

2

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E CRIATIVIDADE

Inteligência Artificial (IA) estuda os aspectos da inteligência em geral e seus métodos para tentar habilitar os computadores a realizar feitos que a mente humana pode executar, tal como: ver, falar, contar histórias ou pensar de maneira lógica ou analógica. Mas os computadores podem ser criativos? A primeira pessoa a denunciar esse “absurdo” foi Ada Lovelace (BODEN, 1996), amiga e colaboradora de Charles Babbage, afirmando que os computadores não podem ter a pretensão de *originar* qualquer coisa. Eles podem apenas *fazer qualquer coisa que nós saibamos como ordenar* a eles que façam. Ela reconheceu que o “Engenho Analítico” de Babbage, em essência um projeto para um computador digital, poderia em princípio compor “peças de música elaboradas e científicas de qualquer grau de complexidade e extensão”, mas insistiu que a criatividade envolvida em quaisquer peças de música elaboradas e resultantes do Engenho Analítico deveria ser creditada ao engenheiro, não ao engenho. O Engenho Analítico nunca foi construído, mas Babbage reconheceu que sua máquina era capaz de, por exemplo, jogar xadrez, buscando respostas possíveis dentre

as alternativas baseadas nos movimentos permitidos a cada lance. TURING (1950 *apud* FOGEL, 1995) retrucou o argumento de Lady Lovelace, colocando que sua argumentação era equivalente a dizer que nenhuma máquina é capaz de surpreender, mas ele notou que frequentemente as máquinas agem de maneira inesperada porque o conjunto de condições iniciais da máquina é geralmente desconhecido; então, uma previsão acurada de todos os possíveis comportamentos dos mecanismos seria impossível.

Uma interessante reflexão a respeito da criatividade das máquinas é levantada por DARTNALL (1994): desde o Iluminismo Francês há uma crescente difusão do conceito de que as pessoas podem ser um tipo de máquina. Da mesma forma, há uma percepção de que as máquinas não podem ser criativas. Assim, há uma tendência a se acreditar que as pessoas são máquinas, mas também que as máquinas não podem fazer algo que é caracteristicamente humano.

Mas, de acordo com DARTNALL (1994), há dois fatos que decorrem daí: se as máquinas não podem ser criativas, então (a) elas não podem ser inteligentes; e (b) as pessoas, que podem ser criativas, não podem ser máquinas. A primeira decorrência diz respeito à IA, e a segunda às ciências cognitivas. Se as máquinas não podem ser criativas, elas não podem ter “mentes em si”, no sentido de serem capazes de gerar suas próprias idéias, e é difícil ver como um sistema que não pode gerar suas próprias idéias pode ser inteligente. Isto seria o fim das aspirações da área de IA, ao se considerar que o objetivo maior dessa área é o de desenvolver máquinas inteligentes. Igualmente, se as máquinas não podem ser criativas, isto seria o fim da visão do Iluminismo Francês de ver o Homem como Máquina. Isto também seria um golpe no corpo das ciências cognitivas, que buscam modelos computacionais dos processos cognitivos humanos. Mas certamente, se a criatividade não é um processo computacional, ainda assim poderia ser possível simular computacionalmente aspectos associados a seus efeitos. No entanto, se as máquinas não podem ser criativas, a força motora por trás da ciência cognitiva perde-se, desde que se considere que as ciências cognitivas são movidas pela crença de que são os processos cognitivos que interessam, e que estes podem ser realizados tanto por computadores quanto por cérebros.

Assim, coloca DARTNALL (1994), quão contundentes são os argumentos contra a criatividade da máquina? O grito de que os computadores não podem ser criativos consiste

de um conjunto de gritos relacionados. Um deles é de que eles não podem ser criativos porque meramente seguem instruções, mas às vezes as pessoas são *instruídas* para serem criativas. Papa Júlio II instruiu Michelangelo para ser criativo quando o indicou para pintar o teto da Capela Sixtina. Assim, é possível ser criativo e estar seguindo instruções. A réplica a isso seria que provavelmente ele apenas deu a Michelangelo instruções bem genéricas, enquanto um computador precisa ser instruído quanto a cada pequena atividade a realizar. Mas, de fato, atualmente eles não são instruídos em cada ação que executam, pois isto requeria milhões de instruções por segundo. A réplica agora poderia ser que tudo que eles fazem decorre de instruções que eles receberam. Mas o que isto significa? Se significa que a performance da máquina literalmente decorre das instruções recebidas, então a premissa é falsa, pois se todas as instruções forem escritas num pedaço de papel, nada ocorrerá. Presumivelmente, significa que os computadores são projetados para responder de maneira previsível a suas instruções, mas mesmo isto não está claro. Significa que os computadores são previsíveis, no sentido de que nós podemos predizer a saída uma vez conhecida a entrada e mais uma exaustiva enumeração de todos os estados internos da máquina? Ou significa que os estados internos também foram projetados, de forma que a criatividade é também do projetista?

Considerando inicialmente a segunda interpretação, pode-se dar a alguém uma boa educação, mas ainda a educação é *de quem* a recebeu. Pode-se ensinar alguém a pensar por si mesmo, mas ainda assim a pessoa pensa por si mesma (DARTNALL, 1994).

E a respeito da outra interpretação, que computadores são dispositivos de entrada-saída previsíveis? A argumentação é: criatividade não pode ser previsível? Júlio II poderia ter previsto que Michelangelo iria pintar a capela Sixtina *criativamente*. E a objeção provavelmente seria que Michelangelo seria criativo, não voltado para o que ele iria criar (DARTNALL, 1994).

Mas o que é esse processo criativo, ou a própria criatividade? De acordo com o dicionário, criatividade é definida como *qualidade de criador* (FERREIRA, 1975), onde *criador* é “o que cria ou criou”, e criar é “dar existência a”, “tirar do nada”. Tomada ao pé da letra essa definição, criatividade aparenta ser algo não apenas além da compreensão científica, mas mesmo impossível. Mas a criatividade existe, e traz consigo um conjunto de questões controversas (BODEN, 1996). Como a criatividade pode ser compreendida? Cada

idéia nova é criativa? Se não, qual é a diferença? A avaliação positiva é essencial? Que tipo de avaliação, e feita por quem, é relevante? A criatividade é uma categoria psicológica ou social? O processo criativo é o mesmo nas artes e nas ciências, ou estas formas de originalidade são fundamentalmente distintas? Sobre artistas e cientistas, eles têm ou precisam de personalidades diferentes da pessoa média, e talvez diferentes entre si? A criatividade pode ser medida, e se pode, como? É possível em princípio comparar duas idéias novas para mostrar que uma é mais criativa que outra? Ou este tipo de julgamento, apesar de familiar, é alguma coisa que não pode ser justificado em termos objetivos, ainda mais quantitativos? E, por último, supondo que a criatividade pode ser reconhecida, é possível explicar como ela acontece?

2.1 O que é Criatividade?

De acordo com CSIKSZENTMIHALYI (1996), criatividade não pode ser compreendida olhando apenas para as pessoas que a fazem acontecer. Assim como o som de uma árvore caindo na floresta passa despercebido se não houver lá ninguém para ouvi-lo, idéias criativas se desvanecem a menos que haja uma audiência receptiva para registrá-las e implementá-las. E sem a assessoria de expectadores competentes, não há maneira confiável de decidir se as expectativas de uma pessoa criativa, de estilo próprio, são válidas. Assim, de acordo com esse ponto de vista, criatividade resulta da interação de um sistema composto de três elementos: *uma cultura que contém regras simbólicas, uma pessoa que traz novidades dentro do domínio simbólico e um júri de especialistas que reconhecem e validam a inovação*. Todos os três elementos são necessários para uma idéia criativa, produto ou descoberta acontecer.

Não é exagero dizer que criatividade é o equivalente cultural do processo de mudanças genéticas que resultam em evolução biológica, onde variações randômicas tomam lugar na química de nossos cromossomos, além do limiar da consciência (CSIKSZENTMIHALYI, 1996). Estas mudanças podem resultar no súbito aparecimento de uma nova característica física em um indivíduo de uma dada geração, e se a característica é uma melhoria em relação às características dos demais indivíduos que competem pelos recursos limitados do meio, terá uma grande chance de ser transmitida aos descendentes. A maioria das novas características não aumenta as chances de sobrevivência e pode

desaparecer em poucas gerações. Mas algumas poucas contribuem, e são essas que contam para a evolução biológica.

Na evolução cultural não há mecanismos equivalentes aos genes e cromossomos. Portanto, uma nova idéia ou invenção não é automaticamente passada adiante à próxima geração. Instruções sobre como usar o fogo, ou a roda, ou a energia atômica não são construídas no sistema nervoso das crianças nascidas após a descoberta: cada criança tem que aprendê-las do início. A analogia dos genes na evolução da cultura são os *memes*, ou unidades de informação, que nós precisamos receber como herança para a cultura continuar (DAWKINS, 1989). Linguagens, números, teorias, canções, receitas, leis e valores são todos memes; e são estes memes que uma pessoa criativa muda, e se acontecer de as pessoas certas virem esta mudança como uma melhoria, a mudança torna-se parte da cultura.

Assim, para entender a criatividade, não basta estudar os indivíduos criativos; sua contribuição, enquanto necessária e importante, é somente um elo em uma cadeia, uma fase em um processo. Dizer que Einstein inventou a relatividade é uma simplificação conveniente; a invenção de Einstein teria sido inconcebível sem o conhecimento a priori, sem a rede intelectual e social que estimulou o seu pensamento, e sem os mecanismos sociais que reconheceram e divulgaram suas inovações.

2.1.1 O DOMÍNIO, O JÚRI E O INDIVÍDUO

Se a criatividade é entendida como uma idéia ou ação que é nova e valiosa, então não se pode aceitar o julgamento único de uma pessoa como o critério para a sua existência. Não há como saber se um pensamento é novo exceto com referência a alguns padrões, e não há maneira de dizer se ele é valioso até que ele passe por uma avaliação social. Então, a criatividade surge da interação dos pensamentos de uma pessoa com um contexto sócio-cultural. É um fenômeno sistêmico ao invés de um fenômeno individual. Para ter qualquer efeito, a idéia deve ser elaborada de maneira a ser compreensível por outros, deve ser revista por especialistas da área, e finalmente deve ser incluída no domínio cultural ao qual pertence. Assim, a criatividade é observada em termos das inter-relações de um sistema composto de três partes principais (CSIKSZENTMIHALYI, 1996).

a) O Domínio

O primeiro componente da criatividade é o *domínio*, que consiste de um conjunto de regras simbólicas e procedimentos. Matemática é um domínio ou, numa resolução mais fina, álgebra e teoria numérica podem ser vistas como domínios. Domínios são por sua vez aninhados no que é usualmente chamado de *cultura*, ou o conhecimento simbólico compartilhado por um grupo em particular, ou pela sociedade como um todo.

b) O Júri

O segundo componente, o *júri*, consiste de todos os indivíduos que atuam como os mantenedores e atualizadores do domínio. No contexto da atualização do domínio, seu trabalho é decidir se uma nova idéia ou produto deve ser incluída em um domínio. Nas artes visuais, por exemplo, o júri pode ser constituído por professores de arte, curadores de museus, colecionadores, críticos e administradores de fundações e agências do governo que lidam com a cultura. Mas estes não são os únicos agentes capazes de selecionar quais novos trabalhos artísticos devem ser reconhecidos, preservados e lembrados, pois nada impede que outros agentes sirvam como júri e que caminhos ‘não-oficiais’ sejam trilhados para se chegar a uma mudança no domínio.

Além disso, são inúmeras as situações em que um corpo de especialistas já estabelecido atua, consciente ou inconscientemente, no sentido de repudiar deliberadamente as inovações no domínio, não atendendo de forma alguma os requisitos indicados acima para caracterizar o júri, visto que não reconhecem nem legitimam qualquer inovação. Isto é particularmente evidente no contexto científico (KUHN, 1996).

Independente de quem exerce o papel de júri, de modo a definir o que deve ser feito com novas idéias e produtos, toda atualização do domínio requer a intervenção de um júri.

c) O Indivíduo

Finalmente, o terceiro componente do sistema criativo é o *indivíduo*. A criatividade ocorre quando uma pessoa, usando os símbolos de um dado domínio tal como música, engenharia ou matemática, tem uma nova idéia ou vê um novo padrão, e então esta novidade é selecionada pelo júri para inclusão dentro do domínio relevante. A próxima geração encontrará a novidade como parte do domínio e, se forem criativos, por sua vez, o expandirão. Ocasionalmente, criatividade envolve o estabelecimento de um novo domínio. Poderia ser argumentado que Galileu iniciou a Física Experimental e Freud inaugurou a

Psicanálise fora do domínio da Neuropatologia. Mas se Galileu e Freud não tivessem sido capazes de atrair seguidores, suas idéias não teriam muito impacto (KUHN, 1996).

Assim, a definição que segue é:

Definição 1.1

Criatividade é qualquer ato, idéia, ou produto que muda um domínio existente, ou que permite o estabelecimento de um novo domínio.

É importante ser lembrado, de qualquer maneira, que um domínio não pode ser mudado sem o consentimento explícito ou implícito de um júri que responde por ele (oficial ou extra-oficialmente). E a definição de uma pessoa criativa é:

Definição 1.2

Alguém cujos pensamentos ou ações mudam um domínio ou estabelecem um novo domínio.

Isto acima, levado às últimas conseqüências, não eliminaria a própria criatividade? E quanto aos modelos revolucionários? A resposta à primeira pergunta é *sim*. Mas os três componentes do sistema estão em contínua modificação, ou ficarão descaracterizados. Conforme os domínios *evoluem*, os *critérios de avaliação também precisam evoluir*, o que dá conta da segunda questão, quanto aos modelos revolucionários.

De acordo com CSIKSZENTMIHALYI (1996), a criatividade não é inerente a nenhum dos elementos isolados – indivíduo, júri ou domínio – nem, na verdade, a qualquer dupla de elementos. Em vez disso a criatividade é melhor compreendida como um processo dialético ou interativo em que participam todos esses três elementos (GARDNER, 1996).

Seja, por exemplo, um grupo de indivíduos de capacidade, talentos e inclinações variadas, cada um empenhado em ações de um domínio específico. Em qualquer momento histórico, esse domínio tem suas próprias regras, estruturas e práticas dentro das quais os indivíduos são socializados e de acordo com as quais se espera que eles operem. Esses indivíduos encaminham seu trabalho para o júri, que por sua vez examina os vários produtos que chamam a sua atenção. Dos muitos indivíduos e trabalhos submetidos ao escrutínio do júri, somente alguns são merecedores de atenção e avaliação continuadas. E desses trabalhos que são avaliados num dado momento histórico, somente um subgrupo é

considerado *criativo* – extremamente novo, mas apropriado ao domínio. Os trabalhos (e os trabalhadores) assim julgados passam a ocupar o lugar mais importante na dialética: eles realmente provocam uma reelaboração do domínio. A próxima geração de estudantes, ou talentos, trabalhará num domínio que é diferente, e dessa maneira a dialética da criatividade continua.

2.1.2 A INTERNALIZAÇÃO DO SISTEMA

Ainda, de acordo com CSIKSZENTMIHALYI (1996), uma pessoa que quer realizar uma contribuição criativa não apenas deve trabalhar dentro de um sistema criativo mas também reproduzir o sistema dentro da sua mente (KUHN, 1996). Em outras palavras, a pessoa deve *aprender as regras e o conteúdo do domínio, bem como o critério de seleção, de preferência do júri*. Na ciência é praticamente impossível fazer uma contribuição criativa sem internalizar o conhecimento fundamental do domínio. Artistas acreditam que um pintor não pode fazer uma contribuição criativa sem olhar, muito, a arte anterior, e saber o que outros artistas consideram bom ou ruim. Escritores dizem que é preciso ler muito e determinar quais são os critérios geralmente adotados para uma boa escrita, antes de se escrever criativamente. Resumidamente, são necessários três aspectos para ser um pensador original:

- ter uma imensa quantidade de informação, um enorme banco de dados, ou o tipo de memória necessário para se fazer as coisas que se quer fazer (*o domínio*);
- ser capaz de catalisar idéias (*a contribuição pessoal*);
- ter a habilidade de se livrar do lixo. Não se pode ter só boas idéias, e é preciso ser capaz de se livrar imediatamente das idéias ruins, das que não (aparentemente ou definitivamente) não atendem os objetivos.

Assim, para ser criativa, a pessoa tem que internalizar o sistema inteiro que torna a criatividade possível.

Criatividade e Atenção

Ao se desejar mudar alguma coisa, deve-se prestar atenção à informação a ser aprendida, e atenção é um recurso limitado. Há muita informação a ser processada a cada instante. Mesmo no caso específico dos seres humanos, uma grande parte da quota é dedicada à

tarefa de sobreviver a cada dia. Em uma vida inteira, a quantidade de atenção dedicada a aprender um domínio simbólico, tal como música ou física, é uma fração dessa quantidade já pequena. Ainda, para conseguir criatividade em um domínio existente, deve haver atenção extra disponível. Por isso, centros tais como a Grécia no século V A.C., Florença no século XV e Paris no século XIX foram lugares onde a riqueza permitiu que os indivíduos aprendessem e experimentassem mais e além do que era necessário para a sobrevivência. Também parece ser verdade que centros de criatividade tendem a ser a interseção de diferentes culturas, onde crenças, estilos de vida e conhecimentos se misturam e permitem aos indivíduos verem mais combinações e contrapontos de idéias com mais facilidade. Nas culturas que são uniformes e rígidas, um grande investimento de atenção é necessário para se obter novas maneiras de pensar. Em outras palavras, criatividade aparece mais em lugares onde novas idéias requerem menos esforço para serem percebidas.

2.2 Criatividade-H e Criatividade-P

CSIKSZENTMIHALYI (1996) distingue “Criatividade” de “criatividade”, esta última também um importante ingrediente do dia-a-dia, e que definitivamente deve ser buscado. É perfeitamente possível fazer uma contribuição criativa sem ser pessoalmente brilhante ou criativo, assim como é possível que alguém de fato criativo nunca contribua em nada para a cultura. Mas por Criatividade, com C maiúsculo, o autor entende um processo através do qual um domínio simbólico na cultura é transformado. Novos estilos, novas idéias, novas máquinas é do que a criatividade trata. Mas, para entender as razões pelas quais estas transformações não acontecem automaticamente como na evolução biológica, é necessário considerar o preço pago para a criatividade ocorrer. Demanda esforço mudar tradições. Por exemplo, memes precisam ser aprendidos antes de serem modificados. Um músico precisa aprender a tradição musical, a notação, a maneira como os instrumentos são tocados antes de pensar em escrever uma nova canção; antes de um inventor pensar em aperfeiçoar um projeto de avião ele tem que aprender física, aerodinâmica, e como se sustentar no ar (KUHN, 1996).

Também BODEN (1998) distingue dois sentidos de criatividade. Também para ela, criatividade não é uma “faculdade” especial, nem uma propriedade confinada a uma elite restrita. Ao contrário, é uma característica da inteligência humana em geral, baseada em

capacidades do dia-a-dia tais como associação de idéias, memória, percepção, pensamento analógico, busca em um espaço estruturado de representações e autocrítica. Envolve não apenas uma dimensão cognitiva – a geração de novas idéias – mas também motivação e emoção, e é estreitamente ligada ao contexto cultural e a fatores da personalidade.

Uma idéia criativa é tal que é *nova, surpreendente*, e de alguma forma *valiosa*: interessante, útil. Mas “nova” tem dois diferentes sentidos: a idéia pode ser nova com respeito somente à mente do indivíduo ou, até onde se sabe, a toda a história anterior. A habilidade de produzir novidades do primeiro tipo é chamada de criatividade psicológica, ou criatividade-P, e a última de criatividade histórica, ou criatividade-H. Criatividade-P é a noção mais fundamental, da qual criatividade-H é um caso particular (BODEN, 1998). Ainda, mesmo uma explanação psicológica está vinculada ao elemento essencial de valor. Até um clichê, que pode ser P-inovador para uma pessoa particular, pode ser validado, se expressar alguma verdade útil. Mas nem todas as idéias P-inovadoras são reconhecidas como contendo valor. Tais julgamentos de valor conduzem à extensão cultural, desde que o que é validado por uma pessoa ou grupo social pode ou não ser validado por outros grupos (BRANNIGAN, 1981).

Mas o enfoque principal de BODEN (1996) é com a *geração* de idéias criativas, não com sua *validação*; em outras palavras, com o contexto da *descoberta*, não com o da *avaliação*. Embora admita que o critério de validação possa fazer parte do processo de criação, o seu primeiro foco é como as idéias surgem na mente das pessoas.

O que significa dizer que uma idéia ‘não poderia’ ter surgido antes? Um exemplo da autora de uma novidade que claramente *poderia* ter acontecido antes é uma sentença tal como ‘Os abacaxis estão no box do banheiro, próximos às pinturas a óleo que pertenceram a Machiavelli.’ Esta sentença certamente poderia ter sido gerada pelas mesmas regras gramaticais que geram outras sentenças. Há muitas categorias de sistemas gerativos ou sistemas de produção: a gramática de uma determinada linguagem, um esquema de rima para sonetos, as regras de xadrez ou harmonia tonal, ou um programa de computador. Cada um destes pode, em algum tempo, descrever um certo conjunto de estruturas possíveis. E cada um poderia ser usado, em um tempo ou outro, produzindo determinadas estruturas. Às vezes deseja-se saber se uma estrutura particular poderia, em princípio, ser descrita por um esquema específico, ou um conjunto de regras abstratas. Exemplos: 49 é um número

quadrado? 3.591.471 é um número primo? Isto é um soneto, e aquilo uma sonata? Aquela pintura é do estilo impressionista? Aquele teorema geométrico poderia ser provado pelo método de Euclides? Aquela cadeia de palavras é uma sentença? Um anel de benzeno é uma estrutura molecular passível de descrição pela química do início do século XIX (antes do famoso e inspirado devaneio de Friedrich von Kekulé, em 1865)?

É esse tipo de questão que se aplica ao se perguntar se uma idéia é criativa ou não, ao contrário de “como ela surgiu”. Mas quando uma estrutura particular é produzida na prática, pode-se também perguntar quais processos participaram de sua produção. Um particular geômetra provou um teorema particular desta ou daquela maneira? A sonata foi composta seguindo um livro-texto sobre a forma da sonata? O arquiteto, consciente ou inconscientemente, projetou a casa tendo em mente determinados princípios formais? Kekulé baseou-se nos então familiares princípios de química para gerar sua idéia seminal sobre o anel de benzeno e, se não, como ele o produziu?

Pode-se então distinguir novidade de primeira-mão de originalidade radical:

Definição 1.3

Uma idéia meramente nova é aquela que pode ser descrita e/ou produzida pelo mesmo conjunto de regras gerativas como são outras idéias familiares. Uma idéia genuinamente original ou radicalmente criativa é uma que não pode.

Assim, Boden afirma que a atribuição da criatividade sempre envolve referência tácita ou explícita a algum sistema gerativo específico. Segue também que *restrições* – longe de serem opostas à criatividade – tornam a criatividade possível. Jogar fora todas as restrições seria destruir a capacidade de pensamento criativo. Processos puramente aleatórios, se produzirem qualquer coisa interessante de alguma maneira, resultam apenas em curiosidades primárias, não em surpresas radicais. Boden admite, no entanto, que em alguns contextos, aleatoriedade pode às vezes contribuir para criatividade. De acordo com a autora, a área de IA deve se concentrar primariamente na criatividade-P. Se bem sucedida na modelagem da criatividade-P, então em alguns casos ocorrerá a criatividade-H, o que de fato já aconteceu, como será visto no Capítulo 3. Em outras palavras, a criatividade-H é um caso particular da criatividade-P, o que é razoável, pois a criatividade-H é criatividade-P também.

Como uma contribuição importante para a concepção de modelos computacionais de criatividade, a serem devidamente explorados no contexto desta tese, BODEN (1998) também formaliza três maneiras de gerar atos, idéias ou produtos criativos, as quais serão apresentadas na próxima seção.

2.3 Três Tipos de Criatividade

Há três principais modos reconhecidos de geração de criatividade. Cada um dos três resulta em surpresas, mas somente um, o terceiro, pode levar ao “choque” que acompanha um ato, idéia ou produto realmente inovador. Logo, os indivíduos criativos universalmente reconhecidos são mais freqüentemente associados ao terceiro tipo, embora todos os tipos incluem alguns exemplos de criatividade-H.

2.3.1 CRIATIVIDADE COMBINATÓRIA

O primeiro modo, que será chamado de *criatividade combinatória*, envolve novas – ou improváveis – combinações de idéias familiares. Exemplos incluem poesia, e também analogia, onde duas ou mais idéias associadas de forma inovadora compartilham alguma estrutura conceitual coerente. Analogias são às vezes exploradas e desenvolvidas ao longo de um processo de argumentação, para propósitos de retórica ou resolução de problemas. Mas mesmo a mera geração ou apreciação de uma analogia interessante envolve um mapeamento estrutural judicioso, não necessariamente consciente, onde as similaridades da estrutura são não apenas notadas mas também julgadas em termos de sua força e profundidade.

2.3.2 CRIATIVIDADE EXPLORATÓRIA

O segundo e o terceiro modos estão estreitamente ligados, e são mais similares um ao outro do que ao primeiro. São chamados de *criatividade exploratória* e *criatividade transformadora*. O segundo modo, a criatividade exploratória, envolve a geração de novas idéias pela exploração de espaços conceituais estruturados. Isto freqüentemente resulta em estruturas, ou “idéias”, que são não apenas novas, mas inesperadas e reconhecidas quanto à satisfação das premissas do estilo de pensamento a que se referem.

2.3.3 CRIATIVIDADE TRANSFORMADORA

O último modo envolve a transformação de uma ou mais dimensões do espaço, de forma que novas estruturas que não poderiam ter ocorrido antes possam ser geradas. Quanto mais fundamental a dimensão usada, mais poderosa a transformação, e mais surpreendentes as novas idéias serão.

Estes dois modos de criatividade se confundem. A distinção entre uma mudança de ponto de vista e uma transformação é até certo ponto uma questão de julgamento, mas quanto mais bem definido o espaço, mais clara esta distinção pode se manifestar.

Muitos cientistas, artistas e músicos construíram uma respeitável reputação usando criatividade combinatória e exploratória. Isto é, eles herdaram um estilo aceito de pensamento de sua cultura e trabalharam no sentido de buscar os limites e fazer uso de todo o potencial do respectivo domínio. Mas algumas vezes o espaço conceitual conhecido era transformado, alterando, removendo ou adicionando uma ou mais dimensões. Tais transformações habilitam a geração de idéias que, com relação àquele espaço, eram anteriormente inatingíveis.

Quanto mais fundamental a transformação, ou a dimensão que é transformada, mais diferentes as possivelmente novas estruturas serão. A surpresa que acompanha tais idéias, previamente impossíveis, é muito maior que a surpresa ocasionada por meras improbabilidades, não importa quão inesperadas elas possam ser. Se as transformações são extremas, a relação entre o antigo e o novo espaço não será imediatamente aparente. Em tais casos, as novas estruturas serão ininteligíveis, e muito provavelmente rejeitadas. De fato, pode passar algum tempo para que a relação entre o espaço original e o espaço transformado seja reconhecida e genericamente aceita.

Estes três modos de criatividade constituem um modelo computacional. Em geral aqueles focados no segundo modo, exploratório, são os mais bem sucedidos, o que não significa dizer que a criatividade exploratória é fácil de reproduzir. Pelo contrário, tipicamente requer considerável conhecimento do domínio e poder analítico para primeiramente definir o espaço conceitual e a seguir especificar procedimentos que habilitem a exploração de seu potencial. Mas criatividade combinatória e transformadora são ainda mais vagas. As razões para isso, brevemente, são a dificuldade de se aproximar da riqueza da memória associativa humana e da dificuldade de identificar valores humanos

e expressá-los na forma computacional. A primeira dificuldade confunde as tentativas de simular criatividade combinatória. A última dificuldade diz respeito a qualquer modo de criatividade, mas é especialmente problemática com respeito à criatividade transformadora.

2.4 Espaços Conceituais

Com respeito ao processo mental usual no domínio relevante (química, poesia, música, etc.), se uma idéia genuinamente original ou radicalmente criativa não pode ser descrita e/ou produzida pelo mesmo conjunto de regras gerativas, como são outras idéias familiares, então uma idéia criativa é não apenas improvável mas *impossível*. Como poderia ela surgir, então? E como pode uma idéia impossível ser mais surpreendente, mais criativa que outras? Se o ato da criação não é mera combinação, ou o que KOESTLER (1964) chamou “a bissociação de matrizes não relacionadas”, o que é? Como pode a criatividade possivelmente acontecer? Para isto, BODEN (1996) introduz a noção de espaço conceitual:

Definição 1.4

Espaço conceitual é o sistema gerativo que sustenta um dado domínio e define um certo conjunto de possibilidades. As dimensões de um espaço conceitual são os princípios organizadores que unificam e dão estrutura a um determinado domínio do pensamento.

Os limites, contornos, trajetórias e a estrutura de um espaço conceitual podem ser mapeados pelas suas representações mentais: movimentos de xadrez, ou estruturas moleculares, ou melodias de jazz, por exemplo. Tais mapas mentais podem ser usados, não necessariamente conscientemente, para explorar e mudar os espaços envolvidos.

Espaços conceituais podem ser explorados de várias maneiras. Algumas explorações apenas mostram alguma coisa sobre a natureza do espaço conceitual relevante que não tinha sido explicitamente notada antes. Em contraste, outras explorações mostram os limites do espaço, e talvez identifiquem pontos nos quais mudanças possam ser feitas em uma dimensão ou outra. Às vezes o espaço conceitual envolve um processo repetitivo, movendo-se de um ponto para outro, eventualmente alcançando uma região onde algo deveria acontecer.

Para superar uma limitação em um espaço conceitual, ele deve ser mudado de alguma maneira. O espaço conceitual pode ser mudado, sem ter atingido os seus limites.

Uma pequena mudança em uma dimensão relativamente superficial de um espaço conceitual é como abrir uma porta em uma sala oculta em uma casa já construída. Uma grande mudança – uma “transformação”, especialmente em uma dimensão relativamente fundamental – é mais como a construção imediata de uma nova casa, de um tipo fundamentalmente diferente, apesar de relacionado com a casa anterior.

Um exemplo complexo de exploração estrutural e mudança pode ser encontrado na música ocidental pós-Renascentista. Esta música é baseada em um sistema gerativo conhecido como harmonia tonal. De suas origens ao fim do século XIX, as dimensões harmônicas desse espaço foram continuamente “forçadas” a abrir novas possibilidades e regiões implícitas nelas a partir do princípio. Finalmente, uma transformação maior gerou o profundamente não familiar, ainda que proximamente relacionado, espaço da atonalidade. Um outro exemplo de exploração extensa, desta vez com um mapa para guiá-la, foi a atividade científica gerada pela tabela periódica de Mendeleyev. Esta tabela, produzida em 1869 para um livro-texto introdutório em Química, arranhou os elementos em linhas e colunas de acordo com as propriedades e comportamentos observados. Todos os elementos dentro de uma dada coluna eram “similares”. Mas Mendeleyev deixou vazios na tabela, prevendo que elementos desconhecidos viriam eventualmente a ser descobertos para preencherem estes vazios. Em 1879, um novo elemento, o escândio, foi descoberto, com as propriedades que Mendeleyev tinha previsto. Mais tarde, novos elementos foram descobertos para preencher os outros vazios na tabela. E ainda, a tabela, baseada nas propriedades observadas, foi descoberta para a classificação em termos de número atômico. Esta classificação explicava por que os elementos se comportavam na forma sistemática percebida por Mendeleyev.

Os exemplos acima mostram como a exploração pode levar a novas idéias. De fato, freqüentemente resulta em novas idéias, tais como a modulação atômica, que são freqüentemente tidas como criativas. Desta forma, a exploração conceitual é um tipo de criatividade. Mas de qualquer maneira a exploração de um espaço conceitual é uma coisa, a transformação é outra.

O que é transformar um espaço conceitual? A geometria não-euclidiana, por exemplo, resultou de derrubar o quinto axioma de Euclides, a respeito de linhas paralelas se encontrando no infinito. Esta transformação foi primeiramente proposta por Lobachevsky,

como um prelúdio à exploração de um espaço geométrico de alguma forma diferente do espaço euclidiano. Somente muito mais tarde ela se mostrou útil em Física.

Um outro modo genérico de transformar espaços conceituais é “considerar a negativa”, isto é, negar uma restrição, o que é diferente de derrubá-la. Um exemplo bem conhecido da negação de uma restrição diz respeito à descoberta de Kekulé do anel de benzeno. Enquanto ele cochilava numa poltrona junto à lareira, os átomos começaram a rodopiar diante de seus olhos (INGLIS, 1987).

“Dessa vez os grupos menores ficaram, modestamente, no fundo. Meu olho mental, aguçado pela repetição de visões dessa natureza, distinguia agora estruturas maiores, de múltipla conformação; longas fileiras, às vezes estreitamente ajustadas umas às outras; todas elas a enroscar-se, a torcer-se em movimentos serpentinos. Mas olhem! Que era isso? Uma das serpentes apanhara a própria cauda e a forma rodava zombeteiramente diante dos meus olhos. Como pelo clarão de um relâmpago, acordei.”

Esta visão foi a origem de sua intuição de que a molécula de benzeno deveria ser uma anel, uma intuição que foi posteriormente confirmada. Antes disso, Kekulé tinha suposto que todas as moléculas orgânicas eram baseadas em cadeias de átomos de carbono. Ele tinha suposto uma teoria de cadeia alguns anos antes. Mas para o benzeno, as valências dos átomos constituintes não assentavam. Pode-se compreender como foi possível passar de cadeias para anéis, caso se considerem três evidências psicológicas (BODEN, 1996). Primeiro, que cobras e cadeias estavam associadas em seu pensamento. Segundo, que a distinção topológica entre curvas abertas e fechadas estava presente em sua mente. E terceiro, que a heurística “considerar a negativa” estava presente. Tomados juntos, estes três fatores podem transformar uma “cadeia” em um “anel”.

2.5 As Questões de Lovelace

Se o comentário de Lady Lovelace significa meramente que *um computador pode fazer somente o que seu programa o habilita*, está correto. Mas tem sido questionado se seu

comentário nega qualquer “possível ligação interessante entre computadores e criatividade”. BODEN (1996) enumera quatro questões, que ela chama de questões Lovelace:

- 1) Conceitos computacionais podem nos ajudar a entender como a criatividade *humana* é possível?
- 2) Os computadores, agora ou no futuro, poderão realizar atividades que ao menos *aparentem* ser criativas?
- 3) Um computador pode *aparentar reconhecer* criatividade, em poemas escritos por humanos, por exemplo, ou em suas próprias novas idéias sobre ciência ou matemática?
- 4) Os computadores podem de fato ser criativos, ao contrário de meramente produzir uma performance aparentemente criativa, cuja originalidade é principalmente creditada ao programador humano?

As respostas que Boden propõe para as primeiras três questões são: *Sim, definitivamente; Sim, até certo ponto; Sim, necessariamente, para qualquer programa que aparente ser criativo*. O principal interesse de Boden é focado na criatividade dos seres humanos, e a abordagem computacional pode ajudar a entender como a criatividade humana é possível. Isto não significa que a criatividade é previsível, nem mesmo que uma idéia original possa ser explicada em cada detalhe após ela ter acontecido. Mas a abordagem computacional permite o esboço de uma compreensão científica de como a *intuição* ocorre.

Quanto à última das questões, vale a pena lembrar que, afinal, mesmo entre os humanos, gênios são raros. Talvez a psicologia computacional, área que extrai muitos dos seus conceitos da inteligência artificial, possa trazer algumas luzes para essa pergunta. A psicologia da criatividade pode se beneficiar da IA e da ciência da computação precisamente porque um computador pode fazer *somente* o que o seu software o habilita a fazer. Por um lado, os conceitos computacionais e sua expressão disciplinada em termos de linguagens de programação podem ajudar a especificar os princípios gerativos claramente; por outro lado, a modelagem computacional pode mostrar na prática o que um sistema gerativo em particular pode ou não pode fazer. Os resultados tendem a ser surpreendentes, pois o potencial gerativo de um programa nem sempre é óbvio: o computador pode fazer

coisas que não lhe foram ordenadas explicitamente e, também freqüentemente, falham em realizar tarefas que se acreditava terem sido especificadas em instruções. TURING (1950) já apontava para esta questão, afirmando que se é esperada a infalibilidade de uma máquina, então esta máquina não pode expressar qualquer comportamento inteligente. Repare que a possibilidade de falha não deve ser interpretada aqui apenas no sentido de erros de cálculo, mas como a possibilidade de não se atender a objetivos previamente definidos. Os algoritmos aproximados, a serem descritos no Capítulo 4 no contexto da computação evolutiva, se apresentam como casos concretos desta forma alternativa de concepção do papel do computador.

2.6 Inteligência e Criatividade

Suponhamos que se queira construir um organismo, uma forma artificial de vida que tenha a maior chance de sobreviver em um ambiente complexo e imprevisível, tal como o nosso planeta. Algum mecanismo deve ser construído nesse organismo que irá prepará-lo para confrontar tantos perigos súbitos e tirar vantagem de tantas oportunidades quantas possivelmente apareçam, caso se queira que ele sobreviva em um ambiente dinâmico e complexo (CSIKSZENTMIHALYI, 1996). Para isso, certamente o organismo projetado seria basicamente conservativo, tal que aprenda as melhores soluções do passado e se mantenha repetindo-as, tentando economizar energia, ser cuidadoso e prosseguindo com os melhores padrões de comportamento experimentados. Mas a melhor solução deveria também incluir um sistema alternativo em alguns poucos organismos que daria um reforço positivo a cada vez que eles descobrissem alguma coisa nova ou surgissem com uma idéia nova ou comportamento, imediatamente útil ou não. É especialmente importante certificar que o organismo não seria recompensado apenas por descobertas úteis, de outra forma ele seria severamente limitado no futuro, porque nenhum projetista poderia antecipar todos os tipos de situações que as espécies de novos organismos poderiam encontrar amanhã, no próximo ano ou na próxima década (CSIKSZENTMIHALYI, 1996). Assim, a melhor solução é uma que faça o organismo se sentir bem quando alguma coisa nova é descoberta, independentemente de sua utilidade presente.

Aparentemente foi isso o que aconteceu com a nossa espécie através da evolução. Através de mutações randômicas, alguns indivíduos devem ter desenvolvido um sistema

nervoso no qual a descoberta de novidade estimula os centros de prazer no cérebro. É possível que crianças mais curiosas corram mais riscos e, portanto, são mais prováveis de morrer mais cedo que os seus companheiros mais pacatos, mas é também provável que os grupos humanos que aprenderam a apreciar as crianças curiosas e as protegeram e recompensaram, de modo que alcançassem a maturidade e tivessem seus próprios filhos, tenham sido mais bem sucedidos que os grupos que ignoraram o potencial criativo em seu meio (CSIKSZENTMIHALYI, 1996).

As próprias organizações estão imersas em outros grupos e processos históricos maiores. No caso de centros de pesquisa, uma depressão econômica ou uma mudança nas prioridades políticas pode privilegiar uma linha de pesquisa e prejudicar outras. As guerras são notórias em afetar a direção da ciência e, indiretamente, das artes em geral. Os próprios testes de QI devem muito de seu sucesso à necessidade do exército americano ter uma maneira de selecionar recrutas para a Primeira Guerra Mundial. Depois, a tecnologia de teste foi transportada para o campo da educação, onde alcançou uma proeminência que muitos educadores consideraram perturbadora.

Ao se tomar como objeto de estudo os organismos que se reproduzem biologicamente, verifica-se que eles existem em um meio limitado em recursos. Por conseqüência há uma competição pelos recursos disponíveis (FOGEL, 1995). A seleção natural é inevitável em qualquer sistema auto-replicativo que preencha um espaço de recursos disponíveis, e aos poucos elimina aquelas variantes que não adquirem recursos suficientes. Então, enquanto a evolução como um processo é sem propósito, o primeiro objetivo com propósito imbuído em todos os sistemas vivos é a sobrevivência. As variantes que não exibem comportamentos que vão ao encontro desse objetivo tendem a ser eliminadas. Os comportamentos geneticamente pré-programados dos sobreviventes, e então o objetivo de sobrevivência, são reforçados a cada geração, através de intensa competição. Para qualquer organismo, ou sistema, ser inteligente, ele precisa ser capaz de tomar decisões. Talvez o atributo básico de um organismo inteligente é a sua capacidade de aprender a executar várias funções em um ambiente dinâmico, de modo a sobreviver e prosperar (CARNE, 1965 *apud* FOGEL, 1995). De acordo com ATMAR (1976 *apud* FOGEL, 1995), inteligência é a qualidade que permite ao organismo sentir, reagir, aprender e

subseqüentemente adaptar o seu comportamento ao ambiente presente de modo a melhor promover sua própria sobrevivência.

Qualquer decisão pode ser descrita como a escolha de como alocar os recursos disponíveis. Um sistema inteligente deve fazer frente a um conjunto de decisões, porque se houvesse apenas uma decisão não haveria escolha. Mais ainda, decisões requerem um objetivo. Sem a existência de um objetivo, a tomada de decisão torna-se sem sentido e a inteligência de tal entidade torna-se de uma qualidade não significativa. É importante notar que qualquer autômato cujo comportamento, isto é, pares estímulo-resposta que dependem do estado do organismo, é completamente pré-programado, não pode aprender nada, nem tomar decisões.

Mas esta definição de inteligência não precisa se restringir a entidades naturais, podendo assim ser estendida às máquinas. No contexto descrito acima, a inteligência é uma característica de tomadores de decisão orientados a propósitos, de modo que ela se aplica igualmente bem a humanos, colônia de formigas, certos tipos de robôs autônomos e assim por diante. Mais genericamente, pode ser definida da seguinte maneira (FOGEL, 1995):

Definição 1.5

Inteligência é a capacidade de um sistema adaptar o seu comportamento de modo a atingir seus objetivos em um conjunto de ambientes.

A definição acima sugere que uma formiga não pode ser inteligente, mas uma colônia de formigas sim. É evidente que esta definição de inteligência é muito genérica e pouco discriminatória, posicionando o ser humano e uma colônia de insetos num mesmo agrupamento. No entanto, ela não afirma que não podem existir gradações bem distintas de inteligência, de modo que o ser humano apresente peculiaridades de inteligência definitivamente ausentes em outros seres vivos, como o nível de desenvolvimento da linguagem, dentre muitas outras habilidades. O que é relevante apontar aqui é que não é necessário reproduzir em computador estas habilidades mais avançadas, mais elaboradas e até exclusivas do ser humano para se chegar a um sistema que expresse inteligência artificial, bastando reproduzir aquelas habilidades que conduzem ao atendimento da definição acima e que também estão presentes no ser humano, mas não são exclusivas da espécie humana.

Já os testes de criatividade devem sua existência à Segunda Guerra Mundial, quando a força aérea requisitou J. P. Guilford, psicóloga da University of Southern Califórnia, para estudar o assunto. A força aérea queria selecionar pilotos que, em uma emergência – a falha inesperada de uma engrenagem ou instrumento – respondessem apropriadamente com comportamento original, salvando a si mesmos e à aeronave. Os testes de QI usuais não tinham sido projetados para medir a criatividade. Guilford foi solicitada para desenvolver o que mais tarde se tornou conhecido como testes para o raciocínio divergente. Como psicometricista, e argumentando que a criatividade não é de forma alguma igual à inteligência, Guilford afirmou a necessidade de um arsenal de medidas que designassem *quais* indivíduos tinham potencial para serem criativos.

A idéia-chave na concepção de criatividade do psicólogo é o *pensamento divergente* (GARDNER, 1996). Pelas medidas-padrão, considera-se que as pessoas inteligentes são convergentes – pessoas que, a partir de certos dados ou de um problema difícil, conseguem chegar a muitas associações diferentes, e pelo menos algumas dessas são idiossincráticas e possivelmente únicas. Itens típicos num teste de criatividade pedem o máximo possível de usos para um tijolo, uma série de títulos para uma estória, ou várias interpretações de um desenho abstrato. Um indivíduo psicometricamente criativo pode habitualmente produzir um espectro de respostas divergentes a um item desse tipo, e pelo menos algumas delas raramente são encontradas nas respostas dos outros.

Após consideráveis debates e experimentações nas décadas seguintes ao desafio de Guilford, os psicólogos chegaram a três conclusões, sendo que a primeira delas é que criatividade não é o mesmo que inteligência. Howard Gardner mudou a maneira de se pensar sobre inteligência, desfazendo a noção comum de que ela é uma capacidade única que cada ser humano possui, em maior ou menor extensão, e introduzindo uma visão pioneira da criatividade (GARDNER, 1996). Embora esses dois traços, inteligência e criatividade, estejam correlacionados, um indivíduo pode ser muito mais criativo do que inteligente, ou muito mais inteligente do que criativo.

A segunda conclusão é que os testes de criatividade *são* reprodutíveis, ou seja, se o mesmo indivíduo faz o mesmo teste de criatividade mais de uma vez, ele provavelmente terá um escore semelhante.

A última conclusão é devastadora para as tentativas de medir criatividade usando-se testes de lápis e papel. Apesar de alguns achados sugestivos, não foi possível demonstrar que os testes de criatividade são *válidos*. Isto é, escores altos num teste de criatividade não indicam que a pessoa seja necessariamente criativa na sua atual profissão ou em atividades de lazer, e também não existem evidências convincentes de que os indivíduos considerados criativos por sua disciplina ou cultura necessariamente apresentam as habilidades de pensamento divergente, que são tidas como a marca registrada da criatividade.

Os testes de criatividade deixaram de satisfazer as expectativas que deveriam satisfazer. Muitos críticos questionaram os testes de criatividade pela visão de criatividade humana aparentemente banal incorporada por eles. Uma conduta alternativa é desenvolver itens de teste mais exigentes. Num dos testes favoritos, o teste das “três linhas”, a pessoa é desafiada a conectar nove pontos arranjados numa matriz de três a três, sem erguer o lápis. O movimento criativo neste teste consiste em estender a linha além dos limites da configuração do alvo. Esses problemas começam a refutar a acusação de banalidade, mas eles tendem a favorecer as pessoas que já estão familiarizadas com o domínio em questão, por exemplo; tecnologia de raios X, problemas geométricos; e possuem pouca relação demonstrável com a criatividade fora do ambiente de teste. Também favorece os indivíduos que se destacam na solução de problemas visuais, enquanto penalizam os que se sentem mais à vontade com números ou palavras.

Entretanto, os testes de criatividade desencadearam algumas reações construtivas entre os pesquisadores de orientação cognitiva. Os pesquisadores dessa linha de pesquisa depreciam a superficialidade dos itens psicométricos de criatividade, assim como a falta de clareza sobre os processos mentais supostamente utilizados para resolver esses itens. Em vez disso, esses pesquisadores cognitivos têm por objetivo uma investigação da resolução de problemas em escala científica baseada em computadores, um processo que exige mecanismos de pensamento criativo para a obtenção de uma solução original.

Num exemplo típico, os pesquisadores desenvolveram um programa de computador chamado BACON. Quando suprido com dados brutos (não-processados) – por exemplo, a respeito de várias pressões sobre um gás e o volume que esse gás correspondentemente ocupa – o programa computa um princípio fundamental – neste caso, a mesma razão inversa entre pressão e volume que Robert Boyle descobriu no século XVII e que veio a ser

conhecida como a lei de Boyle. Os programas de computador desse tipo conseguiram redescobrir muitas leis científicas através da indução e generalização.

No pior dos casos, essas simulações de computador constituem demonstrações ou provas de existência – ilustrações de que uma entidade computacional pode, quando alimentada com dados relevantes, produzir uma lei científica. Entretanto, isso de forma alguma prova que o BACON e os cientistas humanos empregam processos idênticos ou equivalentes. De acordo com CSIKSZENTMIHALYI (1996), o programa de computador precisa começar com o problema e os dados fornecidos na forma específica escolhida pelo cientista cognitivo, e precisa utilizar os algoritmos com que foi programado para selecionar. Em contraste, o solucionador humano de problemas precisa selecionar o problema a ser investigado, determinar quais, de uma infinidade de dados potenciais, são relevantes para a solução do problema, e verificar que tipo de análise deve fazer nos dados para chegar a uma solução, criando diligentemente novas formas de análise quando necessário.

Embora as afirmações específicas sejam um tanto quanto evidentes, a abordagem geral dos cognitivistas constitui um claro passo à frente. Pesquisadores cognitivos, entre eles Margaret Boden, descrevem como os indivíduos criativos identificam espaços de problemas e soluções que parecem promissores, investigam esses espaços em busca de abordagens apropriadas para o problema em questão e de condutas que tragam bons resultados, avaliam soluções alternativas para os problemas, empregam recursos de energia e tempo para fazer avançar de modo eficiente seu programa de investigação, e determinam quando investigar mais a fundo e quando seguir em frente e, de modo mais geral, refletem sobre seus próprios processos criadores. Alguns pesquisadores cognitivos mostraram esses princípios em ação em domínios específicos, tais como a improvisação em jazz ou a escrita imaginativa. No todo, os cognitivistas identificaram maneiras de examinar o trabalho criativo em um nível apropriado de complexidade.

2.7 Criatividade e Evolução

Não há como negar que é muito improvável que os seres vivos, tão bem desenhados, “projetados”, tenham surgido por acaso. Mas como, então, eles surgiram? A resposta de Darwin é: por transformações simples, passo a passo, a partir de inícios simples, a partir de entidades primordiais suficientemente simples para terem surgido por acaso (DAWKINS,

1991). Cada mudança sucessiva no processo evolucionário gradual era suficientemente simples, com relação ao seu predecessor, para ter surgido por acaso. Mas a completa seqüência de passos acumulados não é outra coisa senão um processo casual, ao se considerar a complexidade do produto final em relação ao ponto de partida. Mas o processo cumulativo é direcionado pelo instinto da sobrevivência.

Ao se andar ao longo de uma praia pedregosa, nota-se que as pedras não estão arrumadas aleatoriamente. As pedras menores tipicamente tendem a ser encontradas em regiões segregadas ao longo do comprimento da praia, enquanto que as maiores em diferentes regiões ou tiras. As pedras foram escolhidas, arranjadas, selecionadas. Uma tribo vivendo próxima da costa poderia querer saber ou adivinhar a respeito dessa evidência de ordem ou arranjo no mundo, poderia desenvolver um mito para explicá-lo, talvez atribuindo a um Grande Espírito no céu com uma mente meticulosa e um senso de ordem. Mas o arranjo foi realmente feito pelas forças cegas da física, neste caso pela ação das ondas. As ondas não têm propósito ou intenção, nenhuma mente meticulosa ou não meticulosa. Elas apenas energeticamente atiram as pedras em volta, e as pedras grandes e as pedras pequenas respondem diferentemente a esse tratamento, de modo que elas terminam em diferentes pontos na praia. Uma pequena quantidade de ordem emergiu da desordem, e nenhuma mente a planejou.

As ondas e as pedras juntas constituem um exemplo simples de um sistema que automaticamente gera a não-aleatoriedade. O mundo é cheio de tais exemplos, o mais simples de todos provavelmente é o buraco: somente objetos menores podem passar através dele. Isto significa que, caso se inicie com uma coleção randômica de objetos acima do buraco, e se forças os chacoalharem acima e abaixo aleatoriamente, após um certo tempo os objetos acima e abaixo do buraco estarão não-aleatoriamente ordenados. O espaço acima tenderá a conter objetos maiores que o buraco e o espaço abaixo tenderá a conter objetos menores que o buraco. Este princípio básico tem sido há muito explorado pelo homem através da peneira ou filtro.

O sistema solar é um arranjo estável de planetas, cometas e meteoros orbitando ao redor do sol, e é presumivelmente um dos muitos sistemas orbitando no universo. Quão mais próximo um satélite está do sol, mais rápido ele tem que viajar para compensar a gravidade do sol e manter-se numa órbita estável. Para qualquer dada órbita, há somente

uma velocidade em que o satélite pode viajar e permanecer naquela órbita. Se ele estivesse viajando a qualquer outra velocidade, ele poderia mover-se ou no espaço vazio, ou em direção ao sol, ou mudar de órbita. E caso se olhe para os planetas do sistema solar, cada um deles está se deslocando à velocidade exata necessária para se manter em sua órbita estável ao redor do sol. Eis aí um outro “filtro” natural, não podendo assim ser tomado como evidência de um projeto consciente.

Mas exemplos tais como o filtro não são, por si mesmos, nem de longe suficientes para os inúmeros exemplos de ordem não-aleatória encontrados nos seres vivos. Gerar uma molécula biológica como a hemoglobina, o pigmento vermelho do sangue, por uma simples filtragem seria equivalente a tomar todos os blocos de aminoácidos da hemoglobina, sacudi-los aleatoriamente e esperar que a molécula da hemoglobina se constitua por pura sorte. A quantidade de sorte necessária para isso seria impensável. A molécula da hemoglobina consiste de quatro cadeias de aminoácidos torcidas juntas; apenas uma dessas cadeias consiste de 146 aminoácidos e há 20 diferentes tipos de aminoácidos comumente encontrados nos seres vivos. O número de possíveis maneiras de se arranjar os 20 aminoácidos em cadeias de comprimento 146 é 20^{146} , denominado por Isac Asimov de número da hemoglobina (*haemoglobin number*), que é da ordem de 1 com 190 zeros à direita. Esta é a chance contra se obter a hemoglobina por pura sorte, e uma molécula de hemoglobina tem somente uma fração mínima de um ser vivo. Filtragem ou triagem simples, por si só, não é nem de longe capaz de gerar a quantidade de ordem de um ser vivo; algo mais é necessário. Para isso, é necessário uma distinção entre seleção “passo a passo” e “seleção cumulativa”. A organização encontrada nos seres vivos pode então ser interpretada como o resultado de seleção cumulativa.

A diferença essencial entre a seleção passo a passo e a seleção cumulativa é que na seleção passo a passo as entidades selecionadas ou escolhidas, pedras ou quaisquer que sejam, são escolhidas de uma vez por todas. Na seleção cumulativa, por outro lado, elas se reproduzem ou, de outro modo, os resultados de um processo de triagem são alimentados em uma triagem subsequente, a qual é alimentada no próximo, e assim por diante. As entidades estão sujeitas à seleção ou escolha de muitas gerações em sucessão. O produto final de uma geração de seleção é o ponto de partida para a próxima geração de seleção, e assim por diante, por muitas gerações. A seleção cumulativa, seja na seleção artificial como

num modelo computacional, ou na seleção natural como no mundo real, é um procedimento de busca eficiente, e suas conseqüências são muito semelhantes à inteligência criativa. Procedimentos efetivos de busca tornam-se, quando o espaço de busca é *suficientemente* grande, indistinguíveis da verdadeira criatividade (DAWKINS, 1991).

Há uma grande diferença entre seleção cumulativa, na qual qualquer melhoria, ainda que pequena, é usada como uma base para construção futura, e a seleção passo a passo, na qual cada nova tentativa é uma única. Se o progresso evolutivo se limitasse à seleção passo a passo, não teria chegado a lugar algum. Mas se, de alguma maneira, as condições necessárias para a seleção cumulativa tivessem sido instaladas pelas forças cegas da natureza, estranhas e surpreendentes seriam as conseqüências. Nuvens, por exemplo, não são capazes de entrar na seleção cumulativa. Não há mecanismo em que nuvens de forma particular possam dar origem a novas nuvens parecidas consigo mesmas. Certamente, nuvens se quebram e formam nuvens “filhas” às vezes, mas isto não é suficiente para a seleção cumulativa.

A Evolução, aqui com E maiúsculo, não tem nenhum objetivo distante, nada para servir como um critério para a seleção. Na vida real, o critério para a seleção é sempre a curto prazo, seja a sobrevivência simples ou, mais genericamente, o sucesso reprodutivo. O que aparenta ser o progresso em relação a algum objetivo distante é sempre uma conseqüência incidental de muitas gerações de seleção imediata. A seleção natural cumulativa é cega quanto ao futuro e não tem objetivos de longo prazo. Mas, se o processo é cego, a curto prazo, não há dúvida que muitos resultados criativos podem surgir dele, a longo prazo.

Um modelo computacional pode suprir este ponto. Na vida real, a forma de cada animal individual é produzida pelo desenvolvimento do embrião. A evolução ocorre porque, em gerações sucessivas, há pequenas diferenças no desenvolvimento. Estas diferenças surgem por causa de mudanças – mutações e recombinações, os quais são exemplos de operadores que introduzem aleatoriedade no processo – nos genes controlando o desenvolvimento. Há muitas maneiras de se implementar essas operações num modelo computacional (DAWKINS, 1991).

2.8 A Evolução e o Método Científico

As novas teorias científicas normalmente representam uma mudança no domínio existente, ou então o estabelecimento de um novo domínio. Sendo assim, por definição, o método científico deve envolver a criatividade. Se a evolução apresenta resultados criativos, é possível que haja alguma associação entre evolução e o método científico.

De fato, o método científico descreve adequadamente os mecanismos envolvidos num processo evolutivo, pois ambos vão envolver combinação, exploração e transformação de espaços conceituais. Isto será visto na sequência para o método científico (FOGEL, 1995), mas apenas no Capítulo 4 um estudo equivalente será realizado para a evolução. Esta forte vinculação entre evolução e método científico deriva de inúmeras associações e analogias possíveis, mas a mais marcante sem dúvida é a natureza cumulativa de eventos iterativos, que fundamenta ambos os paradigmas.

Da linha de argumentação acima, pode-se extrair duas conclusões importantes:

- a eficácia do método científico pode ser diretamente empregada para demonstrar que os processos evolutivos são eficazes, devido à equivalência entre ambos;
- a necessidade de etapas criativas ao longo da aplicação do método científico implica a necessidade de etapas equivalentes ao longo do processo evolutivo.

1. *Observe algum fenômeno do universo;*
2. *Proponha uma solução tentativa, ou seja, uma hipótese, consistente com o fenômeno desejado;*
3. *Repita os passos abaixo até que não haja mais discrepância entre teoria e experimento ou observação:*
 - 3.1 *Use a hipótese para realizar previsões;*
 - 3.2 *Teste estas previsões através de experimentos ou novas observações;*
 - 3.3 *Modifique a hipótese com base nos resultados do teste.*

Algoritmo 2.1 – Versão básica do método científico

O método científico é um processo iterativo que facilita o ganho de conhecimento sobre os processos existentes num ambiente observável. Aspectos desconhecidos do ambiente são estimados e novas informações são coletadas e de alguma forma associadas a

informações prévias ou resultados conhecidos, derivados de medidas recentemente adquiridas.

Uma nova teoria científica se mostra necessária quando há uma disparidade reconhecida entre a realidade dos fatos e os indicadores da teoria em vigor. Uma versão básica do método científico pode ser apresentado no algoritmo 2.1 (KUHN, 1996).

Quando a consistência, ou ausência de discrepância, é obtida, a hipótese (ou conjunto de hipóteses) se torna uma teoria, a qual fornece um conjunto coerente de proposições que explica uma classe de fenômenos do universo (VON ZUBEN, 2001). Assim, uma teoria científica não é aceita por causa do prestígio ou poder de convencimento do seu proponente, mas através de observações e/ou experimentos que podem ser reproduzidos por qualquer pessoa interessada em validá-la (refutá-la ou aceitá-la). No entanto, nem sempre os experimentos podem ser realizados. Ao se estudar o cosmo, por exemplo, todas as informações são obtidas através da observação de fenômenos e realização de medidas. Neste caso, as teorias são baseadas na extração de regularidades nos dados obtidos, ou *busca de padrões*, as quais são então explicadas por leis físicas.

Os resultados obtidos usando um método científico são reprodutíveis, o que garante que toda teoria científica pode ser submetida a um processo de validação. Em outras palavras, toda teoria científica é passível de reprodução. De fato, geralmente os experimentos e observações são repetidos muitas vezes e, caso as hipóteses originais que fundamentam uma teoria não sejam verificadas, a origem dessa discrepância deve ser alvo de intensa investigação, de modo a conduzir ao refinamento, abandono ou substituição por uma nova teoria que esteja de acordo com os dados produzidos pelos experimentos e/ou observações. Para tanto, novas hipóteses são levantadas e testadas, até que uma nova teoria seja validada.

É evidente que todo processo de validação depende da capacidade de obtenção e análise de dados. Quanto menor a qualidade da informação obtida por experimentação ou observação, menor a capacidade de refutação e maior o elenco de teorias científicas passíveis de aceitação. Por outro lado, quanto maior a qualidade da informação obtida por experimentação ou observação, maior a capacidade de refutação e menor o elenco de teorias científicas passíveis de aceitação. Surge então a necessidade de distinção entre teorias científicas e não-científicas. Os dois exemplos a seguir servem a este propósito:

Teoria 1: Marte é povoada por homens verdes pequenos que podem ler a mente de todos os terráqueos e irão se esconder toda vez que um terráqueo estiver observando o planeta ou o explorando in loco, à procura deles.

Teoria 2: Não há homens verdes pequenos em Marte.

A teoria 1 não é científica, pois os homens verdes pequenos foram concebidos de modo a nunca serem observados. Assim, essa teoria não é refutável. A teoria 2 é científica, pois pode ser refutada caso se encontre um único exemplar de homem verde povoando Marte.

Sendo assim, a afirmação de que a ciência não pode incorporar nada que não tenha sido provado, a qual representa uma crítica freqüente ao método científico, não se aplica; trata-se de uma interpretação errônea do método científico. A essência do método científico está no fato de que a ciência não pode incorporar nada que não admita ser refutado um dia (POPPER, 1992). Fatos considerados impossíveis no passado, assumindo a irrefutabilidade das teorias científicas então em vigor, certamente levaram ao abandono temporário de muitas teorias científicas que hoje representam uma realidade. Mas em virtude da natureza refutável das teorias científicas, esta realidade de hoje em nenhum momento pôde ser considerada uma impossibilidade pela própria ciência. Há uma clara distinção, portanto, entre aquilo que hoje não pode ser refutado, ou que sustenta as teorias científicas que estão em evidência, e aquilo que nunca pôde nem poderá ser refutado, que nunca poderá sustentar nenhuma teoria científica.

Conclui-se, assim, que o método científico representa um processo poderoso de proposição de hipóteses que ainda não podem ser refutadas, embora sejam refutáveis, e portanto são candidatas a descrever a verdade dos fatos ou, mais precisamente, a explicar a realidade observável (POPPER, 1992).

De acordo com o esquema adotado para descrever o método científico (veja figura 2.1), quando um novo conjunto de fenômenos precisa ser explicado por uma teoria científica, mas não pode ser descrito de forma consistente pelas teorias científicas já propostas e até então não refutadas, há a necessidade de conjugação de aspectos

complementares de teorias existentes, proposição de refinamentos de alguma teoria existente, ou então concepção de novas teorias. Sendo assim, os conceitos de combinação, exploração e transformação de espaços conceituais passam a ser fundamentais para explicar o método científico.

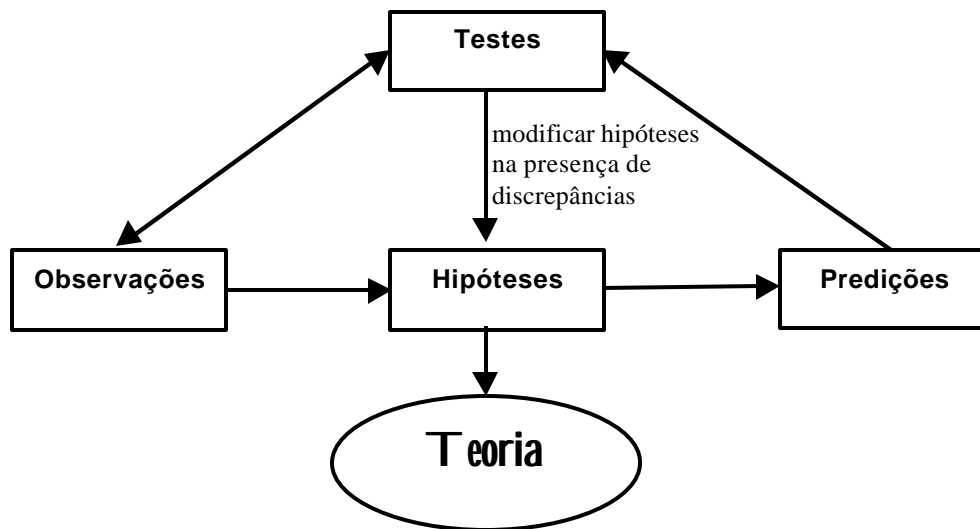


Figura 2.1 – Diagrama descritivo do método científico

FOGEL (1995) realizou um estudo preliminar a respeito da equivalência entre evolução e o método científico, mostrando que há associações diretas entre estes dois paradigmas. Nesta tese, a associação vai se dar em termos dos tipos propostos para a geração da criatividade, presentes em ambos. Os conceitos de combinação, exploração e transformação de espaços conceituais, no contexto de evolução, serão melhor abordados no Capítulo 4.