OS ENIGMAS DA FORMA - OU O SONHO DE HEGEL E EINSTEIN

Jarbas Maciel *

"Tudo é forma: a própria vida é forma"

(BALZAC)

Apesar das dificuldades do tema, o presente artigo propõe uma rica análise do mundo das formas. Para Hegel, nada está isolado; algo só se torna compreensível na medida em que é considerado em suas relações com todos os demais seres. Este tem se demonstrado um pensamento poderoso, tanto em ciência como em arte e filosofia. Mas é particularmente na consideração do conceito de ***forma*** *que a visão de Hegel parece encontrar sua mais veemente aplicação. Trata-se de um conceito poderosíssimo, que perpassa todo pensamento filosófico e científico desde as suas mais remotas origens na Grécia dos séculos VI a III a.C., constituindo, ademais, na expressão feliz de Henri Focillon, tanto a essência quanto a existência da obra de arte[1]. Daí a enorme dificuldade em abordá-lo apropriadamente - o que, entretanto, não deveria impedir que fosse revisitado com o objetivo, tão somente, de salientar algumas de suas interconexões mais sugestivas para o ofício do filósofo, do cientista ou do artista.*

---

1. Introdução

O conceito de forma tem uma história riquíssima, somente comparável à densidade de relações que gaurda com todos os outros conceitos fundamentais do conhecimento. Sua primeira formação antecede a Antiguidade Clássica, onde iria constituir, por exemplo, o miolo da célebre disputa entre Platão e Aristóteles, a qual, apesar de todas as aparências em contrário, continua viva e bem viva nos dias de hoje.

---

* **Jarbas Maciel** é professor do Departamento de Filosofia da UFPE.

Afinal de contas, a quem não acorreriam as palavras solenes e misteriosas do Velho Testamento de Moisés:

- "E a terra era sem forma e vazia. . ."

Extraordinário conceito, este, que, sob mil disfarces, em função das inevitáveis modificações na linguagem e nos modos de pensar ao longo dos séculos, reaparece sempre como fio condutor nas controvérsias metafísicas e teológicas da Idade Média, tendidas entre o pensamento de São Tomás de Aquino, do lado da tradição aristotélica, e de Santo Agostinho, do lado da tradição platônica; ou nas hábeis construções de Bacon, Descartes, Espinoza, Leibniz e Locke, passando por Wolff, Kant, Hegel para chegar, com a fenomenologia, a ontologia e a hermenêutica, à meditação filosófica mais representativa desenvolvida em nossos dias.

Seria até ocioso tentar colocar em destaque o papel central que o conceito de forma tem desempenhando na ciência contemporânea, seja diretamente - isto é como **forma** ou **estrutura** -, seja indiretamente, sob o disfarce das **relações.** Basta considerar a importância assumida na matemática contemporânea pela idéia geral de estrutura, na base de uma teoria matemática. Para o matemático, o que importa numa teoria são, antes e acima de tudo, as relações entre os objetos matemáticos que aí comparecem, permanecendo a natureza desses objetos em segundo plano. Além disso, quando relações encontram fundamentalmente a mesma expressão em duas teorias matemáticas diferentes, o matemático imediatamente procura identificar o sistema que "encapsula" essas relações naquilo que ele chama de estrutura subjacente a essas duas teorias. Daí a apresença ubíqua da noção de estrutura no pensamento matemático atual. Quando essa mesma estrutura aparece em teorias diferentes, o matemático sabe que está não só em presença do mais forte indício dessa misteriosa unidade fundamental da matemática, mas também da sua mais importante fonte de progresso. "A invenção de estruturas sobre conjuntos", no dizer do matemático francês Jean Dieudonné, é a régua e compasso do matemático em seu trabalho de pesquisa[2]. Embora considerada ultraformalista, a concepção bourbakista da matemática ainda constitui a marca por excelência do pensamento matemático em nosso século.

Também na física o conceito de forma marca uma presença que está longe de ser meramente incidental. O que, aliás, seria de esperar, dada a profunda interação entre a matemática e a física, que só tende a se acentuar. Já se disse que uma boa teoria física deve conduzir a uma matemática significativa. A história da ciência mostra que a recíproca tem sido consistentemente verdadeira: teorias matemáticas poderosas têm à miúde conduzido a teorias físicas extremamente pregnantes. Um exemplo interessante, do ponto de vista da morfologia, é o da análise "global" das soluções das equações diferenciais. Desde o século XVIII se sabe que, a não ser para alguns casos isolados, não se conhecem explicitamente as soluções gerais de uma equação diferencial. A alternativa desde então era limitar-se ao estudo "local" das soluções, ou seja, ao seu comportamento na vizinhança de um ponto. No final do século passado, entretanto, Poincaré, misto de matemático e filósofo, obteve alguns teoremas importantes sobre o comportamento global das soluções, dando início à teoria dos sistemas dinâmicos, fundamental para a solução de muitos problemas de mecânica e astronomia, além de constituir a raiz principal de um desenvolvimento que terminaria por culminar, neste século, na moderna morfologia e, mais recentemente, nesta sua importantíssima extensão que é a morfodinâmica. Com os sistemas dinâmicos, Poincaré operou a ressurreição do chamado ponto-de-vista qualitativo em mecânica racional, criando novos métodos matemáticos que levariam à geometria e topologia diferenciais, a linguagem em que estão "escritos" nossos modelos do universo, desde Einstein.

Os métodos qualitativos introduzidos por Poincaré têm um significado histórico e ontognoseológico muito profundo. Na medida em que são caracterizados por um ponto de vista geométrico global, representam um desses eternos retornos a Platão, no sentido da análise que Popper faz do caráter revolucionário da descoberta dos números irracionais pelos matemáticos pitagóricos[3]. A não ser pelo seu costumeiro viés racionaturalista-cientificista (mas não necessariamente positivista), a análise de Popper, segundo a qual a doutrina filosófica central de Platão - sua teoria das Formas ou "idéias", como é mais conhecida - não pode ser explicada unicamente a partir do seu contexto filosófico **tout court,** exigindo antes uma referência ao estado em que se encontrava a ciência grega nos séculos IV e III A.C. e em especial a matemática grega; pois bem, a crítica de Popper nos parece mais do que correta - ela é crucial para o entendimento deste longo processo que culmina, em nossos dias, na morfodinâmica de René thom, E.C. Zeeman e Jean Petitot.

Platão representa, na história do pensamento ocidental, um redirecionamento radical da ciência grega em favor da geometria, libertando-a de sua sujeição à aritmética típica da escola pitagórica e do atomismo de Demócrito. Estas duas vertentes do pensamento grego - o pitagorismo e o atomismo - haviam entrado em crise com a descoberta dos números irracionais, fato que havia abalado seriamente a crença pitagórica de que os números (quer dizer, os números inteiros e fracionários) seriam "a essência de tudo o que é inteligível no universo". Esta descoberta, aparentemente tão inocente debaixo do seu caráter técnico matemático, marcou uma das mais profundas crises da filosofia e da ciência ocidentais. Pitágoras havia introduzido a idéia tremendamente pregnante de que a matemática constitui a chave para a interpretação da natureza - uma idéia que seria retomada por Galileo no século XVII. Platão compreendeu bem o sentido da crise dos números irracionais e tratou de desenvolver uma explicação geométrica do mundo. Os **Elementos** de Euclides, obra que foi uma contribuição da Academia platônica pouco depois da morte do seu líder por volta de 347 a.C., tinham a intenção de ser mais do que uma exposição formal da geometria; eram todo um "organon" cosmológico, um modelo do universo, representando uma solução sistemática dos problemas colocados pela cosmologia dos pré-socráticos. Tanto assim é que Proclo de Constantinopla, um filósofo neoplatônico do século V A.D., refere-se claramente a este sentido perdido da obra de Euclides: "Alguns (autores) entendiam que o assunto dos vários livros (de Euclides) pertence ao cosmos, e que sua intenção era nos auxiliar em nossa contemplação e teorização a respeito do universo". Este programa platônico vara os séculos e alcança, já em plena era moderna, a chamada Revolução Científica dos séculos XVI e XVII, com a substituição das "substâncias" e "potências" qualitativas de Aristóteles por um modelo geométrico da cosmologia que trazia embutida em seu bojo a geometria euclideana (platônica). O "paradigma geométrico", assim, insere-se na visão do mundo de toda uma pletora de pensadores e cientistas de primeira grandeza, desde Aristarco de Samos (ca. 280 a.C.), Arquimedes de Siracusa (287-212 a.C.), passando por Hiparco de Samos (século II a.C.) - este o criador da trigonometria -, Ptolomeu (ca. 140 A.D.), Copérnico (1473-1543), Kepler (1571-1630), Galileo (1564-1642), Descartes (1596-1650), Newton (1642-1727), Leibniz (1646-1716), Kant (1724-1804), Laplace (1749-1827) até já, em nossos dias,

Einstein (1879-1955) e os cosmólogos contemporâneos - entre estes, naturalmente, o astrônomo holandês W. de Sitter, o matemático russo A. Robertson, o físico americano J. Wheeler e o físico Inglês S. Hawking.

Essa permanência do programa platônico - sim, porque o paradigma geométrico nada mais era do que a face científica de um programa mais abrangente, filosófico, como o era a teoria platônica das Formas (idéias) -, pois bem, essa permanência nada tem de acidental.

2. A morfogenese de René Thom e os enigmas de D'Arcy Thompson

René Thom, matemático francês da atualidade, que se notabilizou por desenvolver um modelo revolucionário dos sistemas dinâmicos para explicar o fenômeno biológico da morfogênese - a chamada teoria das "catástrofes" - chega a identificar as próprias condições de intelecção de um processo natural com a sua interpretação geométrica. Para Thom, "o dilema colocado a toda explicação científica é este: "magia ou geometria"[4]. Estas palavras de Thom são um eco do verso de Dionísio de Alexandria, poeta grego do século II A.D. - "(. . .) la forme (est) la magie du monde"[5]. As palavras não estão sendo usadas aqui em nenhum sentido alegórico. Vejamos o comentário aduzido pelo próprio Thom na sua obra magistral: - "(. . .) a geometria euclideana clássica pode ser considerada como magia; ao preço de (introduzir) uma distorção mínima nas aparências (um ponto sem dimensão, uma linha sem largura) a linguagem puramente formal da geometria descreve adequadamente a realidade do espaço. Poderíamos dizer, neste sentido, que a geometria é magia bem sucedida. Eu gostaria de afirmar uma recíproca: não será a magia, na medida em que é bem sucedida, uma geometria?"[6].

Embora fale constantemente de geometria, é evidente que a visão de Thom equivale em tudo à de Platão, ou seja, é uma visão essencialmente morfológica. De fato, veja-se a sua decrição do programa que o seu livro se propõe cumprir: - "Um dos problemas centrais estudados pela humanidade é o problema da sucessão das formas. Qualquer que seja a natureza última da realidade (. . .), é indiscutível que nosso universo não é caos. Nós percebemos os seres, os objetos, as coisas a que atribuimos nomes (. . .) (Esse) universo que nós vemos é uma criação incessante, uma evolução e uma destruição de formas (...) O fim da ciência é prever essa mudança de forma e, se possível, explicá-la"[7].

D'Arcy Thompson, num livro que se tornou clássico, já havia assinalado essa preocupação com a forma: - "As vagas do oceano, as pequenas ondas que quebram na praia, a curva caprichosa da baía que se estende entre dois pontais, o perfil das colinas, a forma das nuvens, tudo isto constitui exemplos dos inúmeros enigmas da forma (...)"[8].

Cada época histórica, nesse mundo maravilhoso que é o do desenvolvimento das idéias, parece estar marcada por um ponto-de-vista central na eterna tarefa das civilizações de interpretarem e compreenderem o seu "mundo". O conceito de forma parece central à nossa época - mais, até, do que o foi para a Grécia Clássica. E, no entanto, ainda permanece um enigma a desafiar a nossa curiosidade. Não iria nenhum exagero em afirmar que as grandes questões filosóficas a respeito da forma ainda não foram satisfatoriamente colocadas, que dirá resolvidas. Nós vivemos mergulhados na forma, nós somos forma - afinal de contas, a forma, como diz John Barrow num livro provocante[9], é a essência da vida -; a natureza, na concepção de pensadores seminais como Espinoza, Goethe e Hegel, é, no fundo, um ilimitado dinamismo produtor de formas, que se transformam permanentemente em outras formas; essas mesmas formas que existem no espaço e na matéria habitam também a nossa mente; existe uma misteriosa correspondência entre os aspectos estruturais do mundo natural e as necessidades estruturais do espírito humano; nossa própria consciência é forma, nossa sensibilidade veste-se, por assim dizer, de forma na obra de arte - e todavia permanecemos como que mesmerizados pelo fascínio que exercem sobre nossa curiosidade intelectual os velhos enigmas da forma...

Têm sido muitas e extremamente variadas as tentativas para decifrar os enigmas da forma ao longo desses mais de vinte séculos de história do pensamento humano. Forma, como salientamos desde o início, é um conceito muito antigo e muito complexo. Entretanto, inicialmente e para facilitar a discussão, poderemos, como costumam fazer os dicionários, considerá-lo como equivalente ao conceito de estrutura, o que nos leva diretamente à consideração das relações. Na realidade, a história do conceito de forma, aliada aos mais recentes resultados da sua análise epistemológica e ontológica, revelam ser a noção de forma mais ampla do que a de es-

trutura. Mais concretamente: no estado atual da pesquisa científica e em harmonia com o nosso conhecimento atual de seus pressupostos gnoseológicos e ontológicos, forma supõe estrutura e ação. Mas isto será explicado logo mais.

No momento, precisamos inserir a noção de estrutura no seu contexto apropriado, que é dado pelo conceito de totalidade. Para não tornar nossa análise desnecessariamente pesada, em lugar da noção de totalidade partiremos da noção de sistema. Por sistema entendemos, basicamente, uma totalidade organizada, composta de elementos ativos inter-relacionados e interagentes, em interação com seu ambiente e dotado de um modo de ação. Num sistema deve-se, pois, distinguir sempre: a) sua composição - o conjunto de seus elementos ativos; b) sua estrutura - o conjunto de relações (conexões) entre seus elementos ativos e entre estes e o seu ambiente; c) seu modo de ação, ou função (ou ainda comportamento) - a relação entre as mudanças nas variáveis internas do sistema, que afetam diretamente o seu ambiente, e as mudanças nas variáveis externas que afetam diretamente o sistema; d) o ambiente do sistema, a saber tudo aquilo que **não** é o sistema, o seu "lado de fora" ou "mundo exterior"; e finalmente e) o observador - o analista, o investigador científico ou o sujeito cognoscente. Fica claro, portanto, por que a consideração do conceito de estrutura se dá melhor num contexto sistêmico. Fundamentalmente, estrutura é sempre a estrutura de um sistema. Mas o fato central a reter, aqui, é que a noção de estrutura conota necessariamente a noção mais fundamental de relação. A elucidação completa desta última noção, que também tem uma longa história, tornaria demasiadamente extenso o presente trabalho e não será tentada aqui. A rigor, o mesmo se poderia dizer do conceito de estrutura, que nos levaria bem fundo à teoria geral dos sistemas, vale dizer, a considerações ontológicas que facilmente extravazariam os limites de um artigo. Em vez disto, diremos que o sistema portador de uma estrutura e exteriorizando algum tipo de atividade possui, como "motor" deste comportamento, uma dinâmica subjacente, invisível - e que Heráclito diria que gosta de se esconder - e, por sua própria natureza, difícil de ser explicitada. Pois bem, é a este aspecto de um sistema que podemos com propriedade associar o conceito de forma.

Simplificando, assim, uma longa história, baste que se diga aqui que a ciência lida, em última análise, com sistemas, buscando revelar-lhes as estruturas. Isto, naturalmente, equivale a dizer que a ciência está preocupada com a forma das coisas, fatos ou processos. Essa forma pode significar a forma aparente (física) de um objeto, como um cristal de quartzo (que, tipicamente, dizemos que cristaliza na "simetria" ou forma romboédrica); pode também significar a maneira como está organizada a célula viva (uma finíssima teia de relações que liga o núcleo às organelas celulares); ou as inter-relações entre os campos elétrico e magnético na propagação de uma onda eletromagnética no espaço (estas inter-relações são justamente dadas pelas quatro famosas equações da teoria do campo de Maxwell); ou, enfim, essa forma pode corresponder ao que se chama de lei científica geral - uma relação constante (ou invariante) entre duas ou mais variáveis que se referem, por sua vez, a propriedades de objetos reais. De posse desta estrutura (forma), a ciência cumpre aquele que é, talvez, o seu desiderato maior: explicar os fenômenos - o que equivale, sempre, a especificar o comportamento de um sistema ou, melhor ainda, revelar-lhe a dinâmica subjacente. Numa palavra: determinar-lhe a forma. Mário Bunge resume bem tudo isto: "A finalidade de todas as ciências é a mesma - encontrar leis. O método é uniforme: pressupor a lógica e a matemática, formular problemas, ensaiar hipóteses para resolvê-los, pôr à prova as hipóteses e, finalmente, avaliá-las"(10).

Com efeito, a solução de um problema científico corresponde, invariavelmente, à descoberta de uma lei - um padrão estável de comportamento da natureza -, que representa, na perspectiva do pesquisador, a situação mais rara; ou à aplicação de uma lei já conhecida, que representa a situação mais comum, visando explicar um determinado comportamento dentro do contexto de um modelo teórico.

Um mdelo é basicamente uma representação mental, um "construto", do problema científico, o qual, tipicamente, se dá ao investigador "encapsulado" sob a forma de algum sistema especificado de modo adequado aos fins da pesquisa. No final das contas, o papel deste modelo será o de determinar a estrutura de um sistema, o qual, como dissemos, corporifica o problema dado. No âmbito das chamadas ciências exatas, a esperiência histórica sugere que quanto mais desenvolvida uma ciência, mais viável se torna formular esse modelo em linguagem matemática. Isto significa que a estrutura assume a feição de uma relação matemática, geralmente uma função.

Daí o grande interesse, em teoria da ciência, nesta íntima associação entre o conceito de estrutura (de um sistema) e o conceito

de função (matemática). Vamos mostrar que ela conduz diretamente à questão da forma, inclusive da forma visual.

Função, no sentido matemático, vem a ser, basicamente, uma regra de correspondência entre elementos de um conjunto, chamado de domínio da função (ou conjunto de partida), e os elementos de um conjunto, que pode ser o mesmo, chamado de contradomínio (ou conjunto de chegada), de modo que nenhum elemento do primeiro conjunto esteja relacionado a mais de um elemento do segundo conjunto. Uma função é, pois, um tipo especial de relação.

De história bem mais recente que o conceito de relação, o conceito de função começou propriamente a assumir o papel central que desempenha na matemática e nas ciências exatas contemporâneas a partir de meados do século XVII. Sua importância para a ciência está no fato de ele ser essencial para a formulação precisa das leis naturais. A busca da formulação matemática dessas leis girava em torno de problemas que implicavam propriedades geométricas bem definidas, como a trajetória de um corpo em movimento; o traçado da tangente a uma curva; a forma assumida por uma corda suspensa pelas suas extremidades; o movimento descrito por um compasso fixado em um ponto da superfície da esfera; o traçado de evolutas e involutas de uma curva; curvas cáusticas resultantes da reflexão e refração da luz; a trajetória descrita por um ponto de uma curva que rola sobre outra; a física das cordas vibrantes, etc. Isaac Barrow, por exemplo, amigo, professor e predecessor de Newton na Universidade de Cambridge - caddeira pertencente hoje a Stefan Hawking, o maior dos cosmólogos contemporâneos -, estudando o problema que Descartes havia declarado em **La Géometrie** como a questão central da geometria - a saber, o traçado da tangente a uma curva -, estava na realidade interessado na forma dos vasilhames para a indústria inglesa de vinho. Aquela era uma época em que a matemática, em seu aparente movimento pendular entre uma visão aritmética e uma visão gemétrica de seu objeto, experimentava justamente uma revolução que consistiu em fundir essas óticas em um novo paradigma, com o nascimento da geometria analítica pelas mãos de Fermat (1601-1665) e Descartes. Barrow chegava ao ponto de negar que a álgebra - uma generalização da aritmética - fizesse parte da matemática propriamente dita, considerando-a mais como uma "formalização da lógica". Só a geometria, para ele, era propriamente matemática. Ora, a investigação das leis naturais parece de fato remeter sistematicamente à geometria. Os objetos do mundo físico são, no fundo, figuras geométricas tridimensionais sujeitas a infinitas "deformações". As trajetórias dos corpos que se movem são curvas de algum tipo. No momento em que o conceito de função se tornava claro e se consolidava definitivamente, Descartes - antecipando de certo modo o enfoque geometrodinâmico de Einstein-Minkowski e a morfodinâmica de Thom-Petitot - afirmava já em 1637 que toda a física poderia reduzir-se à geometria. O grande mérito da geometria analítica residiu, precisamente, em tornar possível a expressão das configurações geométricas em forma algébrica, tornando possível a obtenção de conhecimento quantitativo de grande interesse para a navegação, para o cálculo dos calendários, a análise balística e para a astronomia em geral. A posteridade se encarregaria de mostrar que a idéia de Descartes - basicamente a de associar os conceitos de função e curva - constituia o elemento motor do progresso da investigação científica das leis naturais naquele momento histórico. Mas, fundamentalmente, o que Descartes mostrava era que a relação entre curva e função está na essência do conceito de forma.

Por outro lado, determinar a estrututra de um sistema para conhecer o seu modo de ação ou, guardadas as proporções, para descobrir um determinado comportamento nomológico ou mesmo uma lei que, no contexto de um adequado esquema teórico, explica uma determinada ordem de fenômenos, consiste em revelar-lhe a forma. Essa forma remete-nos à geometria desse sistema ou dessa ordem particular de fenômenos É este o significado profundo do dilema de Thom - magia ou geometria -, como também do verso de Dionísio de Constantinopla.

A chave para a decifração dos enigmas da forma de D'Arcy Thompson reside, pois, neste ente geométrico singularíssimo, que é a curva, cujas propriedades são reveladas pela função correspondente. A forma imediata do objeto - que pode ser qualquer coisa, fato ou processo - é captada na curva, enquanto que a dinâmica subjacente, ou sua morfogênese, é captada nas singularidades da função correspondente. Neste par curva/função re-encontramos, assim, a **ratio** da teoria geral de modelos de Thom, que é, no fundo, uma interpretação geométrica da realidade - poderíamos até dizer uma ontologia geométrica, no mesmo sentido em que, por exemplo, a teoria da relatividade é uma cosmologia geométrica. Naturalmente, para chegar até aí o conceito de curva - como também

toda a **ratio** cartesiana - tiveram de ser dramaticamente alargados. Já no século seguinte ao de Descartes o estudo das propriedades "locais" das curvas planas seria ampliado no sentido de abarcar também as curvas reversas e as superfícies. Mas o grande salto teria de esperar pelo ano de 1845, quando Riemann teve a idéia tremendamente ousada de generalizar os conceitos de curva e superfície introduzindo o conceito de variedade de dimensão qualquer. O método de ataque aos problemas passou então a ser "global". A linguagem de Riemann, que está na origem do chamado ponto de vista qualitativo da topologia diferencial, embora aparentemente muito distante de nossa intuição concreta, perpassa de modo surpreendente todas as grandes hipóteses da ciência contemporânea, como a relatividade, as teorias cosmológicas e, como dizíamos, a morfodinâmica de Thom/Petitot. Com esta última, o enfraquecimento dos laços tradicionais que uniam a mecânica e a filosofia da natureza - de que se queixavam Abraham e Marsden há alguns anos em um belo livro[11] - não somente foi arrestado, como também ressurgiu com redobrada força o interesse pela epistemologia da física. O professor L wdin[12] resumiu com rara felicidade o estado em que se encontra atualmente este debate: "(...) The mathematical tool in the axiomatic development of general quantum theory is set theory and the theory of mappings, and the language is that of linear spaces and geometry. Since the physical results of the trace algebra are independent of the choice of metric, one is free to utilize all the mathematical results of the theory of the abstract Hilbert space and its three realizations. The philosophy of the Greeks about the importance of geometry is hence having another triumph, and **Einstein's dream about the marriage between science and geometry is finally becoming true.** It is evident from the discussion that not only geometry but also many other old ideas of Plato, Aristotle and Euclid are still living in the modern sciences"[13].

"(. . .) A ferramenta matemática no desenvolvimento axiomático da teoria quântica geral é a teoria dos conjuntos e a teoria das aplicações, e a linguagem é a dos espaços lineares e da geometria. Uma vez que os resultados físicos da álgebra associada são independentes da escolha da métrica, tem-se a liberdade de utilizar todos os resultados matemáticos da teoria do espaço abstrato de Hilbert e suas três realizações. A filosofia dos gregos a respeito da importância da geometria está tendo, assim, um novo triunfo,

e o sonho de Einstein a respeito do casamento entre a ciência e a geometria está finalmente se realizando. É evidente, desta discussão, que não só a geometria, mas também muitas outras velhas idéias de Platão, Aristóteles e Euclides estão ainda vivas na ciência contemporânea" (os grifos são nossos).

3. Os conceitos de estabilidade e de singularidade

É interessante rastrear o processo de formação do enfoque morfodinâmico na ciência contemporânea, para podermos cotejá-lo com a análise ontológica da forma em filosofia.

Dois conceitos despontam como absolutamente decisivos nesse processo: o conceito de estabilidade e o conceito de singularidade - este último aparentado ao familiar conceito de descontinuidade em matemática.

O conceito de estabilidade havia se constituído em questão central da mecânica celeste na segunda metade do século XVIII. Através do cálculo com o auxílio das técnicas então recentemente desenvolvidas da expansão em séries numéricas, Laplace, em 1773, Lagrange, em 1776, Poisson, em 1809 e Dirichlet, em 1858, todos acreditavam que tinham conseguido demonstrar a estabilidade do sistema solar. Pouco depois da morte de Dirichlet, o rei Oscar da Suécia ofereceu um prêmio a quem conseguisse realmente demonstrar que o sistema solar era estável. Este prêmio foi arrebatado por Poincaré em 1889, mas o sonho da prova da estabilidade pelo método das expansões em séries, de Laplace e dos demais, caiu irremediavelmente por terra: Poincaré, ajudado pelos resultados obtidos por Haretu dez anos antes, demonstrou que todas essas expansões divergiam. Como, por outro lado, Bruns já havia demonstrado a respeito do famoso problema dos **n** corpos que nenhuma outra solução quantitativa deste problema era possível, além da solução por expansão em séries, era todo o chamado ponto de vista quantitativo em mecânica clássica que se esgotava e cedia lugar, até hoje, ao ponto de vista qualitativo. Este novo enfoque qualitativo, inspirado nos métodos geométricos globais de Poincaré, encontra na questão da estabilidade estrutural talvez a sua mais fiel ceracterização. Este problema foi primeiramente colocado em 1933, por Andronov e Pontryagin, ao desenvolverem a chamada teoria das bifurcações dos sistemas dinâmicos a partir da tese doutoral de Poincaré (que é de 1879). Há mais deuma maneira de conceituar a estabilidade de um sistema, mas seguramente a melhor é a que combina as noções de estabilidade e de estrutura. Como estrutura e forma se implicam mutuamente, é fácil perceber aqui os primeiros vagidos daquela criança que viria a se transformar no enfoque morfodinâmico de hoje. Originalmente o conceito de estabilidade dizia respeito a estados estacionários de sistemas físicos. Assim, quando um estado é afetado por uma "pequena" perturbação, quer dizer, uma perturbação que não destrói o sistema, seja por lhe desarticular a estrutura, seja por comprometer substancialmente a sua composição, se essa perturbação subsequentemente permanece pequena, então o estado é considerado estável. Como se vê, por traz dessas idéias está a idéia de invariância - a mesma que estava subjacente à teoria das Formas de Platão, ou à dinâmica hilemórfica e à teoria da analogia de Aristóteles -, a saber, a idéia de que embora um sistema esteja experimentando uma série de mudanças, algo nele permanece imutável. Posteriormente, a conceito de estabilidade passou a ser usado não somente em relação a estados de sistemas físicos, mas também começou a ser amplamente utilizado em outros campos da invstigação científica. O estudo detalhado da estabilidade de um sistema, embora constituindo um dos mais belos e importantes capítulos da ontologia científica, não caberia obviamente nos limites deste artigo. Mas um dos seus resultados mais sugestivos bem que poderia ser mencionado, porque nos reconduz imediatamente à questão da morfologia. Trata-se do fato, às vezes enunciado como teorema, de que a estabilidade (ou instabilidade) de um sistema constitui uma propriedade do todo, não podendo ser atribuída a nenhuma de suas partes isoladamente.

Esta é uma idéia ontognoseologicamente muito rica, encerrando todo um programa metodológico que pode ser de grande valia para o pesquisador científico.

É que a presença de estabilidade denuncia sempre alguma coordenação das ações entre as partes. Quer dizer, onde quer que o investigador científico possa identificar algum tipo de comportamento estável, isto significará que ele se encontra diante de algum sistema cuja composição, estrutura e ambiente deverão ser adequadamente especificados no desenrolar de sua pesquisa. Está aí contida, como numa pílula, toda a **ratio** da metodologia científica - a crença fundamental de que há uma espécie de ordem no universo (estrutura, **ergo** forma), e de que as experiências podem geralmente ser repetidas (estabilidade). De fato, quando repetimos uma experiência aproximadamente sob as mesmas condições e obtemos aproximadamente os mesmos resultados, sabemos que estamos diante de algum comportamento sistêmico, cuja morfologia subjacente exhibe a propriedade de estabilidade estrutural. Compare-se com Thom: "(. . .) o universo não é caos, e podemos observar a recorrência de formas típicas às quais atribuimos nomes (. . .) A hipótese de estabilidade estrutural de processos científicos isolados está implícita em toda observação científica"(14).

Historicamente, o estudo da estabilidade, tanto em matemática quanto em física, está associado à questão das singularidades das funções (ou famílias de funções), quando nada porque singularidades denotam pontos críticos - máximos, mínimos, pontos de inflexão, pontos múltiplos, etc -, que nos remetem diretamente à análise qualitativa das curvas ou superfícies - ou, ainda, variedades - que as representam. O contexto adequado, aqui, é o das equações diferenciais ordinárias, mas a questão das singularidades das funções já era profundamente discutida no início do século XVII na perspectiva das chamadas curvas planas superiores (curvas algébricas e transcendentes de equações com grau superior ao 1º e 2º). Newton foi o primeiro a realizar um estudo profundo e completo dessas curvas, propondo uma classificação das curvas de 3º grau em 72 espécies diferentes (15). Este foi um século de verdadeira paixão pela forma, tal como ela se revelava nos perfis muitas vezes caprichosos das curvas planas que eram descobertas ou inventadas sucessivamente. Cissóide, conchóide, estrofóide, **folium** de Descartes, anguínea, tridente, **folium** parabólico (entre as cúbicas notáveis); lemniscata, limaçon, cardióide, ovóide, cruciforme, piriforme, trifolium, bicórnia (entre as quárticas notáveis); astróide, escaravelha, atriftalóide, toróide (entre as curvas do 6º e do 8º graus mais notáveis); tractriz, sintractriz, as inúmeras espirais (espiral de Arquimedes, espiral de Pappus, espiral de Galileo, espiral de Fermat, espirais parabólicas e hiperbólicas, espiral logarítmica, a cocleóide, a clotóide, entre muitas outras de esquisita beleza), as curvas cicloidais (ciclóide, epiciclóide, hipociclóide, rosáceas, roleta de Delaunay), além da perla de Sluse, curvas de Lamé, cíclicas planas, cíclicas esféricas, a hipópeda de Eudoxo, as hélices (cilíndricas, cônicas e esféricas), a horóptera, curva de Arquitas, curvas tetraedrais simétricas (entre as curvas transcendentais mais importantes) - numa palavra, são dezenas, centenas de curvas que procuram, se não decifrar, pelo menos captar racionalmente o significado profundo

das formas naturais ou das formas "criadas" pela mente humana. Não é por acaso que o desenvolvimento dos métodos analíticos para estudar as propriedades dessas curvas notáveis tenha ensejado uma nova onda de progresso da álgebra que, sob a denominação significativa de teoria das formas, encampou todo este campo de investigação. Mas o interesse na teoria das curvas algébricas terminou por se diluir no final do século XVIII, com a ascenção da geometria diferencial, que utilizava os métodos mais fortes do cálculo para estudar as propriedades "locais" das curvas, isto é, propriedades que variam de ponto para ponto. E é aí que estram em cena os fenômenos descontínuos, as formas que apresentam mudanças súbitas ensejadas por pequenas (ou "suaves") variações de suas variáveis externas - as singularidades e bifurcações, enfim, que estão na origem das catástrofes de Thom.

O matemático russo Vladimir Arnold, uma grande autoridade neste domínio de investigação - singularidades das aplicações diferenciáveis, um assunto intimamente ligado aos sistemas dinâmicos(16) - refere-se aos fenômenos descontínuos da realidade, aliás "os primeiros a serem notados", citando um epigrama de P. Montel - "as funções, da mesma maneira que os seres vivos, são caracterizados por suas singularidades"(17).

A essas singularidades, correspondentes a mudanças abruptas no comportamento de sistemas em razão de variações "suaves" em suas condições externas, Thom chamou de catástrofes. Este é o conceito central em morfologia. O comportamento de um sistema, tipicamente, é sempre determinado por uma dinâmica subjacente, geralmente difícil ou impossível de ser explicitada, como já referimos anteriormente. O que o observador pode perceber é apenas a dinâmica macroscópica do sistema. Em sua evolução, o sistema transita de estado a estado, movido pela dinâmica subjacente. A observação desses estados permite ao observador caracterizar o campo de variações do sistema, no qual haverá um conjunto de estados "proibidos" (o conjunto de catástrofe), tal que, sempre que o comportamento do sistema evite esse conjunto de estados, a sua natureza "local" não sofrerá nenhuma mudança. Se, pelo contrário, a sucessão de estados do sistema evolui no sentido de coincidir com algum estado "proibido", então ocorrerá uma discontinuidade brusca na natureza do sistema, que Thom interpreta como uma mudança de forma, uma morfologênese. Por isso, a moderna ontologia, no que está coerente com o estado atual da ciência, não per-