar os seres humanos como “componentes inanimados”. Horários fixos, métodos de trabalhos prescritos, controle constante dos resultados, tudo isso amarrado ao salário, busca fazer com que a operação dos elementos humanos seja tão previsível quanto o funcionamento de uma máquina.

De fato, constatar que os seres humanos trabalhando em grandes organizações são estritamente enquadrados é uma banalidade. Mais interessante é perceber a recíproca: os elementos não humanos, os artefatos, são da mesma forma assujeitados a uma função. São também inseridos num meio controlado que garante a conformidade de suas operações.

O filósofo Gilbert Simondon, um dos pensadores da técnica mais estimulante do século XX, propôs, seguindo uma perspectiva sistêmica, uma

análise muito original do “objeto técnico” e de sua gênese; sua idéia de margem de indeterminação permite pensar o lado inanimado dos sistemas técnicos de forma não determinista. De um ponto de vista sistêmico, a função de um elemento num dispositivo exprime as relações que estabelece com os outros elementos com os quais interage. A função do cabo de força de uma geladeira, por exemplo, é permitir a circulação da energia elétrica entre o aparelho e a rede de distribuição. A função, assim, mobiliza certas propriedades do elemento, que justificam sua participação no conjunto, isto é, no dispositivo completo. No entanto, há um resto: outras propriedades do elemento, que não são relevantes para sua função – o cabo de força pode servir como corda, por exemplo. Esse resto é, precisamente, a margem de indeterminação. Nela, expressa-se o fato de que o elemento não se esgota em sua função, mas continua portador das virtualidades de outros usos, de outros modos de funcionamento, de “uma fecundidade, uma não saturação, que lhe dão uma posteridade” (SIMONDON, 1958, p. 43).

Conforme ao postulado ANT de homogeneidade entre componentes humanos e não humanos, podemos estender a idéia de margem de indeterminação aos elementos humanos que participam dos sistemas técnicos. Como já notava Gabriel Tarde a respeito das instituições,

Os elementos que compõem esses mecanismos, soldados desses diversos regimentos, encarnação temporária de suas leis, só pertencem ao mundo que constituem através de uma parte de seu ser, e por outra parte, dele escapam. Esse mundo não existiria sem eles; mas eles, sem o mundo, seriam ainda alguma coisa. Os atributos que cada elemento deve à sua incorporação a seu regimento não formam toda sua natureza (TARDE, 2003, p. 79).

Autonomia

Nosso percurso até aqui explicitou um pouco a noção de sistema técnico e nos aproximou bastante daquilo que os autores da linha ANT de sociologia da técnica chamam de rede. Sobre esse termo, Latour declarou que o preferiu àquele de sistema por ser “mais flexível”. Preferimos conservar o termo de sistema, pelo motivo que abarca certas propriedades que decorrem do nível de organização considerado, assumindo assim a herança da cibernética. Esse parentesco, todavia, coloca um novo problema: segundo a cibernética, um sistema artificial é finalizado, isto é, seu comportamento é

orientado para um objetivo determinado, que é sua razão de ser.

O que seria, então, o objetivo de um sistema de geração e distribuição de energia elétrica? Fornecer eletricidade, de modo constante, ao conjunto dos consumidores ligados à rede. Sem dúvida. Do ponto de vista do interesse financeiro, aquele que motiva os investimentos sem os quais o sistema não existiria, o objetivo seria formulado de outra maneira: ganhar o máximo de dinheiro possível com a venda de energia elétrica (ou, em jargão econômico: maximizar o retorno sobre o investimento), levando em conta, é claro, as restrições legais, técnicas, etc. que se aplicam a tal comércio. É concebível que a produção, a operação e a manutenção de cada componente envolvem interesses diversos. Podemos, tendo isso em vista, identificar o objetivo efetivamente perseguido pelo sistema (digamos, aquilo que seu funcionamento otimiza) com as intenções de seus atores, fossem eles dominantes, porque detém o capital ou ocupam um cargo executivo?

Dos múltiplos interesses envolvidos, podemos dizer, com os teóricos ANT, que são amarrados entre si, o que, justamente, permite que o sistema exista. De um ponto de vista sistêmico, constatamos que, por mais diferentes que possam ser os interesses em jogo, todos convergem numa direção: o funcionamento do sistema. O objetivo geral do sistema pode, nesta base, ser identificado com a continuidade do seu funcionamento, ou, em outros termos, a manutenção de sua própria existência enquanto sistema. É a partir da centralidade do funcionamento que propomos uma definição, pragmática e não rigorosa, de um sistema técnico como um conjunto de elementos, humanos e não humanos, unidos por um funcionamento comum.

Ao colocar o funcionamento como eixo organizador do sistema técnico, assumimos o que Hughes chama de *momentum* como uma de suas características essenciais. Partindo da constatação do que "os artefatos físicos duráveis projetam no futuro as características socialmente construídas adquiridas no passado quando foram projetados" (1989, p.77), Hughes compara essa propriedade com a trajetória de um objeto lançado, cujo movimento continua, passado o impulso que o iniciou, propriedade chamada de *momentum* na mecânica. De fato, a persistência dos artefatos é, em parte, uma consequência de sua materialidade: o muro, por exemplo, perpetua uma divisão do espaço que, sem ele, precisaria ser constantemente reafirmada. A questão se torna mais problemática ao considerar que Hughes coloca no mesmo plano, como fatores de *momentum*, o conhecimento

pressuposto pela operação do sistema. Ora, se este tem também uma base material (livros, artigos de revistas técnicas, etc.), é mantido através de um constante trabalho de reprodução, pela formação profissional em todos os níveis. O mesmo se aplica às formas organizacionais e aos outros fatores imateriais necessários à operação do sistema: permanecem, não por natureza, mas através de uma constante reprodução. Além do que, para muitos de seus atores, a operação do sistema é vital, pois representa um emprego ou o fornecimento de um serviço essencial. Considerando que tudo isso é ativo, a metáfora de Hughes é um pouco estática demais.

Recolocada no contexto dos debates sobre a questão dos sistemas técnicos, a noção de *momentum* parece corresponder a uma recusa da autonomia dos sistemas. Tal recusa explicaria a ênfase no aspecto passivo da independência – relativa – que os sistemas demonstram com relação às decisões humanas: “um *momentum* elevado induz frequentemente os observadores a deduzir que um sistema técnico se tornou autônomo” (HUGHES, 1989, p. 76).

A tese da autonomia da técnica foi defendida por um autor pouco notado no seu próprio país – será muito mais lido nos Estados Unidos do que na França – Jacques Ellul, cientista político e professor da Universidade de Bordeaux, que publica, em 1954, *La technique ou l'enjeu du siècle*. Neste livro, Ellul rompe radicalmente com o senso comum e sua visão instrumental da técnica. A técnica seria apenas uma coleção de ferramentas e de técnicas particulares, todas submetidas à vontade humana: eis, segundo Ellul a ilusão que máscara a verdadeira natureza da técnica. O desenvolvimento técnico, defende Ellul, obedece a uma lógica em que o progresso depende de fatores internos à técnica, e não de finalidades impostas de fora:

[a técnica] não persegue um objetivo, explícito ou não, mas evolui de maneira puramente causal: a combinação de elementos existentes fornece os novos elementos técnicos (...). A partir daí, colocar tal ou tal meta para aquela técnica, propor uma orientação, é negar a própria técnica, é retirar dela sua natureza e sua força (1954, p. 90).

Além disso, a técnica, determinada pela busca da eficiência, acaba encontrando, para cada operação, o melhor método (o *one best way* de F. Taylor), para cada dispositivo, a melhor configuração, eliminando as formas alternativas. Haveria assim um “automatismo” do progresso técnico, cuja

direção dependeria apenas das possibilidades do momento.

A autonomia da técnica, já postulada no seu livro de 1954 como consequência de suas determinações interna, é reafirmada por Ellul num livro publicado em 1977, *Le système technicien*, apoiada por novos argumentos, sendo o principal dentre eles a integração sistêmica possibilitada pela informatização de todos os setores da sociedade. Para Ellul, a técnica se tornou um fenômeno total, absorveu todas as outras formas de mediação (religiosas, estéticas) e cresce fora de qualquer possibilidade de controle.

Ao confrontar a "autonomia" segundo Ellul e o "*momentum*" segundo Hughes, é necessário levar em conta uma notável diferença no que diz respeito à escala: os macrossistemas considerados por Hughes, por maior que sejam, são entidades circunscritas, não há dúvida a respeito do que faz parte ou não do sistema. No argumento de Ellul, ao contrário, é "a técnica" como um todo que tende a se organizar como um único sistema, devido às interdependências que unam cada técnica particular a todas as outras. Essa concepção do sistema técnico está mais próxima daquela proposta por Gille, que postula a unidade de todas as técnicas de uma determinada época.

Lógica sistêmica

A questão da autonomia dos sistemas técnicos não tem uma resposta simples que não seja meramente retórica. Não pretendemos seguir os autores que vêem na técnica uma força cega, inumana, que se desenvolve em total independência quanto as finalidades humanas (LYOTARD, 1988). O que procuramos aqui é apontar para alguns mecanismos que orientam o desenvolvimento técnico e que seriam como um efeito da organização em sistema. A técnica, em qualquer nível que a consideramos, não é algo estático. Tudo nela é processo, e por isso, mais do que qualidades, podemos apontar tendências que apresentam os conjuntos técnicos e os sistemas técnicos em particular.

O conceito de concretização proposto por Simondon qualifica uma tendência da evolução dos objetos técnicos, segundo a qual passam, através de suas materializações sucessivas, de um estágio abstrato a um estágio concreto.

Quando um novo dispositivo é inventado, apresenta-se, geralmente, como um conglomerado de peças diversas, cada uma delas desempenhando uma função determinada, independentemente das outras. Os primeiros aparelhos de rádio, por exemplo, apresentavam-se como um conjunto de caixas, cada uma contendo um subconjunto completo, ligadas entre elas por fios. Este primeiro estágio do objeto técnico, formado por justaposição de dispositivos separados é chamado de abstrato por Simondon, que nota: "logicamente mais simples, [o objeto técnico abstrato] é tecnicamente mais complicado, pois é feito de vários sistemas completos" (1958, p. 26). A evolução subsequente do objeto vai tender para a integração das funções: os efeitos parasitas, as interferências vão sendo eliminados ou aproveitados, certas peças vão preencher diversas funções ao mesmo tempo, a matéria inútil é eliminada, em suma, o objeto se concentra em torno de seu funcionamento e realiza sua integração sistêmica. O objeto técnico concreto, término do processo, é o objeto "que não está mais lutando contra si mesmo, no qual nenhum efeito colateral prejudica mais o funcionamento do conjunto ou é deixado fora desse funcionamento" (ibid, p. 34).

Embora Simondon, ao descrever o processo de concretização o refira constantemente ao *objeto* técnico, este é tratado como um sistema integrado de funções. Podemos, portanto, estender a validade de suas observações a dispositivos de outras escalas, na medida em que manifestam essa interdependência das partes que Simondon atribui ao objeto técnico, e entender a integração crescente como uma característica do desenvolvimento dos sistemas técnicos. Dessa integração resultaria a subordinação crescente dos elementos ao conjunto, a redução de sua margem de indeterminação.

Considerações finais

A perspectiva sistêmica, com seu foco nas relações, evidencia as interdependências envolvidas pelo funcionamento das coisas. Permite escapar da redução instrumental do objeto técnico e apreender os efeitos globais de sua inserção no mundo. Nesse sentido, é indispensável à compreensão de artefatos como o automóvel, que produziu, ao longo de sua história, um meio próprio, uma rede gigantesca envolvendo a produção, a manutenção e a comercialização dos veículos e os empregos

correspondentes, a construção, a manutenção e a fiscalização das estradas, a produção e a distribuição dos combustíveis, a formação dos condutores, as leis do trânsito e as disputas jurídicas que as envolvem, a regulação do trânsito urbano e a sinalização correspondente, os problemas urbanísticos do trânsito e do estacionamento, a poluição do ar e as doenças decorrentes, etc.

Em suma, a abordagem sistêmica, ao apontar para mecanismos inerentes aos conjuntos organizados, atenta para fatores que orientam o desenvolvimento de novas estruturas em função de necessidades internas das estruturas existentes.

Referências

AKRICH, Madeleine. Comment sortir de la dichotomie technique/société. In : Latour, B., Lemonnier, P. **De la préhistoire aux missiles balistiques**. Paris: La Découverte, 1994.

BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1971.

ELLUL, Jacques. **La technique ou l'enjeu du siècle**. Paris : Armand Colin, 1954.

____. **Le système technicien**. Paris: Le cherche midi, 2004 (1977).

FORTY, Adrian. **Objetos de desejo**. São Paulo: Cosac Naify, 2007 (1986).

GILLE, Bertrand. **Histoire des techniques**. Paris: Gallimard, 1978.

GRAS, Alain. **Grandeur et dépendance**. Paris: PUF, 1993.

HUGHES, Thomas P. The evolution of large technological systems. In : Bijker, W. E, Hughes, T.P, Pinch, T.J. **The construction of large technological systems**. Cambridge: MIT Press, 1989.

____. Edison and electric light. In: Wajcman, J., MacKenzie, D. (eds) **The social shaping of technology**. Milton Keynes: Open University Press, 1985.

LYOTARD, Jean-François. **L'inhumain**. Paris: Galilée, 1988.

SIMONDON, Gilbert. **Du mode d'existence des objets techniques**. Paris: Aubier, 1958.

TARDE, Gabriel. **Monadologia et sociologia**. Petrópolis: Editora Voz, 2003 (1879).

WIENER, Norbert. **Cybernétique et société**. Paris: Éditions des Deux-Rives, 1962 (1954).