

CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS SOBRE FALHAS E ACIDENTES EM ENGENHARIA

EPISTEMOLOGICAL CONSIDERATIONS ON ENGINEERING FAILURES AND ACCIDENTS*

LUIZ ROBERTO MIRANDA**

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PETRÓPOLIS, BRASIL

DANIEL LUIZ MIRANDA***

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

Resumo: O presente artigo pontua a relevância de uma “reflexão sobre a *práxis*” da Engenharia e, em especial, da Engenharia de Corrosão. Trata-se de uma crítica sobre o “encantamento” pela aferição de ferramentas de cálculo e medidas no intuito de resgatar a contradição epistemológica básica da citada Ciência, a saber: Aquilo que provêm do homem (capacidade de projetar, construir, normatizar, resolver problemas complexos) *versus* a relação desses “engenhos” com fenômenos espontâneos, não lineares e irreversíveis. Evidenciaremos, dessa forma, contradições entre método e prática; Entre sistemas normativos “estáticos” e fenômenos “dinâmicos”; Entre gênese de projetos em Engenharia baseados nos princípios físicos de simetria os quais, dada sua evolução temporal, ficam expostos a interfaces ambientais assimétricas em sua essência. Por fim, almejamos contribuir para o permanente e imprescindível exercício epistemológico de toda e qualquer Ciência, qual seja: O de não prescindir da *essência causal* do fenômeno estudado em função dos *efeitos fenomenológicos per se*.

Palavras-chaves: Epistemologia. Fenômenos Irreversíveis. Engenharia de Corrosão. Sistemas Normativos.

Abstract: The present article highlights the relevance of an Engineering “reflection on a *praxis*”, specially concerning the Corrosion Engineering. It conveys a critical appreciation about a fascinating “enchantment” for the gauging of calculus and measurements tools aiming to retrieve the basic epistemological contradiction of the mentioned Science as such: Everything that originates from mankind (the capacity to make projects, to construct, to elaborate norms and to solve complex problems) versus the relationship of these “engines” with spontaneous, non-linear and irreversible phenomena. Consequently, it will become evident some contradictions between methods and practices; between static and normalized systems and dynamic phenomena; between the genesis of engineering projects based on physical principals of symmetry which, due to their temporal evolution, were exposed to

** Doutor em Engenharia pela Université Libre de Bruxelles, Bélgica. Professor da Universidade Católica de Petrópolis. Diretor da ECORR. E-mail: miranda@ecoprotec.com.br

*** Bacharel em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. Diretor da ECORR. E-mail: daniel@ecoprotec.com.br

asymmetric environmental interfaces in their essence. Finally we intend to contribute for the permanent and indispensable epistemological exercise for all and any Science which is – never to renounce the caused essence of the studied phenomena in function of the phenomenological effects per se.

Keywords: Epistemology. Irreversible Phenomena. Corrosion Engineering. Normative Systems.

1. Introdução

Em 06/02/2018, uma seção de um viaduto em Brasília cedeu causando forte impacto no trânsito e na infra-estrutura viária da cidade. Autoridades locais justificaram o citado fato alegando o tempo de construção/uso (58 anos) associado a programas de manutenção claramente deficientes. Na ocasião, foi afirmado que, doravante, a manutenção preventiva das demais obras-de-arte da referida cidade teriam as prioridades devidas. Salientamos que este não foi um caso isolado. Outros viadutos desabaram em circunstâncias semelhantes, sem “aviso prévio” da estrutura, e tais falhas são correntes não somente em viadutos, mas em máquinas, equipamentos industriais, unidades fabris, etc...

O presente artigo visa apresentar uma discussão sobre as raízes de tais falhas, considerando aspectos epistemológicos sobre a natureza do conhecimento científico teórico e suas aplicações práticas, naquilo que entendemos como “Engenharia”. Veremos que os sistemas normativos, base de todas as tecnologias, são evolutivos e geram novos sistemas que devem ser adaptados ao longo do tempo, este em constante transformação. Como paradigma dessa assertiva, tomaremos como exemplo a Engenharia de Corrosão, ciência cujo objeto de estudo é irreversível e não linear.

2. Contextualização epistemológica: uma necessidade nas ciências exatas

Etimologicamente, Epistemologia significa discurso (*logos*) sobre a Ciência (*episteme*). Epistemologia consiste, portanto, no estudo crítico dos princípios, das hipóteses e dos resultados das diversas vertentes do pensamento científico.

No que concerne a engenharia, ainda que sua evolução epistemológica seja indissociável à história evolutiva das técnicas e ao desenvolvimento sistemático de seu discurso *e.g* tecnologia (*Techne + logos*), entendemos que o exercício da supracitada definição

seja particularmente necessário. Tal afirmação baseia-se em três aspectos, um de caráter filosófico e dois intrinsecamente relacionados à *praxis*, a saber:

2.1. *Deus Ex Machina?*

O fato de vivermos numa sociedade onde a tecnologia exerce papel central não somente no mundo produtivo quanto nas relações humanas, eleva a mesma à categoria de paradigma insofismável, crença. Assim, atualmente, nota-se uma tendência do corpo discente de qualquer instituição de ensino a desafiar toda e qualquer revisão crítica por parte do docente sobre, por exemplo, programas computadorizados de medição, projeções de cenários, rendimento de materiais etc...

No entanto, a “crença fetichista no poder do raciocínio puramente lógico” desvela uma contradição filosófica flagrante, qual seja: A evolução da informática, da robótica e suas proezas devem-se à mente humana (!) e, inerente à sua condição, a crítica é parte integrante do processo evolutivo da Ciência (!). A negação dessa premissa, ao nosso entender, pode gerar distorções tanto na formação de novos engenheiros como induzir ao erro da prática científica por parte de profissionais de engenharia menos experimentados.

Enfatizamos, uma vez mais, que prescindir do discurso epistemológico crítico nas ciências exatas pode acarretar a formação de profissionais que “vejam a técnica como um fim em si mesmo” (PEREIRA FILHO, 2001).

2.2. Sistemas normativos “estáticos” *versus* “dinâmicos”

A Engenharia parte de leis físicas bem estabelecidas, leis estas oriundas de teorias e experimentos acumulados pelo Homem, que as emprega no mundo prático através de normas, procedimentos, especificações técnicas, etc...

A universalidade destes sistemas normativos é o que permite que a diversidade de engenhos possa ser fabricada e utilizada em todo planeta da mesma maneira. É o que denominamos “Sistema Normativo Estático” (S.N.E). Nestas condições, quando o engenho é inteiramente projetado como “coisa fechada”, o S.N.E deve assegurar o desempenho do mesmo, “*ad inifitum*”.

Em termos gerais, poderíamos afirmar que no caso do (S.N. E) a lógica formal “*causa-efeito*”, uni variável, é amplamente respondida e aceita. É inexorável que fenômenos dotados de alta complexidade são igualmente tratados pelas citadas normas. Atentamos, porém, para o fato de que, ainda que calibradas para fenômenos multivariáveis, a lógica “*input – output*” ou de modelos “caixa preta” prevalecem sobre medidas de campo e testes empíricos de comprovação que contemplem espontaneidades ambientais e, sobretudo, temporais, específicas para cada *case*.

Nesse sentido, (MIRANDA, 2014) afirma que fenômenos espontâneos ocorrem em grau muito mais elevado do que nos processos artificiais criados pela mente humana. Em que pese tal afirmativa, a quantidade de normas existentes no âmbito da corrosão, fenômeno não linear e irreversível, chega a ser surpreendente. O autor pontua ainda que uma análise mais aprofundada desses sistemas normativos nos leva à decepcionante conclusão de que tais normas controlam e definem não o fenômeno corrosivo em si, mas um verdadeiro “mar de sargaços” de procedimentos concernentes à confecção de corpos-de-prova, à limpeza das mesmas, maneira de expô-las, aferição das taxas de corrosão e assim por diante. Tais procedimentos são aplicados, *mutatis mutandi*, a todas as formas de corrosões: atmosférica, sob-tensão, proteção catódica, fadiga, etc...

Dessa forma, nos parece pertinente o questionamento que segue:

Como não refletir sobre certa incoerência metodológica uma vez que sistemas normativos “universais” pretendem atuar sobre fenômenos naturais, diversos e irreversíveis?

Pelo descrito acima, afirmamos que a variável Tempo se torna obrigatória na confecção de práticas de monitoramento/controle de fenômenos irreversíveis. Pois a evolução temporal, seja de uma reação química, seja da resistência de um determinado aço etc..., é “criativa” (*dinâmica*) e não “volta atrás” (*irreversível*).

Assim, como sua essência fenomenológica, a corrosão exige um Sistema de Normas Dinâmico (S.N.D) o qual deve operar sob égide da constante adequação multicausal que a Flecha do Tempo impõe.

2.3 Simetria X Assimetria

A razão principal dos fenômenos irreversíveis é o que se denomina a “quebra de simetria”. Como dito acima, a Engenharia se utiliza de leis naturais e constrói engenhos

“fechados em si mesmos”. Contudo, quando os fenômenos irreversíveis passam a ser dominantes, os Sistemas Normativos Estáticos sofrem uma alteração significativa em seus fundamentos básicos. Nestas condições, a dinâmica dos fenômenos espontâneos “quebra” as simetrias originais “cartesianamente concebidas”, e condicionam uma abordagem de intervenção distinta.

Modelos reduzidos de navios, plataformas, aviões, etc., quando passam para a escala real permanecem “confiáveis” à medida que as similitudes entre o modelo reduzido e o engenho em tamanho real prevalecem. Contudo, se as diversas simetrias sofrerem a ação de fenômenos irreversíveis, outra metodologia deverá ser aplicada. Assim, a prática de um Sistema de Normas Dinâmico (S.N.D) deverá ser corrigida e adaptada para as novas condições. Caso contrário, vários acidentes em obras e engenhos corretamente projetados e testados em seu início levam a acidentes dos mais variados.

3. DOIS EXEMPLOS PRÁTICOS:

- a) Para ilustrar o descrito acima, consideremos as duas fotos a seguir. As referidas imagens ilustram um acidente numa esteira transportadora de uma planta química:

Foto 1 a: Esteira Transportadora Colapsada



Fonte: Autores, ano: 2012

Foto 1 b:Atuação de Vapores Ácidos na Estrutura



Fonte: Autores, ano: 2012

Como se pode constatar em (1 a), a falha ocorreu num trecho específico da estrutura, visualizada em (1 b). Observa-se igualmente e, sobretudo nesta última foto, que a “fonte” principal da falha deu-se por ação da emissão de vapores ácidos oriundos de uma unidade geradora de gases corrosivos “vizinha” à correia transportadora em evidência.

Nesse contexto, gostaríamos de salientar dois pontos:

- 1) A maior parte da esteira, pintada em cor azul, seguiu rigorosamente as normas, especificações e procedimentos de pintura, a qual resistiu à ação do intemperismo por mais de 10 anos. Nestas condições, o S.N.E foi aprovado e aplicado com sucesso;
- 2) Por outro lado, na região influenciada pelo micro-clima resultante da emissão de vapor, o S.N.E não mais se aplica, posto que as condições espaço-temporais desta pequena região evoluíram de maneira distinta ao projeto estrutural inicial. Neste caso, deveriam ser levantados os procedimentos específicos de atuação, baseados em medidas *in situ*, e criado um Sistema Normativo Dinâmico no intuito de remediar uma “ação criativa” onde o S.N.E não mais se aplicava.

b) O Caso do Viaduto de Brasília:

A analogia entre o caso da esteira transportadora e a queda do tabuleiro do viaduto em Brasília é marcante.

Com efeito, passados 58 anos da construção da citada obra, o S.N.D deveria contemplar os fenômenos irreversíveis que variáveis temporais exercem sobre o S.N.E primevo. Tais variáveis contemplariam a evolução das tensões residuais provocadas pelo aumento do número de veículos, as corrosões causadas por águas pluviais que percolam o concreto e atingem a estrutura de aço inserida na massa do mesmo, a composição química do material atual em comparação às características originais e assim por diante. Dessa forma, seria confeccionado um novo Sistema Normativo Dinâmico que evidenciaria as transformações irreversíveis que o Tempo exerce.

Visto o exposto, afirmamos que são inúmeros os casos de falhas que levam a discussões advocatícias sobre “quem é o responsável pela falha?”. A resposta mais simples e trivial é: “Os órgãos públicos que não fornecem verbas para uma manutenção adequada”. Mas, infelizmente, a questão exige uma abordagem mais profunda. Ela está na raiz do conceito da “Natureza Criativa”, a qual necessita durante a formação acadêmica de nossos engenheiros, uma disciplina à parte. E, sem maiores argumentações, tal postura se generaliza a todas as formas do saber acadêmico.

4. Comentários

A dicotomia entre o saber teórico e o saber prático, presente desde os gregos, passando por Kant, Descartes, Galileu, Marx e os novos filósofos, como Deleuze e Foucault, recai num reducionismo digno de um impasse. Com efeito, teoremas abstratos, de puro interesse de matemáticos teóricos, são, hoje em dia, ferramentas de cálculo em computadores de última geração. Assim, o saber prático acaba por ser o critério da verdade.

Em termos puramente materialistas, a Engenharia transforma o saber teórico em engenhos, máquinas, processos, tecnológicos e... os Normatiza! O presente artigo propõe, como afirmativa, que, mesmo essas Normas, apresentam uma dualidade entre Sistemas Normativos Estáticos e Dinâmicos. E, que este último, se não for levado em consideração, pode acarretar falências de consequências desastrosas.

O próprio conhecimento pratico é limitado em si mesmo. Com efeito, a Física Teórica impõe duas limitações ao Saber Prático: O conhecimento objetivo está limitado entre dois números: a constante de Planck e a velocidade da luz. Nada pode ser medido, através de aparelhos, para sistemas que apresentam ações com valores inferiores a 10^{-27} erg.s. Nem tampouco, superiores a objetos que extrapolariam a velocidade da luz (300×10^3 KM/SEG), pois tais objetos violariam a famosa equação de Einstein, $E=mc^2$. Acima desta velocidade limite, toda a matéria é transformada em energia.

A Engenharia está, portanto, limitada entre Planck e Einstein. Quaisquer extrapolações entre estas duas fronteiras entra no domínio árduo da metafísica.

5. Conclusões

As discussões acima apresentadas, bem como os exemplos dos casos práticos citados, nos conduzem às seguintes conclusões:

- 1) Os projetos de Engenharia, desde sua concepção até sua execução, se utilizam de Sistemas Normativos Estáticos, S.N.E, onde o tempo é parametrizado.
- 2) A ocorrência de fenômenos irreversíveis e aleatórios, onde o tempo é uma variável -é não um parâmetro – leva naturalmente à constatação de um Sistema Normativo Dinâmico, S.N.D, o qual irá fornecer os critérios de manutenção passíveis de adaptações pertinentes às condições reais.

REFERÊNCIAS

- BUNGE, Mario. *Epistemologia*, São Paulo: Queroz Editor, 1980.
- BOMBASSARO, Luiz Carlos. *As Fronteiras da Epistemologia*, Petrópolis: Vozes, 1992.
- BOCHNIAK, Regina. *Questionar o Conhecimento*. São Paulo: Loyola, 1992.
- DANCY, Jonatham. *Epistemologia Contemporânea*. Rio de Janeiro: Ed. 70, 1990.
- HABERMAS, Jurgem. *Ciência e Técnica como Ideologia*. Lisboa. Ed. 70.
- KONDEPUDI, D.K. *Modern thermodynamics : from heat engines to dissipative structures*, Chichester. John Wiley & Sons Ltd, 1998.
- MIRANDA, L. R. M. *Considerações sobre o uso de normas como critério para avaliação da corrosão*, Petrópolis. REUCP, 2014.
- PEREIRA, Osvaldo *A Importância da Epistemologia no Ensino da Engenharia* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Eletrônica da Escola de Engenharia Cidade Universitária, Centro de Tecnologia Bloco H, Sala 217 21945-970 - RIO DE JANEIRO - RJ osvaldo@del.ufrj.br
- PIAGET, Jean. *A Epistemologia Genética*, Petrópolis: Vozes, 1992.
- POURBAIX, M. *Lições de Corrosão Electroquímica*, Lisboa. CEBELCOR, 1987.
- RABUSKE, Edvino. *Epistemologia das Ciências Humanas*, Caxias do Sul. EDUSC, 1987.
- HOBBSAWM, Eric. *A Era das Revoluções*, Editora Paz e Terra, Rio de Janeiro. 1979.

Universidade Católica de Petrópolis
Centro de Teologia e Humanidades
Rua Benjamin Constant, 213 – Centro – Petrópolis
Tel: (24) 2244-4000
synesis@ucp.br
<http://seer.ucp.br/seer/index.php?journal=synesis>



MIRANDA, Luiz Roberto; MIRANDA, Daniel Luiz. CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS SOBRE FALHAS E ACIDENTES EM ENGENHARIA. *Synesis*, v. 9, n. 2, p. 125-133, Out. 2017. ISSN 1984-6754. Disponível em: <http://seer.ucp.br/seer/index.php/synesis/article/view/1438>
