

MARIA EUNICE QUILICI GONZALES

METODOLOGIA DA DESCOBERTA CIENTÍFICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

"Nada é mais importante do que observar as origens da invenção, as quais são, na minha - opinião, mais interessantes - que as próprias invenções".

Leibniz

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida pela aluna Maria Eunice Quilici Gonzales e aprovada pela comissão julgadora.

21 de maio de 1984

Teófilo F. F. F.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

R E S U M O

Analizamos nesta dissertação questões relativas à descoberta científica e aos processos cognitivos subjacentes à atividade de resolução humana de problemas. No que diz respeito à descoberta científica, nossa análise limita-se basicamente a uma investigação dos trabalhos de Hanson e Simon sobre a lógica da descoberta científica. Quanto aos processos cognitivos subjacentes à atividade de resolução humana de problemas, nosso estudo / estará apoiado nas idéias de Polya, Newell e Simon, Hintikka e Remes.

O presente trabalho divide-se em duas partes centrais que se desdobram nos capítulos I-V. No capítulo I, iniciamos o / estudo da descoberta confrontando os pontos de vista de Hanson e Popper sobre a lógica da descoberta científica. A seguir, com base nas obras de Buchanan Logics of Scientific Discovery e de Kuhn A Estrutura das Revoluções Científicas, desenvolvemos uma / análise do conceito de descoberta e discutimos algumas dificuldades concernentes à noção da lógica da descoberta. Concluimos o capítulo I discutindo algumas das teses centrais que poderiam caracterizar uma metodologia da descoberta científica.

No capítulo II, analisamos as principais teses de Hanson sobre a lógica da descoberta, em três secções que correspondem aos três estágios da obra desse autor. Iniciamos o capítulo / discutindo as teses de Patterns of Discovery. A seguir, o artigo "Is There a Logic of Scientific Discovery?" é analisado e, finalmente, "Retductive Inference" completa a nossa análise do trabalho de Hanson.

No capítulo III examinamos algumas idéias relativas a uma possível metodologia da descoberta científica. Iniciamos o / capítulo investigando, com base na obra de Polya - A Arte de / Resolver Problemas, uma área de estudos denominada "Heurística", a qual trata de métodos de resolução de problemas e de processos de descoberta. Após uma breve análise acerca da natureza dos problemas, discutimos a tese segundo a qual a descoberta científica pode ser entendida como um processo de resolução de problemas. / Concluimos o capítulo apresentando um método conhecido como método de análise (o qual foi utilizado pelos antigos para a descoberta de provas de teoremas e soluções de problemas da geometria) , e sugerindo que o estudo desse método poderia ser útil para uma / análise da metodologia da descoberta científica.

Nos capítulos IV e V, que constituem a segunda parte / da tese, discutimos, respectivamente, a teoria de resolução de problemas de Newell e Simon e a teoria da descoberta de Simon, desenvolvidas na área de Inteligência Artificial. No capítulo IV / damos especial destaque ao estudo de um método conhecido nessa / área como método heurístico de busca e mostramos em que sentido / ele poderia ser entendido como uma versão do método de análise . No capítulo V apresentamos a teoria da descoberta elaborada por / Simon, na versão psicológica e sociológica, de um lado, e na versão "lógica", de outro.

Concluimos a dissertação fazendo um balanço daquilo / que foi apresentado nos capítulos anteriores, e questionando as contribuições da Inteligência Artificial, no que diz respeito ao esclarecimento das noções apresentadas sobre o processo da descoberta científica.

AGRADECIMENTO

Ao meu orientador Prof. Zeljko Loparic' e ao Prof. Balthazar Barbosa Filho que sobre mim exerceram grande influência / intelectual.

Aos meus amigos Prof. Michel Maurice Debrun, Prof^a. Regiane Carrion, Prof. Marcos Barbosa de Oliveira, Prof. Andrew / Woodfield, Prof. João de Fernandes Teixeira e aos professores e colegas do Departamento de Filosofia da UNICAMP, pelas críticas / e sugestões que pacientemente elaboraram. À FAPESP, CAPES E CNPQ, pelo auxílio a pesquisa que me proporcionaram durante tanto tempo. Ao Geraldo H. Winter que datilografou este texto. Finalmente, aos meus pais e irmãos, à Laura Cardellini B. de Oliveira ao João A. Telles pelo apoio e pelo carinho que me foi dedicado durante a elaboração deste trabalho.

- Esta tese é dedicada ao Prof. J.J. da
Motta, aos meus pais e irmãos e aos bichos.

Í N D I C E

<u>INTRODUÇÃO GERAL</u>	i
-------------------------------	---

PARTE I

CAPÍTULO I - A LÓGICA DA DESCOBERTA CIENTÍFICA

Introdução	1
Secção 1 - Contexto de Descoberta <u>versus</u> Contexto de justificação.....	3
Secção 2 - O conceito de descoberta e as dificuldades concernentes à Lógica da Descoberta	10
Secção 3 - Metodologia da descoberta científica	17

CAPÍTULO II - O PROGRAMA DE HANSON PARA A LÓGICA DA DESCOBERTA

Introdução	21
Secção 1 - Lógica da Descoberta segundo <u>Patterns of Discovery</u>	23
Secção 2 - Lógica da Descoberta segundo "Is there a Logic of Scientific Discovery?"	43
Secção 3 - Lógica da Descoberta segundo "Retrodutive Inference"	48

CAPÍTULO III - METODOLOGIA DA DESCOBERTA

Introdução	56
Secção 1 - Heurística e Metodologia da descoberta científica	57

Secção 2 - Uma investigação sobre a natureza dos problemas	66
Secção 3 - O método de análise	75

PARTE II

CAPÍTULO IV - TEORIA DE RESOLUÇÃO HUMANA DE PROBLEMAS

Introdução	95
Secção 1 - Pressupostos da Inteligência Artificial	96
Secção 2 - Os problemas e suas representações em Inteligência Artificial	103
Secção 3 - Métodos de resolução de Pro- blemas	110

CAPÍTULO V - A CONCEPÇÃO SIMONIANA DA DESCOBERTA CIENTÍFICA

Introdução	123
Secção 1 - Uma teoria Psicológica e Socio- lógica da Descoberta Científica	125
Secção 2 - O programa de Simon para a Lógica da Descoberta	133
Conclusão Geral	144

NOTAS	149
-------------	-----

BIBLIOGRAFIA	152
--------------------	-----

METODOLOGIA DA DESCOBERTA CIENTÍFICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

INTRODUÇÃO GERAL

Como se pode perceber pelo título, o presente trabalho destina-se a abarcar duas áreas de estudo relativamente novas, em relação as quais um grande número de problemas são colocados, sendo que poucas respostas encontram-se disponíveis até agora. Em meio ao emaranhado de questões ainda não respondidas que se forma em torno dessas duas áreas de estudo, propomo-nos a desenvolver uma pesquisa, em duas etapas, acerca dos métodos de resolução de problemas que poderiam ser relevantes para o estudo do processo de descoberta científica.

Na primeira parte da tese discutimos, em especial, algumas questões acerca da descoberta científica tal como elas se apresentam dentro do contexto da Filosofia de Ciência, dando ênfase especial à ótica de Hanson. Esse autor elaborou um programa para uma análise possível do processo de descoberta científica, o qual enquadra-se, na opinião de alguns críticos, em um campo não muito bem delimitado que oscila entre Lógica, Filosofia e Psicologia. As teses de Hanson sobre a descoberta científica, expressas em Patterns of Discovery e artigos, são analisadas em nosso trabalho em contraposição às idéias de Popper em The Logic of Scientific Discovery. Contrariamente a Hanson, Popper julga que não é possível fazer uma reconstrução lógica dos processos de descoberta, uma vez que eles encerram, geralmente, elementos irracionais ou mesmo algo como uma intuição criadora.

O interesse para nós da discussão Hanson/Popper consiste em que ao argumentar contra Popper, em defesa de uma lógica

ca da descoberta, Hanson enfatiza um tipo de raciocínio denominado "raciocínio retrodutivo" que se encontra presente em muitos relatos fornecidos pelos cientistas acerca de suas descobertas. É nossa tese que a inferência retrodutiva, tal como apresentada por Hanson, corresponde a uma versão de um método utilizado pelos matemáticos gregos, e descrito por Pappus, para a descoberta de provas de teoremas e de soluções de problemas da geometria, método esse conhecido pelos antigos como "método de análise". A partir do estudo desse método e de suas correlações com o raciocínio retrodutivo delimitamos a nossa investigação da descoberta científica a uma área, a qual denominamos "metodologia da descoberta", onde o método de análise desempenha um papel central.

Na segunda parte da dissertação retomamos algumas das questões anteriormente tratadas, sob a perspectiva da Inteligência Artificial. A Inteligência Artificial (AI) - do inglês "artificial intelligence" - é uma área de estudos que reúne as ciências da Computação, Psicologia, Linguística, Matemática e Filosofia. Os pesquisadores dessa área estão interessados em desenvolver teorias explicativas dos processos cognitivos responsáveis pelo comportamento inteligente. Tais teorias são elaboradas através de programas computacionais dos quais se pretende que, quando executados em computador, simulem certas habilidades características do comportamento inteligente. Grande parte dos trabalhos desenvolvidos em AI tem como objeto de estudos a habilidade humana de resolução de problemas.

Como uma amostra do estudo realizado na área de AI analisamos parte dos trabalhos de Newell e Simon. Eles desenvolvem uma teoria de resolução de problemas que diz respeito, principalmente, aos métodos utilizados pelos indivíduos na resolução de problemas que podem ser expressos em símbolos. Entre os méto-

dos estudados por esses autores encontra-se aquele que eles denominaram "método heurístico de busca". Esse método reúne um conjunto de regras práticas, extraídas da prática humana de resolução de problemas. Diferentemente dos métodos algorítmicos, que asseguram a obtenção de uma solução para os problemas (sempre que ela exista), o método heurístico é falível. Seu emprego não garante a obtenção dos resultados desejados; ele apenas indica caminhos que auxiliam na busca de soluções.

O estudo do método heurístico de busca constitui uma das metas centrais da segunda parte de nossa dissertação. Através dele estabelecemos uma ponte entre a metodologia da descoberta, estudada na primeira parte do trabalho, e a inteligência artificial. Essa ponte foi estabelecida, não apenas porque várias questões tradicionalmente tratadas pelos filósofos tem sido proveitosamente investigadas à luz da AI, mas, e principalmente, porque o método heurístico de busca apresenta vários pontos em comum com o raciocínio retrodutivo estudado por Hanson. Tais pontos são analisados por Simon em Models of Discovery. Nessa obra o autor defende a tese segundo a qual o processo de descoberta científica pode ser entendido como um processo de resolução de problemas. Tal tese tem suas raízes numa teoria desenvolvida por Newell e Simon em Human Problem Solving, cujo elemento central de análise é o método heurístico de busca.

Ao estabelecer um paralelo entre o método heurístico de busca e o raciocínio retrodutivo constatamos, uma vez mais, / que eles correspondem a uma versão do método de análise dos gregos. Constatamos também que a abordagem desenvolvida por Simon desse método nos seus estudos da descoberta científica contribui, de forma significativa, para o esclarecimento de alguns pontos da teoria da descoberta de Hanson que não foram devidamente ex-

plicitados por esse autor.

A análise das idéias de Hanson e Simon sobre o proceso de descoberta científica (entendido como um processo de resolução de problemas), tendo como pano de fundo a concepção do método de análise dos gregos, delimita o domínio de investigação / do nosso trabalho. Sem a pretensão de elaborar uma teoria geral da descoberta científica indicamos, no que se segue, alguns problemas que poderiam ser incluídos num possível estudo da metodologia da descoberta científica e dos processos cognitivos subjacentes à atividade de resolução humana de problemas.

METODOLOGIA DA DESCOBERTA CIENTÍFICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

PARTE I



"Aquele é o Dr. Arnold Moore. Ele está fazendo uma experiência para provar a teoria de que a maior parte das grandes descobertas científicas foi feita por acidente."

*Desenho de Hoff; ©1957
The New Yorker Magazine, Inc.*

CAPÍTULO I

A LÓGICA DA DESCOBERTA CIENTÍFICA

INTRODUÇÃO

Neste capítulo desenvolvemos um estudo de conceito / de descoberta científica e analisamos algumas dificuldades concernentes à noção da lógica da descoberta.

Na secção 1 fazemos uma breve introdução ao tema proposto confrontando argumentos, normalmente encontrados nos rela-tos dos filósofos da ciência, a favor e contra a existência de / uma lógica da descoberta científica.

Na secção 2 discutimos alguns aspectos semânticos do termo "descoberta" e analisamos uma definição proposta por Bucha nan (1) para locuções do tipo "X descobre Y em T" onde X designa uma pessoa ou máquina e Y refere-se a objetos físicos ou proposi-ções. O resultado de tal análise leva-nos a concluir que uma de-finição do conceito de descoberta não pode ser estabelecida, es-tritamente falando, dentro do escopo da Lógica Simbólica.

Na última secção deste capítulo (secção 3) sugerimos que, ainda que uma definição do conceito de descoberta não possa ser estabelecida no âmbito da Lógica, o processo de descoberta / (tal como caracterizado por alguns cientistas e filósofos) apre-senta aspectos metodológicos que tornam razoável considerar gran-de parte das descobertas como processos de resolução de problemas. Levando em conta essa sugestão, a lógica da descoberta, poderia/ ser concebida como uma área de estudos acerca dos métodos que po-deriam conduzir à descoberta de soluções para situações problemá-ticas.

Como a denominação "lógica da descoberta" tem dado/ lugar a controvérsias muitas vezes estéreis propomos, de acordo

com a perspectiva acima mencionada, que ela seja substituída por "metodologia da descoberta". Finalmente, considerando que o estudo da descoberta pode ser feito a partir de diferentes enfoques, esboçamos os limites e algumas das condições a serem satisfeitas pela metodologia da descoberta.

Secção 1 - CONTEXTO DE DESCOBERTA VERSUS CONTEXTO DE JUSTIFICAÇÃO

As expressões "contexto de descoberta" e "contexto/ de justificação" são usadas pelos filósofos da ciência para enfatizar, em geral, a distinção entre o modo pelo qual se chega a um resultado científico e o modo pelo qual se o justifica, defende, etc. Para a maioria desses filósofos, apenas as questões pertencentes ao contexto de justificação são consideradas como concernentes à Lógica e Filosofia da Ciência. As questões referentes à origem das idéias, hipóteses, leis ou teorias são geralmente relegadas ao domínio da Psicologia ou da Sociologia. Assim, - por exemplo, encontramos em Popper (1) a seguinte afirmação:

"O estágio inicial, o ato de conceber ou inventar / uma teoria parece-me não exigir análise lógica nem/ ser susceptível a ela. A questão acerca de como ocorre uma idéia nova a uma pessoa (...) pode ser de grande interesse para a psicologia empírica, porém/ carece de importância para a análise lógica do conhecimento científico"(1).

O mesmo ponto de vista é compartilhado por todos / aqueles que julgam que o processo de descoberta envolve sempre / um elemento irracional ou criativo que escapa a uma análise sistemática. Por esse motivo, autores como Nagel, Hempel, Popper e muitos outros enfatizam em seus trabalhos apenas os tópicos relacionados à explicação, justificação e falsificação de hipóteses/ (uma vez formuladas), sem se importarem com a origem das mesmas. Esses pensadores, na sua maioria adeptos do conhecido modelo hipotético - dedutivo de explicação científica, admitem, em síntese

se, que as hipóteses são "palpites felizes" e que não existe um método racional para gerá-las. Mais ainda, eles julgam que não é possível fazer uma reconstrução lógica do processo que conduziu/ à formulação de uma hipótese bem sucedida.

Em oposição a essa concepção da descoberta, alguns / filósofos apontam para a existência de uma lógica da descoberta/ e enfatizam a importância de uma análise sistemática dos processos de descoberta focalizada sob a ótica da Filosofia da Ciência. Tais processos envolveriam um conjunto de procedimentos racionais que, mesmo sem ser efetivos, poderiam conduzir a descobertas. A noção de "procedimento racional", por sua vez, é normalmente entendida a partir da idéia de justificação. Como sugere Max Black (1), chamamos de racional a um modo de investigação quando existe uma justificação racional, isto é, quando podemos encontrar razões que justifiquem aquilo que fazemos tornando-o suscetível de avaliação e crítica articulada. (2)

A lógica da descoberta constitui, de acordo com o / ponto de vista dos seus defensores, uma área de inquérito (em geral relacionada à resolução de problemas) acerca daquelas classes de procedimentos racionais que podem - e apenas podem - conduzir à sugestão de hipóteses, leis ou teorias.

Grande controvérsia tem sido gerada em torno da proposta de se analisar a descoberta a partir do ponto de vista da Lógica. Essa controvérsia, baseia-se fundamentalmente na idéia / de que em Lógica, em geral, ainda que não existam regras para gerar a prova de um teorema específico, existem regras bem estabelecidas que permitem justificar cada um dos seus passos, possibilitando decidir, a cada etapa, se se trata de uma inferência válida ou não. No caso do processo de descoberta, não se dispõe de meios efetivos para gerar e justificar cada /

uma de suas etapas. As tentativas de se estabelecer procedimentos / infalíveis que conduziriam qualquer homem inteligente (ou máquina?) à descoberta de hipóteses explanatórias -as quais caracterizam, por exemplo, o pensamento de Mill e Bacon- foram abandonadas.

À medida em que não existe um processo efetivo para gerar hipóteses, teorias ou leis científicas, nem para validar cada etapa do processo de geração, não estamos autorizados a falar de uma lógica da descoberta. Esse é um dos argumentos centrais dos opositores da lógica da descoberta. Além do mais, como ressalta MacLaughlin (1), a distinção entre descoberta e justificação é muitas vezes estabelecida com base na distinção categorial entre questões empíricas e questões lógicas. Admite-se que a descoberta deve ser tratada como uma questão empírica, uma vez / que ela diz respeito à forma que as pessoas realmente se comportam (julgam, raciocinam, etc). Já a justificação é definida como Lógica e Epistemológica em caráter, posto que ela diz respeito / à prescrição de normas de comportamento válido (julgar correta e rigorosamente). A partir dessa distinção, conclui-se que falar / em lógica da descoberta é cometer um erro categorial, é ignorar / a distinção entre categorias empírica e lógica.

A controvérsia em torno da questão - descoberta/justificação é considerada diferentemente pelos próprios adeptos da lógica da descoberta. Entre eles existem, basicamente duas correntes. A primeira delas é constituída por filósofos como Peirce, Hanson, Simon e outros que admitem a existência de uma distinção entre lógica da justificação, tal como entendida por Popper, Hempel, etc., e a lógica da descoberta. A segunda vertente, por sua vez, nega a existência de uma distinção entre lógica da descoberta e lógica da justificação.

De acordo com a 1ª corrente, a distinção entre os / dois processos diz respeito principalmente a lógica da justificação, que é dedutiva, e a da descoberta, que é retrodutiva. O termo "retrodução" foi originalmente empregado por Peirce, sendo / posteriormente usado por Hanson e mais recentemente por Simon, para caracterizar um tipo de inferência, já conhecida pelos gregos, que é normalmente encontrada nos relatos dos descobridores. A inferência retrodutiva, algumas vezes chamada de "abdução", distingue-se tanto da dedução como da indução. A seguinte passagem de Peirce ilustra a distinção mencionada:

"Na abdução a consideração dos fatos sugere uma hipótese. Na indução o estudo da hipótese sugere as experiências que trarão à luz os fatos exatos que a hipótese apontou. O modo de sugestão pelo qual, na abdução, os fatos sugerem a hipótese, é a semelhança - a semelhança dos fatos com as consequências da hipótese. O modo de sugestão pelo qual, na indução, a hipótese sugere os fatos é a contiguidade - o conhecimento familiar que as condições da hipótese podem ser realizadas por vias experimentais..."

"Abdução é o processo de formação de uma hipótese / explanatória. É a única operação lógica que apresenta uma idéia nova, pois a indução nada faz além de determinar um valor, e a dedução meramente desenvolve as consequências necessárias de uma hipótese pura". (3)

Peirce e Hanson tem sido bastante criticados pela / falta de clareza nas suas caracterizações daquilo que deveria / ser entendido por "inferência abdutiva" a qual, segundo eles, função

damentaria a lógica da descoberta distinguindo-a da lógica da /
justificação. A dificuldade em explicitar a natureza da retrodu-
ção tem levado os defensores da primeira vertente da lógica da
descoberta, a buscar novas formas de abordagens que permi-
tam uma maior inteligibilidade desse tipo de inferência, ou ainda a
uma descrença na fertilidade das análises que a envolvem. É nes-
se último sentido que encontramos em Toulmin, apud Suppe(1), a /
seguinte declaração:

"... Uma vez que nos apercebemos da natureza desse
problema (que consiste em saber que classe de proce-
dimentos racionais estão envolvidos na introdução ,
aceitação e aperfeiçoamento dos conceitos científi-
cos), sentir-nos-emos igualmente desanimados, tanto
em negar com os empiristas lógicos a existência de
uma lógica da descoberta como em tentar (com N.R.
Hanson) ressuscitar a "lógica da abdução" de C.S.
Peirce..." (4)

Propostas interessantes, no sentido de investigar o
processo de descoberta deixando de lado as discussões sobre "in-
ferência abdutiva", tem sido apresentadas por essa última tendên-
cia da primeira vertente da lógica da descoberta. Contudo, dado/
que a nossa meta nos capítulos seguintes consistirá em tentar es-
clarecer (ressuscitar uma vez mais?) a natureza da retrodução, /
tais propostas não serão aqui discutidas. No momento interessa-nos /
apenas caracterizar, grosso modo a primeira das duas principais
correntes constituídas pelos defensores da lógica da descoberta/
de modo a poder distingui-la da segunda.

A segunda corrente dos defensores da lógica da des-
coberta é constituída por filósofos que, como McLaughlin (1), /
julgam ser falsa a tese que sustenta a distinção entre lógica da

descoberta e da justificação. Para tais filósofos, tanto a justificação como a descoberta envolvem generalização e previsão, procedimentos estes que são, para eles, inevitavelmente indutivos. Entendendo por indução qualquer forma correta de inferência ampliativa incluindo, por exemplo, princípios que fazem emprego de analogias e simplicidade⁽⁵⁾, McLaughlin e outros procuram defender a tese segunda a qual o processo de descoberta deve ser entendido como um processo indutivo. Ainda que a concepção de indução / desses autores não se restrinja à noção de indução por enumeração, a tese defendida por eles enfrenta os conhecidos problemas lógicos da indução. Além disso, parece plausível admitir que a possibilidade de uma lógica da descoberta não implica, necessariamente, a possibilidade de uma lógica indutiva. Poderíamos pensar como von Wright, em a Treatise on Induction and Probability, que o processo de descoberta constitui uma fase preliminar da indução:

"A descoberta, como uma fase preliminar da indução consiste na detecção de um aspecto comum a um conjunto de dados particulares. A previsão, por outro lado, é a extensão destes aspectos a casos não examinados" (6)

Como um exemplo que corrobora essa afirmação von Wright comenta o exemplo da conhecida lei de Snell, referente à refração da luz, que é expressa na forma: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = c$. Ele enfatiza o fato de que, antes de Snell, muitos pares de ângulos / correspondentes foram registrados em tabelas. A descoberta de Snell consistiu na detecção de um aspecto comum entre esses pares de ângulos registrados. Sua lei, entretanto, incorpora muito mais que a descoberta desse aspecto comum; ela fornece uma regra que torna possível a previsão de novos pares de ângulos corres -

pondentes. Essa lei, estritamente falando, diz von Wright, não / foi descoberta, mas sim estabelecida através de um processo de / inferência com base na descoberta feita.

Esse exemplo parece suficiente para mostrar que existe uma diferença entre os processos de descoberta e indução, e que a possibilidade de uma lógica de indução não implica na possibilidade de uma lógica da descoberta e vice-versa. Admitindo / esse ponto, vamos fazer algumas considerações gerais acerca da / descoberta científica, para em seguida, retornarmos à análise / das idéias defendidas pelos adeptos da primeira vertente da lógica da descoberta.

Na secção seguinte, discutimos alguns aspectos se - mânticos do termo "descoberta", bem como algumas dificuldades / concernentes à noção de lógica da descoberta. Exemplos forneci - dos por Bruchanan em Logics of Scientific Discovery, e Kuhn em / A Estrutura da Revoluções Científicas, auxiliam-nos a ilustrar a discussão.

Secção 2 - O CONCEITO DE DESCOBERTA E AS DIFICULDADES
CONCERNENTES À LÓGICA DA DESCOBERTA

O conceito de descoberta é frequentemente usado em diferentes sentidos sendo que, com maior constância, os filósofos e cientistas empregam-no quando se referem a detecção ou explicitação de aspectos e propriedades novas dos objetos físicos ou / proposições. Muitos são os problemas relacionados ao emprego desse conceito, em especial no que diz respeito à atribuição de uma descoberta a um indivíduo num determinado momento. Há quem julgue, como Kuhn, que a descoberta científica não é um evento que / pode ser atribuído a um homem numa data precisa; mas, sim, um / processo onde muitos homens contribuem com informações essenciais para um determinado resultado final. Outros problemas relativos / ao estabelecimento de uma distinção precisa entre os conceitos / de descoberta e invenção e, também, entre as noções de descoberta "revolucionária" e "não revolucionária" constituem fontes de dificuldades para os historiadores e filósofos da ciência. No / que diz respeito ao último desses problemas, a leitura dos trabalhos de Kuhn sugere que enquadremos as descobertas ditas "não revolucionárias" dentro da atividade da ciência normal - "atividade que consiste em solucionar quebra-cabeças" - onde os pesquisadores (unidos pela aceitação de um paradigma comum) não tem como objetivo trazer à tona novas espécies de fenômenos ou teorias que os expliquem, mas limitam-se a articular aqueles fenômenos e / teorias já fornecidos pelo paradigma vigente.

As descobertas ditas "revolucionárias", por sua vez, são aquelas que dão lugar às "revoluções científicas", as quais / são caracterizadas por Kuhn como "episódios não cumulativos em /

que um paradigma é substituído parcial ou totalmente por um outro novo que é incompatível com o anterior". Elas envolvem a produção de novos conceitos e teorias acerca dos fatos e, nesse sentido, as descobertas "revolucionárias" parecem requerer algo semelhante / aquilo que os psicólogos chamam de "Conceptual Switch".

Considerando que um paradigma não se reduz a regras, leis ou teorias, mas que é algo mais forte que inclui esses últimos, que características deveria possuir uma descoberta que desse lugar a uma tal entidade? Poderia essa descoberta representar a detecção de fatos até então desconhecidos? Mas como seria isso / possível se, de acordo com a perspectiva de Kuhn, aquilo que é / considerado como um fato é determinado pelo próprio paradigma? Parece que seguindo essa linha de raciocínio somos levados a apelar para algum tipo de explicação subjetiva que permita caracterizar / as descobertas "revolucionárias" por oposição às "não revolucionárias".

Se recusamos esse tipo de abordagem, que outra alternativa seria viável para esclarecer a distinção entre descoberta "revolucionária" e "não revolucionária"? Talvez fosse razoável considerar que é apenas uma questão de grau de complexidade o que distingue os dois tipos de descoberta. Poderíamos supor a existência de um contínuo entre as descobertas consideradas meros "quebra-cabeças" e as "grandes" descobertas resultantes do acúmulo e combinação de "pequenas" descobertas. O problema com essa proposta é que a história da ciência mostra que nem sempre o conhecimento científico é cumulativo. Além disso, mesmo que admitíssemos a existência de um contínuo, estaríamos novamente frente ao problema de delimitar a fronteira a partir da qual uma descoberta seria considerada "revolucionária" ou não. Uma vez que / considerações acerca de crenças e expectativas entrariam no estabelecimento dessa delimitação, não parece ser possível a realização de uma tal tarefa exclusivamente a partir de /

uma perspectiva objetiva.

A importância do estabelecimento de uma distinção / entre descoberta "revolucionária" e "não revolucionária" reside / na questão de saber se os procedimentos envolvidos na atividade / de pesquisa cotidiana, a qual conduz os cientistas à resolução / de quebra-cabeças e a "pequenas" descobertas, poderiam conduzir / também a "grandes" descobertas. À medida em que não encontramos / critérios que nos permitissem estabelecer a distinção en - tre os dois tipos de descoberta essa questão permanecerá em aber - to. No restante da secção concentrar-nos-emos, basicamente, na análise de alguns aspectos semânticos do termo "descoberta".

Com Buchanan (1), vamos admitir inicialmente que o conceito de descoberta pode ser examinado a partir da locução: "X descobre Y em T", onde X designa uma pessoa, um grupo de pes - soas, um animal ou máquina. Y, por sua vez, pode referir-se a objetos físicos ou a propriedades, leis naturais, explicações , provas de teoremas, etc. T especifica o período do tempo em que / a descoberta ocorreu.

Os objetos referidos por Y na locução "X descobre Y em T" podem ser analisados em diversos níveis, sendo habitual o estabelecimento de uma distinção (não muito nítida) entre desco - berta de objetos físicos e descoberta de proposições. Buchanan / sugere que a descoberta de objetos físicos seja analisada como / uma relação entre pessoas, objetos, tempo e descrições. Grosso / modo, sua proposta pode ser resumida na seguinte definição: "X descobre Y em T" se:

- I. Y existe em T,
- II. X tem boas razões em T para acreditar que Y exis - te,

III. X compreende em T algum(s) aspecto(s) significante(s) de Y,

IV. Ninguém anteriormente preencheu as condições de I à III. (7)

A condição (1), relativa à existência de Y em T é / considerada necessária para a verdade de "X descobre Y" quando Y é um objeto físico. Se Y é uma proposição, não se pensa, é claro, na sua existência, mas na verdade da proposição.

A condição II - "X tem boas razões em T para acreditar que Y existe" - não é nem necessária nem suficiente para a existência de Y, ainda que a crença de X na existência de Y seja condição necessária para que X possa ser considerado o seu descobridor. A despeito dos problemas com a noção de "ter boas razões para uma crença", admite-se, quando Y é um objeto físico, que os dados perceptuais e também aqueles obtidos através de instrumentos científicos constituem bons indícios para X acreditar que Y existe. Quando Y é uma proposição, a condição (II) deve ser considerada como: "X tem boas razões em T para acreditar que Y é / verdadeira". Entre outras, o fato de X considerar Y como uma explicação para um fenômeno, ou como uma solução para um problema, poderá contar como "boas razões para X acreditar na existência / ou veracidade de Y."

Uma análise da condição II possibilita entender melhor a dificuldade em se traçar uma linha nítida divisória entre descoberta de objetos físicos e descoberta de proposições. Como / dissemos, no caso da descoberta de objetos físicos, a percepção / do objeto é considerada como um bom indício da sua existência. Isso porque, admite-se, normalmente, que certos atos mentais, como perceber, conhecer, etc., apenas atingem seu status pleno //

quando em relação com os estados de coisas existentes no mundo. Tanto saber, como perceber, por exemplo, que José está em casa requer que, de fato, José esteja presente na casa. Pode-se acreditar, querer, julgar ou inferir que José está em casa, sem ser o caso que ele de fato esteja lá. Mas perceber que José está em casa quando ele de fato não está seria considerado o caso de uma / ilusão.

O problema da relação mente-objeto é frequentemente discutido com referência a termos epistêmicos como "acreditar" / "pensar", e "perceber". Tais termos são chamados epistêmicos por que os seus referentes envolvem algum estado de conhecimento. Perceber que tal coisa é assim e assim implica, em certo sentido , ter algum conhecimento a respeito das coisas que são assim e assim.⁽⁸⁾ Uma característica desses verbos epistêmicos é que eles/ aceitam objetos proposicionais (Eu percebo que José está presente), que são frequentemente conversíveis, sem alteração radical/ no sentido, em objetos de natureza não proposicional (Eu percebo José). Ora, se é correto pensar que a percepção de um objeto envolve conhecimento, e se o verbo epistêmico "perceber" aceita / objetos proposicionais, então a descoberta de objetos pode ser considerada como a descoberta dos mesmos sob certa descrição. Mas a descoberta de objetos sob certa descrição, por sua vez, pode / ser concebida como a descoberta de proposições. Além disso, dado que a simples percepção de objetos do meio ambiente não conta, em geral, como descoberta, a menos que estes sejam considerados importantes e não usuais, então, o objeto descoberto deve ser visto, sob alguma descrição, como algo que possui uma propriedade / interessante ou anômala. (Esse ponto é principalmente importante/ para a nossa discussão, no capítulo II, sobre a lógica da descoberta tal como concebida por Hanson).

O que merece ser ressaltado na condição (II) é o fato de que, muito embora Y possa ser o resultado de um "palpite / feliz" (como julgam os adeptos do modelo hipotético-dedutivo), X não será considerado o seu verdadeiro descobridor a menos que / ele acredite na existência ou veracidade de Y e tenha boas razões para tal. Esse ponto de vista é também sugerido por Kuhn, em particular quando ele refere-se aos possíveis candidatos à descoberta do oxigênio. Numa passagem da Estrutura da Revoluções Científicas, Kuhn procura mostrar que o fato de Priestley ter sido / o primeiro a isolar o que hoje chamamos de oxigênio não bastava / para que ele fosse considerado o seu descobridor. Pois para Priestley, o oxigênio que ele isolou era "ar deflogisticado". Ele / não descobriu o oxigênio porque não viu aquilo que tinha isolado como oxigênio. Faltava-lhe o conceito de oxigênio para subsumir / o material isolado. Kuhn ressalta que Hales também não poderia / ter sido o seu descobridor, porque as limitações do seu conhecimento de Química Pneumática lhe impediam de ter boas razões para acreditar que se tratava de uma substância não usual.

A exigência de "ter boas razões para acreditar em - Y" está intimamente ligada à terceira condição, segundo a qual, X compreende, em T, algum(s) aspecto(s) significante(s) de Y. Essa condição reforça a idéia de que aquilo que é descoberto não é / apenas um objeto, mas um objeto sob certa descrição, e que X, munido de técnicas e conceitos científicos apropriados, pode entender os aspectos interessantes de Y. Ao mostrar, por exemplo, que Hales não poderia ser o descobridor do oxigênio, novamente Kuhn / ajuda-nos a ilustrar o ponto de vista de acordo com o qual, X / não pode ser considerado descobridor de Y se lhe faltam técnicas e conceitos para o entendimento de aspectos significantes de Y. Mesmo porque, tais aspectos só poderão ser considerados signifi-

cantes ou relevantes em relação a alguma teoria.

A condição (IV), referente à prioridade temporal, / visa assegurar a originalidade da descoberta distinguindo-a das redescobertas. Essa condição tem importância acentuada para os / historiadores da ciência. Não vamos entrar em detalhes sobre / elas. Interessa-nos no momento ressaltar apenas que, esta breve / análise das condições I a IV permite concluir que, quando nos re / ferimos a Y, seja como um objeto físico seja como uma proposição, as condições sob as quais Y é considerada como sendo uma desco - berta feita por X não são condições estritamente lógicas. Não di / zem respeito à Lógica questões referentes à importância que um / indivíduo ou comunidade atribui a um objeto ou proposição. Tam - bém não pertencem ao âmbito da Lógica questões relativas as cren / ças de X na existência de Y (ou na sua verdade). A Lógica trata / apenas das relações entre sentenças ou proposições. Como nos faz ver Buchanan:

"(...) considerações não lógicas entram no teste de uma verdadeira descoberta, se uma sentença expressa ou não a descoberta de uma proposição depende de / considerações extra-lógicas e não apenas de suas re / lações com outras sentenças".⁽⁹⁾

Esta análise do termo "descoberta" mereceria um maior desenvolvimento. Contudo, ela basta para o nosso objetivo de esclarecer a discussão, iniciada neste capítulo, acerca da distin / ção entre lógica da justificação e lógica da descoberta. Uma / vez concluído que a definição da descoberta não pode ser feita, estritamente, no âmbito da lógica, investigaremos, a seguir, qual poderia ser o "background" sobre o qual estariam apoiadas as rei - vindicações dos defensores de uma "lógica da descoberta" e, tam - bém, o que poderia ser entendido por tal expressão.

Secção 3 - METODOLOGIA DA DESCOBERTA CIENTÍFICA

A controvérsia acerca da distinção entre "lógica da descoberta" e "lógica da justificação" tem se apresentado dentro de um contexto onde os filósofos da ciência tradicionais voltam sua atenção para a dedução de enunciados observacionais a partir das teorias, seja para falsificá-las ou confirmá-las, seja para explicar ou predizer fenômenos.

A idéia de dedução de enunciados observacionais e teste de teorias constitui a base do conhecido modelo Hipotético Dedutivo (daqui para frente HD), o qual é considerado um paradigma de explicação científica. De acordo com esse tipo de modelo uma explicação científica sempre parte de uma situação a ser explicada, a qual é descrita por um enunciado designado explanandum. Esse enunciado deve ser passível de ser deduzido de um conjunto de enunciados denominado explanans. Tal conjunto consiste de enunciados que descrevem as condições iniciais do evento a ser explicado e de leis gerais. Esquemáticamente o modelo HD pode ser representado da seguinte maneira:

(1) Explanans

$C_1 C_2 \dots C_n$ - Enunciados que descrevem as condições iniciais do evento a ser explicado.

$L_1, L_2, \dots L_n$ - Leis Gerais

(2) Explanandum

E - Enunciado observacional que descreve o fenômeno empírico a ser explicado.

Sempre que o explanandum puder ser deduzido do explanans, e à medida em que ele for confirmado pela evidência, então considera-se que estaremos frente a um caso de explicação científica. As hipóteses ou teorias das quais decorre o explanandum serão, nesse caso, admitidas como confirmadas. Se as previsões deduzidas de uma teoria são falsas a teoria em questão é dita falsificada. Algumas variações de interpretação são admitidas nesse esquema (Assim, por exemplo, Popper nega que as teorias possam / ser confirmadas mas sustenta que elas podem ser corroboradas em caso de resistirem a testes rigorosos). Mas, apesar delas, os / adeptos do modelo HD de explicação científica concordam com a / idéia básica subjacente a este modelo segundo a qual os enunciados observacionais ou as previsões devem ser deduzidas das teorias.

É exatamente a ênfase nessa conexão dedutiva entre / enunciados o que constitui o núcleo da controvérsia justificação / descoberta. Uma vez admitido que considerações não lógicas entram no teste de uma descoberta verdadeira fica claro que a conexão dedutiva enfatizada no modelo HD de explicação não se adequa à análise do processo de descoberta. Dado que as explicações do processo de descoberta não se ajustam ao modelo HD, e como esse / modelo era tido como o modelo "standard" de explicação científica, as questões relativas à sugestão e formulação de hipóteses ou / teorias foram deixadas à margem ou excluídas do domínio da Filosofia da Ciência.

Nos últimos anos, entretanto, um número crescente de filósofos tem insistido em ressaltar que embora as questões pertencentes ao contexto de descoberta não possam ser tratadas a partir do modelo HD de explicação, isso não significa que seja irracional ou aleatório o comportamento dos cientistas durante suas descobertas.

tas. Reivindica-se que, ainda que pouco seja conhecido a respeito das considerações racionais envolvidas nesse processo, não temos porque recusar que elas sejam analisadas à luz da Filosofia/da Ciência. Tais filósofos consideram, como Toulmin que:

"Chegou a hora de ir além da imagem estática, "instantânea", das teorias científicas a que os filósofos da ciência se autolimitaram durante tanto tempo e de desenvolver uma "imagem móvel" dos problemas e procedimentos científicos, em cujos termos a dinâmica intelectual da mudança conceitual na ciência chegue a ser inteligível e torne transparente a natureza de sua racionalidade". (10)

É dentro dessa perspectiva que se enquadram grande/ parte das propostas dos adeptos da lógica da descoberta. Todos / eles, desde Peirce e Hanson, concordam que uma explicação do / processo de descoberta não será feita de acordo com o molde do modelo HD de explicação científica mas, à despeito disso, eles insistem que as considerações racionais que tornam plausível a sugestão de hipóteses, leis ou teorias científicas devem poder ser analisadas dentro da Filosofia da Ciência. Esse tipo de análise/ - que levasse em conta os aspectos racionais do processo de descoberta - seria conhecido como "lógica da descoberta".

Como mencionamos na seção 1, entre as propostas de desenvolvimento de uma lógica da descoberta encontra-se o programa esboçado por Hanson o qual tem como elemento central a noção / de inferência retrodutiva. Hanson não chegou a desenvolver seu / programa de investigação em detalhes e muitas das suas teses não foram devidamente explicitadas. Recentemente os trabalhos de Putnam, Shapere, Toulmin, Nickles, Simon, e outros tem fornecido contribuições valiosas para o seu desenvolvi-

mento.

O próximo capítulo será dedicado ao estudo das principais idéias de Hanson. O seu programa para uma possível análise do processo de descoberta servirá como ponto de partida para a nossa investigação acerca do processo de descoberta científica. Contudo, levando em conta a conclusão obtida na secção 2, e para evitar possíveis mal entendidos, não usaremos a denominação "lógica da descoberta" como título dessa investigação. Nossa proposta a qual denominaremos de metodologia da descoberta consistirá em estudar certas estratégias metodológicas, que parecem tornar inteligíveis aqueles processos de descoberta que podem ser concebidos como processos de resolução de problemas. Essa proposta tem como pressuposto pelo menos dois princípios gerais:

1. As descobertas científicas não são feitas aleatoriamente, mas, sim, segundo princípios racionais os quais nem sempre são possíveis de justificação a partir de esquemas da Lógica Simbólica.
2. É razoável conceber a maior parte das descobertas científicas como processos de resolução de problemas.

Como bem observou Nickles (1), os termos "método" e "metodologia" são ambíguos. Eles podem significar, entre outras coisas, tanto os passos conceituais, tal como são explicitamente expostos pelos cientistas e filósofos, ou, ainda, como se os explica e os reconstrói filosoficamente. No que se segue estaremos empregando o termo "método" para o primeiro caso e "metodologia" para o último (análise do método). As idéias de Hanson (cap.2), bem como as de Polya, Hintikka e Loparic' a serem discutidas no capítulo 3 e as de Simon (caps 4 e 5) servirão para ilustrar as principais teses daquilo que julgamos poder constituir uma metodologia da descoberta.

C A P Í T U L O I I

O PROGRAMA DE HANSON PARA A LÓGICA DA DESCOBERTA

INTRODUÇÃO

No presente capítulo apresentamos e discutimos as / principais teses de Hanson sobre os processos de descoberta científica com o objetivo de enriquecer nossa investigação acerca da metodologia da descoberta.

Hanson tem vários escritos sobre a descoberta científica e eles apresentam diferentes estágios do seu pensamento / sobre esse tema. Ele mesmo concebe três fases em seu trabalho. A primeira fase é caracterizada pela obra Patterns of Discovery - (1958). O artigo "Is There a Logic of Scientific Discovery" (1961) anuncia o segundo estágio; e "Retrodutive Inference" (1961-63)/ representa a terceira fase. Ainda um quarto estágio poderia ser admitido do ponto de vista do leitor que, em "Notes Toward a Logic of Discovery" (1965), acompanha o processo de reorganização/ conceitual por que passa o pensamento de Hanson. Nesse artigo, o autor procura ajustar seus escritos anteriores de modo a formar/ uma unidade coerente, em concordância com as idéias metodológicas que ele julga presentes no processo de descoberta científica.

Discutir as idéias de Hanson sobre a descoberta significa, para nós, analisar as diferentes fases de seu trabalho , e a seguir, verificar como elas se ajustam no quadro mais amplo/ cujo tema é por ele designado a lógica da descoberta científica", o qual, no último trabalho de Hanson, é resumido como sendo:

1. Uma área de inquérito, não um manual de conclusões;
2. Relacionada à resolução de problemas e suas características conceituais, não uma reconstrução lógica de "relatos acabados de pesquisa";

3. Um estudo dos movimentos inferenciais que partem da reconhecimento de anomalias, para
4. A determinação de que tipo de hipótese poderia / servir para "explicar" aquelas anomalias, onde
5. "Explicar" significa enquadrar as anomalias surpreendentes em padrões inteligíveis de idéias ou estruturas compreensíveis de teorias aceitas.⁽¹¹⁾

Os três estágios do pensamento de Hanson que resultam na concepção daquilo que ele denomina "lógica da descoberta" são analisados a seguir, de acordo com sua ordem cronológica.

Secção 1 - LÓGICA DA DESCOBERTA SEGUNDO PATTERNS OF DISCOVERY

As reflexões que norteiam a produção teórica de Hanson em Patterns of Discovery tem origem na idéia de que os cientistas não agem irracionalmente quando fazem suas descobertas. / Isso porque eles são dirigidos por um objetivo racional que se resume na tentativa de encontrar uma solução para uma situação / problemática. De acordo com a concepção de Hanson, a principal / razão para se criar uma hipótese científica é a necessidade de / se explicar certos fatos que não encontram explicação nas teorias disponíveis e aceitas em determinada época. A partir desse / ponto de vista, que sugere uma imagem da descoberta como um processo de resolução de problemas, o autor propõe-se a estudar o / aspecto racional que está por trás da sugestão de hipóteses como explicações possíveis para situações anômalas.

A preocupação central de Hanson em Patterns of Discovery, daqui para frente PD, não é, portanto, com o problema de saber como se empregam teorias aceitas para explicar os fenômenos que entram no domínio de tais teorias. Ele está interessado / em estudar as situações que exigem a descoberta de novas explicações e, em especial, o processo desenvolvido pelos cientistas na descoberta de novas explicações. A primeira etapa do seu estudo / da descoberta consiste em investigar a classe dos obstáculos que poderiam criar desordem no rumo normal da pesquisa científica , dando lugar ao surgimento de anomalias. Nos capítulos, I,II,III, de PD Hanson prepara os alicerces para sustentar, principalmente no capítulo IV, que esses obstáculos são essencialmente de tipo / conceitual, antes que meramente decorrentes da experiência senso

rial bruta, e que a descoberta científica ocorre em consequência de mudanças conceituais acarretadas por estes obstáculos. Três são os principais passos percorridos em PD em defesa desse ponto de vista.

Em primeiro lugar Hanson procurará mostrar que a observação científica é uma atividade carregada de teoria. A seguir, admitindo que as observações são teórico-carregadas, ele sustentará que essas mesmas observações - que são das coisas existentes no mundo - podem modificar as teorias mediante o reconhecimento dos fatos. A discussão acerca do que são os fatos constitui o segundo alicerce dos seu estudo sobre a descoberta. Finalmente, a sua análise das explicações causais sedimenta as bases desse estudo.

No que diz respeito à observação científica, Hanson sustenta que ela pressupõe um conhecimento, um esquema conceitual que precede o reconhecimento dos fenômenos:

"Os computadores fotossensíveis, sem cérebro - e mesmo as crianças... não fazem observações científicas, por mais notáveis que sejam os seus receptores de sinais sensoriais e suas memórias". (12)

"A visão é uma experiência. Uma reação da retina é somente um estado físico, uma excitação fotoquímica... são as pessoas que vêem, não os seus olhos. As câmeras fotográficas e os globos oculares são cegos..." (13)

A análise de Hanson sobre a observação enfatiza, não o aspecto psicológico da visão, mas, sim, o aspecto conceitual que reside no ver, o qual possibilita observações diferentes a partir dos mesmos dados sensoriais brutos que chegam a diferentes observadores. Assim, por exemplo, supondo uma situação em que Tycho e Kepler observavam o amanhecer em uma colina, ele ar-

gumenta que os dois não viam a mesma coisa, dado que eles possuíam teorias diferentes à respeito do movimento dos corpos celestes.

Hanson considera, é claro, que as retinas e os nervos óticos de ambos recebiam os mesmos estímulos visuais. Além / desse sentido "neurofisiológico" do ver, ele considera também que existe um sentido primário do termo "ver" (de pouco interesse filosófico) em que Tycho e Kepler viam a mesma coisa, a saber, o / sentido em que eles detectam o mesmo objeto. Mas, mesmo considerando que nesse sentido primário do termo "ver" (onde tanto um como o outro tinha a sua atenção fixada em um disco amarelo brilhante que se situa em um espaço azul sobre uma área verde) eles viam a mesma coisa, Hanson insiste em um terceiro sentido do termo "ver" que, segundo ele, é o único relevante do ponto de vista filosófico. É nesse último sentido que ele afirma que a visão de Tycho e Kepler diferia. Pois, enquanto Kepler via o sol estático e a terra / movendo-se ao seu redor, Tycho, seguindo Ptolomeu e Aristóteles, via o sol movendo-se ao redor da terra fixa (levando em conta a propriedade dos verbos epistêmicos, mencionada no capítulo I, seção 2, poderíamos dizer, igualmente: enquanto Kepler via que o / sol era estático e que a terra movia-se ao seu redor, Tycho...via que o sol movia-se ao redor da terra fixa).

Não se trata de pensar que Tycho e Kepler viam a mesma coisa ao amanhecer e que eles interpretavam diferentemente o que viam. Hanson insiste que, no sentido filosoficamente relevante do termo "ver", as teorias estão presentes na visão desde o início: que Kepler e Tycho não observaram primeiro uma forma ótica para / em seguida atribuir a ela uma interpretação. Eles simplesmente / viam diferentemente o sol.

Da mesma forma, um físico e um leigo diante de um tubo de raios-X não verão a mesma coisa pois, ainda que ambos percebam o mesmo objeto, o leigo deverá aprender algo de física para / poder ver o que o físico vê.

"Os elementos do campo visual do leigo, ainda que sejam idênticos aos do físico, não estão organizados como os dele; ambos apreendem as mesmas linhas, cores e formas, porém não da mesma maneira". (14)

Com isso não se quer sugerir que o leigo e o físico / não vêem igualmente um tubo de vidro que se cair no chão se fará / em pedaços. Hanson não pretende adotar uma concepção subjetiva, como sustentam alguns dos seus críticos, segundo a qual os objetos / observados, bem como as suas propriedades, seriam determinados pelo aparato conceitual de cada observador. Ainda que a forma de falar / descuidada de Hanson de lugar, algumas vezes, a essa interpretação, a maior parte de suas afirmações deixam claro que ele admite a / existência de objetos, e de suas propriedades, que independem do ob / servador. O que Hanson parece querer dizer é que aquilo que se obser / va dos objetos existentes (com suas propriedades existentes indepen / dentemente do observador) depende, em parte, do aparato conceitual / do observador, enquanto membro de uma comunidade científica.

É importante ressaltar, como o faz Hanson, que questões do tipo: porque uma forma visual, uma mancha, um tubo, etc. é visto de maneira diferente pelos indivíduos, ou ainda, porque alguns indiví / duos sob o efeito de grande pressão emocional sofrem distorções / nos seus campos visuais, são questões psicológicas. Porém, o fato / de que se pode ver de maneira diferente é relevante para qualquer estudo que se faça do conceito de visão. Questões centrais que po / deriam direcionar esse exame são aquelas do tipo: "Como chegam a organizar-~~se~~ as experiências visuais?"; "Como é possível a visão?"; "Qual é a relação entre a visão e o nosso corpo de conhecimento?". Tais questões não são fáceis de serem abordadas mas se admitirmos que, em certo sentido, a visão é uma ação teoricamente carregada, então, o estudo da linguagem usada para expressar conhecimento po / deria ajudar-nos a trazer alguma luz sobre elas. Hanson explora / essa possibilidade analisando algumas articulações comuns à lingua

gem sobre a visão, em particular aquelas articulações do tipo "ver que..." e "ver como..."

A análise de Hanson acerca da correlação entre linguagem e percepção não é muito desenvolvida, mas, de acordo com o / que foi dito até aqui, está claro que ver um objeto significa, para o nosso autor, ter pelo menos algum tipo de conhecimento a respeito desse objeto ("como consideraríamos a afirmação que nos dá / um homem que vê X, se sabemos que ele não conhece X?"). Nesse sentido, ver um objeto significa ver que se determinada coisa lhe / ocorresse outras coisas diferentes se seguiriam. Ver uma árvore, por exemplo, implica ver que ela é um ser vivo, que ela tem galhos, folhas, raízes, que se cortássemos suas raízes ela deixaria de / existir; que ela não sairia cantando nem andando, etc... Ver uma árvore é ver todas essas coisas, as quais não se resumem àquilo / que chega à nossa retina. Isso não quer dizer que devemos identificar o ver com, "ver que" ou "ver como...". Estes últimos não são componentes psicológicos da visão, eles são elementos da nossa / linguagem sobre o conceito de visão.

A visão é essencialmente pictórica e grandes diferenças impedem que as imagens se assemelhem aos enunciados. Assim, por exemplo, uma imagem mostra X; um enunciado se refere à X e o descreve. As imagens, diferentemente dos enunciados, não são verdadeiras ou falsas, elas apenas reproduzem, com maior ou menor grau de precisão, seus originais correspondentes. Levando em conta estas e outras diferenças, Hanson sugere que a observação é uma / amálgama de imagens e linguagem, no sentido em que o nosso conhecimento, descrito através das teorias, constitui uma condição de possibilidade das observações (assim como as telas constituem condições de possibilidade das pinturas). O "ver que..." é o elemento que permite uma fusão entre sensações visuais, linguagem e conhecimento.

O ponto básico do seu argumento em defesa dessa concepção da observação consiste em mostrar que existe um fator linguístico na visão, e que este elemento nos permite falar de observações significativas em termos do que conhecemos. Com efeito, Hanson argumenta que, somente quando expressas através da linguagem/nossas sensações visuais constituem observações. De outra forma / teríamos apenas um confuso aglomerado de sensações sem sentido. Pois, diz ele, o que é para as coisas terem sentido, senão que as descrições que delas se fazem sejam compostas de orações significativas? A noção de significado e relevância, por sua vez, depende do que já conhecemos. E o nosso conhecimento do mundo não é um amontoado de ruídos e manchas coloridas, mas, sim, um sistema de / proposições.⁽¹⁵⁾ Se não existisse um elemento linguístico na visão; se a visão fosse apenas um processo ótico-químico, então, nada do que observássemos teria significado ou relevância em relação àquilo que conhecemos. O "ver que..." insere conhecimento na nossa visão e nos livra de ter que reidentificar cada coisa que se apresenta aos nossos olhos. É a existência desse elemento linguístico na visão que torna possível um intercâmbio entre conhecimento e observação, e que permite ao cientista verificar teorias, fazer / previsões, etc.

A acentuação desse elemento linguístico na observação científica não reduz, entretanto, a relevância dos sinais provenientes do mundo para o desenvolvimento do conhecimento científico. Mesmo sustentando que as observações significativas de uma / ciência são aquelas que cumprem os critérios de relevância incorporados na teoria vigente, Hanson pensa que essas mesmas observações são capazes de modificar as teorias "...mediante o rigoroso/ e inquebrável reconhecimento do que é o caso dos fatos".⁽¹⁶⁾

A questão do que deve contar como fato é ironicamente controversa e Hanson dedica o segundo capítulo de PD à análise/

da relação entre fato e linguagem. Essa análise constitui o segundo alicerce do seu estudo sobre a lógica da descoberta. Resumidamente podemos dizer que ele critica a concepção ingênua de acordo com a qual abrimos os olhos e vemos os fatos, transparentes e intactos, ocorrendo no mundo. Ainda que estejamos habituados a falar sobre observação de fatos, Hanson sustenta que essa forma de falar é enganosa. Pois, pergunta ele: o que vem a ser a observação de um fato? Podemos fotografar objetos, eventos e inclusive / situações, mas o que fotografaríamos se fotografássemos um fato? Ainda que a fotografia da alvorada fosse a mesma, por exemplo, para Tycho e Kepler, os fatos por eles identificados eram distintos. No primeiro caso o fato era que a terra era fixa e que o sol girava ao seu redor; no segundo caso o fato era que o sol estava fixo e que a terra girava ao seu redor. Os fatos não são, pois, observáveis; eles são, antes, entidades que se expressam na linguagem; eles são "exatamente aquelas possibilidades estruturais inerentes aos estados das coisas tais que alguns enunciados formulados sobre esses estados sejam certificavelmente verdadeiros e alguns / certificavelmente falsos". (17)

Uma vez admitido que os fatos não são entidades observáveis, Hanson procura argumentar em defesa da tese de que os fatos são relativos a uma linguagem. Analisando certas formas de expressão e suas conexões com algumas possíveis idéias acerca de fatos ele supõe a existência de uma linguagem cujas palavras para designação de cores fossem verbos. Ao falar ou pensar nessa língua os falantes conceberiam as cores como atividade e as coisas / como agentes colorantes. De acordo com essa configuração, Hanson / faz ver que seria pelo menos difícil que um falante dessa linguagem e um falante, por exemplo, do português apreendessem os mes -

mos fatos. Quando dizemos ou pensamos, por exemplo, "a casa é vermelha" concebemos a vermelhidão como parte nãoativa da casa. Porém, para os falantes dessa linguagem imaginária o fato seria que / "a casa vermelheia". Como poderíamos expressar nesta linguagem o fato de que "a casa é vermelha?" Tratar-se-ia apenas de uma questão de se falar de formas distintas e pensar do mesmo modo? Hanson acredita que não. Para ele o pensamento e a fala tem a mesma/lógica. Nesse sentido, os falantes da linguagem imaginária pensariam nas cores como atividades e nas coisas como agentes colorantes.

A relação entre fato e linguagem é tão estreita para Hanson que ele chega a conjecturar que, dado o mesmo mundo, os falantes poderiam tê-lo concebido de formas diferentes. Talvez, sugere ele, os fatos sejam moldados de alguma maneira pelas formas/lógicas da linguagem de enunciação dos fatos, as quais talvez proporcionam um "molde" segundo o qual o mundo se configura para nós de determinadas maneiras.

Tal concepção a respeito do que sejam os fatos, reunida com a tese de que a observação é teórico carregada, serve de fundamento para a hipótese hansoniana (mencionada no início deste capítulo) segundo a qual os obstáculos que poderiam criar desordem no rumo normal da pesquisa científica, dando lugar a anomalias, são principalmente de tipo conceitual, antes que meramente decorrentes da experiência sensorial bruta. É por que ver um objeto/X é ver que este objeto se comportará segundo as expectativas / de comportamento previsto para os objetos X que, algumas vezes, os cientistas se surpreendem diante de anomalias. É certo que as vezes eles se enganam e observações mais acuradas possibilitam a detecção dos equívocos que os levaram a conceber X como/

anômalo. Mas, quando isso não ocorre, e o comportamento de X continua em desacordo com o que se espera da classe de objetos X, a consciência da anomalia pode configurar uma situação de crise onde se fará necessário rever nossas concepções acerca de X.

A abordagem de Hanson sobre o período que caracteriza a emergência de crises (provocadas pela detecção de anomalias) é muito pouco desenvolvida. Em particular, a própria noção de / anomalia, tal como empregada pelo autor, pode ser entendida em / pelo menos, dois sentidos: a) como contra exemplo de teorias / aceitas; b) como um fenômeno descrito por proposições cujo valor de verdade não pode ser determinado a partir das teorias vigentes. Em qualquer um dos dois sentidos a apreensão de uma anomalia marca, para Hanson, o ponto de partida do processo de descoberta. Seja a descoberta ("não revolucionária"?) de uma hipótese que / acrescida a uma teoria aceita explicará a anomalia em questão; seja a descoberta ("revolucionária"?) de uma nova teoria (algumas / vezes incompatível com aquelas até então aceitas) que por si só / explicará a anomalia em questão.

A explicação de uma anomalia X é entendida em PD como a inclusão de X no interior de uma estrutura conceitual de modo a torná-la ajustada a um modelo inteligível. Essa noção de explicação tem como contra partida uma crítica aqueles tipos de explicação que envolvem as noções de causa e efeito entendidos como elos de uma cadeia, ou como formando uma árvore genealógica. Hanson acredita que estes tipos de explicação parecem satisfatórios apenas quando os eventos a serem explicados são eventos fortuitos ou, ainda, acidentes surpreendentes. Isso porque, para ele, as conexões causais genuínas não podem ser expressas unicamente / em termos de sense-data. Pois, se assim o fosse, diz ele, todas / as palavras estariam no mesmo nível lógico e nenhuma delas teria

poder explicativo. Os problemas relativos à natureza da causalidade são, a seu ver, em grande parte, questões acerca de como certas expressões descritivas, em contextos definidos, se complementam e se interrelacionam com um conjunto de expressões.⁽¹⁸⁾ Longe de designar elos de um encadeamento de eventos, as verdadeiras / conexões de causa e "efeito" apontam para um emaranhado de noções teóricas, informação e modelos experimentais entrelaçados. Ao não reconhecer isso, os adeptos dos modelos de explicação, que envolvem a idéia de "cadeia causal" deformam, na opinião de Hanson, a noção de causalidade.

Como no caso das observações e dos fatos, as noções subjacentes às expressões do tipo "a causa X" e "o efeito Y" só / serão inteligíveis quando apoiados em alguma forma de teoria que garanta as inferências de X e Y. Tais garantias distinguem as / verdadeiras sequências causais das meras coincidências. Isso porque no caso dos últimos, os pares de eventos coincidentes não estão ligados por nenhuma teoria aceita, e não seria surpreendente que um dos eventos do par não se seguisse ao outro. Assim, por / exemplo, não existe uma relação causal entre as ações de uma pessoa dar corda no relógia e ir dormir, ainda que esses eventos / ocorram regularmente e fosse possível predizer quando ela vai / dormir observando sua ação de dar corda no relógio. O fracasso / de tais tipos de previsão não suscita nenhum problema conceitual. Entretanto, o mesmo não ocorre com os pares de eventos ligados / de maneira genuinamente causal, onde as palavras de causa trazem consigo um modelo conceitual dentro do qual se ajustam as palavras de efeito:

"Dentro de um contexto, e à luz de uma teoria, certas palavras de efeito seguem inevitavelmente a expressão de certas palavras de causa:..." cai a chu-

va - o chão se molha", "relâmpago-trovão", "verão-calor",... " (19)

Hanson quer mostrar que as palavras de causa e efeito desempenham papéis diferentes em contextos distintos; que o significado desses termos dependem dos esquemas conceituais dos/quais eles fazem parte. Ele tenta ilustrar essa tese da dependência de significado mostrando, por exemplo, que a palavra "fogo" proferida por um indivíduo em um prédio cheio de fumaça terá um significado muito distinto daquela proferida por um indivíduo / que está organizando, digamos, uma festa de São João, ou ainda / entre os membros de um corpo de bombeiros. Em cada um desses contextos a palavra "fogo" pode desencadear diferentes ações, funcionando como palavra de causa em diferentes sentidos.

A questão do que contar como um contexto, ou como / um esquema conceitual, ainda que seja bastante intuitiva, não é fácil de ser explicitada. Em geral Hanson emprega o termo "esquema conceitual" para designar um conjunto de conceitos interligados entre si, alguma vezes através de conexões "a priori", outras/ vezes através de convenções, recomendações, ou regras extraídas/ da experiência. Compartilhar de um mesmo esquema conceitual significa, para Hanson (se é que estamos certos na nossa interpretação) não apenas estar de acordo acerca de que regras regem essas conexões mas, também, estar de acordo acerca do status epistemológico das mesmas. Duas pessoas podem perfeitamente compartilhar de uma mesma teoria e, ainda assim, divergir nos seus esquemas / conceituais. O que significa dizer que elas podem estar de acordo acerca do conjunto de enunciados de leis que regem as interconexões entre os conceitos, sem concordar com o status epistemológico destes enunciados. Elas podem discordar, por exemplo, quanto à questão de se tais enunciados de leis são meras convenções;

descrições dos dados observáveis; regras de inferência, etc., e ainda assim empregá-los para resolver problemas e fazer previsões indistintamente. É dentro dessa perspectiva que se enquadra a seguinte colocação de Hanson:

"...Em certo sentido você e eu dizemos a mesma coisa quando dizemos " $F = m(d^2s/dt^2)$ ", embora possamos expressar / proposições muito diferentes... Você e eu estamos pensando as / mesmas coisas porém de maneira diferente; diferem as estruturas/ do nosso pensamento. Imagine Mach e Hertz trabalhando neste problema planetário: ...os dois provavelmente lhe dariam uma resposta correta; entretanto, haveria algo diferente na qualidade das suas reflexões. Mach concebia as leis dinâmicas como descrições/ sumárias de observações sensoriais, enquanto que para Hertz as / leis eram axiomas convencionais e altamente abstratos, cujo papel não era descrever aquilo de que se trata, mas, sim, determiná-lo. A diferença não reside em quais são os fatos, porém pode muito / bem residir em como eles se vinculam..." (20)

Hanson pensa que a principal diferença existente entre duas pessoas que compartilham de uma mesma teoria mas divergem quanto ao status epistemológico dos enunciados que regem as interconexões entre os conceitos é que, ainda que elas possam resolver indistintamente um mesmo número de problemas, a diferença de suas organizações conceituais indica que elas não continuarão tendo os mesmos problemas nas suas investigações futuras.

Toda essa discussão acerca de observação, fatos, causalidade e esquemas conceituais permite compreender porque Hanson insiste em dizer que o seu estudo da descoberta científica/ é um estudo de caráter conceitual, antes que meramente psicológico e, também, porque o ponto de partida do processo de descoberta de teorias, leis ou hipóteses, é, em geral, a detecção de uma

anomalia. Em qualquer um dos dois sentidos já mencionados, uma / anomalia X, uma vez detectada, poderá ocasionar uma desorganização no esquema conceitual dos pesquisadores que passarão a buscar uma explicação para a ocorrência de X. Uma verdadeira explicação de X somente será obtida, na opinião de Hanson, quando for possível situar X dentro de um esquema de conceitos já adquiridos acerca de outras coisas Y e Z. Nesse sentido, diz ele, uma / explicação completamente nova seria uma impossibilidade lógica. Seria incompreensível e imponderável como um fato incognoscível/ ou inexpressível. (21)

Se Hanson está certo neste ponto, então a tese que/ sustenta a existência de um contínuo entre as "pequenas" descobertas - que não introduzem grandes mudanças - e as "grandes" descobertas - que chegam a acarretar mudanças de paradigmas - pareceria bastante razoável. No caso das "pequenas" descobertas, o início do seu processo poderia ser a detecção de uma anomalia X, a qual seria entendida como um contra exemplo da teoria vigente. O processo da descoberta desenvolver-se-ia no sentido de extrair informação de X que permitisse a sugestão de hipóteses auxiliares que, uma vez incorporadas à teoria, poderiam explicar a anomalia em questão. Putnam(1) propõe o seguinte esquema para representar esse tipo de situação:

TEORIA

??????????????

FATO A SER EXPLICADO

De acordo com Putnam, esse esquema representa um tipo de problema científico que consiste, justamente, em encontrar um conjunto de hipóteses auxiliares verdadeiras que ao serem reunidas à teorias explicarão o fato em questão. (22)

A solução desse tipo de problema poderia contar, ao nosso ver, como uma descoberta "não revolucionária" nos casos em que a introdução de hipóteses auxiliares não alterasse o significado dos termos da teoria em questão. O mesmo esquema poderia / ser também utilizado para representar o processo das "grandes" / descoberta . Uma vez que os termos das teorias estão coesamente / interligados "assim como as regras de um jogo em que cada termo / contém implicitamente todo o modelo conceitual do jogo" - a introdução de hipóteses auxiliares que incluíssem novos termos pode - ria desencadear uma série de mudanças de significado desses termos. Quando o resultado dessa mudança fosse, praticamente, um novo esquema conceitual poderíamos estar frente a um caso de "grande" descoberta. O processo de avaliação de um novo padrão conceitual não estabelecido poderia, por sua vez, levar à detecção de anomalias, entendidas no segundo sentido anteriormente mencionado, onde o valor de verdade dos enunciados que as descrevem não pode ser determinado a partir da teoria que estava inicialmente em / consideração. A detecção dessas novas anomalias poderia uma vez / mais, dar continuidade ao processo de descoberta.

Revolucionárias ou não, Hanson julga que existe uma lógica no processo de sugestão de hipóteses de acordo com a qual é possível concluir que, tais e tais hipóteses, e não outras, seriam razoáveis para explicar o caso em questão, levando-se em / conta uma certa quantidade de conhecimento estabelecido em um determinado contexto. Ele chama de retrodução (ou abdução) um tipo de inferência que caracteriza esse processo racional, a qual / apresenta a seguinte forma geral:

1. Algum fenômeno supreendente P é observado.
2. P seria explicável como óbvio caso a hipótese H fosse verdadeira,

3. Portanto, existe razão para pensar que H é verdadeira. (23)

A inferência retrodutiva, daqui para frente RD, vai dos dados às hipóteses e teorias. Ao racionar retrodutivamente, o pesquisador parte de situações onde, surpreendentemente, alguns fatos não encontram explicação a partir de uma teoria aceita. A medida que o cientista admite a veracidade dos fatos que lhe são surpreendentes, ele sai em busca de hipóteses auxiliares ou de novas teorias que sustentem a veracidade desses fatos. Essa busca é o que caracteriza o processo retrodutivo.

Ao discutir esse tipo de inferência que poderia conduzir à descoberta científica, entendida como um processo de busca de explicações, Hanson invoca em PD exemplos tirados da psicologia da Gestalt, sugerindo um paralelo com o processo de percepção de figura:

"Para que um fenômeno X seja explicável de modo natural é fundamental a percepção da estrutura completa em que ele se encontra imerso. Assim, o significado de qualquer mancha ou linha nos diagramas apresentados anteriormente (as Gestalts) permanece obscuro até que se compreenda a organização do todo..."(24)

Em outra passagem ele considera que:

"As teorias físicas proporcionam padrões no interior dos quais os dados se tornam inteligíveis. Elas constituem uma Gestalt conceitual..."(25)

Essa ênfase à percepção é o fator que tem levado vários filósofos a interpretar o trabalho de Hanson como sendo de interesse apenas à psicologia da descoberta. Contudo, essa interpretação é falha pois, como temos visto, Hanson está preocupado/

não apenas com o aspecto conceitual presente na percepção mas, e principalmente, com a estrutura a partir da qual esses conceitos/se organizam. Como no caso de observação, o relevante aqui é o "ver que..."; é o aspecto proposicional subjacente à percepção / que permite, a partir da detecção de um certo aspecto de X, inferir aquilo que poderia ser buscado a seguir. É nesse sentido que/ ele recorre à seguinte passagem de Peirce para ilustrar o paralelo entre inferência abdutiva e juízos perceptivos (os quais são , para esse filósofo "os lados opostos de um mesmo ângulo epistemológico"):

"...Se tem um certo insight, não o suficientemente forte para ser mais frequentemente correto do que incorreto, mas forte o suficiente para não ser muito mais vezes errôneo do que correto. Um insight, eu o chamo (o raciocínio abdutivo), porque ele deve ser referido à mesma classe de operações a que pertencem os juízos perceptivos. Se se pergunta a um investigador porque não tenta esta ou aquela teoria abandonada, ele dirá que "não parece razoável" (26)

Esse paralelo entre juízos perceptivos e raciocínio / retrodutivo não é analisado em detalhes por Hanson. Ele apenas / indica que em ambos os casos considerações acerca de simetrias em conjuntos de equações ou formas, analogias e simplicidade são os/ fatores que, em um determinado contexto, sugerem aquilo que deve/ ser buscado a seguir. Em ambos os casos, diz ele, os elementos de indagação se ajustam dentro de um modelo inteligível. Como se daria esse ajuste pode ser imaginado se levarmos em conta as análises de Hanson acerca da observação, fato e causalidade. Com isso poderíamos conceber uma situação onde um cientista observa algum fenômeno X que se apresenta como relativamente novo para / ele - e portanto não completamente ajustado ao seu esque-

ma conceitual. Como foi sugerido antes, em situações como esta o aparato conceitual do cientista deverá ser ampliado ou modificado para que o elemento novo se torne inteligível. As possíveis / alterações estarão limitadas pelo seu próprio esquema conceitual, seja no sentido de que ele direcionará sua atenção na seleção / dos aspectos de X que são relevantes, seja no sentido de que / tais alterações deverão ser compatíveis, em grande parte dos casos, com os conceitos por ele já adquiridos acerca de outras coisas Y e Z. Se pressuposições de analogia, simetria e simplicidade puderem ser admitidas no esquema conceitual, então os tipos / de hipóteses explicativas a serem considerados (como opções de / ampliação ou alteração) serão em número bastante reduzido. Nesse sentido, o raciocínio retrodutivo, que envolve basicamente tais / tipos de pressuposição, será um guia racional na descoberta da hipótese mais adequada que explicará, ou tornará inteligível a "forma" de X.

Ainda que estas considerações necessitem ser melhor desenvolvidas elas bastam para compreender que o ponto de vista / segundo o qual Hanson estaria elaborando uma teoria psicológica / da descoberta ao estabelecer um paralelo entre raciocínio retrodutivo e juízos perceptivos é falho e superficial.

Tendo em vista, então, que Hanson está preocupado / com o aspecto conceitual que está por trás da descoberta de hipóteses que poderiam explicar situações anômalas, vamos estabelecer uma meta na nossa investigação que consiste em saber com mais detalhes qual o papel do raciocínio retrodutivo dentro da lógica / da descoberta por ele discutida. Tal meta esbarra em uma série / de dificuldades uma vez que as afirmações desse autor, ao longo / de PD, frequentemente contribuem para uma dupla interpretação do seu pensamento. Por um lado, o seu interesse parece voltar-se pa

ra o estudo dos processos que levaram o cientista a conceber hipóteses e, por outro lado, ele se declara interessado no estudo/ das razões apresentadas pelos descobridores para justificar a proposta de hipóteses já formuladas.

No primeiro dos casos acima mencionados, o seu interesse parece dizer respeito à análise dos processos de criação, descoberta ou concepção de hipóteses. Esse interesse se manifesta em afirmações do tipo:

"Se o estabelecimento de uma hipótese através de / suas previsões tem uma lógica, então também tem a concepção de uma hipótese". (27)

De acordo com esse interesse, como sugere Buchanan, se esperaria de uma lógica da descoberta algo como um código de princípios racionais para a formulação de hipóteses que incluísse métodos semelhantes aos conjuntos de instruções para computador (programas heurísticos); de tal forma que homens ou máquinas, ao efetuarem tais construções, teriam grande chance de formular/ hipóteses inovadoras para a resolução de problemas, à medida que estes fossem surgindo.

No segundo caso, a lógica da descoberta trataria / das razões que justificam a proposta de uma hipótese de trabalho preferencialmente a outra. De acordo com essa interpretação, a análise começaria a partir da pergunta: Por que o cientista X sugeriu a hipótese H e não H'? Trata-se de saber se a hipótese, uma vez formulada, ajusta-se ao conjunto de evidências que o cientista dispõe e se essas evidências constituem boas razões para sugerir H. Questões referentes ao seu processo de criação não são / consideradas relevantes; as hipóteses podem ter sido criadas em sonhos ou por qualquer outro processo. O que interessa à análise da descoberta nesta perspectiva é saber se o cientista possui /

boas ou más razões para propor a pesquisa de uma determinada hipótese H, entre inúmeras outras que lhe surgiram à cabeça. Ela / seria regida por princípios reguladores, critérios de racionalidade, através dos quais as boas conjecturas seriam distinguidas / daquelas que não são razoáveis.

As duas interpretações da proposta de Hanson não // nos parecem incompatíveis, muito embora no seu artigo "Comments and criticism-More on Logic of Discovery" (1960) o autor afirme / que a sua análise da lógica da descoberta não pretende discutir / nada sobre os processos "geneticamente" responsáveis pela formulação de hipóteses. Ele declara que qualquer confusão a esse respeito deve-se à falha em não distinguir aquilo que justifica a proposta de hipóteses das descrições de processos envolvidos na formulação de hipóteses.⁽²⁸⁾ Hanson se declara cético quanto à / possibilidade de se fazer uma análise racional dos processos que conduzem à formulação de hipóteses.

Uma vez esclarecido que aquilo que Hanson entende / por lógica da descoberta diz respeito à análise das razões que / justificam a proposta de hipóteses a serem pesquisadas, resta saber em que sentido sua preocupação difere daquela de Popper, Hempel e os demais adeptos do modelo HD de explicação científica. As críticas do nosso autor à concepção, que ele considera simplista, da causalidade entendida como elos de uma cadeia (a qual nos referimos anteriormente), bem como sua tese da observação e dos fatos teórico-carregados, já apontam para diferenças significantes de abordagens. Elas não são especificamente discutidas em PD onde Hanson está principalmente interessado em preparar as bases e explicitar aquilo que poderia ser entendido por uma lógica da / descoberta.

A abordagem hansoniana da atividade científica é melhor contrastada com aquela dos teóricos do modelo HD no seu artigo "Is There a Logic of Scientific Discovery?". Nesse artigo, Hanson procura desenvolver um ponto importante que apenas foi esboçado em PD e que diz respeito à distinção entre:

1. Razões para aceitar uma hipótese H , e
2. Razões para sugerir H preferencialmente a H' .

Na próxima secção analisamos os argumentos apresentados por Hanson em "Is There a Logic of Scientific Discovery?" em defesa da distinção entre (1) e (2). Eles marcam, como foi dito na introdução deste capítulo, o segundo estágio do pensamento de Hanson sobre a descoberta científica.

Secção 2 - LÓGICA DA DESCOBERTA SEGUNDO "IS THERE A LOGIC OF
SCIENTIFIC DISCOVERY?"

Em "Is There a Logic of Scientific Discovery?" Hanson defende sua tese sobre a lógica da descoberta, retomando a distinção mencionada em PD entre lógica da prova e lógica da descoberta. Numa tentativa de precisar mais sua linguagem ele começa por distinguir:

- (I) Razões para aceitar uma particular e minuciosamente especificada hipótese H, e
- (II) Razões para sugerir um tipo de hipótese de preferência a outra.

O significado de (I) está relacionado à idéia de dedução de conclusões e testes de hipóteses que constitui a base / do modelo HD de explicação científica. Como foi mencionado no capítulo I, as hipóteses explicativas, uma vez sugeridas, são testadas ao serem reunidas a um conjunto de premissas que inclui / leis gerais, hipóteses já confirmadas e outros enunciados que / descrevem as condições iniciais do evento a ser explicado. Se o explanandum puder ser deduzido do esplanans e, à medida que ele / é confirmado pela evidência, então, as hipóteses das quais ele / decorre serão igualmente admitidas como confirmadas. Estaremos aí frente a um caso de explicação científica. Isto é o que geralmente se entende por "ter boas razões para aceitar H". Essas razões diz Hanson, serão sempre as razões que poderíamos ter para considerar H verdadeira: Uma hipótese H será aceita como verdadeira / se repetidas observações corroborarem-na e se as consequências / de H, usadas para previsão, forem confirmadas.

Mas as razões para sugerir H (como um tipo de hipótese preferível a outro tipo) nem sempre são idênticas às aquelas requeridas para considerar H verdadeira. Hanson, admite que, algumas vezes, a razão para alguém propor, por exemplo, que todos os A são B pode ser que todos os A observados até agora eram também B. Nesse caso, as razões para aceitar e as razões para sugerir H coincidem mas nem sempre isso ocorre. De acordo com a concepção/ de Hanson, as razões para sugerir H são, em geral, aquelas que apenas tornam H um tipo plausível de conjectura. A lógica da descoberta nesse sentido, não estuda questões relativas à: - por que/ as razões R_1 , R_2 , R_3 são boas razões para sugerir uma particular hipótese H minuciosamente especificada; mas sim, por que R_1 , R_2 , R_3 constituem boas razões para sugerir tipos de hipóteses dos quais H é um exemplar. A relevância desse ponto reside no fato / de que, embora o cientista possa ter boas razões para propor um certo tipo de H (digamos, por exemplo que H explica um certo fenômeno em questão), essas razões não bastariam para a confirmação de H como uma hipótese verdadeira.

Se em PD Hanson apenas sugeria alguns tipos de reflexão que poderiam ser admitidos como "boas razões para sugerir um tipo de H", em "Is There a Logic of Scientific Discovery" ele menciona e ressalta em vários exemplos o emprego da analogia, simetria, simplicidade, força explicativa e apelo à autoridade como/ tipos de raciocínio que poderiam ser considerados como tais. Ele insiste em mostrar que raciocinar indutivamente a partir da observação de A como B para a proposta de que todos os A são B é diferente, em tipo, de raciocinar analogicamente a partir do fato de que os A são B para a proposta de que todos os C são D. Também é diferente das razões que consistem na detecção de simetrias em equações que descrevem A e aquelas que descrevem B. Todas es-

sas razões, por sua vez, diferem ainda daquela que Hanson considera também uma boa razão para propor que todos os A são B; a saber, que "todas as autoridades estão convencidas que os A são B".

Como um exemplo ilustrativo dessa categoria de raciocínio Hanson sugere que, mesmo antes que tivéssemos acesso a filmes que mostrassem imagens da superfície lunar, teríamos boas razões para pensar que uma hipótese H bem sucedida sobre a superfície lunar não seria de um tipo que incluísse descrições de artesanato humano, botânica, etc. Em especial, teríamos boas razões para sugerir a hipótese de que "a superfície da lua é sem vida, compacta e coberta de poeira rochosa", ou qualquer uma outra do mesmo tipo. Nesse caso, nossas razões para essas expectativas são inconclusivas, elas baseiam-se em considerações analógicas desenvolvidas a partir de dados que conhecemos sobre outros planetas; elas diferem das razões que teríamos para aceitar uma hipótese H, exatamente porque elas seriam insuficientes para tal. Ele insiste que as analogias não podem confirmar hipóteses, nem mesmo tipos de hipóteses; que somente a observação pode fazer isso.

Um segundo exemplo apresentado por Hanson, que ilustra o significado de ter boas razões para sugerir H, mostra as razões que levaram Kepler a propor a hipótese da órbita elíptica dos planetas. Kepler, depois de vários anos de estudos, passou a admitir como verdadeira a hipótese H de que a órbita de Marte é elíptica. Além disso, ele considerava Marte um planeta típico (suas propriedades dinâmicas são encontradas em outros planetas). Baseado nisso, e raciocinando por analogia, Kepler julgou razoável propor, sugerir e desenvolver, a hipótese H' de que as órbitas de Mercúrio, Venus, Júpiter e mesmo da Terra eram também elípticas.

Novamente Hanson insiste em ressaltar que, embora / as razões analógicas de Kepler constituíssem boas razões para sugerir H' como um tipo de hipótese plausível, estas razões não seriam boas para assegurar a sua verdade. Pois, diz ele, seria / necessário observar as posições dos planetas e determinar que o movimento de cada um deles poderia ser descrito de acordo com as equações de uma elipse. Neste e em outros exemplos, Hanson sugere a existência de uma conexão entre:

1. O conhecimento de certos fatos pelo cientista;
2. O estabelecimento de analogias entre casos problemáticos e aqueles que não são problemáticos;
3. A sugestão de hipóteses explicativas para os casos problemáticos, levando-se em conta hipóteses análogas que explicam fatos já conhecidos.

Se Hanson está certo acerca dessa correlação, então a pergunta: Porque o cientista X sugeriu uma hipótese de tal tipo?, poderia ser respondida levando-se em conta a relação entre/ os enunciados que descrevem: a) o(s) fenômeno(s) a ser(em) analisado(s); b) o conjunto de evidências que lhe são disponíveis e, c) os tipos de hipóteses sugeridas. O raciocínio retrodutivo que / fundamentaria tal conexão é reescrito em "Is There a Logic of / Scientific Discovery?" da seguinte maneira:

1. Alguns fenômenos surpreendentes $P_1, P_2, P_3, P_4 \dots$ são encontrados.
2. Mas, $P_1, P_2, P_3, P_4 \dots$ não seriam surpreendentes se a hipótese do tipo H fosse estabelecida. Eles se seguiriam como algo a ser esperado naturalmente/ de algo como H e seriam explicados por ela.
3. Portanto, há uma boa razão para elaborar uma hipótese do tipo H, para sugerir H como uma hipótese

se possível a partir de cuja suposição $P_1, P_2, P_3, P_4 \dots$ poderiam ser explicados. (29)

Essa forma de explicar o raciocínio retrodutivo mostra o esforço de Hanson em distinguir a inferência dedutiva da / retrodutiva. Contudo, a natureza dessa diferença não é ainda claramente estabelecida em "Is There a Logic of Scientific Discovery?" e Hanson retoma essa discussão, uma vez mais, no seu artigo "Retroductive Inference", o qual analisamos na seção seguinte.

Secção 3 - LÓGICA DA DESCOBERTA SEGUNDO "RETRODUCTIVE INFERENCE"

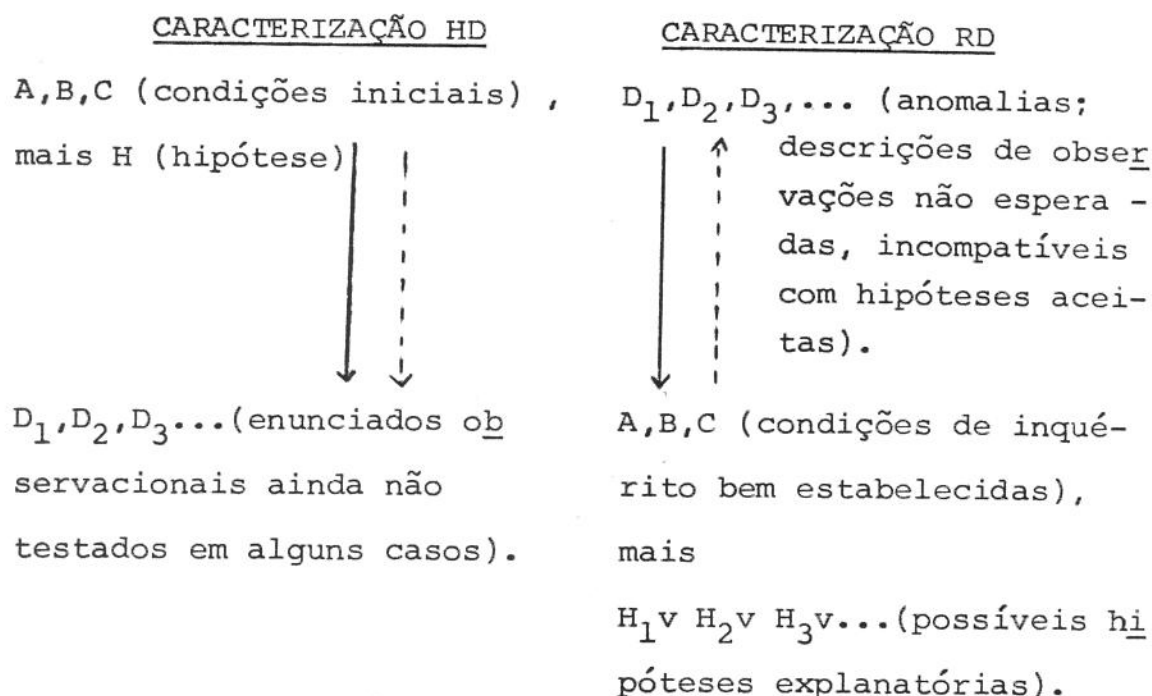
O terceiro estágio do pensamento de Hanson sobre a descoberta científica está claramente configurado no artigo "Retroductive Inference", onde dois tópicos centrais da sua teoria/da descoberta são reelaborados. O primeiro deles consiste em demonstrar que a diferença entre os relatos hipotético dedutivo e retrodutivo não é apenas psicológica, mas genuinamente conceitual. O segundo diz respeito à distinção entre o tipo de argumento que o cientista, de fato, emprega ao solucionar problemas durante as suas pesquisas e as questões abstratas acerca da forma dos argumentos. Ao desenvolver esses dois tópicos, Hanson pretende / explicitar a natureza dos movimentos do raciocínio retrodutivo / diferenciando-o do hipotético-dedutivo, e mostrar que esse tipo/ de inferência tem sido empregado pelos cientistas nas suas descobertas.

Ainda que haja diferentes enfoques sobre a descoberta na obra de Hanson, uma tese se mantém constante em todos os seus/trabalhos. Essa tese afirma que a lógica da descoberta mostrará / as relações entre fatos anômalos e explicações possíveis para eles. Em PD a explicação de uma anomalia X foi apresentada como o estabelecimento de um padrão inteligível dentro do qual x se ajusta. Em "Is There a Logic of Scientific Discovery?" a lógica da descoberta foi caracterizada por contraste com a lógica da prova. A noção de ter boas razões para sugerir tipos de hipóteses como explicações possíveis de X foi então introduzida. Agora, em "Retroductive Inference" (daqui para frente RI), a explicação de X é/

caracterizada como a indicação de um caminho que começa com a detecção de uma anomalia X e se desenvolve em busca de um tipo / de hipótese que possa explicá-la.

Como foi dito anteriormente, Hanson pensa que as descobertas tem início quando o cientista encontra uma anomalia / qualquer, ou seja, quando ele se depara com alguns fatos que não encontram explicação nas teorias aceitas. A partir desse momento, ele raciocina retrodutivamente em busca de algum conjunto coeso / de premissas que, se confirmado, explicará a anomalia. Esse conjunto de premissas conterà, como no caso do modelo HD, enunciados que descrevem as condições iniciais do evento a ser explicado, hipóteses já confirmadas e a hipótese sugerida, cuja forma, diz Hanson, revela-se por sua ausência inicial do grupo. Mas, assim colocado, em que difere esse argumento daquele caracterizado pelos adeptos do modelo HD? Desde PD, Hanson insiste em dizer / que os teóricos da inferência retrodutiva distinguem-se daqueles do modelo HD porque estes últimos, ao invés de se preocuparem / com as razões que direcionam a busca de novas hipóteses ou teorias, retratam o cientista trabalhando com uma teoria já pronta e um estoque de condições iniciais à mão, gerando a partir delas enunciados testáveis de observação. Mas, seria essa uma distinção relevante no que diz respeito à estrutura dos dois argumentos?

Hanson empenha-se em combater a tese segundo a qual / os argumentos retroutivo e hipotético-dedutivo diferem apenas / de um ponto de vista psicológico. Ele mostra em RI que, embora / as estruturas lógicas dos argumentos sejam precisamente as mesmas, de fato, o desenvolvimento de cada uma no contexto de resolução de problemas é claramente distinto. Resumidamente a questão se coloca a partir do seguinte esquema representativo dos raciocínios retroutivo (RD) e hipotético-dedutivo (HD). (30)



As setas sólidas, diz Hanson, representam a ordem / "real" (que de fato ocorre) do argumento utilizado pelo cientis- ta, e as setas pontilhadas representam a ordem lógica da progres- são. No primeiro caso, o cientista, de acordo com o raciocínio / HD, parte de ABC e H e, por meio da inferência dedutiva, gera $D_1, D_2, D_3 \dots$. No outro caso (RD), a ocasião para o inquérito é(são) a(s) anomalia(s) D(s); o cientista raciocina a partir dela(s) em busca de um conjunto de premissas A,B,C, e mais algum tipo de hi- pótese que possa explicar a anomalia.

No que se refere à ordem lógica, as progressões são idênticas. As setas pontilhadas indicam o mesmo caminho em dire- ção a $D_1, D_2, D_3, \dots$ que se segue de A,B,C, mais hipóteses; portan- to, o critério lógico para determinação da validade dos argumen- tos em qualquer um dos casos é o mesmo. Mas, a despeito dessa / identidade, Hanson insiste na existência de uma diferença concei- tual genuína entre os dois tipos de argumentos:

"A diferença nas direções e intenções dos dois es- quemas delimita diferentes domínios de desenvolvi-

mento conceitual possíveis entre as argumentações RD e HD". (31)

Em defesa do seu ponto de vista ele mostra que a / partir de premissas consistentes A,B,C,H, quaisquer teoremas que se deduzam delas devem ser consistentes. Enquanto que, dados dois conjuntos quaisquer de premissas A,B,C,H, e A ,B ,C' , e H', ambos podendo resolver alguma anomalia D, não é o caso que estes / devam ser mutuamente consistentes. Assim, por exemplo, diz Hanson, se considerarmos o conjunto de premissas: A,B,C mais "João/ é um solteirão" e se elas forem consistentes, então quaisquer D_1 ; D_2 ;... que delas se seguirem deverão ser mutuamente consistentes - por exemplo "João é não casado"; "João é do sexo masculino"; "João é um adulto", etc. Mas, se partimos de D: "João é do sexo/ masculino", podemos demonstrar que D segue-se de A,B,C e "João / é um solteirão". Mas D também se segue de A,B,C, e "João é um / tio casado". Embora cada um desses conjuntos de premissas impliquem D, eles não são consistentes entre si. Portanto, os dois tipos de argumentos possibilitam respostas conceitualmente diferentes `a uma mesma indagação. Com isso fica demonstrado que as caracterizações RD e HD são conceitualmente diferentes e não apenas / psicologicamente diferentes.

Considerando que, a partir de alguma anomalia D, o processo de resolução RD consiste na identificação de $H_1 \vee H_2 \vee H_3 \vee \dots \vee H_n$, qualquer uma delas podendo explicar a anomalia , ainda que estas Hs sejam incompatíveis entre si; dado isto, fica também melhor delineada a diferença entre os argumentos indutivo e retrodutivo. Pois, de acordo com o argumento indutivo, quais - quer hipóteses inferidas a partir dos enunciados de observa - ções $E_1 \wedge E_2 \wedge E_3 \dots$ deverão ser compatíveis entre si; mas o mesmo pode não ocorrer com o RD.

Como um exemplo da distinção entre os relatos HD e RD na prática da ciência, Hanson discute a diferença entre o "problema clássico das perturbações" e o "problema inverso das perturbações". O relato HD é caracterizado através do problema clássico das perturbações⁽³²⁾, que é colocado da seguinte maneira: suponhamos que conhecemos os elementos dinâmicos de algum planeta P (por exemplo, massa, período de revolução, etc). Além disso conhecemos os elementos dinâmicos de um outro planeta K. Assumindo como verdadeira a lei da gravitação universal (H) poderíamos calcular a perturbação causada por P em K e vice-versa. Esses cálculos poderiam converter-se em predições acerca das futuras posições dos dois planetas, as quais seriam confirmadas ou não por futuras observações. O emprego sistemático de argumentos HD poderia levar à detecção de anomalias, o que indicaria a necessidade de correção ou de formulação de novas teorias.

O relato RD, por sua vez, é exemplificado através do problema inverso das perturbações⁽³³⁾, que Hanson caracteriza como segue: Suponhamos que conhecemos os elementos dinâmicos de um planeta K e que descobrimos, em certo momento, que as posições observadas de K não correspondem às posições previstas, ou seja, K se desvia do caminho esperado. O problema agora consiste em // raciocinar a partir dessa situação anômala em busca de uma hipótese sobre algum possível P, ainda não detectado, cujas propriedades dinâmicas explicariam as perturbações observadas em K. Uma explicação será encontrada e o problema será resolvido se as perturbações observadas em K puderem ser concebidas como uma consequência da existência de P (com suas propriedades adequadas). Hanson pensa que esse mesmo tipo de raciocínio tem de fato, ocorrido aos cientistas nas suas descobertas. Ele menciona ainda a descoberta do neutrino como um outro caso corroborador do seu ponto

de vista. Essa descoberta ocorreu com a detecção de partículas β que, ao serem emitidas de uma fonte radioativa de desintegração/espontânea, diferentemente das partículas α , apresentavam camadas, e portanto energia cobrindo um amplo espectro. Mas esse fato conflitava com o princípio aceito de conservação de energia, pois, se a fonte radioativa era homogênea, e todas as partículas possuem as mesmas propriedades, então, o fato de que algumas teriam mais energia que outras levava a crer que "nessas outras" a energia não estava sendo conservada. Diante dessa anomalia, cogitou-se a hipótese de que, se as partículas β fossem sempre emitidas com alguma outra partícula (neutrino) ainda não detectada / (possuindo carga neutra e algumas outras propriedades relevantes); então cada par de partículas emitidas (β mais neutrino) teria / uma energia igual à de qualquer outro par de partículas.

O raciocínio retrodutivo torna-se evidente neste caso da descoberta do neutrino. Hanson apresenta vários outros / exemplos tirados da história da ciência que confirmam sua teoria acerca da descoberta científica. Todos eles mostram que o cientista parte, em geral, de anomalias em suas descobertas. Ao insistir em ressaltar o papel da anomalia no processo de descoberta, Hanson esbarra num ponto que nos parece absolutamente essencial, ainda que óbvio. Ele constata que as anomalias só aparecem em contraste com um contexto onde os eventos observados comportam-se de acordo com o esperado (caso contrário, não seriam anomalias) e que, neste sentido, os procedimentos HD e RD estão ligados. Esse ponto marca o último estágio do pensamento de Hanson sobre a descoberta onde ele passa a considerar o relato HD sob/ uma nova ótica, concebendo-o como indissoluvelmente ligado ao / procedimento RD. Numa passagem ao final de RI, ele afirma que RD e HD estão, na verdade, conceitualmente ligados, que eles são /

dois estágios de um processo racional que consiste em:

1. Extrair as consequências observacionais de uma dada teoria; e
2. Notar que uma dessas consequências observacionais surpreendentemente não se ajusta aos fatos.
Procurar então, por novas hipóteses que, quando associadas às premissas ortodoxas, explicarão a anomalia.
3. Explorar à maneira ortodoxa HD esse novo conjunto de premissas (contendo as novas hipóteses), de modo a obter novas consequências observacionais, até que a próxima anomalia seja detectada e o processo possa recomeçar.⁽³⁴⁾

Essa forma resumida de caracterizar as etapas do processo racional de pesquisa científica não retrata, é claro, os detalhes relativos às razões que direcionam a busca de explicações, busca essa que constitui um dos alicerces da lógica da descoberta, tal como entendida por Hanson. Contudo, ela sugere que é possível fazer um estudo puramente abstrato da natureza do raciocínio RD. Com efeito, nos dois últimos artigos que acabamos de analisar Hanson não faz menção às suas teses desenvolvidas em PD acerca da observação, fatos, causalidade, etc. Mas, se por um lado isso sugere que Hanson está tentando fazer um estudo da natureza do raciocínio RD sem explicitamente levar em conta essas teses, por outro lado, o termo "explicar" aparece no esquema que caracteriza o raciocínio RD e também na etapa nº2 do esquema que apresentamos acima. Isso coloca uma questão que consiste em saber se o termo "explicar" ocorre/essencialmente como parte de uma das premissas da inferência RD ou se esse termo, com tudo o que ele acarreta na abordagem hansoniana, é relevante apenas para a justificação do emprego desse tipo de ra

ciocínio.

Os escritos de Hanson, infelizmente, não permitem decidir com segurança entre essas duas opções. Mas, se a primeira delas for a correta, então será difícil analisar a inferência RD na sua totalidade sem enveredar por um estudo da linguagem, em particular da dependência de significado dos termos das teorias em relação aos contextos. Se, entretanto, a segunda opção for correta, então não haverá problemas em tentar detalhar mais a idéia de retrodução independentemente das teses desenvolvidas em PD.

A análise das três etapas do pensamento de Hanson sobre a descoberta científica parece mostrar, entretanto, uma terceira alternativa que aparentemente foi empregada pelo autor a partir da sua investigação em PD. Essa alternativa consiste em subdividir o seu programa de investigação em duas partes centrais sendo que uma delas trataria de questões relativas à natureza da inferência RD e a outra de questões ligadas ao processo de explicação científica. Ainda que o raciocínio RD envolvesse / como parte de uma de suas premissas o termo "explicar", os problemas por ela envolvidos poderiam ser remetidos a um outro estágio de investigação. As vantagens dessa alternativa são óbvias dada a complexidade do programa proposto por Hanson na sua totalidade.

Assim concebido, o programa de Hanson para um possível estudo do processo de descoberta indica vários caminhos de pesquisa cujo resultado só poderá ser avaliado com o seu desenvolvimento. A análise daquilo que consideramos ser a terceira etapa do pensamento de Hanson sobre a descoberta encerra nosso estudo da obra desse autor. No que se segue procuraremos desenvolver, sob diferentes perspectivas, a primeira parte do seu programa, ~~em~~ perder de vista os problemas concernentes à natureza da explicação científica.

C A P Í T U L O I I I

METODOLOGIA DA DESCOBERTA

INTRODUÇÃO

No presente capítulo discutimos algumas das teses // centrais que caracterizam a área de estudos que no capítulo I / foi denominada de "metodologia da descoberta científica".

Na secção I fazemos uma breve introdução histórica / do tema a partir dos estudos de Polya em A Arte de Resolver Problemas acerca do termo "Heurística", e indicamos alguns elementos que parecem existir em comum entre o programa de Hanson para uma investigação do processo de descoberta (analisado no capítulo an- terior) e aquilo que os antigos chamavam de "Heurística".

Na secção II desenvolvemos uma análise do conceito / de problema e retomamos a tese segundo a qual o processo de des- coberta científica poderia ser concebido, em geral, como um pro- cesso de resolução de problemas. Duas categorias de problemas são principalmente abordadas, as quais correspondem àqueles classifi- cadas por Polya como "problemas de demonstração" (problems to / prove) e "problemas de formação" (problems to find).

Na secção III apresentamos um método conhecido como/ método de análise, o qual foi utilizado pelos antigos para a des- coberta de provas de teoremas e soluções de problemas da geome- tria. Esse método, que é especialmente analisado por Hintikka e Remes (1), Loparic'(1) além de Polya(1), apresenta, ao nosso ver, as mesmas características básicas que foram ressaltadas por Han- son no raciocínio retrodutivo. A tese de que a aplicação de um / tal método poderia ser estendida ao processo de descoberta cien- tífica, é anunciada neste capítulo, constituindo material para a discussão nos capítulos seguintes.

Secção I - Heurística e Metodologia da Descoberta Científica

Em A Arte de Resolver Problemas, Polya refere-se ao termo "Heurística" para caracterizar um ramo de estudo ainda não nitidamente definido, que pertence à Lógica, à Filosofia ou à Psicologia, cujo objetivo é o estudo de métodos que poderiam conduzir às descobertas e às invenções. Ele comenta que alguns indícios desse estudo são encontrados já nos comentadores de Euclides, em particular nos trabalhos de Pappus, famoso matemático grego do século III D.C. Também Descartes, Leibnitz e Bolzano são incluídos por ele entre os pesquisadores no campo da Heurística.

De acordo com a descrição de Pappus, apud Polya, a Heurística é "...um corpo especial de doutrina para uso daqueles que, depois de terem estudado os Elementos comuns, desejam adquirir a capacidade de resolver problemas matemáticos... É resultado do trabalho de três homens: Euclides, o autor dos Elementos, Apolônio de Perga e Aristeu, o Antigo. Ele ensina os procedimentos da análise e da síntese." (35)

A partir da descrição de Pappus dos procedimentos de análise e síntese (os quais discutiremos na secção 3) foram feitas várias tentativas no sentido de esclarecer aquilo que poderia ser entendido por Heurística. As dificuldades encontradas na realização de tal projeto são muitas uma vez que os escritos/disponíveis dão, em geral, lugar a diferentes interpretações do tema. O próprio Descartes reconhece que os antigos não caracterizaram bem o seu método de descoberta. Na regra IV das Regras para a Direção do Espírito ele chega a sugerir que essa má caracterização era feita propositadamente:

"...eu tenho uma tendência a acreditar que por alguma razão funesta esses autores escondiam essas regras simples/ (as regras do método de descoberta), pois, assim como os artesãos reconhecidamente o fizeram em relação às suas invenções, / eles receavam, talvez, que sendo essas regras muito fáceis e simples elas perderiam o seu valor ao serem divulgadas"(36)

Não procuraremos desenvolver aqui um estudo do método cartesiano. Para os propósitos desta secção é suficiente / ressaltar que a análise cartesiana do método caracterizou uma / versão tradicional da Heurística, a qual visava estabelecer regras metodológicas efetivas para a descoberta de hipóteses verdadeiras acerca da natureza. O pretendido caráter de infalibilidade das regras do método cartesiano pode ser visto, por exemplo, / na seguinte passagem das Regras:

"Aquilo que entendo por um método (para a busca / das verdades) são regras certas e simples, tais que, se um homem observá-las exatamente jamais tomará algo falso por verdadeiro, e nunca dispendirá inutilmente as forças do seu espírito, mas aumentando gradualmente seu conhecimento, ele chegará a uma compreensão verdadeira de tudo aquilo que estiver ao seu alcance."(37)

A pretensão de elaborar um método efetivo para a descoberta de hipóteses verdadeiras sobre a natureza foi substituída pela busca de regras falíveis extraídas da prática de resolução de problemas, as quais caracterizam a Heurística moderna. / Essa nova concepção da Heurística passou assim a relacionar diretamente as questões concernentes à descoberta com processos de / resolução de problemas. Recentemente, além dos trabalhos de Polya na área de matemática, diferentes enfoques da Heurística são disponíveis, entre outros os de Hintikka e Remes (1), Puchkin(1), / Miller, Galanter e Pibran(1), Newell e Simon (1), sendo os últi-

mos na área de AI. Apesar de Pappus ter limitado a Heurística ao estudo dos processos de resolução de problemas matemáticos, todas as abordagens do tema desde Descartes concordam que a Heurística visa à generalidade, ao estudo de procedimentos que independem do assunto em questão e são aplicáveis à resolução de problemas em geral.

Diferentemente da concepção tradicional, as abordagens atuais da Heurística caracterizam o raciocínio heurístico / como provisório e apenas plausível - seu emprego nem sempre conduz à descoberta de novas hipóteses, ou à solução do problema para o qual se busca uma solução. Polya sugere que, uma vez diante de um problema, quatro fases no processo de resolução devem / ser consideradas, as quais constituem a base do raciocínio heurístico:

- Primeiro, devemos compreender o problema. Temos/ que ver claramente quais são os dados, qual é a incógnita, quais são as condições impostas.

- Segundo, devemos ver como os diversos itens estão inter-relacionados, como a incógnita está ligada aos dados, para podermos estabelecer um plano que guiará o processo de solução.

- Terceiro, devemos executar o nosso plano de solução, atentando para cada etapa à medida em que avançamos na sua realização.

- Quarto, devemos fazer um retrospecto da resolução completa, revendo-a, discutindo-a e mesmo aperfeiçoando-a / quando for necessário. (38)

Não é preciso uma análise muito profunda para perceber que as quatro fases do raciocínio heurístico caracterizadas por Polya envolvem noções muito complexas que vão desde a /

idéia de compreender um problema, a qual requer a construção de uma imagem clara da situação, até o processo de elaboração e execução de planos para resolução de problemas. Além disso elas / pressupõem que o problema a ser resolvido é bem formulado, e que o solucionador dispõe de todos os dados necessários para a sua / solução. Ocorre que nem sempre os dados dos problemas são bem estabelecidos e, em especial, nos casos de descoberta científica, a dificuldade maior reside muitas vezes, na formulação do problema.

Sem dúvida, um estudo da Heurística que seja relevante para uma possível metodologia da descoberta deveria levar em conta os processos de formulação de problemas. Tais problemas poderiam ser classificados em relação ao seu grau de complexidade/ que englobaria desde aqueles cujas soluções representam hipóteses ou teorias inovadoras até aqueles onde elas representam hipóteses explicativas que apenas relacionam conceitos familiares. Ou, para empregar os termos de Kuhn (e retomar a discussão iniciada/ no capítulo I deste trabalho), um tal estudo do raciocínio heurístico deveria tratar também dos métodos racionais para a formulação de problemas ao nível da ciência normal e revolucionária. Polya não discute essa questão (que será retomada na seção seguinte) uma vez que o seu estudo da Heurística se limita a casos de problemas bem formulados, onde, conforme foi dito acima, a primeira etapa do processo de resolução consiste em compreender o problema.

O estágio em que um problema é totalmente compreendido pelo solucionador está longe de ser claramente explicitado. Polya sugere, entre tanto, que o exame minucioso do enunciado do problema, efetuado com a finalidade de identificar suas partes /

principais, é o elemento essencial do processo de compreensão. Deve-se identificar claramente quais são os dados, a incógnita, a condicionante. Além disso, diz ele:

"O estudante deve considerar as partes principais do problema, sob vários pontos de vista. Se houver uma figura relacionada ao problema, deverá traçar uma figura e nela indicar a incógnita e os dados. Se for necessário designar estes elementos, deverá adotar uma notação adequada, pois, dedicando alguma atenção à escolha dos signos apropriados, será obrigado a considerar os elementos para os quais esses signos têm de ser escolhidos. Há uma outra indagação que pode ser útil neste estágio preparatório, desde que não se espere para ela uma resposta definitiva e sim provisória, uma suposição: É possível satisfazer a condicionante?" (39)

O objetivo dessas recomendações é familiarizar o solucionador com as partes principais do problema. Ao examiná-las ele provavelmente saberá de que trata o problema, que tipo de exigência deve ser satisfeita e mesmo que tipo de hipótese poderia resolvê-lo. O conhecimento previamente adquirido pelo solucionador desempenha um papel fundamental nessa etapa de compreensão do problema. Sua relevância torna-se evidente nos casos em que é possível o emprego de analogias. Como sugere Miller, Galanter e Pibran (1), a construção de uma imagem clara do problema/pode corresponder ao desenvolvimento de um esquema classificatório de situações e métodos adequados para solucionar determinadas classes de problemas nas quais a nova situação em questão poderia se enquadrar. A elaboração desse plano pode constituir uma evidência de que o solucionador entendeu o problema, se ele auxiliar no reconhecimento da solução desejada. Assim, o re-

quisito de estabelecimento de um plano que possivelmente conduzirá à solução desejada encontra-se diretamente ligado à idéia de compreensão de um problema. Esse requisito caracteriza a segunda etapa do processo heurístico de resolução de problemas. De acordo com a concepção de Polya:

"Temos um plano quando sabemos, pelo menos de modo / geral, quais os cálculos, computações ou construções que precisam executar para obter a incógnita. O caminho que vai desde a compreensão do problema até o estabelecimento de um plano, pode/ser longo e tortuoso. Realmente, a principal realização na resolução de um problema é a concepção da idéia de um plano".⁽⁴⁰⁾

Polya sugere também nesta etapa a consideração de algumas questões que poderiam auxiliar no estabelecimento de um / plano, o qual depende, é claro, da meta a ser alcançada. A primeira questão consiste em investigar se o solucionador conhece / algum problema correlato. Algumas vezes, diz ele, a consideração de um problema familiar, para o qual existem planos bem conhecidos de solução, pode sugerir a elaboração do plano em questão. Se não for possível encontrar um problema correlato, é aconselhável reformular o problema. Talvez o solucionador possa decompô-lo em vários problemas mais simples. (A ênfase de Polya nesse tipo de questão vai de encontro à idéia de que se um problema puder ser/ enquadrado dentro de uma classe geral de problemas para os quais existem planos de solução, então a análise dos seus atributos / principais provavelmente conduzirá à classe de hipóteses dentro/ da qual a solução buscada pode ser encontrada). Ou talvez ele / possa raciocinar retrodutivamente investigando a partir de que / antecedente o resultado desejado poderia ser inferido.

Como os planos proporcionam apenas um roteiro geral/

de ação, o solucionador poderá ter surpresas durante o seu processo de execução (o qual caracteriza a terceira etapa do raciocínio heurístico). De modo a estar certo de que os detalhes inserem-se no roteiro elaborado ele deverá executar o plano, examinando atentamente cada etapa à medida em que avança na sua realização. Ao final desse processo, se o plano for adequado para o problema em questão, o solucionador possivelmente obterá a solução desejada. Mesmo que ele acredite que realizou corretamente / cada um dos passos do caminho de solução, ainda assim, é sempre / possível haver erros. Daí, a conveniência de se realizar a quarta etapa do processo heurístico que recomenda que seja feita uma verificação completa da solução, incluindo-se a discussão e justificação de cada um de seus passos.

Uma vez obtida e verificada a solução do problema, Polya sugere, finalmente, que o solucionador investigue se é possível utilizar tal resultado, ou método em algum outro problema. / Após alguma experiência com problemas semelhantes, diz ele, o solucionador poderá perceber as idéias básicas gerais concernentes à utilização dos dados relevantes; à variação dos dados; à simetria e à analogia. Se ele adquirir o hábito de dirigir sua atenção para estes pontos, a sua capacidade de resolver problemas poderá definitivamente beneficiar-se. (41)

O processo heurístico de resolução de problemas quando aplicado à descoberta científica enfoca questões relativas / aos métodos heurísticos para a sugestão ou formulação de tipos / de hipóteses explicativas que representam soluções possíveis para certas classes de problemas. Parece ser nesse sentido que se desenvolvem os estudos de Hanson sobre a descoberta quando / ele enfatiza, por exemplo, que o cientista a partir de uma analo

gia raciocina retrodutivamente em busca de um tipo de hipótese / que explicará o fenômeno em questão.

Como dissemos no capítulo II, Hanson pensa que devemos distinguir os processos "geneticamente" responsáveis pela / formulação de hipóteses das razões que justificam a proposta de hipóteses a serem pesquisadas. Tal distinção, entretanto, torna-se pouco acentuada se levarmos em conta que as razões que justificam a proposta de hipóteses podem ser consideradas também como processos racionais (que se desenvolvem de acordo com regras heurísticas) para a formulação de enunciados (hipóteses explicati - vas) dentro de uma dada linguagem. Ainda que Hanson, insista nessa distinção, vários dos exemplos por ele mencionados (tal como/ a descoberta de Kepler das órbitas elípticas de Mercúrio, Venus, Júpiter e mesmo da Terra, a partir da analogia com a órbita elíp tica de Marte, onde havia disponível uma linguagem na qual sua / hipótese foi formulada) acabam por reduzir as razões para sugerir hipóteses em processos para formulação das mesmas.

Admitindo-se que as razões para sugerir hipóteses podem ser consideradas como processos para formulação de hipóteses em uma dada linguagem, resta ainda especificar quais seriam as regras segundo as quais esses processos se desenvolvem. Está claro, pelo que foi dito até aqui, que essas regras são regras heurísticas, extraídas da prática de resolução de problemas, que recomendam o emprego de analogias, simplicidade, simetrias, etc. Seria esperado, entretanto, que uma metodologia da descoberta tor-nasse explícito não só o status epistemológico dessas regras, mas, também as diversas maneiras em que os dados dos problemas podem/ ser manipulados de modo a torná-los ajustados a alguma classe de problemas para os quais existem planos de solução disponíveis; co

mo procurar por situações análogas, como transformar os problemas complexos em sub-problemas mais simples, etc. O nosso conhecimento acerca dessas questões é ainda bastante incompleto e a / justificação para o emprego de procedimentos que envolvem tais / regras baseia-se principalmente em argumentos de forte plausibilidade intuitiva. Devido a isso, várias críticas tem sido apresentadas em relação ao seu emprego e justificação. Miller, Galanter e Pibran (1) resumem algumas dessas críticas, sendo que a / mais comum delas reflete o seguinte pensamento:

"Estas regras heurísticas... estas máximas e provérbios podem ser usados somente por pessoas com inteligência suficiente para entendê-las e que saibam como aplicá-las. Elas não / podem ser tomadas a sério como componentes não-ambíguos de uma / teoria científica". (42)

Esse tipo de crítica motivou alguns pesquisadores da AI a desenvolver um estudo das regras heurísticas com o auxílio / do computador. A abordagem do método heurístico desenvolvida por eles parece constituir uma promessa de esclarecimento da natureza das regras heurísticas. Se for possível traduzir essas regras em programas, então teremos uma resposta ao tipo de crítica acima apresentada. Pois, se elas forem ambíguas o programa não funcionará. Além disso, como sugere Buchanan, considerar o método / heurístico de formulação e sugestão de hipóteses como um conjunto de instruções para uma máquina poderia ajudar a determinar o escopo e os limites de uma metodologia da descoberta, ainda que a máquina não seja essencial para isso.

Nas secções seguintes procuraremos detalhar um pouco mais algumas das idéias envolvidas no estudo da Heurística. Com isso, preparamos as bases para a análise do raciocínio heurístico desenvolvido na área de AI, que constitui o assunto a segunda parte de nosso trabalho.

Secção 2 - UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE A NATUREZA DOS PROBLEMAS

Quando se diz que o processo de descoberta científica pode ser entendido como um processo de resolução de problemas, ou que os indivíduos empregam esta ou aquela estratégia para resolver um problema, o que deve ser entendido pelo termo "problema"? Esse termo é empregue no mesmo sentido nessas duas situações? Se ele figura diferentemente em cada uma delas, o que caracteriza essa diferença? Tais questões suscitam uma investigação / acerca da natureza dos problemas.

O estudo sobre a natureza dos problemas, ou questões é bastante antigo, Hamblin (1) afirma que já em Aristóteles existe uma preocupação com esse tipo de investigação. Ele sugere, entretanto, que a maioria dos trabalhos mais apreciáveis sobre o assunto tem sido desenvolvido apenas recentemente. Entre os tópicos abordados por estes trabalhos encontram-se aqueles relativos à formulação e representação de problemas, por um lado, e por outro aqueles que tratam dos métodos de resolução de problemas. No que diz respeito aos primeiros pouco se sabe, embora haja pesquisas promissoras na área de AI - onde os pesquisadores acreditam / que um esclarecimento acerca da natureza das representações e / formulações deverá ser feito através de modelos computacionais . A maior parte dos resultados até agora obtidos acerca da natureza dos problemas diz respeito aos métodos de resolução, uma vez / estabelecidas certas categorias de representação dentro das / quais alguns problemas se enquadram.

Como foi sugerido na secção anterior, podemos analisar a questão da formulação dos problemas a partir de pelo menos

duas situações. Na primeira delas temos disponível uma ou mais/ linguagens nas quais podem ser descritos os dados e as condições dos problemas, bem como os diferentes procedimentos de solução./ Os problemas característicos dos períodos de ciência normal parecem se enquadrar nessa situação uma vez que eles são formulados/ na linguagem do paradigma vigente. A necessidade de elaboração/ de uma nova linguagem surge, em especial, nos casos em que os / problemas são formulados em período de revolução. A análise de / tais casos, que caracterizam a segunda situação em que seria possível estudar a ocorrência de formulações de problemas, é extremamente complexa e, como dissemos não temos a pretensão de discutir os das suas possíveis soluções representativas de hipóteses/ explicativas - dada uma determinada linguagem - já nos parece / bastante complicado, considerando-se o estado da arte.

Admitindo então que existe disponível uma linguagem/ na qual os problemas podem ser formulados vamos considerar, como o faz Amarel (1), que um problema caracteriza uma situação que / pode ser descrita através de um enunciado que normalmente apresenta a seguinte forma:

"Dado um data base D, encontrar X tal que as condições C (que dependem de X) sejam satisfeitas". (43)

Onde X é uma variável candidata à solução do problema; D é o elemento que contém informação descritiva acerca do / meio ambiente do problema (tipos de objetos e propriedades de / suas relações, regras gerais de operação no meio ambiente do problema, etc.) e C especifica os atributos da solução desejada.

Amarel ressalta que, em geral, o data base D, é um / sistema de conceitos - um domínio de conhecimento, uma teoria , um sistema de lógica formal - dentro do qual o problema tem um/

significado definido, e em termos do qual as condições estabelecidas podem ser interpretadas e as possíveis operações para a resolução podem ser geradas. Além disso, as condições do problema/C especificam, em geral, as propriedades de X e as relações que/a ligam a outras entidades no meio ambiente do problema.

Dada essa caracterização dos problemas poderíamos / pensar em uma situação onde um cientista ao analisar certos fatos nota que algumas das consequências observacionais de uma dada / teoria não se ajusta a eles. Nesse momento ele depara-se com uma situação de problema que pode não ser clara. Em outras palavras, ele pode estar diante de uma situação que ao ser descrita em termos do enunciado de um problema caracterizar-se-ia como um problema mal definido. Diz-se que um problema é mal definido quando o seu data base D (que contém informação a respeito do meio ambiente do problema em termos da qual suas condições são interpretadas e as possíveis operações de solução são geradas) é incompleto ou mal caracterizado, ou quando as próprias condições do / problema não são completamente especificadas. Nesse caso, o problema permanecerá sem perspectiva de caminhos que levem a sua solução. Como sugere Amarel, o desenvolvimento de uma tal situação pode ser caracterizada como um processo em que, em algum ponto / entre a emergência inicial, talvez incompleta, de um problema e a obtenção de sua solução, um enunciado de problema bem definido é formado, e esse enunciado direcionará as ações subsequentes / para a busca de solução.⁽⁴⁴⁾

O que parece diferenciar a atividade C cotidiana de resolução de problemas daquela em que a solução de um problema é considerada como uma descoberta é justamente essa distinção entre problemas bem e mal formulados. No primeiro caso os solucionado-

res teriam em mãos um enunciado de problema bem definido, onde o seu data base D e as suas condições são completamente especificadas, sendo também conhecidos os conjuntos de procedimentos que poderiam conduzir a sua solução. No segundo caso o solucionador/deverá possuir uma quantidade de informação tal que lhe permita/completar adequadamente o data base do problema e especificar as suas condições.

Se existe alguma racionalidade no processo de completar ou mesmo de selecionar um data base D adequado para um problema (considerando que existe disponível uma linguagem), então, ele não será feito aleatoriamente. O emprego de analogias, simplicidade, simetria, etc. poderá facilitar tremendamente esse / trabalho. É claro que o "back ground" do solucionador desempenhará um papel relevante nessa tarefa, uma vez que a própria seleção dos fatos sob investigação é (como vimos no capítulo II), em grande parte, determinada pelo seu conhecimento do mundo. Assim, para mencionar um exemplo de Kuhn, pelo menos um outro observador/além de Roetgen vira o brilho na tela de cianeto de platina e bário antes da descoberta do raio X. Contudo, apenas Roentgen / considerou que este seria um fato a ser analisado. Essa consideração resultou do reconhecimento de que a tela brilhava quando / não devia fazê-lo, reconhecimento esse que exigia um conhecimento profundo da situação. Pois, para um leigo tal evento teria / passado despercebido ou, se ele tivesse sido notado, possivelmente seria considerado irrelevante.

O estudo sistemático das categorias em que os problemas poderiam ser enquadrados também é um fator que contribui para a formulação correta de um problema específico e, em especial, para a sua solução. Polya (1) sugere que os problemas sejam clas

sificados em função de suas metas, de acordo com duas categorias gerais, as quais ele denomina de problemas de demonstração (problems to prove) e problemas de formação (problems to find).

De acordo com a colocação de Polya, a classe de demonstração inclui aqueles cuja meta requer que certa afirmativa, que foi claramente enunciada, seja demonstrada, conclusivamente, como verdadeira ou falsa. A solução para esse tipo de problema é uma prova, a qual reúne uma seqüência de sub-expressões (os passos da prova) que são axiomas ou teoremas já demonstrados e cujo último elemento é a expressão que se deseja demonstrar. A construção dessa prova desenvolve-se com o auxílio de operadores (as regras de inferência) que são aplicados às sub-expressões, tendo em vista a expressão que se quer demonstrar. Polya sugere algumas indagações e observações que devem ser feitas pelo solucionador para que ele possa familiarizar-se com as partes principais desse tipo de problema:

"Qual a hipótese? Qual é a conclusão?

Separe as várias partes da hipótese.

Procure a relação entre a hipótese e a conclusão.

Considere a conclusão e procure pensar num teorema conhecido que tenha a mesma conclusão ou outra semelhante. (45)

Uma vez familiarizado com as principais partes do problema, que no caso são constituídas basicamente pela hipótese e a conclusão do teorema a ser demonstrado, o solucionador poderá encontrar mais facilmente a solução se ele conseguir responder as seguintes questões:

"Mantenha apenas uma parte da hipótese, ponha a outra de lado; a conclusão ainda é válida? É possível obter alguma coisa de útil a partir da hipótese? Pode imaginar outra hipótese a

partir da qual seja possível chegar-se facilmente à conclusão? Pode mudar a hipótese, ou a conclusão ou, se necessário, ambas, / de modo a que a nova hipótese e a nova conclusão fiquem mais próximas uma da outra?

Utilizou toda a hipótese?" (46)

Os problemas do tipo demonstração resumem-se, basicamente, naqueles que envolvem raciocínios dedutivos onde se busca uma explicação ou uma prova dentro de um sistema formal.

A segunda categoria de problemas - problemas de determinação - inclui aqueles cuja meta requer que um objeto específico (a incógnita) seja encontrado. Esse objeto pode ser uma figura, um número, um programa, uma teoria, uma diagnosis médica. / Um fator determinante nesse tipo de problema é que a sua solução/requer, nos casos mais interessantes, a construção ou expansão de uma estrutura (na forma de um objeto, teoria, etc.) na qual se ajustem as condições do problema. Para a resolução de um problema do tipo determinação; Polya faz recomendações semelhantes àsquelas feitas para os problemas de demonstração; no sentido de familiarizar o solucionador com as suas partes principais.

"Qual é a incógnita? Quais são os dados? Qual é a / condicionante?

Separe as várias partes da condicionante.

Procure a relação entre os dados e a incógnita.

Considere a incógnita e procure pensar num problema conhecido que tenha a mesma incógnita ou outra semelhante." (47)

Uma vez familiarizado com as principais partes do / proplema, que no caso são constituídas pela incógnita, pelos dados e pela condicionante, o solucionador poderá encontrar um plano de solução ao responder as seguintes questões:

"Mantenha apenas uma parte da condicionante, ponha

a outra de lado; até que ponto a incógnita fica assim determinada? Como pode ela variar? É possível obter alguma coisa útil a partir dos dados? Pode imaginar outros dados que sirvam para determinar a incógnita? Pode mudar a incógnita, ou os dados, ou ambas as coisas, de modo a que a nova incógnita e os novos dados fiquem mais próximos entre si?

Utilizou todos os dados? Utilizou toda a condicionante?" (48)

Entre os problemas que pertencem a essa categoria de problemas de determinação, que são de especial interesse para o nosso estudo da descoberta científica, encontram-se aqueles mencionados por Hanson, onde o cientista deseja encontrar uma hipótese explicativa ou uma teoria. Há quem considere que as duas categorias de problemas referidas por Polya sejam equivalentes, e que elas constituem apenas uma forma diferente de representação da mesma idéia subjacente à natureza geral da habilidade de resolução de problemas. Jackson (1), por exemplo, pensa que um problema enunciado de acordo com uma das duas categorias possivelmente poderá ser formulado de acordo com a outra. Isso porque, diz ele, existem certos esquemas gerais de raciocínio na busca de soluções dos problemas que são comuns a ambas as categorias.

Ainda que ninguém negue a existência de mecanismos gerais de resolução de problemas, parece difícil admitir a hipótese de que os problemas de determinação possam sempre ser reduzidos a problemas de demonstração. Isso porque, na primeira categoria de problemas, a relação existente entre as condições iniciais do problema e a situação final, que constitui a sua solução, é em geral, mais complexa do que aquela presente nos problemas pertencentes à segunda categoria. Como sugere Amarel (1), essa complexidade deve-se a que a linguagem em que as condições de um

problema de discriminação são enunciadas é, em geral, diferente da linguagem em que são especificados os recursos de construção da sua solução. Quando os problemas de determinação podem ser resolvidos dentro de um sistema formal, a linguagem em que as condições do problema são especificadas é a mesma em que os recursos / de construção (as regras de inferência, os teoremas e axiomas) da sua solução são especificados. Nesse caso, os problemas de determinação podem ser transformados em problemas de demonstração e vice-versa. Mas, quando a solução de um problema de determinação envolve a construção de objetos ou mesmo de hipóteses que não podem ser descritas dentro de um sistema formal, essa correspondência / dificilmente ocorrerá. Além disso, normalmente a solução de um / problema de determinação requer do solucionador a capacidade de construir hipóteses candidatas à solução na forma de modelos ou / sistemas. Essa exigência torna esses problemas mais difíceis de serem resolvidos do que aqueles pertencentes à categoria de problemas de demonstração, para os quais o solucionador não precisa construir tais hipóteses, uma vez que elas já são conhecidas de antemão.

De qualquer forma como essa classificação dos problemas corresponde aos métodos de resolução disponíveis, apenas um / estudo a respeito destes últimos podem nos levar a decidir acerca da possível redução de uma categoria de problemas a outra. Assim, o próximo passo da nossa investigação deve focalizar o estudo dos métodos de resolução de problemas.

Se estamos certos em considerar a descoberta científica como um processo de resolução de problemas do tipo determinação ou mesmo do tipo demonstração, então o que realmente importa nessa discussão toda é a análise dos seus métodos de solução. No restante desse capítulo estaremos principalmente interessados em in-

vestigar o método de análise descrito por Pappus, ao qual, acreditamos, correspondem o método de descoberta enfatizado por Hanson e o método heurístico (a ser discutido no capítulo seguinte), tal como caracterizado por Newell e Simon na área de AI.

Secção 3 - O MÉTODO DE ANÁLISE

Como dissemos na secção anterior, Polya em A ARTE DE RESOLVER PROBLEMAS menciona os trabalhos de Pappus como uma das / fontes de investigação para o estudo da Heurística. Nos seus ensinamentos da Heurística Pappus dá ênfase ao emprego do método de a nálise que era usado pelos matemáticos gregos para a descoberta / de provas de teoremas e de soluções de problemas. Polya cita a se guinte descrição desse método - que reúne os procedimentos de aná lise e síntese - tal como apresentada por Pappus:

"Na análise, começamos por aquilo de que se / precisa e que admitimos como certo e extraímos conse quências disso e consequência das consequências até chegarmos a um ponto que podemos usar como ponto de / partida da síntese. Porque na análise admitimos que o que precisa ser feito já o foi (o que se procura / já foi encontrado, o que se tem a demonstrar é verda deiro). Indagamos de qual antecedente poderá ser de duzido o resultado desejado; em seguida indagamos de novo qual poderá ser o antecedente desse antecedente, e assim por diante, até chegar-mos finalmente a algo que já conhecemos ou que admitimos como verdadeiro. / A esse procedimento chamamos análise, ou regressão / ou raciocínio regressivo.

Mas na síntese, invertendo o processo, parti mos do último ponto a que chegamos na análise, daqui lo que já sabemos ou admitimos como verdadeiro. Disso deduzimos o que o procedeu na análise e continua-

mos a fazer deduções até que, percorrendo o mesmo caminho no outro sentido, conseguimos finalmente chegar aonde queríamos. A este procedimento chamamos / síntese, ou resolução construtiva ou raciocínio progressivo". (49)

Correspondentemente às categorias de problemas de demonstração e de determinação (discutidas na secção anterior), Polya ressalta que Pappus distingue, respectivamente, dois tipos de análise: a análise teórica que visa estabelecer a verdade dos teoremas, e análise de problemas que visa encontrar incógnitas, entendidas como objetos ou proposições que devem satisfazer determinadas condições estabelecidas pela condicionante do problema. No primeiro caso, diz Polya, parafraseando Pappus,

"... temos de demonstrar ou refutar um teorema claramente enunciado A. Não sabemos ainda se A é verdadeiro ou falso, mas deduzimos de A um outro teorema B, de B um outro C e assim sucessivamente, até chegarmos a um último teorema L, acerca do qual temos um / conhecimento definitivo. Se L for verdadeiro, A também o será, desde que todas as nossas deduções forem conversíveis. A partir de L, deduzimos o teorema K, que precedeu L na análise e, procedendo da mesma maneira, retrocedemos: de C demonstramos B, de B demonstramos A e assim chegamos ao nosso objetivo. Se, porém L for falso, teremos demonstrado que A é falso." (50)

No caso da análise de problemas - onde queremos encontrar uma certa incógnita X - Pappus recomenda que, mesmo sem / saber se de fato, alguma coisa irá satisfazer as condições estabelecidas pela condicionante do problema, devemos admitir que é pos

sível que isso ocorra. Dessa forma,

"... admitindo que há um valor de X que satisfaz a /
condicionante, dela deduzimos uma outra incógnita Y
que tem que satisfazer uma condicionante correlata./
Em seguida correlacionamos Y com uma nova incógnita
e assim sucessivamente, até chegarmos a uma última /
incógnita Z que podemos encontrar por algum método /
conhecido. Se realmente houver um Z que satisfaça a
condicionante a ele imposta, haverá também um X que
satisfará a condicionante original, desde que todas
as nossa deduções forem conversíveis. Encontramos /
primeiro Z ; em seguida, conhecendo Z , encontramos a
incógnita que procedeu Z na análise; procedendo da /
mesma maneira retrocedemos e finalmente, conhecendo/
 Y , obtemos X , que é o nosso objetivo. Se porém, na-
da houver que satisfaça a condicionante imposta a Z ,
o problema relativo a X não tem solução". (51)

Diferentes ilustrações do método de análise descrito
por Pappus são fornecidas por Polya, Hintikka e Remes, Loparic e
outros, através de sua aplicação a problemas de diversas nature-
zas. Como um exemplo de aplicação do método a problemas práticos,
Polya cita o caso de um homem primitivo que deseja atravessar um
riacho mas que não pode fazê-lo de maneira habitual porque o ní-
vel da água está bastante alto. Assim, a travessia do riacho tor-
na-se o objeto de um problema para o referido homem. Ao tentar so-
lucioná-lo ele pode lembrar-se de já ter atravessado um outro ria-
cho através de uma árvore caída. O estabelecimento de uma analo-/
gia entre a situação presente e aquela anteriormente vivida pode-
rá sugerir a ele um mesmo tipo de solução. Se esse for o caso, a
busca de uma árvore será a sua nova incógnita. Como não existe no

local nenhuma árvore caída ele se depara com um novo sub-problema que consiste em saber que meios empregar para derrubar uma das árvores do local por sobre o riacho.

Essa sequência de idéias caracteriza aquilo que // Pappus chamou de análise. Se o homem conseguir concluir a análise ele poderá construir um machado e, a seguir, a ponte. A passagem do homem por sobre a árvore, através do riacho, caracterizará então o ato final de síntese. Como mostra Polya através desse exemplo simples, a análise vem em primeiro lugar e é seguida pela síntese.

"A análise é invenção e a síntese, execução; a análise consiste em conceber um plano e a síntese, em executá-lo". (52)

Apesar da aparente simplicidade do método de análise ilustrado pelo exemplo acima, muita polêmica tem sido gerada em / relação à sua descrição fornecida por Pappus. Duas interpretações principais dessa descrição são conhecidas.

De acordo com a primeira interpretação, no caso da análise teórica, parte-se da hipótese que a proposição a ser provada é verdadeira (aquilo que se procura já foi encontrado) e, através da análise, várias consequências são deduzidas. Esse processo se desenvolve até que se chegue a uma proposição reconhecidamente verdadeira, de onde começará a síntese. Partindo do último ponto que se chegou na análise e, retrazando os seus passos, através de sucessivas derivações, a síntese provará a proposição inicial. / Mas, se na análise se chegar a alguma coisa reconhecidamente falsa, então a proposição inicial também será falsa, e não haverá uma operação reversa.

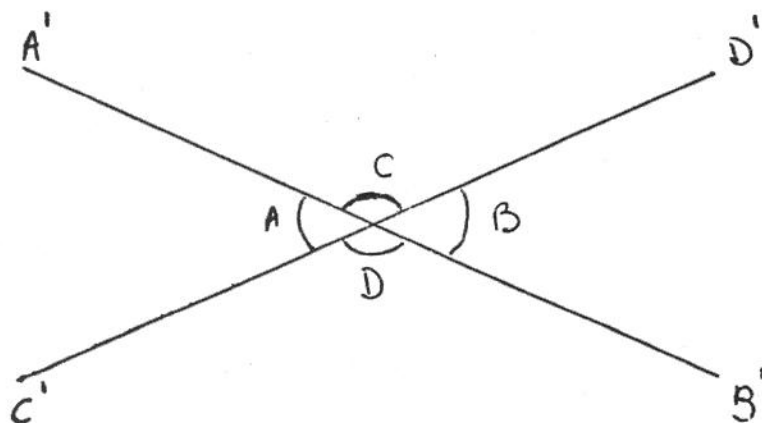
Um exemplo característico dessa interpretação do método de análise é dada por Árpád Szabó, apud Hintikka e Remes (1).

Szabó ilustra sua concepção do método de análise através da demonstração da seguinte proposição (Proposição 15 do livro I dos e lementos de Euclides):

"Se duas linhas retas se cortam, elas formam dois ângulos verticais iguais".

De modo a provar esta proposição através do método de análise efetuamos, de acordo com a interpretação de Szabó, os seguintes passos, que começam com a análise: (53)

1. Admitimos a proposição cuja verdade é buscada como sendo verdadeira. Na figura abaixo isso equivale a supor que (1): $A = B$



2. No segundo passo da análise dizemos: Não sabemos se de fato nossa proposição é verdadeira, mas, se ela for verdadeira, poderíamos aplicar, por exemplo, o axioma 2, segundo o qual, "Se quantidades iguais são adicionadas a quantidades iguais os resultados permanecem iguais". Assim poderíamos con

siderar que (2): $A + C = B + C$.

É importante observar que nosso segundo passo na análise não precisaria ser exatamente esse. Szabó ressalta que os passos da análise, no sentido de Pappus, são apenas tentativos.

3. No terceiro passo questionamos: É nossa última equação verdadeira? Do lado esquerdo da equação temos $A + C$; de acordo com um teorema bem conhecido esses dois ângulos devem ser iguais a dois ângulos retos (proposição I.13): "Se uma linha reta, forma com outra linha reta dois ângulos, elas formarão dois ângulos retos, ou ângulos iguais a dois retos". Mas o mesmo é válido também para o lado direito da equação. Vemos, portanto, que a equação (2) é verdadeira. Chegamos assim a um enunciado reconhecidamente verdadeiro, e podemos tentar inverter a análise e efetuar a síntese.

Na síntese procedemos como segue:

1. Olhando as linhas $C'D'$, $A'B'$ vemos que a soma dos ângulos A e C é igual a dois ângulos retos. Isso decorre da proposição I.13 "Se uma linha reta forma com outra linha reta dois ângulos, elas formarão dois ângulos retos, ou ângulos iguais a dois retos". Portanto $A + C = 2R$. O primeiro passo na síntese é a aplicação de um teorema bem conhecido ao caso em questão.
2. O segundo passo é novamente a aplicação do mesmo teorema aos ângulos formados pelas linhas $A'B'$, $C'D'$. Vemos que a soma dos ângulos B e C deve ser igual a dois ângulos retos ($B + C = 2R$).

3. Temos de 1 e 2 que $A + C$ e $B + C = 2R$. O terceiro passo da síntese consiste agora em aplicar o teorema 1 que diz: "Coisas iguais a uma mesma coisa são também iguais entre si". Portanto, no nosso caso $A + C = B + C$.
4. O último passo da síntese será a aplicação do axioma 3: "Se quantidades iguais são subtraídas de quantidades iguais, as resultantes são iguais". No caso $A + (\text{não}) C = (\text{não}) C + B$, e esta é a conclusão da prova. A aplicação do método termina com a proposição que se queria demonstrar, ou seja $A = B$.

A interpretação de Szabó do método composto de análise e síntese, como exemplificado acima, assume que o movimento da análise é descendente, i.é., que o processo se desenvolve dedutivamente a partir de uma suposição inicial. Há quem pense, entretanto que, na análise, o procedimento correto não consiste em ver o que se segue da proposição original, mas, sim, em ver a partir de que a suposição inicial se segue. Tal ponto de vista é manifesto, por exemplo, em Hintikka e Remes (1). Eles jogam que um dos elementos mais importantes do método de análise (que é ignorado na interpretação apresentada acima) diz respeito à necessidade de se efetuar construções auxiliares durante o desenvolvimento do método. Essa ênfase no emprego das construções auxiliares caracteriza a segunda interpretação do método de análise.

Os defensores da segunda interpretação do método de análise - também conhecida como interpretação construcional - pensam que embora os passos da análise possam ser expressos exclusivamente em termos dedutivos, i.é., como passos de uma proposição à outra, é mais interessante, de um ponto de vista heurístico, //

considerá-los como passos de um objeto geométrico à outro dentro de uma certa configuração. O método de análise, considerado como análise teórica ou como análise de problemas, pode ser melhor entendido, diz Hintikka, à medida em que dirigimos nossa atenção para o objeto de investigação da análise, tal como concebido pelos antigos matemáticos gregos. Esse objeto era essencialmente uma forma geométrica ilustrada por uma figura.⁽⁵⁴⁾ Os vários passos da análise desenvolvem-se, então, através de construções auxiliares / (introduzindo-se novos elementos na figura através de postulados) e são direcionados levando-se em conta a interdependência entre as partes da figura e, também, as proposições que poderiam auxiliar no seu desenvolvimento. A idéia central aqui é que o que é analisado na análise não é uma figura única, determinada pelo teorema ou problema em questão, mas, sim, uma figura ampliada por / construções. A descoberta das construções adequadas constitui o ponto mais importante do trabalho do solucionador.

A tarefa do método de análise, concebido dessa maneira, será, principalmente, sistematizar a informação acerca dos dados do problema em questão de modo a reduzi-la, através da introdução de construções auxiliares, à alguma coisa conhecida ou "pertencente a classe dos primeiros princípios". De modo a esclarecer essa interpretação construcional do método vamos apresentar, resumidamente, a reconstrução da descrição de Pappus da análise teórica tal como feita por Hintikka e Remes (1) e também por Loparic' (1). De acordo com esses autores o método pode ser reconstruído / da seguinte maneira:

O método de análise é composto pelos procedimentos de análise e síntese. No caso da análise teórica, onde queremos encontrar uma prova para um teorema, antes de começar o procedimento de análise propriamente dito, devemos instanciar o teorema

a ser demonstrado, construindo ou indicando um caso em que ele se aplica. Uma vez instanciado o teorema, inicia-se a análise. Na análise o processo é desenvolvido em duas partes. Na primeira parte, que é chamada de análise própria, ou transformação, assumindo como verdadeira a proposição a ser demonstrada, buscamos dois tipos de antecedentes, a partir dos quais ela poderia ser inferida. De um lado, procuramos encontrar as premissas a partir das quais ela poderia ser deduzida, e por outro, procuramos estabelecer as construções legítimas e os dados a partir dos quais tal proposição, instanciada, poderia ser construída. Essa primeira parte da análise termina quando encontramos uma proposição reconhecidamente verdadeira e as construções que podem ser realizadas.

Na segunda parte da análise, também chamada de resolução, efetuamos, igualmente, duas coisas: provamos a verdade das premissas obtidas na transformação, bem como a legitimidade das construções realizadas anteriormente.

A síntese começa então a partir do último passo a / que se chegou na análise. Ela também se divide em duas partes. Na primeira parte, chamada construção da síntese, ou simplesmente / construção, constrói-se a figura que instancia a proposição inicial a ser provada, a partir das construções que mostraram-se legítimas na resolução. Na segunda parte da síntese, também conhecida como síntese própria, a proposição inicial é finalmente provada a partir das premissas obtidas na transformação, e provadas na resolução.

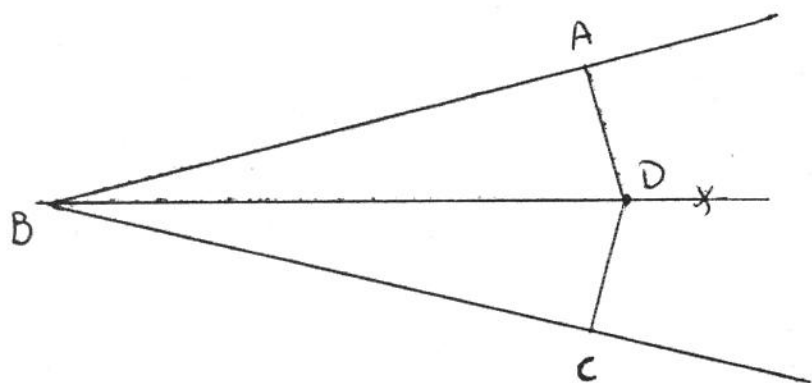
O método de análise, tal como acabamos de apresentar, tem 4 fases, quais sejam: (1) análise própria, (2) resolução, (3) construção e (4) síntese própria. De modo a exemplificar o papel da cada uma delas, vamos considerar a aplicação do método de análise, assim interpretado, no caso da demonstração de um teorema /

da geometria que é apresentado por Nilson. (55) O problema consiste em provar que um ponto situado na bissetriz de um ângulo é equidistante dos lados do ângulo. De acordo com a segunda interpretação do método de análise, nosso problema pode ser resolvido nas seguintes etapas:

Chamamos de P_0 nossa proposição inicial a ser demonstrada.

P_0 : Um ponto situado na bissetriz de um ângulo é equidistante dos lados do ângulo.

Antes de começar a análise, instanciamos essa proposição, construindo um caso em que ela se aplica.



O nosso problema assim instanciado pode ser enunciado da seguinte forma:

Dado: $\angle DBA = \angle DBC$

$AD \perp BA$

$CD \perp BC$

DB é um segmento

$\triangle BCD$ é um triângulo

$\triangle BAD$ é um triângulo

Provar: $AD = CD$

Na primeira parte da análise, chamada transformação, supondo que P_0 é verdadeira, buscamos os antecedentes a partir / dos quais ela poderia ser deduzida, e procuramos também estabelecer as construções legítimas e os dados a partir dos quais a proposição instanciada poderia ser construída. Os antecedentes a partir dos quais P_0 poderia ser deduzida correspondem a axiomas ou / teoremas já demonstrados. Eles poderiam estar, por exemplo, entre as seguintes proposições:

$P_1 : \angle X_1 = \angle X_2 \quad / \quad X_1 = \text{ângulo reto}, X_2 = \text{ângulo reto (todos os /$
 $\text{ângulos retos são iguais}).$

$P_2 : X_1X_2 = X_1X_2$ (um segmento é igual a si mesmo).

$P_3 : \angle X_1 = \angle X_1$ (um ângulo é igual a si mesmo).

$P_4 : \Delta X_1X_2X_3 \cong \Delta Y_1Y_2Y_3 \quad / \quad X_3X_1 = Y_3Y_1; \angle X_3X_1X_2 = \angle Y_3Y_1Y_2;$

$\angle X_1X_2X_3 = \angle Y_1Y_2Y_3$ (lado, ângulo, lado=lado, ângulo, lado)

$P_5 : \angle X_1X_2X_3 = \text{ângulo reto} \quad / \quad X_1X_2 \perp X_2X_3$ (dois segmentos perpen-
 $\text{diculares definem um ângulo reto}).$

$P_6 : X_2X_3 = Y_2Y_3 \quad / \quad \Delta X_1X_2X_3 \cong \Delta Y_1Y_2Y_3$ (lados correspondentes de
 $\text{triângulos iguais são iguais}).$

Chamemos de T os dados do nosso problema, que inclui tanto a informação contida no antecedente do seu enunciado bem co-
 mo as construções que podem ser efetuadas, através de postulados, com base nela. Vamos investigar a possível interrelação existente entre T e a conclusão desejada $AD = CD$.

Analisando o que é dado e o que é pedido no problema em questão, vemos que entre as proposições $P_1 - P_6$ existe pelo me-
 nos uma delas que manipula informação análoga àquela que está con-
 tida no que é pedido pelo problema. Com efeito, de acordo com P_6 ,
 vemos que é possível estabelecer a igualdade dos lados correspon-
 dentes de dois triângulos se estes triângulos forem iguais. Assim

se considerarmos $X_2=A$; $X_3 = D$; $X_1=B$ e $Y_2=C$; $Y_3=D$; $Y_1=B$ teremos, de acordo com a nossa figura, que:

(1) : $AD=CD$ / $\triangle BAD \cong \triangle BCD$, mas, sabemos por P_4 que

(2) : $\triangle BAD \cong \triangle BCD$ / $BD = BD$; $\angle DBA = \angle DBC$; $\angle BAD = \angle BCD$

O nosso problema inicial se reduz, então, a provar que $\triangle BAD = \triangle BCD$, que, por sua vez, se reduz a um novo subproblema que consiste em provar que $BD = BD$; $\angle DBA = \angle DBC$; $\angle BAD = \angle BCD$. Mas, $BD = BD$ é um termo primitivo e, $\angle DBA = \angle DBC$ é um dado do problema. Resta saber se $\angle BAD = \angle BCD$. De acordo com P_1 temos que, se dois ângulos são retos então eles são ângulos iguais.

O nosso problema inicial reduz-se finalmente a investigar se $\angle BAD$ e $\angle BCD$ são ângulos retos. Segundo P_5 , essa condição pode ser satisfeita se $AD \perp BA$ e $BC \perp DC$, respectivamente. / Mas $AD \perp BA$ e $BC \perp DC$ fazem parte dos dados do problema. Chegamos assim a algo conhecido, e aqui termina a transformação.

Continuamos agora com a segunda parte da análise, chamada resolução. Na resolução provamos a verdade das premissas e a legitimidade das construções efetuadas antes dela. Esse segundo / passo do método serve para estabelecer a independência dessas / construções em relação à conclusão desejada. Apenas a informação / provinda de T (que inclui a informação disponível no antecedente / do problema e nos axiomas e teoremas já demonstrados) deve ser / considerada nessa segunda fase do método que desenvolve-se da seguinte maneira:

Dado que $BC \perp DC$ e $AD \perp BA$, então $\angle BCD$ e $\angle BAD$ são ângulos retos (por P_5). Daí, $\angle BCD = \angle BAD$ (por P_1). Além disso, $BD = BD$ (P_2) e $\angle DBA = \angle DBC$ (dado por construção). Portanto, de acordo com P_4 , $\triangle BAD \cong \triangle BCD$. Mas, se estes triângulos são seme-

lhantes, os seus lados correspondentes são iguais. Isso resolve o problema.

Após a resolução iniciamos a síntese. Na primeira / parte da síntese construímos a figura que instancia a proposição inicial a partir das construções provadas serem legítimas na resolução. Essa etapa, que corresponde à terceira etapa do método, é, em geral, apenas mencionada uma vez que, nos problemas de demonstração, as construções que são introduzidas na análise própria são, na maioria dos casos, as mesmas usadas na construção da síntese./ Hintikka e Remes (1) sugerem que, talvez, a omissão dessa etapa deve-se a que ela é tão óbvia que se torna desnecessária.

A última etapa do método se dá com a realização da / síntese própria que prova a proposição inicial, começando com as premissas obtidas na transformação e provadas na resolução. Quando os passos da análise são reversíveis, a síntese própria torna-se igualmente trivial e procede como se segue:

Uma vez estabelecido que $X_1 = B$; $X_2 = A$; $X_3 = D$ e / $Y_1 = B$; $Y_2 = C$; $Y_3 = D$, e sendo:

(1) $BC \perp DC$ (dado)

(2) $AD \perp BA$ (dado)

(3) $\angle BCD$ é um ângulo reto (Por P_5 aplicada à 1)

(4) $\angle BAD$ é um ângulo reto (por P_5 aplicada à 2)

(5) $\angle BCD = \angle BAD$ (por P_1 aplicada à 3 e 4)

(6) $\angle DBA = \angle BCD$ (por construção - BD é bissetriz de ABC)

(7) $DB = DB$ (por P_2).

(8) $\triangle BAD \cong \triangle BCD$ (por P_4 aplicada à 5, 6, 7)

(9) $AD = CD$ (por P_6 aplicada à 8). C.Q.D.

A análise de problemas que se aplica aos problemas / de determinação (problems to find) - preserva a mesma estrutura / básica da análise teórica que acabamos de ilustrar. Antes de ini

ciar a análise propriamente dita, traçamos uma figura que ilustra aquilo que é dado e o que é pedido no problema. Começamos a análise admitindo que o que se procura já foi encontrado e buscamos as construções legítimas a partir das quais a construção desejada poderia se seguir. Se na transformação chegarmos a um resultado satisfatório, prosseguimos a análise com a resolução onde provamos a legalidade das construções obtidas na etapa anterior. Na síntese construímos finalmente o objeto desejado e provamos, na síntese própria, a legitimidade dessa construção.

De modo a ilustrar o desenvolvimento do método de análise, entendido de acordo com a interpretação construcional, no caso dos problemas de determinação, vamos apresentar um exemplo / de um problema traduzido por Hintikka e Remes do Livro VII de *Collectio* (Prop. 155, Hultsch 904). Esse problema consiste em encontrar, em um segmento de círculo dado, duas linhas retas AC, CB numa razão dada. As principais partes do procedimento de solução / são enumeradas pelos autores, como segue:

"I (a) Aquilo que é dado.

Seja dado um segmento de círculo com a corda AB.
seja dada uma razão. (cf. Figura 2)

I (b) O que é buscado.

...no segmento, duas linhas AC, CB na razão dada.

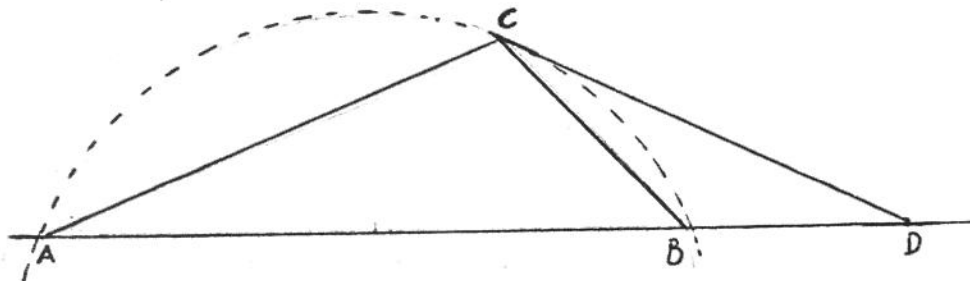


Figura 2

II (a) Análise própria.

Admitimos que aquilo que é buscado já foi encontrado.

Seja traçada uma tangente CD a partir de C;

$$AC^2 : CB^2 = AD : DB.$$

II (b) A resolução.

Mas $AC : CB$ é uma razão dada (cf. I(a)); portanto $AC^2 : CB^2$ é dada; portanto a razão $AD : DB$ é dada. / Os pontos A e B são dados; portanto o ponto D é dado, e a tangente DC é dada (prop. 91); portanto o ponto C é dado.

III (a) Construção da síntese.

A síntese é como segue.

Seja o segmento ABD, e a razão $m:e$. Fazemos // $AD:DB = m^2:e^2$. Traçamos através de D a tangente DC; eu digo que as linhas AC, CB resolvem o problema.

III (b) Apodeixis da síntese.

Porque $m^2:e^2 = AD:DB$ e $AD:DB = AC^2 : CB^2$ (CD é uma tangente por construção, cf. III (a)), $m^2:e^2 = AC^2 : CB^2$; portanto $m:e = AC:CB$; assim as linhas AC, CB resolvem o problema". (56)

O objetivo de Hintikka e Remes com esse exemplo é mostrar que, também na análise de problemas, a resolução (etapa II-(b)) serve para estabelecer a independência, em relação à construção desejada, de quaisquer construções necessárias para a obtenção do argumento desejado (ou seja, que todas as entidades geométricas necessárias para o argumento são dadas). Entretanto, esse exemplo serve também para os nossos propósitos de ilustrar a segunda interpretação do método de análise aplicado aos problemas de determinação.

Uma vez ilustrada a aplicação do método de análise aos problemas de demonstração e de determinação, e admitindo que o processo de descoberta científica pode ser entendido como um processo de resolução de problemas, seria interessante investigar a relevância desse método para o estudo dos problemas de descoberta científica. A primeira questão que deve ser esclarecida, antes mesmo de se falar sobre isso, consiste em saber qual das duas interpretações do método de análise poderia ser a mais adequada para solucionar os problemas de descoberta. Como vimos, de acordo com a primeira interpretação (ilustrada através da argumentação de Szabó), o método se desenvolve através de uma série de inferências dedutivas, possivelmente reversíveis. Se considerarmos que essa interpretação poderia ser a mais adequada, então, teremos que admitir que o processo de descoberta científica é apenas um caso particular do processo de descoberta de provas. A distinção entre o processo de justificação e o processo de descoberta desaparece no que diz respeito à maneira em que são empregadas as inferências dedutivas nos dois processos.

A suposição de reversibilidade das inferências dedutivas é, entretanto, muito restritiva e, nesse sentido, a análise concebida do ponto de vista construcional parece ser mais frutuosa

sa para um estudo da descoberta. Isso porque, além de não excluir a interpretação proposicional - que representa apenas um caso / particular da descoberta de provas, ela põe em relêvo a importância heurística de se considerar as partes de um todo objetual / num determinado contexto de análise. Esse ponto é amplamente enfatizado por Hintikka e Remes (1) com respeito à metodologia heurística dos geometras gregos. Loparic' (1) mostra que Kant insiste sobre o mesmo ponto.

A importância do método de análise (entendido de acordo com a interpretação construcional) na ciência moderna é analisada por Hintikka e Remes(1), que discutem, em particular, o papel desse método nos trabalhos de Galileo, Newton e Descartes. Comentando uma famosa passagem da obra de Newton onde ele expõe/ o seu método de investigação (passagem essa que reproduzimos parcialmente abaixo), Hintikka e Remes apontam para a grande influência que o paradigma analítico exerceu sobre esse cientista.

"Na Matemática e na Filosofia Natural, a investigação/ das coisas difíceis através do Método de Análise deve sempre preceder o Método de Composição... Através dessa forma de Análise / podemos proceder a partir dos Compostos para os Ingredientes, e a partir dos Movimentos para as Forças que os produzem, em geral, a partir dos Efeitos para as suas Causas, e a partir de Causas / particulares para as mais gerais, até que o argumento termine / com a Causa mais geral. Esse é o Método de Análise: E a Síntese consiste em assumir as Causas descobertas, e estabelecidas como/ princípios, e então explicar os fenômenos que delas procedem, e provar as Explicações"(57)

Hintikka e Remes ressaltam que o denominador comum / dos dois métodos mencionados por Newton nessa passagem - a Análise Matemática e a Análise Experimental-nem sempre é devidamente/

compreendido. Se interpretarmos as palavras de Newton sob a ótica da análise construcional, dizem eles, a conexão entre esses dois métodos torna-se óbvia:

"Newton, como um matemático experiente, pensava na análise geométrica como uma análise de figuras, ié, como um estudo sistemático das interdependências dos objetos geométricos em / uma dada configuração, incluindo tanto os fatores conhecidos como os fatores desconhecidos. A partir dessa idéia basta um passo para se conceber o procedimento analítico como um método geral para estudar tais interdependências dinâmicas, sem fazer diferença entre os elementos conhecidos e desconhecidos. É nesse sentido que o conceito de análise era extendido a outras partes da matemática ... Newton estava tentando analisar uma situação experimental da mesma forma que os geômetras Gregos como Pappus tentavam analisar uma figura procurando estabelecer as interrelações entre suas várias partes". (58)

Seria necessário um estudo detalhado das idéias metodológicas de Newton para podermos julgar a adequação das teses / de Hintikka e Remes (1) sobre a influência da análise construcional no trabalho desse cientista. O mesmo ocorre com relação a Galileu e Descartes. O escopo do nosso trabalho não permite um tal estudo e a investigação desse ponto fica como uma sugestão para / uma tarefa a ser realizada na área de Metodologia da descoberta . Para finalizar a primeira parte da nossa dissertação queremos apenas enfatizar que a proposta de Hanson para um estudo de descoberta científica parece ter sido igualmente influenciada pelo paradigma da análise construcional.

Com efeito, encontramos vários pontos em comum entre as idéias presentes no raciocínio retrodutivo e aquelas discutidas na interpretação construcional do método de análise. Assim, /

por exemplo, vimos que, de acordo com o raciocínio retrodutivo / esquematizado por Hanson, o cientista, nas suas descobertas, parte de fatos, que apesar de anômalos, são admitidos como indubitáveis. O primeiro passo que se segue à detecção de uma anomalia / consiste na consideração de algum tipo de hipótese que a explique, ou seja, a partir da qual a anomalia em questão seria considerada como algo a ser esperado. Para que o processo de seleção / de um tipo de hipótese adequada não seja irracional, o cientista / deve ter dados à mão, que sejam relevantes para o estudo do problema. A partir desses dados ele sai em busca das causas da anomalia em questão.

Tanto no raciocínio retrodutivo, como no método de / análise, o estabelecimento de analogias entre casos problemáticos e não problemáticos, bem como considerações acerca de simetrias e simplicidade desempenham um papel fundamental. Em ambos os casos, é igualmente essencial a consideração das relações entre as partes do todo objetual em questão para a seleção das hipóteses, ou das construções, a serem elaboradas.

Uma vez descobertas as hipóteses das quais se pressupõe decorrer o fato a ser explicado, então, de acordo com o raciocínio retrodutivo, e também com o método de análise, a primeira / parte do método está terminado. Resta então explorar o conjunto / de hipóteses à maneira HD para confirmá-las. Essa parte do processo corresponde à segunda etapa do método de análise ("movimento / descendente"). No decorrer do processo de confirmação de hipóteses, como sugere Hanson, novas anomalias poderão ser detectadas e o processo de descoberta poderá continuar.

A descoberta, assim caracterizada, corresponde, ao / nosso ver, a um processo de resolução de problemas onde o raciocínio retrodutivo (entendido como uma possível versão do método /

de análise) desempenha o papel de guia na busca de soluções.

Como tentamos mostrar no capítulo II, o raciocínio reprodutivo, tal como apresentado por Hanson, aparece mesclado às pressuposições desse autor acerca da relevância dos contextos / presentes nas investigações científicas, bem como o que seja observação, fatos, etc. Dado que Hanson não desenvolveu detalhadamente estas noções pois, como dissemos, ele parece estar principalmente interessado em traçar, de forma geral, um programa para uma análise possível da investigação científica, muitas de suas / idéias ficam ainda por ser esclarecidas. Com a intenção de esclarecer alguns dos pontos que não foram suficientemente detalhados por Hanson na sua análise da descoberta, e procurando obter mais informações sobre os métodos de resolução de problemas, tentaremos, na segunda parte de nosso trabalho, analisar algumas teses / que acabamos de abordar, agora sob o prisma da Inteligência Artificial. Uma possível vantagem desta nova abordagem parece residir no fato de que os pesquisadores desta área procuram elaborar uma teoria da descoberta que se assemelha àquela proposta por / Hanson, no que diz respeito aos procedimentos metodológicos, prescindindo, entretanto, de noções tais como "observação teórico-carregada", "fatos" e outras que poderiam, em certo sentido, dificultar o estudo da descoberta. Além disso, a abordagem sobre métodos de resolução de problemas, tal como desenvolvida nessa área de estudos, parece ser de grande proveito para aqueles que se interessam pelo tema.

METODOLOGIA DA DESCOBERTA CIENTÍFICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

PARTE II

SMITH & TINKER'S

Patent Double-Action, Extra-Responsive,
Thought-Creating, Perfect-Talking

MECHANICAL MAN

Fitted with our Special Clock-Work Attachment.

Thinks, Speaks, Acts, and Does Everything but Live.

Manufactured only at our Works at Evna, Land of Ev.
All infringements will be promptly Prosecuted according to Law.



DOROTHY WOUND UP NUMBER ONE

DIRECTIONS FOR USING:

For THINKING:—Wind the Clock-work Man under his left arm, (marked No. 1.)

For SPEAKING:—Wind the Clock-work Man under his right arm, (marked No. 2.)

For WALKING and ACTION:—Wind Clock-work in the middle of his back, (marked No. 3.)

N.B.—The Mechanism is guaranteed to work perfectly for a thousand years.

and Tinker's mechanical man from Frank Baum, Oz
(with permission)

C A P Í T U L O I V

TEORIA DE RESOLUÇÃO HUMANA DE PROBLEMAS

INTRODUÇÃO

Na segunda parte do presente trabalho, que inclui os capítulos IV e V, procuramos analisar, sob a perspectiva da Inteligência Artificial, algumas das idéias tratadas na parte I sobre métodos de resolução de problemas, bem como a tese de que a descoberta científica pode ser entendida como um processo de resolução de problemas. Para cumprir essa meta, começamos por apresentar na seção I do capítulo IV alguns dos pressupostos de Inteligência Artificial.

Na seção 2 do capítulo IV, apresentamos a noção de representação de problemas, e analisamos dois modelos de problemas / desenvolvidos em Inteligência Artificial, os quais correspondem às categorias de problemas de demonstração e problemas de determinação, sugeridas por Polya.

Na seção 3 desse capítulo, discutimos o método heurístico de busca, tal como apresentado por Newell e Simon em Human Problem Solving. Esse método reúne estratégias bastante gerais para resolução de problemas de xadrez, de Lógica Elementar e outros que podem ser representados através de símbolos. Apresentamos também dois conjuntos específicos destas estratégias, as quais são denominadas de "método de análise de meios e fins" e "método de planejamento". Para concluir o capítulo IV ressaltamos, os pontos que nos parecem comuns entre o raciocínio retrodutivo (discutido por Hanson no capítulo anterior), o método de análise descrito por Pappus e o método heurístico de busca. Com isso fornecemos os elementos básicos para a discussão, no capítulo seguinte, da teoria / da descoberta científica desenvolvida por Simon sob a perspectiva da Inteligência Artificial.

Secção 1 - PRESSUPOSTOS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Inteligência Artificial (AI), no sentido genérico do termo, tal como referido na introdução geral deste trabalho, divide-se em duas vertentes que são representadas pelos projetos de Simulação Cognitiva (daqui para frente CS, do inglês - Cognitive Science) e Inteligência Artificial no sentido restrito do termo (daqui para frente AI*). Ainda que não exista uma linha nítida separando as duas vertentes, podemos dizer que uma distinção básica entre eles reside no grau de realidade psicológica dos modelos elaborados pelos pesquisadores nos seus respectivos domínios de estudo.

O projeto CS tem como objeto de estudos o comportamento humano. O objetivo dos seus pesquisadores é estudar e explicar os processos mentais humanos responsáveis pelo comportamento/inteligente. O estudo desses processos é feito com o auxílio de técnicas computacionais que permitem a construção de modelos, na forma de programas, para a simulação, através do computador digital, de segmentos do comportamento humano inteligente.

O que deve ser entendido por "comportamento inteligente" é uma questão controversa. Contudo, a tendência geral dos pesquisadores do projeto CS é considerar que uma característica / básica desse comportamento é a capacidade manifesta de resolver / problemas. É nesse sentido que Margaret Boden em Artificial Intelligence and Natural Man afirma:

"A inteligência pode ser definida como a habilidade/criativa de um sistema para manipular símbolos, ou processos de informação, dadas as exigências da tarefa em questão"(59)

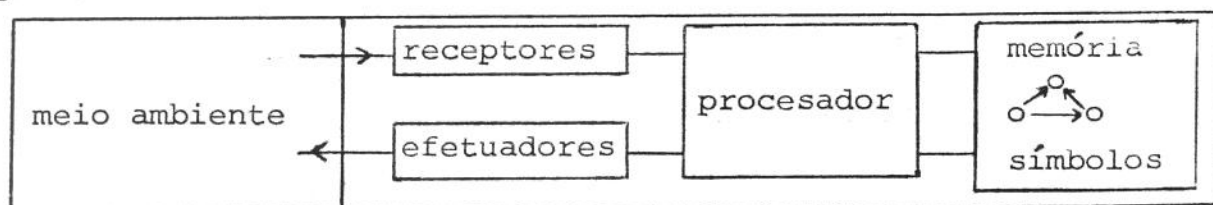
Tendo em vista essa concepção de inteligência, gran-

de parte dos trabalhos desenvolvidos pela primeira vertente da AI diz respeito à simulação do comportamento humano durante a atividade de resolução de problemas.

No caso do projeto AI*, existe uma preocupação menor por parte dos pesquisadores para com o grau de realidade psicológica dos modelos. Eles estão interessados numa versão mais abstrata e técnica da AI. Para tais pesquisadores é de pouca relevância a questão de se os processos empregados pela máquina na execução das tarefas são semelhantes ou não àqueles utilizados pelos seres humanos.

Ainda que existam diferenças entre as duas vertentes da AI, é comum a todos os seus pesquisadores a mesma tática de análise dos processos responsáveis pelo comportamento inteligente. Essa tática consiste em elaborar um sistema particular que possa realizar determinada tarefa e, considerar, a seguir, quais aspectos desse sistema particular seriam necessários para que um sistema qualquer executasse tal tarefa. Os estudos realizados pelas duas vertentes, tem como pressuposto a tese de que os macroprocessos manifestos no comportamento-inteligente podem ser devidamente explicados reduzindo-os a mecanismos simples, átomos hipotéticos chamados "processos elementares de informação". Os sistemas que manipulam tais processos são conhecidos em AI como "sistemas de processamento de informação", abreviadamente IPS, (do inglês Information Processing System).

O IPS possui uma memória (elemento capaz de estocar símbolos e estruturas de símbolos), um processador, receptores e efetadores. A estrutura geral de um IPS pode ser representada da seguinte maneira:



Este sistema é um dispositivo extremamente geral de manipulação de símbolos. Os sinais de símbolos estocados na memória são arranjados em estruturas de símbolos através de relações/ que possibilitam a elaboração de listas e estruturas de listas, / com as quais o sistema trabalha.

O processador de informações é um componente do IPS que executa todo e qualquer tipo de processo para o qual ele foi construído. O processador consiste de:

- a- um conjunto fixo de processos elementares de informação;
- b- uma memória imediata (short-term), e
- c- um intérprete.

Os processos elementares de informação, por sua vez, são postulados de acordo com cada sistema particular. Eles não / são explicados (isto é, não se fornece uma fundamentação para eles em termos de estruturas ainda mais elementares), mas exige-se que eles sejam bem definidos e que possam ser efetuados por mecanismos conhecidos. Os principais processos elementares de informação disponíveis são aqueles que comparam símbolos, efetuam associa- / ções, lêem, copiam e modificam símbolos e estruturas de símbolos. As estruturas de símbolos compostas, isto é, as listas, são discriminadas umas das outras comparando-se processos que aplicam / testes básicos para identificar símbolos em determinadas posições nas estruturas.

Finalmente, a consideração do meio ambiente é de fundamental importância para o funcionamento de um sistema de processamento de informações. O meio ambiente pode ser entendido como a informação disponível para a realização de uma tarefa. Ele atua como base de referência em relação à qual está voltada a meta do sistema. Pelo fato de que a delimitação do meio ambiente depende essencialmente da tarefa a ser executada ele é conhecido como "meio

ambiente de tarefas". Uma descrição do meio ambiente deve incluir os tipos de objetos disponíveis, as propriedades de suas relações, e as suas regras gerais de operação.

Levando em conta todos estes elementos, os pesquisadores da AI elaboram programas para a realização de tarefas. Tais programas constituem sequências hierárquica e condicionalmente / ramificadas de processos elementares de informação. De modo a executar uma tarefa. O IPS efetua uma sequência de ações na tentativa de transformar a situação A, que lhe é fornecida, em uma situação desejada B. A forma em que essa sequência de ações é efetuada pelo programa depende do método de busca estabelecido pelo programador. Em geral ela é dirigida de acordo com certas estratégias que caracterizam o método conhecido em AI como método heurístico de busca. Através desse método a informação relevante para a execução de uma determinada tarefa é selecionada ignorando-se o restante da informação que, embora disponível no meio ambiente, não esteja vinculada à meta do problema a ser solucionado.

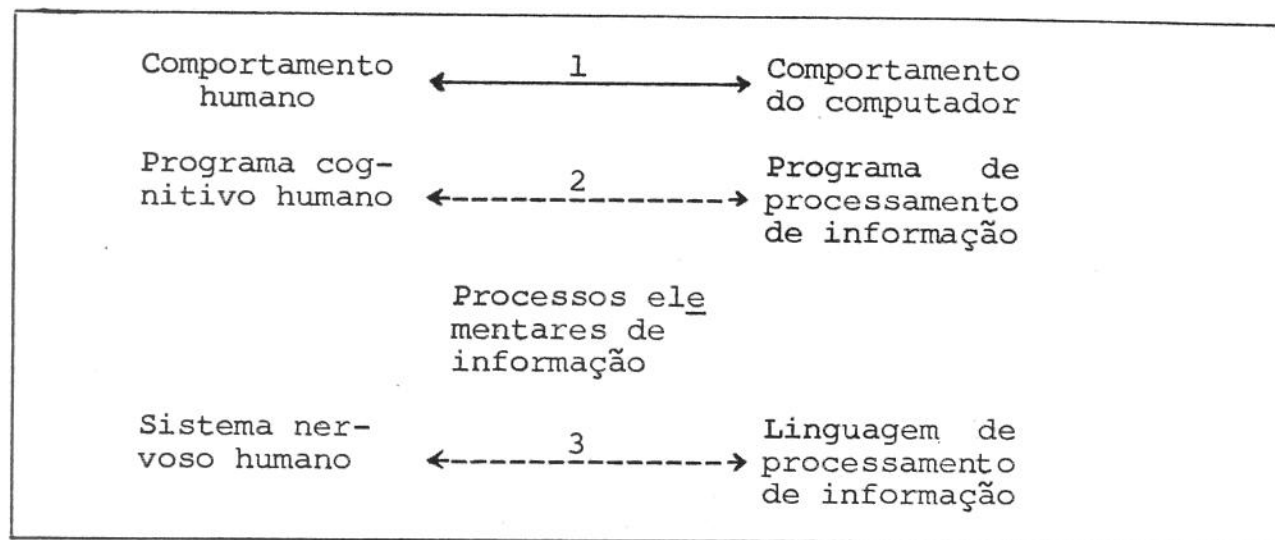
O estudo do método heurístico pode ser feito visando ou não a explicação do comportamento humano durante a resolução / de problemas. A peculiaridade do projeto CS consiste no fato de que os seus pesquisadores, empenhados no objetivo de simular o comportamento humano, elaboram suas teorias utilizando-se de uma técnica específica que pode ser resumida em poucas etapas. A primeira etapa consiste em gravar as declarações proferidas por alguns indivíduos que verbalizam seu pensamento enquanto resolvem determinados problemas. A seguir, o teórico ensaia algumas hipóteses a cerca dos processos mentais que possivelmente estariam envolvidos na ação em questão. A partir dessas hipóteses ele estrutura um programa que em sua opinião simulará o relato gravado. Finalmente, após processar esse programa no computador digital ele compara o

relato do indivíduo com o roteiro fornecido pela máquina. Se os fluxos de palavras registrados no roteiro e no relatório forem razoavelmente semelhantes, então considera-se que uma explicação para o comportamento sob estudo foi obtida. Os pesquisadores do projeto CS admitem, neste caso, que as estratégias utilizadas pelo computador são análogas às empregadas pelo indivíduo humano. Caso contrário, o programa deverá ser modificado com base nas discrepâncias encontradas durante o confronto de palavras. O mesmo procedimento é repetido até que um ajuste satisfatório seja obtido.

Ao considerar que uma explicação para o comportamento sob estudo foi obtida os pesquisadores tem como pressuposto a tese de que:

"As teorias explicam o comportamento manifesto durante a realização de uma tarefa descrevendo a manipulação da informação até um nível no qual um intérprete simples (tal como um computador digital) possa transformar a descrição em um processo efetivo para executar a tarefa".⁽⁶⁰⁾

Esse ponto de vista acerca do papel explicativo das teorias constitui um dos principais alicerces da concepção mais geral que fundamenta o projeto CS. A abordagem feita até agora dessa concepção pode ser esquematizada através do seguinte diagrama, sugerido por Gunderson:⁽⁶¹⁾



onde:

1. A dupla seta sólida ($\longleftrightarrow$) indica que algumas comparações diretas podem ser feitas entre a máquina e o sistema humano.
2. A dupla seta pontilhada ($\dashleftrightarrow$), traçada nos níveis 2 e 3, indica que a comparação é indireta e hipotética.

O aspecto relevante, para nós, dessa abordagem do comportamento humano diz respeito ao estudo dos métodos de resolução humana de problemas. A teoria de resolução humana de problemas proposta por Newell e Simon trata essencialmente desses métodos. Uma vez que, para o desenvolvimento dessa teoria, os autores empregam a técnica de simulação do comportamento humano através do computador digital, os detalhes relativos aos mecanismos biológicos estão fora do seu escopo. Estão igualmente fora de seu escopo as questões referentes à percepção, à habilidade motora ou qualquer desenvolvimento relacionado à idade dos indivíduos. Nesse sentido, as diferenças existentes entre o projeto CS e AI se minimizam, em particular, quando o foco de estudo diz respeito aos métodos de resolução de problemas. No que se segue estaremos recorrendo, algumas vezes, às idéias de teóricos da AI*, como por exemplo Nilson, Amarel e outros, para ilustrar e esclarecer determinados tópicos ligados às experiências de

Newell e Simon, no que se refere ao estudo de métodos de resolução de problemas. Em particular, na próxima secção, analisamos o conceito de problema sem qualquer preocupação em distinguir AI* e CS.

SECÇÃO 2

OS PROBLEMAS E SUAS REPRESENTAÇÕES EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Em AI parece não haver uma preocupação em explicitar o conceito de problema. Os pesquisadores desta área admitem que "a / natureza dos problemas não foi totalmente investigada ou formalizada"⁽⁶²⁾ e se satisfazem em manipular noções simplificadas à respeito deste conceito como ponto de partida para o desenvolvimento de teorias de problemas. Assim é que encontramos em Simon, Newell (2) afirmações do seguinte tipo:

"Temos um problema quando queremos algo e não sabemos exatamente que sequência de ações efetuar para realizar aquilo que queremos"⁽⁶³⁾.

Essa concepção geral acerca do conceito de problema tem sido expressa, de diferentes maneiras, por vários teóricos da AI. Ela permanece vaga porque a preocupação central destes teóricos está voltada para o estudo dos métodos de resolução de problemas e não para a investigação do conceito de problema propriamente dito. Esses métodos são analisados tendo em vista certas classes de representação de problemas, as quais, por sua vez, são constituídas por aquelas representações de problemas que tem um data base em comum, bem como uma mesma forma estabelecida pelas condições dos problemas. Retomando a formulação geral, sugerida por Amarel (1), para um enunciado de problema (a qual foi apresentada no cap. III), onde:

$E(P)$ - Dado um data base D , encontrar X , tal que as condições C (que dependem de X) sejam satisfeitas.

A representação de um problema P pode ser considerada, / de acordo com Amarel, como o componente do enunciado de P que des-

creve a solução desejada, e que especifica, também o sistema de conceitos dentro do qual essa descrição é formulada. Nesse sentido, diz ele, uma representação difere do enunciado de um problema apenas no que diz respeito a ausência do sentido imperativo de se obter uma solução que encontra-se nos enunciados dos problemas.⁽⁶⁴⁾ Abreviadamente uma representação de problema pode ser definida através do seguinte par :

$$\text{Rep}_1(P) = (D; (Cx)),$$

onde D é o data base de P e C(x) designa as condições que x deve satisfazer.

Uma vez que uma representação de problema contém a informação acerca do que é "problemático" em um enunciado de problema, se esse enunciado for informacionalmente completo, então a sua representação deverá conter informação suficiente para a solução do mesmo. Ocorre que nem sempre os problemas são bem estruturados, ou bem definidos, e, conseqüentemente, nem sempre eles são informacionalmente completos. Nesse caso a representação inicial de um problema pode estar implícita no seu enunciado "inicial". Amarel sugere que a transição de uma representação incompleta de um problema para uma representação mais completa pode ser tremendamente afetada pela disponibilidade de mecanismos conhecidos de resolução de problemas para os quais existem representações bem estabelecidas.

As representações de problemas que são consideradas bem estabelecidas em AI são aquelas que correspondem aos dois tipos de problemas mencionados por Pappus e discutidos por Polya em A Arte de Resolver Problemas. Como vimos no capítulo III, de acordo com Polya, os problemas são classificados em problemas de demonstração e problemas de determinação.

Paralelamente, em AI, os problemas de demonstração e os problemas de determinação são caracterizados, respectivamente, através do modelo de espaço de estados e do modelo de inferência de

sistemas. Um problema apresentado de acordo com o modelo de espaço de estados consiste de uma situação inicial, uma situação final / (ou meta), um conjunto de ações possíveis, juntamente com a especificação de como as diversas situações podem ser geradas, umas a / partir das outras, por meio de diferentes ações. O enunciado do / problema pode incluir também a especificação de certas situações a serem evitadas. A solução para um problema desse tipo consiste em encontrar uma sequência de ações que transformam a situação inicial na situação meta. Como se vê, esse tipo de problema nem sempre requer que uma proposição seja demonstrada. Mas, como os problemas de demonstração e os problemas que se ajustam ao modelo de espaço de estados apresentam a mesma estrutura, podemos pensar nas duas categorias como correspondentes.

Como exemplo de um problema de espaço de estados, bastante simples, costuma-se discutir os problemas de quebra-cabeças. / Consideremos, para efeito de ilustração, o conhecido 15-puzzle. Esse quebra-cabeças (figura 1) consiste de quinze peças numeradas / que se movem numa estrutura de 4x4, onde um espaço é deixado vago para que as peças possam ser movimentadas.

	1	2	3	4	
Situação	5	6	7	8	
Inicial	13	10	12	11	
	9	14	15		

	1	2	3	4	
	5	6	7	8	Situação
	9	10	11	12	Meta
	13	14	15		

FIGURA 1

Nesse problema duas configurações são fornecidas, a saber: os estados inicial e final do jogo. Estes diferentes estados do problema, bem como os operadores (as regras de movimento das peças), são perfeitamente definidos. O conjunto de todos os estados que podem ser gerados no desenvolver do jogo constitui um espaço

de estados do problema.

Ao tentar resolver problemas desse tipo, o solucionador pode manipular objetos físicos (as peças físicas do jogo), ou objetos abstratos (as descrições das peças do jogo). Da mesma forma, as ações envolvidas na realização de uma meta podem ser físicas, mentais, ou perceptuais. Quando o solucionador é um computador digital, os objetos manipulados são objetos abstratos descritos através de símbolos. Os estados do problema e os operadores podem, por sua vez, ser descritos de diversas maneiras. As formas de descrição mais usadas em AI são as árvores binárias, as expressões lineares e os gráficos direcionados. De acordo com a descrição de uma árvore binária, um problema de estados pode ser representado da seguinte maneira:

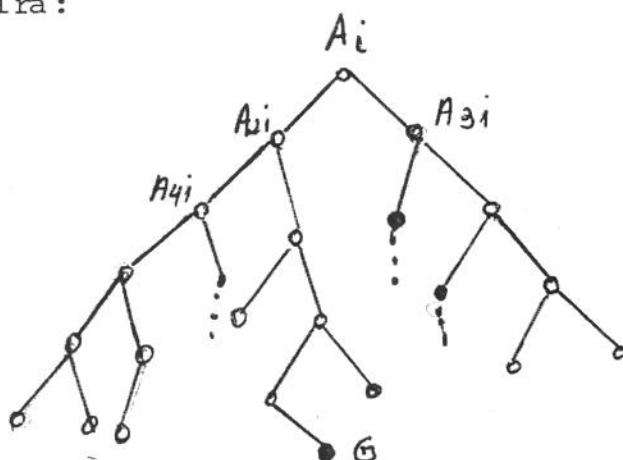


FIGURA 2

Nesta figura, a árvore como um todo representa o espaço de estados possíveis do problema. Cada nóculo representa um particular estado, e a informação correspondente à esse estado pode ser descrita através de sentenças. Os ramos da árvore simbolizam operadores que são, em geral, admitidos como funções cujo domínio e contra domínio são os conjuntos de estados do problema; isto é, elas transformam descrições de estados do problema em novas descrições de estados. Mais especificamente, o símbolo A_1 representa o estado inicial do problema; A_{2i} ; A_{3i} ... etc., são diferentes estados gera

dos, uns a partir dos outros, através da aplicação de diversos operadores em cada estado. O símbolo G representa o estado final (ou meta) do problema. A informação disponível em cada nóculo da árvore é contingentemente verdadeira, ou seja, o valor de verdade da sentença que a descreve depende do caminho adotado. Ela representa um estado possível do processo de resolução ao longo de algum caminho, igualmente possível, de solução. Nesse sentido, como sugere / Simon, a árvore de problemas pode ser concebida como um modo que comporta várias histórias possíveis para o processo de resolução.

Ao invés de identificar os nóculos de uma árvore com estados de problemas, e os ramos com operadores que transformam um estado em outro, o solucionador pode também identificar os nóculos com problemas e os ramos com operadores que transformam um problema em outros problemas. A solução de um problema, neste caso, resume-se basicamente em raciocinar retrodutivamente a partir daquilo que se deseja obter gerando uma sequência de sub-problemas até que, ao final do processo, o problema complexo original fique reduzido à um conjunto de sub-problemas mais simples para os quais já se conhece uma solução. Os problemas de espaço de estados considerados sob essa perspectiva são chamados problemas de redução.

Em qualquer destes dois casos a descrição de árvore permite mostrar que, num problema de espaço de estados, são fornecidos aos solucionadores uma descrição do estado inicial do problema, bem como o seu estado final e os operadores para transformar / estados. A tarefa do solucionador se resume em encontrar um caminho que ligue os estados final e inicial, empregando os operadores fornecidos.

O segundo modelo de problemas (modelo de inferência de sistemas), corresponde à categoria de problemas de determinação. A solução de um problema pertencente a esse modelo exige, em geral, / que certos sistemas de proposições sejam construídos a partir da /

informação disponível para o sistema. Jackson ⁽⁶⁵⁾ sugere que uma máquina programada para resolver esse tipo de problema deveria ser capaz de inferir, por exemplo:

- A) Uma teoria matemática, dado um conjunto de proposição que são verdadeiras e um conjunto de proposições que não são verdadeiras, no interior dessa teoria.
- B) Uma gramática para uma linguagem L, dado um conjunto de sentenças que pertencem a L, e um conjunto de sentenças que não pertencem a L, etc.

Para solucionar um problema do tipo "inferência de sistemas" o solucionador deve possuir alguma forma de selecionar a informação que poderia ser relevante para decidir, entre os vários / sistemas construídos, qual apresenta a maior chance de ser a solução. Embora não seja necessário que ele prove a consistência do / sistema-solução proposto, o solucionador deve ser capaz de localizar contradições, e também de não realizar uma inferência uma vez que ele possua evidência reconhecida para refutá-la.

Um exemplo intuitivo de problemas de formação que se aplica ao mundo real é fornecida por Jackson ⁽⁶⁶⁾. Esse problema / diz respeito à invenção: Dada uma descrição de alguma tarefa a ser executada, digamos, descascar batatas, a solução consiste em encontrar uma descrição de um objeto que executará a tarefa (no caso, a descrição de um descascador de batatas). A tarefa a ser realizada, diz ele, pode corresponder à uma função que relaciona situações a situações; o resultado da realização da tarefa pode corresponder / aos valores da função, dados certos inputs. A invenção produzida / pelo sistema de resolução de problemas pode corresponder a uma descrição finita de uma função que executa a tarefa. Sem dúvida, pode haver um número indefinido de tais descrições e a eleição da melhor delas deverá satisfazer certos critérios, do tipo simplicidade, elegância, eficiência, etc.

Os modelos de espaço de estados e de inferência de Sistemas representam os principais tipos de problemas estudados em AI. Na secção seguinte vamos analisar os métodos através dos quais eles são resolvidos nessa área.

Secção 3 - MÉTODOS DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

De acordo com a concepção de Newell e Simon, um método pode ser entendido como um conjunto de processos elementares / de informação onde são combinados uma série de meios para a realização de uma meta estabelecida. Os principais métodos de resolução de problemas reúnem estratégias para extrair e acumular informações acerca das variáveis dos problemas e, também, estratégias/ para selecionar a informação relevante entre toda a informação / que possa estar disponível num meio ambiente. Um sistema ideal de resolução de problemas pode dispor, além desses métodos, de um / conjunto de procedimentos para verificar, retrospectivamente, se a solução encontrada é, de fato, uma solução para o problema em / questão.

A primeira etapa do processo de resolução de um problema requer o desenvolvimento de um conjunto de estratégias para extrair e selecionar informação relevante do seu enunciado e do meio ambiente de tarefas. Uma das principais estratégias usadas em AI/ para obtenção de informação envolve a análise comparativa da incógnita do problema, dos seus dados, e da sua condicionante, em / relação a outros problemas já conhecidos. Esse tipo de análise, como vimos no capítulo III, foi também sugerida por Polya no seu estudo da heurística. Seu objetivo é encontrar certos aspectos dos/ problemas que sejam comuns a alguma classe de problemas em relação aos quais existe disponível um método de solução.

Outras vezes a resolução de um problema exige uma exploração mais detalhada da informação disponível no meio ambiente, ou ainda, o acréscimo de informação auxiliar que possibilite reformular o problema e reduzi-lo a um outro já conhecido. Para isso o

sistema pode considerar um problema análogo mais genérico ou mais / específico e tentar eliminar a diferença existente entre eles e o problema original. A cada informação disponível no meio ambiente vários operadores podem ser aplicados para tentar eliminar as diferenças e,consequentemente,se pensarmos em termos de gráfico de árvores, diferentes caminhos,com diferentes graus de profundidade,poderão ser gerados na busca de uma solução.

Para evitar que o espaço de estados seja percorrido na sua totalidade,durante o processo de resolução o solucionador deverá empregar procedimento seletivos de busca.Os procedimentos mais / eficientes envolvem a manipulação de informações-chave que podem ser extraídas do enunciado do problema.Esse tipo de informação heurística,e o conjunto de procedimentos que possibilitem sua seleção é chamado em AI, método heurístico de busca.

A teoria de resolução humana de problemas desenvolvida/ por Newell e Simon trata essencialmente do método heurístico de busca.Ela foi elaborada por esses autores a partir de experiências feitas,em laboratório,com estudantes que resolviam problemas enunciados de acordo com o modelo de espaço de estados.Através do emprego de / técnicas de simulação do pensamento expresso em voz alta,os autores verificaram que,na maioria dos casos,os procedimentos mais eficientes utilizados pelos indivíduos para solucionar os problemas eram / fundados em esquemas de raciocínio prático.Estes esquemas de raciocínio quando incorporados aos programas,possibilitam ao computador/ solucionar os problemas fornecidos aos estudantes,simulando o comportamento dos mesmos.Basicamente o mecanismo mais geral de funcionamento de um IPS,incorporando esses esquemas de raciocínio,pode ser representado através do diagrama de fluxo(fig.3),que ilustra os processos elementares que compõe o método heurístico de busca.

O ciclo básico consiste em selecionar um elemento do espaço de problema a partir do qual o trabalho se desenvolve. A seguir,

DIAGRAMA DE FLUXO DO MÉTODO HEURÍSTICO

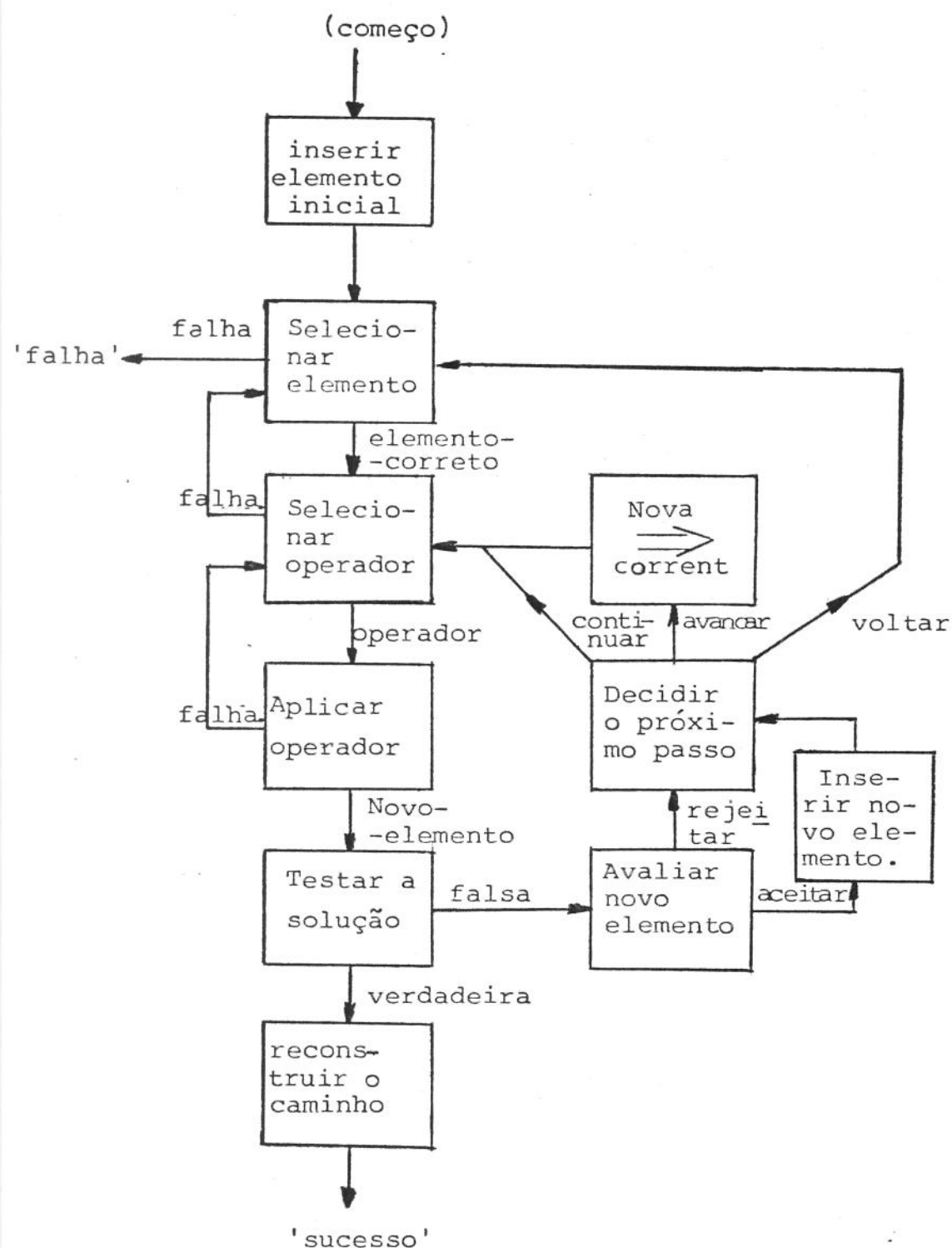


FIGURA 3.

Esse diagrama é apresentado por Newell,A. e Simon,H. (1), p.102

selecionar um operador e tentar produzir um novo elemento para então testá-lo. Se o teste for bem sucedido o problema está resolvido. Caso contrário um novo elemento deve ser avaliado e, se ele não for/rejeitado, será registrado para uso posterior. O ciclo básico se completa com uma forma trifurcada de escolha que consiste em: (I) continuar aplicando operadores ao elemento corrente; (II) substituir o elemento corrente por um novo e avançar na busca, ou (III) abandonar este caminho e recomeçar a busca selecionando um novo elemento no espaço de problemas. Este ciclo termina, seja ao se encontrar um bom candidato à solução e que conduz à reconstrução do caminho realizado, ou esgotando-se as possibilidades de análise dentro dos limites estabelecidos.

A vantagem do emprego desse método é que ele permite / controlar o processo de busca em cada etapa do caminho, confrontando a informação que foi descoberta em cada estágio com aquela que falta/ descobrir para realizar a meta do problema em questão. Através desse mecanismo o problema original é fatorado, sucessivamente, em vários / sub-problemas, mais simples, para os quais existe uma solução conhecida pelo sistema. Ao atingir esse estado o sistema reconstrói o caminho percorrido, de modo a verificar se ele, de fato, conduz à solução/ do problema.

O esquema apresentado na figura (3) tem quatro processos indefinidos, a saber:

- a. Selecionar um elemento do espaço de problemas;
- b. Selecionar um operador;
- c. Avaliar o novo elemento;
- d. Decidir o próximo passo.

Estes processos são especificados de acordo com a classe do problema a ser resolvido. A ilustração acima apresenta apenas/ o esquema geral do método heurístico a partir do qual outros procedimentos mais específicos serão derivados. Entre esses procedimentos

mais específicos encontram-se aqueles que Newell e Simon denominam método de análise de meios e fins e método de planejamento.

O método de análise de meios e fins consiste, basicamente, em fatorar o problema através do estabelecimento de uma sequência de sub-metas subordinadas, as quais uma vez realizadas, podem/ conduzir à solução do problema original. O processo de resolução, de acordo com esse método, desenvolve-se em três etapas, que consistem em:

1. Dividir o problema original em sub-problemas, mantendo um registro das relações entre eles como parte do problema global.
2. Resolver os sub-problemas.
3. Combinar os resultados de modo a formular uma solução para o problema original.

Para executar esse processo o IPS primeiro compara o estado inicial A do problema com a meta B, registrando a diferença D entre os dois estados. A seguir ele procura reduzir essa diferença D, aplicando um operador Q à A. O resultado da aplicação de Q à A, para reduzir a diferença, será a obtenção da meta B, ou o estabelecimento de uma nova situação A', que representa um sub-problema a ser resolvido. O mesmo processo se repete até que a situação inicial A seja transformada em várias situações mais simples que, em conjunto, permitam a realização da meta B, ou até que os recursos/ disponíveis pelo sistema se esgotem.

O método de planejamento, por sua vez, consiste em:

1. Omitir certos detalhes do problema a ser resolvido, de modo a trabalhar apenas com os dados do problema num nível abstrato;
2. Resolver o problema levando-se em conta a abstração.
3. Quando o problema for resolvido no nível abstrato utilizar o /

mesmo plano de solução para resolver o problema original;

4. Traduzir o plano de resolução, introduzindo os detalhes do problema original que foram anteriormente omitidos.

Uma ilustração do método heurístico parece conveniente para explicitar os passos nele envolvidos. Para tal fim, vamos analisar um programa GPS (do inglês "General Problem Solver") que foi estruturado por Newell e Simon com o propósito de simular/ o comportamento humano durante a resolução de problemas de espaço / de estados. Ainda que o GPS tenha sido programado para resolver / problemas em diferentes áreas do conhecimento, dado os nossos propósitos, limitar-nos-emos a investigar sua atuação na demonstração / de teoremas do Cálculo Proposicional. Além disso, como não estamos interessados no momento em saber se o programa simula ou não o comportamento humano, vamos descrever apenas alguns aspectos do experimento que levou os autores à sua elaboração.

Resumidamente podemos dizer que durante o experimento, a partir do qual foi estruturado o GPS os autores solicitaram a diferentes estudantes que demonstrassem alguns teoremas do Cálculo Proposicional, e que verbalizassem os seus pensamentos enquanto resolviam o problema. Os elementos do meio ambiente de tarefas eram constituídos de símbolos para conectivos, constantes e variáveis, bem/ como regras de inferência e alguns axiomas. Como os indivíduos não conheciam lógica, os experimentadores forneceram a eles uma folha/ de papel contendo as doze regras abaixo, para manipulação de expressões, informando-os de que se tratava de mensagens em código.

$$1. A \vee B \rightarrow B \vee A$$

$$A \cdot B \rightarrow B \cdot A$$

$$2. A \rightarrow B \rightarrow \sim B \rightarrow \sim A$$

$$3. A \vee A \leftrightarrow A$$

$$A \cdot A \leftrightarrow A$$

$$4. A \vee (B \vee C) \leftrightarrow (A \vee B) \vee C$$

$$A. (B . C) \leftrightarrow (A . B) . C$$

$$5. A \vee B \leftrightarrow (\sim A . \sim B)$$

$$A . B \leftrightarrow (\sim A \vee \sim B)$$

$$6. A \rightarrow B \leftrightarrow \sim A \vee B$$

$$A \vee B \leftrightarrow \sim A \rightarrow B$$

$$7. A \vee (B . C) \leftrightarrow (A \vee B) . (A \vee C)$$

$$A . (B \vee C) \leftrightarrow (A . B) \vee (A . C)$$

$$8. A . B \rightarrow A$$

$$A . B \rightarrow B$$

$$9. A \rightarrow A \vee X$$

$$10. A \rightarrow (A . B)$$

$$B$$

$$11. A \rightarrow B$$

$$A \rightarrow B$$

$$12. A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow C$$

$$B \rightarrow C$$

Os problemas foram formulados neste meio ambiente de tarefas apresentando-se um conjunto de expressões e pedindo aos estudantes que as recondificassem em expressões especificadas, usando as regras dadas.

Assim, por exemplo, foi apresentado aos sujeitos um conjunto de problemas do seguinte tipo:

DADO

PEDE-SE

PROBLEMA 1 $L_1: R. (\sim P \rightarrow Q)$

$L_0: (Q \vee P) . R$

PROBLEMA 2 $L_1: \sim S. (S \vee \sim Q)$

$L_0: \sim Q$

DADO

PEDE-SE

PROBLEMA 3 $L_1: (R \supset \sim P) \cdot (\sim R \supset Q)$

$L_0: \sim(\sim Q \cdot P.)$

PROBLEMA 4 $L_1: (P \vee Q) \rightarrow R$

$L_0: \sim P \vee S$

$L_2: R \rightarrow S$

À medida em que os estudantes verbalizavam os seus pensamentos durante a tentativa de demonstração dos teoremas, vários relatórios foram registrados e analisados. A partir da análise/destes relatório verificou-se que certas estratégias básicas / eram utilizadas pelos estudantes, as quais foram reproduzidas na elaboração do GPS. Os conceitos envolvidos na construção deste programa para a demonstração de teoremas foram: estados de problemas — representados pelas doze regras de inferência; funções de decisão para aplicar operadores às várias expressões; e uma estratégia global para controlar a ordem das decisões durante o processo de demonstração dos teoremas. As funções de decisão para aplicar os operadores às expressões operam com base na informação extraída sobre a diferença existente entre o teorema a ser demonstrado e a expressão fornecida inicialmente ao solucionador. O GPS dispõe ainda de uma tabela de conexões que associa a cada tipo de diferença existente entre as expressões uma/regra que é relevante para eliminar essa diferença.

As principais diferenças entre as expressões enquadram-se em seis categorias que são listadas de acordo com a seguinte classificação:

ΔT : indica que diferentes variáveis ocorrem nas expressões; expl: $P \vee P$ e $P \vee R$

Δn : indica que uma variável ocorre diferentes números de vezes nas duas expressões; expl: $P \cdot Q$ e $(P \cdot Q) \rightarrow Q$

Δs : indica que existe uma diferença de sinal entre as expressões; expl.: $\sim(P \vee R)$ e $(P \vee R)$

Δ_c : indica que existe uma diferença de conectivos entre as expressões;

expl: $P \rightarrow Q$ e $P \vee Q$

Δ_g : indica que existe uma diferença nos agrupamentos;

expl: $P \vee (Q \vee R)$ e $(P \vee Q) \vee R$

Δ_p : indica que existe uma diferença de posição nas variáveis ou grupos de variáveis;

expl: $P \rightarrow (Q \vee R)$ e $(Q \vee R) \rightarrow P$

Após detectar a(s) diferença(s) entre as expressões / inicial e final, o GPS seleciona um operador que é relevante para transformá-la, de acordo com a seguinte tabela que associa à cada tipo de diferença uma das doze regras dadas.

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}
ΔT								-	+	+	-	X
ΔN			X				X	-	+	+	-	X
ΔS		X			X	X						
ΔC					X	X	X					
Δg				X			X					
Δp	X	X										

TABELA nº 1

O sinal x nos quadrados indica que o operador correspondente pode ser relevante para eliminar a diferença em questão. Os sinais (-) e (+) nos quadrados correspondentes às diferenças do tipo ΔT e ΔN indicam as regras relevantes para os casos em que há falta (-) ou excesso (+) de variáveis nas expressões analisadas.

Tendo estas informações disponíveis no meio ambiente/ de tarefas os estudantes, e também o GPS, empregam basicamente/ o método de análise de meios e fins e o método de planejamento para demonstrar os teoremas. A atuação de ambos pode ser vista/

através da demonstração do teorema 1 da lista anterior que, apesar de extremamente simples, serve para os nossos propósitos de ilustração do método empregado. Assim, pediu-se a ambos que transformassem

$$L_1 : R \cdot (\sim P \rightarrow Q), \text{ em } L_0 : (Q \vee P) \cdot R$$

Simon e Newell mostram que tanto o relatório da máquina como o protocolo do indivíduo revelam que os dois solucionadores comparam as expressões inicial e final, como ponto de partida do processo de resolução. Através dessa comparação eles registram uma diferença (ΔP) na posição dos R's e procuram um operador para eliminá-la. A regra R_1 é então aplicada à L_1 e o resultado dessa aplicação é a expressão $L_2: (\sim P \rightarrow Q) \cdot R$. Isto feito, a meta original é retomada e o processo se repete/para tentar resolver o sub-problema que consiste em transformar a nova expressão gerada L_2 na expressão desejada L_0 .

O ciclo básico prossegue comparando-se cada nova expressão com aquela desejada, e a seguir, estabelecendo-se um operador relevante para eliminar a diferença existente entre elas. Assim ao comparar L_2 e L_0 o GPS registra uma diferença de conectivos (ΔC) entre as duas expressões. De acordo com a indicação da /tabela, o GPS deve tentar aplicar R_5 ou R_6 ou R_7 para eliminar/essa diferença. A regra R_6 é aplicada e L_2 :

$$L_2 : (\sim P \rightarrow Q) \cdot R \text{ é transformado em } L_3 : (P \vee Q) \cdot R.$$

Repetindo mais uma vez o ciclo, o GPS compara L_3 com L_0 , detectando uma diferença de posição (ΔP) entre essas duas expressões. A regra R_1 é aplicada à esquerda de L_3 , produzindo / $L_4 : (Q \vee P) \cdot R$, que é idêntica à expressão L_0 . O processo de /demonstração neste estágio se completa e o solucionador finalmente reconstrói os passos da prova:

ETAPA	EXPRESSÃO	JUSTIFICAÇÃO DOS PASSOS
L_1	$R. (\sim P \rightarrow Q)$	Dado
L_2	$(\sim P \rightarrow Q). R$	Regra 1 aplicada a L_1
L_3	$(P \vee Q). R$	R_6 aplicada dentro do parenteses em L_2
L_0	$(Q \vee P). R$	R_1 aplicada dentro do parenteses em L_3

Através deste e de outros exemplos mais complexos / Newell e Simon ilustram as aplicações do método da análise de / meios e fins ao Cálculo Proposicional. O método de planejamento é igualmente empregue pelo GPS. Como uma ilustração de // aplicação desse método, consideremos o processo de resolução do problema nº 3, da lista de problemas enunciados anteriormente . Nesse problema é dada a premissa $L_1: (R \rightarrow \sim P). (\sim R \rightarrow Q)$ e pede-se para demonstrar $L_0: \sim Q \rightarrow \sim P$. Para resolver este problema o GPS faz abstração dos sinais e conectivos transformando L_1 e L_0 nas expressões reduzidas: $L_1: (RP) (RQ)$ e $L_0: (QP)$.

A seguir, o método de análise de meios e fins é aplicado e o GPS compara L_1 e L_0 procurando encontrar os operadores/ que são relevantes para eliminar a diferença existente entre as duas expressões. De acordo com a tabela nº 1, R_8 é relevante para eliminar a diferença do tipo (ΔN). Essa regra é então aplicada duas vezes em L_1 produzindo $L_2: RP$ e $L_3: QR$. Finalmente / R_{12} é aplicada à L_2 e L_3 produzindo a expressão desejada $L_4: QP$. Uma vez resolvido o problema no plano abstrato o GPS reconstrói a prova reintroduzindo os conectivos e sinais que foram anteriormente abstraídos. O processo de resolução se desenvolve, por-

tanto, em dois níveis. No primeiro nível abstrato temos:

ETAPA	EXPRESSÃO	JUSTIFICAÇÃO DOS PASSOS
L_1	$(RP) (RQ)$	Expressão Dada
L_2	(RP)	Regra 8 aplicada a L_1
L_3	(QR)	Regra 8 aplicada a L_1
L_4	(QP)	Regra 12 aplicada a L_2 e L_3

No segundo nível esse plano é traduzido e adaptado ao problema/ original, produzindo:

ETAPA	EXPRESSÃO	JUSTIFICAÇÃO DOS PASSOS
L_1	$(R \rightarrow \sim P).(\sim R - Q)$	Expressão Dada
L_2	$R \rightarrow \sim P$	Regra 8 aplicada a L_1
L_3	$\sim R \rightarrow Q$	Regra 8 aplicada a L_1
L_4	$\sim Q \rightarrow R$	Regra 2 aplicada a L_3 , mais o pressuposto de que $\sim \sim R \rightarrow R$.
L_5	$\sim Q \rightarrow \sim P$	Regra 12 aplicada a L_3 e L_4

Estes dois exemplos de aplicação do método de análise e do método de planejamento são suficientes para os nossos propósitos de ilustração do método heurístico mais geral, cujo diagrama de fluxo foi apresentado anteriormente. Para concluir o presente capítulo vamos estabelecer uma comparação entre esse método e o método de análise apresentado no capítulo anterior.

Pela amostra do método heurístico aplicado aos problemas de demonstração, vemos que ele emprega as mesmas estratégias básicas que são empregadas no método de análise. Assim, por exemplo, podemos dizer que tanto o método heurístico como o método /

de análise partem do pressuposto de que aquilo que se quer demonstrar é verdadeiro. O método heurístico recomenda , a seguir, que se comparem as premissas fornecidas ao sistema, bem como a informação disponível no meio ambiente com a expressão a ser demonstrada. Essa comparação deve ser feita de modo a poder extrair as relações entre os dados que sejam relevantes para o problema em questão. Uma vez detectada essas relações, o sistema deve construir um caminho que ligue as premissas disponíveis àquilo que se quer demonstrar. A construção desse caminho é feita através da aplicação de operadores que transformam a informação existente , ajustando-a às necessidades de tarefa em questão. Uma vez construído esse caminho o sistema refaz os seus passos, em ordem inversa, de modo a verificar se essa sequência corresponde, de fato, à sequência desejada.

Para nós, estas duas etapas do método heurístico / correspondem, respectivamente ao processo de análise e síntese do método de análise descrito por Pappus. Como vimos no Capítulo III, a mesma correspondência pode ser traçada entre as estratégias envolvidas no raciocínio retrodutivo, discutido por Hanson e o método de análise. No capítulo seguinte estaremos investigando como o método heurístico se aplica, de acordo com a concepção de Simon , à descoberta científica.

CAPÍTULO V

CONCEPÇÃO SIMONIANA DA DESCOBERTA CIENTÍFICA

INTRODUÇÃO

Discutimos neste capítulo a teoria da descoberta científica elaborada por Simon a partir das idéias apresentadas no capítulo anterior sobre a atividade humana de resolução de problemas. Essa teoria enfoca os processos lógicos, psicológicos e sociológicos envolvidos nas descobertas científicas.

Na abordagem psicológica da descoberta, Simon utiliza os recursos desenvolvidos no seu estudo das propriedades de um IPS (Cap. IV) para defender a tese de que os processos psicológicos envolvidos nas descobertas científicas podem ser analisados em termos dos mecanismos que governam os processos elementares de informação. Na abordagem sociológica ele argumenta que / não há diferença qualitativa entre os processos de ciência normal e revolucionária, e que os estágios por meio dos quais a ciência se desenvolve podem ser explicados a partir daquilo que foi usado para explicar os processos rotineiros de resolução de problemas.

No que diz respeito à abordagem lógica, o autor desenvolve uma teoria normativa da descoberta que envolve a concepção de raciocínio retrodutivo, enunciado por Hanson no capítulo II. Mas, diferentemente de Hanson, Simon exclui de sua teoria / da descoberta considerações acerca das "Gestalten" conceituais. Ele enfatiza a relevância do estudo do comportamento sequencial integrado nas considerações sobre a descoberta concebendo, por exemplo, o processo de descoberta de lei empírica como um processo de recodificação parcimoniosa de conjuntos de dados empíricos. Sua lógica da descoberta funda-se numa teoria normativa que reúne um conjunto de critérios para a avaliação de processos de /

descoberta de lei.

Nas secções seguintes procuraremos explicitar as /
teses acima citadas. Na secção 1, apresentamos a teoria psicológi
ca e sociológica da descoberta desenvolvida por Simon. Na secção/
2, analisamos os argumentos deste autor em defesa de uma lógica /
da descoberta. Na secção 3, concluimos o capítulo fazendo um ba -
lanço das contribuições que a abordagem de Simon traz para o es -
clarecimento de algumas idéias enunciadas por Hanson, no capítulo
II, sobre a lógica da descoberta.

Secção 1 - UMA TEORIA PSICOLÓGICA E SOCIOLÓGICA DA DESCOBERTA
CIENTÍFICA

Estamos, em geral, habituados a associar importantes/ descobertas científicas a grandes nomes e grandes eventos. Sem/ negar a existência de homens mais hábeis do que outros, Simon , no seu enfoque sociológico da descoberta, enquadra os descobridores famosos no conjunto de indivíduos que, no momento exato , / acionaram a alavanca de um sistema cujo processo já vinha sendo desenvolvido através de pesquisas realizadas por muitos outros/ cientistas.

Tomando emprestado de Kuhn os conceitos de ciência / normal e ciência revolucionária podemos dizer que a teoria sociológica da descoberta científica proposta por Simon tem como pressuposto a idéia de que não há diferenças qualitativas entre os processos de ciência normal e ciência revolucionária; entre/ o trabalho de alta criatividade e o trabalho cotidiano dos pesquisadores.

Simon não discute a diferença, normalmente enfatizada pelos filósofos da ciência, segundo a qual as descobertas realizadas num período de ciência normal integram-se no quadro teórico conceitual disponível através de nexos que podem ser logicamente reconstruídos, enquanto que, no caso da ciência revolucionária, as descobertas envolvem a passagem de um quadro conceitual para outro. Ele sugere entretanto, que a questão de saber como se dá a passagem entre dois "frameworks" não difere / muito daquela de saber como se passa de um estado de problema a outro (estudada no cap. IV). Em várias passagens de Models of Discovery ele enfatiza que os processos que aparecem durante a ati

vidade simples e rotineira de resolução de problemas são as mesmas encontradas nas descrições fornecidas pelos grandes cientistas à respeito de suas descobertas.

Simon parece também não distinguir os processos responsáveis pelo comportamento dos cientistas, enquanto indivíduos, dos processos de conhecimento resultante da interação entre eles. Sua teoria sociológica da descoberta apresenta-se, assim, embutida na sua teoria psicológica.

Conforme ressaltamos anteriormente, Simon concebe o pensamento humano como uma organização hierárquica de processos elementares de informação, os quais são executados serialmente. Durante a atividade de resolução de problemas, estes processos são organizados de acordo com mecanismos seletivos que empregam estratégias heurísticas do tipo planejamento, ou análise de meios e fins (cap. IV). Ao considerar um IPS como um possível modelo para o estudo do comportamento humano, o autor investiga, na sua abordagem psicológica da descoberta, que características específicas um tal sistema deveria apresentar, de modo a poder comportar-se como um cientista no processo de descoberta.

No seu artigo "Scientific Discovery and the Psychology of Problem Solving"⁽⁶⁷⁾, Simon ressalta que três estágios principais são considerados constantes nos relatos dos processos de investigação fornecidos pelos cientistas, em casos de grandes descobertas. Esses estágios envolvem, basicamente, os processos seletivos de tentativa e erro, a aqueles de busca heurística. No primeiro estágio, denominado "preparação", estudos prolongados e não muito bem sucedidos são realizados na tentativa de resolver um problema. Muitas vezes, numa segunda etapa, as dificuldades tornam-se aparentemente intransponíveis e o problema é deixado de lado. Algum tempo depois, numa terceira etapa, uma idéia central para a solução do problema vem à mente do pesquisador, em ge

ral subitamente e em situações bastante diversas. Esses três estágios podem ser notados, por exemplo, no relato de Kepler, descrito/por Hanson(5), sobre a sua descoberta da órbita elíptica de Marte.

Com efeito, Hanson comenta algumas passagens descritas por Kepler acerca do seu longo período de pesquisa realizado/antes da obtenção da sua hipótese da órbita elíptica de Marte. De acordo com esse relato, Kepler tentou, por muito tempo, encontrar/uma equação que melhor ajustasse os dados observacionais fornecidos por Tycho. Após tentar, sem sucesso, obter essa equação, ele abandonou, temporariamente, a sua busca, só retomando-a algum tempo depois. O estágio súbito a que se refere Simon, como característico do terceiro estágio do processo de descoberta parece, a primeira vista, ter ocorrido a Kepler quando ele faz a seguinte declaração:

"Oh, ridículo de mim! Como se a libração no diâmetro não pudesse conduzir à trajetória elíptica...a elipse e a libração se sustentam ou caem por terra juntas, como deixarei claro no capítulo seguinte. Lá será demonstrado que não há outra figura possível/para a órbita dos planetas a não ser a elipse perfeita..."⁽⁶⁸⁾

Embora essa declaração retrate um estado psicológico de Kepler, não podemos nos esquecer que ela se apresenta em um contexto onde esse cientista procura mostrar as razões que o levaram a sugerir a hipótese elíptica de Marte. E essas razões, como/foi enfatizado por Hanson, não se misturam com os seus estados psicológicos. O propósito de Hanson ao mencionar essa passagem de Kepler é ilustrar a mudança de organização que ocorrera ao cientista a partir da detecção de um novo padrão onde os elementos que/até então pareciam ser discordantes passam a ajustar-se dentro de um padrão inteligível.

Simon julga que é possível explicar o processo de detecção de padrões a partir da análise do comportamento sequencial integrado, e utiliza dois mecanismos emprestados da teoria

de processamento de informação para explicar o estalo súbito que traz à mente do descobridor a solução de um problema estabelecido. Estes mecanismos são denominados mecanismo de "familiarização" e de "esquecimento seletivo".

O mecanismo de familiarização pode ser entendido a partir do esquema geral do IPS. Vimos que nesse sistema temos duas memórias: a memória imediata e a memória permanente. O número de símbolos que pode ser estocado na memória imediata é bastante reduzido, embora cada símbolo presente na memória imediata possa evocar/estruturas de símbolos que estão estocados na memória permanente. O mecanismo de familiarização consiste na estocagem de informações na memória permanente. Essa estocagem é feita de tal forma que, a um símbolo qualquer que se apresente na memória imediata, pode-se/fazer corresponder estruturas de símbolos estocados na memória permanente, de modo que este símbolo seja reconhecido pelo sistema. Assim, por exemplo, o símbolo t, presente na memória imediata pode chamar a palavra tosco, que está estocada na memória permanente, através do mecanismo de familiarização. Tal palavra, por sua vez, remeterá a frases, sentenças, etc, que estão igualmente estocadas na memória permanente. Desta forma, estruturas de símbolos de tamanho ilimitado podem ser elaboradas na memória permanente, a partir de poucos símbolos que são gradualmente deslocados da memória imediata. Simon supõe que esse mecanismo ocorre durante a resolução de problemas/complexos, de maneira que as unidades complexas de pensamento existam, num estágio anterior, apenas como partículas desconectadas.

O segundo mecanismo, chamado "esquecimento seletivo", baseia-se também na distinção memória imediata/memória permanente e está sempre presente nos programas organizados para resolução/de problemas. A idéia básica deste mecanismo é que os esforços dispendidos por um sistema, na tentativa de resolver um problema, são/guidados e controlados por uma hierarquia de metas e submetas que são apagadas ou mantidas na memória, obedecendo a um mecanismo sele

tivo de informação, até que determinados resultados sejam obtidos. Esse mecanismo é empregado pelo sistema quando um grande número / de sub-metas é gerado durante o processo de resolução de um problema.

Ao ser colocado diante de uma situação problemática um IPS analisa os dados disponíveis no meio ambiente e estabelece uma meta, cuja realização teria como resultado a solução do problema. Ao tentar realizar essa meta ele estabelece uma ou mais / sub-metas afastando-se, temporariamente, da meta original a ser / atingida. Uma vez realizadas as sub-metas o mecanismo de esquecimento é acionado e os "cálculos" envolvidos na sua realização são eliminados da memória, permanecendo apenas os resultados. A meta / original é então retomada e, se ainda houver dificuldades na sua / realização, novas sub-metas serão geradas e o processo se repetirá.

Simon pensa que um IPS, equipado com processos elementares de informação, um conjunto de heurísticas do tipo planejamento e análise de meios e fins, juntamente com os mecanismos de familiarização e esquecimento seletivo, pode simular o comportamento de um cientista em processo de descoberta. Durante o curso de / resolução de um problema complexo uma árvore de metas e sub-metas é então registrada na sua memória imediata. À medida que as sub-metas vão sendo realizadas, uma segunda estrutura de símbolos será / construída na memória permanente, e novos elementos complexos serão familiarizados. Novas informações serão extraídas do meio ambiente e estocadas na memória permanente.

Se, após um grande número de tentativas, o sistema não conseguir solucionar o problema ele poderá abandonar, temporariamente, sua meta. Quando, neste segundo estágio do processo, ele deixa de lado o problema, a informação que estava registrada na / memória imediata começará a desaparecer, ficando retida apenas a / árvore de metas não resolvidas. Ao retomar o problema (num terceiro estágio do processo), a maioria dos ramos da árvo-

re de metas já terá desaparecido da memória imediata do sistema. Ele começará então a reconstruir a árvore, agora com a ajuda de uma quantidade de informação bem maior do que aquela que existia na memória no início do processo. Com essa informação disponível, Simon julga que o sistema terá melhores condições para encontrar a solução desejada. Em tais circunstâncias a solução do problema, que antes parecia distante e muito complicada, poderá surgir, subitamente, reproduzindo assim o "estalo súbito" que caracteriza o terceiro estágio do processo psicológico de descoberta.

Simon admite que essa tentativa de explicação dos mecanismos psicológicos, supostamente presentes no processo de descoberta, é bastante limitada. Ele ressalta que ela não explica, por exemplo, porque o indivíduo que aparentemente desistiu de encontrar uma solução para o problema decide retomar a busca. Também ela se limita a tratar de situações em que os problemas são apresentados ao sistema e tudo o que se requer é que ele o resolva. Mas, como o próprio Simon concorda, o processo de descoberta científica inclui situações em que não só os problemas são resolvidos como também formulados. Aliás, é bastante reconhecido que a formulação adequada de um problema pode ser crucial num processo de descoberta e ela, em geral, exige criatividade por parte do enunciador.

Ao analisar esse tipo de dificuldades enfrentada pela sua teoria, Simon enfatiza que não existe uma linha nítida/divisória entre o processo de formulação e de resolução de problemas. Para ele a tarefa de formular um problema pode ser entendida também como um problema a ser resolvido. Além disso ele pensa que:

"Um sistema de resolução de problemas(...do tipo GPS...) capaz de gerar sub problemas a partir de um

problema inicial, e de testar as soluções encontradas continuará indefinidamente, a criar novos problemas / por si próprio" (69)

Fazendo um paralelo com o processo de desenvolvimento científico, Simon sugere que a questão relativa à formulação de problemas nos processos de descoberta científica deve ser estudada levando-se em conta a continuidade do fluxo de trabalho / científico. Apoiando-se, uma vez mais, na distinção estabelecida por Kuhn, entre ciência normal e ciência revolucionária, ele insiste que não é necessário elaborar mecanismos inteiramente / novos para explicar o processo de formulação de problemas que / ocorre durante o período de ciência revolucionária. Como Kuhn, Simon argumenta que os paradigmas que surgem durante qualquer / período de revolução decorrem do estágio de ciência normal precedente. De acordo com a concepção de Kuhn, a ciência normal conduz à descoberta de anomalias ou fatos que são difíceis, e algumas vezes impossíveis, de serem reconciliados com o paradigma / vigente. O novo problema que se coloca nessa ocasião consiste / então em modificar o paradigma aceito, ou substituí-lo por outro que seja consistente com os fatos, incluindo as anomalias / encontradas.

Com esses argumentos o autor pretende mostrar que sua abordagem psicológica e sociológica da descoberta científica / não precisa ser complementada por uma teoria de formulação de problemas. Ele admite, no entanto, que uma teoria da descoberta científica adequada para explicar a ciência normal e a ciência / revolucionária deveria abordar, não apenas questões relativas / às origens dos problemas, como também às aquelas concernentes às origens das representações e dos paradigmas. Tais questões, entretanto, escapam do escopo de sua teoria.

Muitas outras limitações da teoria psicológica da descoberta de Simon poderiam ser consideradas. Contudo, o interesse para nós dessa teoria consiste em que a partir de algumas de suas teses, Simon procura estabelecer uma distinção entre questões concernentes à psicologia da descoberta e questões concernentes à lógica da descoberta. Ainda que, como vimos no capítulo I, a expressão "lógica da descoberta" de lugar a uma série de dificuldades, Simon tenta caracterizá-la de forma mais flexível, propondo uma nova interpretação para essa expressão. Na próxima seção apresentamos os argumentos desenvolvidos por esse autor em defesa de uma lógica da descoberta.

Secção 2 - O PROGRAMA DE SIMON PARA A LÓGICA DA DESCOBERTA

Em "Does Scientific Discovery Have a Logic?" Simon / parte do ponto de vista que o trabalho de Hanson sobre a descoberta científica foi superficialmente interpretado pela maioria dos filósofos da ciência que viram nele apenas uma contri - buição à Psicologia. Sua crítica é particularmente dirigida à Popper. Grande parte de sua discussão sobre o processo de desco - berta é desenvolvida no sentido de refutar a afirmação popperia na, mencionada no capítulo I, segundo a qual:

"(...) a questão de como acontece que uma nova idéia ocorre a um homem... pode ser de grande interesse pa - ra a psicologia empírica, mas é irrelevante para a análise lógica do conhecimento científico". (70)

Considerando que Hanson não elaborou uma teoria for - mal, explícita, do processo retrodutivo, nem traçou uma linha/ nítida entre psicologia e lógica da descoberta, Simon propõe - -se a esclarecer a natureza da retrodução e a explicar em que/ sentido podemos falar de uma lógica da descoberta. Com esse / propósito ele começa por enfatizar a distinção entre Psicolo - gia e Lógica que, a seu ver, corresponde à distinção entre a descrição de como as pessoas realmente se comportam, julgam, ra - ciocinam, etc., e à prescrição de normas de comportamento válido para, por exemplo, raciocinar correta e rigorosamente.

Chamamos um processo de lógico, diz Simon, quando / ele satisfaz normas previamente estabelecidas. Tais normas de - rivam de nossa preocupação que esse processo seja eficiente na realização do propósito para o qual ele foi estabelecido. Nes - se sentido, uma lógica da descoberta poderia reunir um conjun -

to de "Standards" normativos para julgar os processos empregados / nas descobertas. Uma teoria normativa da descoberta poderia basear-se em proposições do tipo:

"Se o processo X pretende ser eficaz na obtenção da meta G, então ele deveria ter as propriedades A, B C". (71)

Simon sugere que, com base nesse tipo de proposição, podemos considerar um processo p pertencente a um conjunto de processos P; uma meta G a ser atingida; e um conjunto de condições c pertencentes a C. Se admitirmos que a obtenção de uma meta G requer que as condições de C sejam satisfeitas, isto é $\forall c (G \rightarrow c)$; e se queremos obter a meta G, devemos, então, empregar um processo p / que satisfaça C.

Considerando G a meta de descobrir leis científicas, e P um conjunto de processos de descoberta, então C estabelece uma teoria normativa da descoberta científica. Da mesma forma, se G é a / meta de testar a validade de uma lei proposta, e P é o conjunto de processos de teste, então C estabelece uma teoria normativa para / testar leis.

Deve ser ressaltado que o uso de uma estratégia recomendada não garante a realização da meta G. De acordo com a formulação proposta por Simon temos $G \rightarrow c$, e não $c \rightarrow G$. Assim, para alcançar uma meta que consiste, por exemplo, em descobrir uma lei empírica, recomenda-se o emprego dos processos que satisfaçam as condições de C, mas isso não implica que um sistema de resolução de problemas empregando tais processos será levado, necessariamente, a / realizar tal meta.

Além disso, as normas estabelecidas pela teoria podem ter base empírica ou não. Simon admite que podemos, por exemplo, falar da lógica de uma determinada estratégia de xadrez que cor

responde a uma regra empírica baseada no acúmulo de experiências dos jogadores. Ele julga que, possivelmente, a presença de componentes empíricos nas normas seja o fator responsável pela opinião de que determinados processos não são passíveis de análise lógica, mas apenas de descrições. De acordo com a sua perspectiva, entretanto, a expressão "análise lógica" deve ser entendida num sentido mais amplo, de modo a incluir também o estudo de normas que possuem base empírica. Nesse sentido, qualquer processo meta-direcionado poderia, em princípio, ser submetido a uma análise lógica.

Essa concepção da análise lógica torna mais fácil a refutação das teses contrárias à lógica da descoberta. Ela introduz, no entanto, dificuldades que merecem ser consideradas. Em primeiro lugar, tal como apresentada, ela surge da distinção estabelecida por Simon entre descrição (do fato de como as pessoas se comportam, raciocinam, etc) e prescrição (de normas de comportamento válido). Mas, como vimos no capítulo II, Hanson / não cansa de enfatizar que não abrimos os olhos e vemos uma coleção de fatos. O nosso aparato conceitual, e a nossa linguagem, têm um papel constitutivo nas nossas observações e na descrição dos fatos. Isto torna a dicotomia descrição/prescrição difícil de ser mantida. Além disso, dada a elasticidade do termo "análise lógica" estabelecido por Simon, os adversários da lógica da descoberta, incluindo Popper, possivelmente concordariam na existência de uma lógica da descoberta, em tal sentido do termo. O que eles colocam em dúvida é a existência de uma lógica da descoberta no sentido habitual do termo "lógica".

Como mencionamos no capítulo I, a maioria dos argumentos dos filósofos contra a possibilidade de uma lógica da descoberta parece estar também associada ao problema da indução. Isso porque o processo de descoberta desenvolve-se a partir de

fatos particulares em direção à busca de leis gerais que os / subsumam. Este dado dá lugar à suposição de que uma teoria normativa dos processos de descoberta de leis empíricas deveria / partilhar das dificuldades da lógica indutiva sob a qual, supostamente, ela estaria fundada. Simon refuta tal suposição argumentando em defesa de uma teoria normativa para avaliar os processos de descoberta que dispensa uma justificação dedutiva dos produtos da indução. De modo a ilustrar essa teoria ele discute um exemplo bastante simples que consiste em considerar a seguinte sequência de letras:

A B M C D M E F M G H M I J M K L M

M N M O P M Q R M S T M U V M W X M Y Z M A B M C ...

Ao examinar essa sequência um IPS, munido de processos elementares de informação que efetuam comparações e detectam semelhanças entre símbolos, verifica que ela é padronizada. Ele pode descrever essa sequência de forma parcimoniosa definindo o padrão, ao invés de exibir cada um dos seus elementos. Esse padrão poderia ser definido como um sequência de tríades cujos dois primeiros elementos acompanham a ordem alfabética, e o terceiro elemento corresponde à letra M. Dada uma notação apropriada para padrões, o IPS pode representar a tríade geral da sequência da seguinte maneira:

$$(1). \quad n(\alpha) \quad n(\alpha) \quad s(\beta); \quad \alpha = Z, \quad \beta = M$$

O símbolo $n(\alpha)$ indica a substituição de um símbolo seguinte a ele no alfabeto, e $s(\beta)$ indica a repetição do mesmo símbolo. As expressões $\alpha = Z$ e $\beta = M$ determinam os valores iniciais da sequência no alfabeto correspondentes à Z e M, respectivamente.

A expressão (1) representa, para Simon, a lei da sequência apresentada, uma vez que é possível instanciá-la e veri

ficar que ela descreve a sequência real apresentada. Além disso a expressão (1) prediz que a extrapolação continuará com DM - EFM, etc., embora não exista nenhuma garantia de que ela, de fato, continuará desta forma particular. Simon concorda que a justificação lógica para a extrapolação da sequência exigiria um apelo a algum princípio de uniformidade da natureza. Contudo, / isso não constitui para ele uma dificuldade, uma vez que essa / questão não diz respeito ao problema da descoberta dos padrões, que se resume, em sua opinião, na recodificação parcimoniosa da / aquele trecho da sequência que foi explicitamente apresentado. A dificuldade surge, a seu ver, apenas se quisermos fazer previsões e verificar se esse mesmo padrão continuará a governar a sequência quando ela for extrapolada. Mas, diz Simon:

"Descobrir a lei significa apenas encontrar um padrão nos dados observados; se o padrão se manterá para os novos dados que forem subsequentemente observados será decidido durante o curso de teste da lei e não na sua descoberta" (72)

Dessa forma ele elimina o problema da indução da sua / discussão sobre o processo de descoberta de lei, definindo:

- I - Um processo de descoberta de lei como um processo para reco / dificar, de modo parcimonioso, conjuntos de dados empíricos.
- II - Uma teoria normativa da descoberta com um conjunto de cri / térios para avaliar processos de descoberta de leis. (73)

A definição (I) é explicada levando-se em conta as / considerações acerca dos métodos de resolução de problemas feitas no capítulo IV. Tais considerações permitem compreender / que um IPS pode detectar padrões, seja através de tentativas e erros, seja fazendo uso do método heurístico de busca.

Para efeito de ilustração vamos analisar os passos envolvidos na descoberta do padrão que acabamos de descrever. Suponhamos, como o faz Simon, que temos um processo de descoberta de lei, munido de meios para representar as relações de igualdade e de sucessor, de tal forma que ele possa compor fórmulas do tipo $n(\alpha) \ n(\alpha) \ S(\beta)$. Através desse processo um IPS poderia descobrir aquele padrão, gerando várias fórmulas por meio de tentativa e erro. Ele começaria gerando fórmulas simples do tipo $S(\alpha)$, $n(\alpha)$, $S(\alpha) \ S(\beta)$, $n(\alpha)$, etc., testando cada uma delas até que o padrão $n(\alpha) \ n(\alpha) \ S(\beta)$ em questão fosse gerado.

Um processo de descoberta mais eficiente envolveria / estratégias mais sofisticadas para explorar a informação explícita na sequência de modo a poder construir o padrão, diretamente, sem fazer uso de tentativa e erro. O IPS poderia, por exemplo, percorrer a sequência e detectar a ocorrência das relações de igualdade e de sucessor entre os símbolos. Ele descobriria, desta forma, que todo terceiro símbolo da sequência é igual a M. A partir de tal informação, ele poderia inferir que a sequência tem um período de 3 símbolos. A seguir, ele notaria que o segundo símbolo de cada tríade terminada por M é sucessor, no alfabeto, do primeiro símbolo; e que o primeiro símbolo é o sucessor/ do segundo símbolo na tríade anterior. Essa informação seria suficiente para definir o padrão " $n(\alpha) \ n(\alpha) \ S(\beta)$ ". Finalmente, as condições iniciais $\alpha = Z$ e $\beta = M$ poderiam ser determinadas diretamente, através da comparação dos símbolos apropriados na sequência.

A distinção entre as duas estratégias empregadas é clara. Através do emprego da primeira delas, várias alternativas seriam exploradas, sistematicamente, até que o padrão ade -

quando fosse encontrado. Através da segunda estratégia, por sua vez, a informação sobre a recorrência periódica dos símbolos seria extraída da sequência levando-se em conta a posição de cada símbolo na sequência como um todo, e o conhecimento das relações de igualdade e de sucessor que são disponíveis ao sistema. A consideração destes elementos permitiria ao IPS gerar, diretamente, o padrão em questão. Obviamente, essa segunda estratégia é mais eficiente do que a primeira, no sentido de que ela evita um grande número de buscas.

A eficiência de uma estratégia na busca de um padrão, e o fato de que um processo pode extrair um padrão a partir de um conjunto finito de dados, não diz nada, entretanto, sobre a força preditiva desse padrão em relação às novas observações. Esse é um ponto relevante na argumentação de Simon em favor da lógica da descoberta. À medida que passamos das questões relativas à detecção de padrões para as questões referentes à predição, diz Simon, passamos da teoria de processos de descoberta para a teoria de verificação de hipóteses. A explicação de porque os padrões obtidos através de observações frequentemente permitem fazer previsões envolve a abordagem de dificuldades ligadas ao problema da indução. Essa questão, no entanto, não é relevante para a teoria normativa da descoberta. Tal teoria não afirma que os dados são, ou serão padronizados; ela apenas indica como um padrão pode ser detectado, se ele existir. Simon insiste em que este é um ponto que não diz respeito à Psicologia, mas, sim, à Lógica.

O exemplo que acabamos de comentar permite expressar a concepção de Simon sobre a lógica da descoberta, entendida como teoria normativa da descoberta. Ela pode ser resumida da seguinte maneira:

1. A teoria normativa da descoberta diz respeito ao / estudo de estratégias heurísticas para a detecção/ de padrões.
2. O estudo das estratégias heurísticas de busca constitui a matéria da teoria de resolução de proble - mas.
3. Separando a questão da detecção de padrões daque - las concernentes à previsão, podemos construir uma genuína teoria da descoberta - uma lógica da desco - berta. (74)

Ainda que a teoria normativa da descoberta proposta por Simon seja esclarecedora, em certos aspectos, ela possui limitações que o próprio autor reconhece, as quais poderiam dar lugar a várias objeções por parte dos adversários da lógica da desco - berta.

Simon admite que os seus críticos poderiam objetar que os exemplos de aplicação de sua teoria (tais como aquele da sequência de letras) correspondem a situações em que é possível / delimitar, de antemão, o alcance das hipóteses a serem consideradas; os tipos de padrões correspondentes, etc. Esses exemplos artificiais, diriam os objetores, não provam que, em ciência, / nos casos onde essas delimitações não ocorrem, tal teoria normativa da descoberta poderia ser ainda aplicada.

Considerando o peso dessa crítica, Simon observa que/ ela está fundada na distinção entre problemas bem e mal estruturados (capítulo IV). Contudo ele afirma que tal objeção não/ invalida sua tese; pois, se uma lógica da descoberta pode ser/ construída (como ele pretende ter mostrado), mesmo que seja para domínios bastante restritos, então os argumentos dos oposito

res da lógica da descoberta devem ser falhos. Ou, talvez, eles se apliquem apenas às descobertas relacionadas aos grandes "problemas revolucionários". Mas mesmo levando em consideração essa / última possibilidade, Simon insiste que, restaria saber se estes grandes "problemas revolucionários" não podem ser reduzidos / àqueles problemas mais simples. Considerando que é possível gerar um número indefinido de elementos a partir da aplicação recursiva de uma regra gerativa a um conjunto finito de elementos primitivos, então, diz Simon, nada nos assegura que as hipóteses relativas aos grandes "problemas revolucionários" não resultem do produto da aplicação desse tipo de regra gerativa a elementos que estão presentes nos problemas mais simples.

Uma outra objeção poderia ser feita à teoria simoniana da descoberta no que diz respeito ao questionamento do conceito de lei. À medida que Simon não define esse conceito, torna-se difícil saber em que sentido o termo "lei" se aplica a sua/ definição, segundo a qual,

"Um processo de descoberta de lei é um processo para recodificar, de forma parcimoniosa, conjuntos de dados empíricos". (75)

Uma possível interpretação dessa definição consistiria em conceber uma lei como um enunciado que expressa, de forma parcimoniosa uma regularidade a partir dos dados observados. Contudo, esta interpretação é problemática, pois, em / primeiro lugar, ela excluiria do seu âmbito as leis teóricas . Por outro lado, mesmo que seu âmbito fosse restrito ao conjunto de dados empíricos disponíveis, ela não nos permitiria distinguir regularidades acidentais de enunciados genuinamente legiformes, onde se expressam conexões necessárias entre eventos ou propriedades. Isto porque, conforme a sugestão de Hanson apresentada /

no capítulo II, a intelecção dos enunciados legiformes pressupõe um "back-ground" teórico que forneça à sucessão de eventos expressa pela lei, um caráter de necessidade. A dificuldade se manifesta à medida em que a teoria simoniana não nos diz como um / IPS poderia formular uma tal teoria. Neste caso, uma regularidade do tipo apresentada no capítulo II, segundo a qual um indivíduo diariamente dá corda no seu despertador, poderia ser / expressa de modo parcimonioso, na sucessão de símbolos sugerida / por Simon, sem contudo constituir uma regularidade do tipo legi - forme.

Um outro aspecto problemático da concepção simonia na da descoberta de leis consiste em que parece razoável pensar / que em uma determinada sequência de dados empíricos, um número indefinido de regularidades poderia ser detectado seguindo / as prescrições de Simon. Mas, o problema da descoberta não é encontrar um mecanismo que detecte padrões quaisquer. Interessa - ria à lógica da descoberta o estabelecimento de mecanismos que / permitissem selecionar padrões relevantes dentro de um contexto / determinado. Porém, como a noção de relevância depende de um contexto determinado, a boa atuação de um IPS na detecção de um padrão exigiria que ele pudesse manipular certos "frames" conceituais. A teoria simoniana, entretanto, não desenvolve este requisito. Alguns estudos sobre "frame problem" estão começando / a ser desenvolvidos em AI, mas até agora, tanto quanto seja de nosso conhecimento, poucos resultados significantes foram obtidos.

Apesar das possíveis vantagens que uma abordagem / da descoberta científica desenvolvida por Simon possam trazer em

relação aquela esboçada por Hanson, devemos considerar que uma máquina programada dificilmente poderia satisfazer as condições estabelecidas no capítulo I para a consideração de uma descoberta / verdadeira. Além disso, como sugere Buchan, existem razões que dificultariam um tal empreendimento. Entre elas pode-se mencionar o fato de que pode não ser clara, num dado caso, a forma que uma hipótese pode assumir. Por exemplo, nem todas as explicações são da forma $\forall x (Fx - Gx)$ e pode não haver maneira de determinar se um / dado conjunto de dados será explicado com esse tipo de enunciado. Ademais, as condições requeridas para a realização de uma descoberta podem não ser satisfeitas na medida em que existe alguma dúvida acerca do critério de verdade empírica pelo qual as descobertas devem ser julgadas. Seria possível, como ressalta Buchanan, / determinar quando um processo de descoberta foi bem sucedido. Essas e outras dificuldades apontam para a necessidade de uma análise crítica acerca das aparentes vantagens que poderiam advir do / emprego das máquinas no estudo da descoberta científica.

C O N C L U S Ã O

Iniciamos esse trabalho procurando caracterizar a distinção, normalmente considerada na Filosofia da Ciência, entre contexto de descoberta e contexto de justificação. Dentro dessa / polêmica discutimos a opinião de alguns filósofos acerca da possibilidade de se estabelecer uma lógica da descoberta científica. / Com o auxílio das idéias de Buchanan (1), procuramos mostrar que as condições sob as quais uma descoberta verdadeira é considerada como tendo sido realizada por um indivíduo não são condições estritamente lógicas, uma vez que elas envolvem considerações referentes a crenças e à importância que um indivíduo ou comunidade / atribui àquilo que foi descoberto.

Uma vez concluído que uma definição da descoberta / não pode ser feita, estritamente falando, no âmbito da Lógica Formal, investigamos quais poderiam ser as razões que teriam levado / alguns filósofos a defenderem a possibilidade de uma lógica da / descoberta. A ênfase no fato que os cientistas não agem irracionalmente quando realizam as suas descobertas foi o elemento central / encontrado nos argumentos desses filósofos. Contudo, a análise do trabalho tais filósofos mostra que a idéia de encontrar uma lógica da descoberta que possibilitasse um método efetivo para a descoberta de hipóteses verdadeiras na ciência foi substituída pela proposta de investigação de métodos heurísticos de resolução / de problemas, os quais são métodos falíveis. Dentro dessa proposta analisamos o desenvolvimento dos trabalhos de Hanson e Simon / sobre uma possível metodologia da descoberta. Dedicamos também es

pecial atenção aos métodos heurísticos de resolução de problemas/ e indicamos alguns pontos que poderiam ser desenvolvidos em um estudo da metodologia da descoberta científica.

Uma comparação entre as idéias de Hanson e Simon / sobre a descoberta leva-nos, finalmente, a ressaltar alguns pontos em comum entre esses autores. O primeiro ponto diz respeito a idéia de que a lógica da descoberta, entendida como uma metodologia da descoberta, pode ser concebida como uma área de inquérito/ relacionada à atividade de resolução de problemas. Como vimos, ambos partem do pressuposto de que a razão para se criar uma hipótese científica reside na necessidade de explicar certos fatos que/ se apresentam ao descobridor como um problema a ser resolvido.

Mas, esse mesmo ponto em comum entre eles comporta uma diferença no que se refere aos tipos de problemas que cada um deles julga que poderiam ser relevantes para um estudo da descoberta. Como vimos, Hanson declara que ele não está interessado em saber como se empregam teorias bem estabelecidas para resolver / problemas ou explicar situações convencionais. Os problemas aos / quais ele se refere como ponto de partida do processo de descoberta são, principalmente, aqueles cuja solução requer uma reorganização conceitual por parte do descobridor. Simon, por outro lado, está interessado em analisar os processos de resolução de problemas convencionais formulados no interior de teorias bem estabelecidas. Isso porque ele julga que não há diferença qualitativa entre esses processos e aqueles presentes nos problemas de descoberta.

A distinção implícita entre as duas abordagens / acerca dos tipos de problemas relevantes para o estudo da descoberta poderia ser minimizada se considerarmos, como fizemos no capítulo

tulo III, que os problemas cujas soluções representam descobertas científicas, são, em muitos casos, problemas inicialmente mal definidos, no sentido que eles são informacionalmente incompletos / (o data base, ou os atributos que poderiam caracterizar uma solução, são incompletos). Hanson não discute essa questão. Ele trata indiferentemente os casos de resolução de problemas cujas soluções representaram descobertas dentro da ciência normal e aqueles cujas soluções representaram descobertas revolucionárias. Assim é que / ele analisa, sem fazer qualquer referência quanto a esse tipo de questão, a descoberta de Kepler da órbita elíptica de Marte (que / constituiu, uma descoberta revolucionária) e a descoberta do neutrino (que envolvia a manutenção de conceitos já conhecidos e que foi realizada dentro de um período de ciência normal).

Aparentemente, esse tratamento indiferenciado, por parte de Hanson, das descobertas revolucionárias e não-revolucionárias foi um dos fatores que levou Simon a formular sua tese, ainda mais geral, de que não há diferença qualitativa entre o processo de resolução de problemas convencionais e problemas de descoberta. Na verdade, nos casos de descobertas que não envolvem a introdução de novos conceitos, essa tese de Simon parece bastante / razoável. Poderíamos nos perguntar, por exemplo: qual seria a distinção, entre a descoberta de uma incógnita de um problema bem / formulado e a descoberta da lei de Boyle? Como enfatiza Kuhn (2), seus descobridores possuíam de antemão os conceitos de pressão e volume de um gás, bem como os instrumentos necessários para determinar suas magnitudes. A descoberta de que é constante o produto / da pressão pelo volume de um gás, à temperatura constante, simplesmente adicionou algo acerca do comportamento de variáveis anteriormente conhecidas. Mas, apesar de não ter acarretado nenhuma

revolução, não podemos negar que a descoberta da lei de Boyle constitui uma descoberta relevante para o progresso do conhecimento científico.

Um outro ponto em comum a ser ressaltado na abordagem dos dois autores diz respeito à preocupação de cada um deles em tentar caracterizar a lógica da descoberta como distinta das teorias psicológicas da descoberta. Como vimos, Simon procura estabelecer esta distinção desenvolvendo uma teoria psicológica, por um lado, e uma teoria normativa da descoberta, por outro. Na sua abordagem psicológica da descoberta ele enfatiza que uma teoria da descoberta deve descrever e analisar o comportamento real, eficiente ou não, dos indivíduos durante o processo de descoberta. Já a sua lógica da descoberta diz respeito à uma teoria normativa dos procedimentos de descoberta. Ela visa a obtenção de normas eficientes de comportamento que poderiam auxiliar um indivíduo racional e fazer descobertas.

Hanson, por sua vez, insiste em distinguir a lógica da descoberta das teorias psicológicas da descoberta enfatizando o aspecto conceitual subjacentes ao processo de descoberta. Como vimos, ele invoca as noções de fato e observação teórico-carregada, contexto e significado, raciocínio retrodutivo, etc, com a finalidade de ressaltar tal aspecto conceitual. Contudo, o seu empenho nem sempre é compreendido pelos filósofos que concebem seu trabalho, algumas vezes, como uma mera contribuição à psicologia.

O terceiro ponto em comum entre os dois autores diz respeito à noção de "padrão conceitual" a qual Hanson se refere como o elemento central caracterizador da descoberta. A solução de um problema de descoberta consiste para este autor em encontrar um padrão conceitual dentro do qual uma anomalia, que anteriormente parecia ininteligível torna-se perfeitamente enquadrada

da e pode ser explicada como algo a ser esperado naturalmente. Hanson não discute em detalhes o que deve ser entendido por tais / "padrões conceituais" e continua discutível o que ele de fato entendia por tal noção. Já Simon, tentando explicitar essa noção, define a descoberta de padrões com a descoberta de um processo para recodificar, de forma parcimoniosa, conjuntos de dados empíricos. Contudo, à medida em que a noção de "padrão conceitual", tal como empregada por Hanson, só faz sentido se levarmos em conta toda a discussão desenvolvida em PD acerca de observação, fatos e causalidade, e como Simon não considera esses elementos na sua análise, fica por decidir se a definição de Simon poderia ser entendida como uma versão simplificada da idéia de "padrão conceitual" referida por Hanson.

Finalmente um ponto que nos parece absolutamente / essencial no estudo desenvolvido pelos dois autores diz respeito / à análise do raciocínio subjacente ao processo de descoberta. Como procuramos mostrar nos capítulos anteriores, ainda que enfocados sob prismas diferentes, tanto o raciocínio retrodutivo enfatizado por Hanson como o método heurístico discutido por Simon podem ser entendidos como uma versão do método de análise descrito por Pappus. Acreditamos que um estudo detalhado desse método, levando-se em conta informações obtidas através da História da Ciência (em particular dos trabalhos de Descartes, Galileo e Newton) / poderia contribuir imensamente para um esclarecimento acerca de / como os conceitos e as teorias são racionalmente elaborados na / ciência.

N O T A S

- (1) Popper, K.R. (1), p. 31.
- (2) Black, M. (1), p. 233.
- (3) Peirce, Ch. (1), p. 220.
- (4) Toulmin, S. apud Suppe (1), p. 668.
- (5) McLaughlin, R. (1), p. 199.
- (6) Von Wright, G. (1), p. 17.
- (7) Buchanan, B. (1), p. 33.
- (8) Sayre, K. (1), p. 144.
- (9) Buchanan, B. (1), p. 65.
- (10) Toulmin, S. apud Suppe (1), p. 669.
- (11) Hanson, N.R. (3), p. 65.
- (12) Hanson, N.R. (4), p. 13.
- (13) Hanson, N.R. (5), p.6.
- (14) Hanson, N.R. (5), p. 17.
- (15) Hanson, N.R. (5), p. 26.
- (16) Hanson, N.R. (4), p. 16.
- (17) Hanson, N.R. (4), p. 20.
- (18) Hanson, N.R. (5), p. 62.
- (19) Hanson, N.R. (5), p. 64.
- (20) Hanson, N.R. (5), p. 118.
- (21) Hanson, N.R. (5), p. 54.
- (22) Putman, H. (1), p. 71.
- (23) Hanson, N.R. (5), p. 86.
- (24) Hanson, N.R. (5), p. 87.
- (25) Hanson, N.R. (5), p. 90.
- (26) Hanson, N.R. (5), p.86.
- (27) Hanson, N.R. (5), p. 71.

- (28) Hanson, N.R. (2), p.183.
- (29) Hanson, N.R. (1), p.33.
- (30) Hanson, N.R. (6), p. 29.
- (31) Hanson, N.R. (6), p. 29.
- (32) Hanson, N.R. (6), p. 32.
- (33) Hanson, N.R. (6), p. 33.
- (34) Hanson, N.R. (6), p. 34.
- (35) Polya, G. (1), p. 104.
- (36) Descartes, R. (1), p. 97.
- (37) Descartes, R. (1), p. 91.
- (38) Polya, G. (1), ps. 3 e 4.
- (39) Polya, G. (1), p.4.
- (40) Polya, G. (1), p. 5.
- (41) Polya, G. (1), p. 12.
- (42) Miller, Galanter e Pibran (1), p. 183.
- (43) Amarel, S. (1), p. 181.
- (44) Amarel, S. (1), p. 182.
- (45) Polya, G. (1), p.126.
- (46) Polya, G. (1), p. 126.
- (47) Polya, G. (1), p. 125.
- (48) Polya, G. (1), p. 125.
- (49) Pappus, apud Polya, G. (1), p. 104.
- (50) Pappus, apud Polya, G. (1), p. 104.
- (51) Pappus, apud Polya, G. (1), p. 104.
- (52) Polya, G. (1), p. 106.
- (53) Szabó, A. apud Hintikka, J. e Remes, U. (1),
ps. 126-128.
- (54) Hintikka, J. (1) p. 10.
- (55) Nilson, N. (1), ps. 97-100.

- (56) Hintikka, J. e Remes, U (1), ps. 52-53.
- (57) Newton (passagem extraída de Opticks, Query 23/31 (1730 editon), apud Hintikka e Remes(1), ps. 105-106.
- (58) Hintikka, J. e Remes, U. (1), p. 106.
- (59) Boden, M. (1), p. 17.
- (60) Newell, A. e Simon, H. (1), p. 11.
- (61) Gunderson, K. (1), p.97.
- (62) Jackson, Ph. (1), p. 71.
- (63) Newell, A. e Simon, H. (2), p.121.
- (64) Amarel, S. (1), ps. 183-184.
- (65) Jackson, Ph. (1), p. 73.
- (66) Jackson, Ph.(1), p. 74.
- (67) Simon, H. (1), ps. 287-303.
- (68) Kepler, apud Hanson, N.R. (5), p.83.
- (69) Simon, H.(1), p. 301.
- (70) Popper, K.(1), p. 31.
- (71) Simon, H.(1), p. 328.
- (72) Simon, H.(1), p. 331.
- (73) Simon, H. (1), p. 331.
- (74) Simon, H. (1), ps. 327-337.
- (75) Simon, H. (1), p. 331.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - AMAREL, S. (1) "On Representation of Problems and Goal-Directed Procedures for Computers". In Comunicação de the ASC - Vol 1, nº 2 Julho de 1969 pp. 9-36.
- 2 - BODEN, M. (1) Artificial Intelligence and Natural Man Brighton, Sussex, The Harvester Press Limited, 1977.
- 3 - BLACK, M. (1) Models and Metaphors Trad. Castelhana Modelos y Metaforas Editora Tecnos S.A. 1966.
- 4 - BUCHANAN, B. (1) Logics of Scientific Discovery Tese de Doutoramento - Michigan State University, 1967.
- 5 - DENNETT, D. (1) Content and Consciousness, London: Routledge & Kegan Paul, 1969.
- 6 - DENNETT, D. (2) Brainstorms, Montgomery, Bradford Books, 1978.

- 7 - DESCARTES, R. (1) Les Règles pour la Direction de l'Ésprit
Paris, Éditions Garnier Frères, 1963.
- 8 - DREYFUS, H. (1) What Computers Can Not Do
New York, Harper & Row, 1972.
- 9 - FODOR, J. (1) The Language of Thought,
New York, Crowell, 1975.
- 10 - GUNDERSON, K. (1) Mentality and Machines
New York, Anchor Books, 1971.
- 11 - HANSON, N.R. (1) "Is there a logic of Scientific
Discovery? " In Feigl H. and Maxwell
G. (eds) Current Issues In the
Philosophy of Science
New York, Holt Rinehar & Winston,
1961.
- 12 - HANSON, N.R. (2) "More on the Logic of Discovery"
In Journal of Philosophy, n° 55
1958, pp. 1073/89.

- 13 - HANSON, N.R. (3) "Notes Toward a Logic of Discovery"
In Bernestein, R (ed) Perspectives
on Peirce, New Haven, Yale University
Press, 1965.
- 14 - HANSON, N.R. (4) Observation and Explanation
Trad. Castelhana - Observación y
Explicación: guia de la Filosofia
de la Ciencia. Madrid, Alianza Edito-
rial, 1977.
- 15 - HANSON, N.R. (5) Patterns of Discovery
Cambridge U. K., Cambridge University
Press, 1958.
- 16 - HANSON, N.R. (6) "Retrodutive Inference"
In Philosophy of Science: the Delaware
Seminar Vol. 1, 1963.
- 17 - HEMPEL, C.G. (1) Philosophy of Natural Science
New York, Prentice-Hall, 1966.
- 18 - HEMPEL, C.G. (2) Aspects of Scientific Explanation
and other Essays in the Philosophy of
Science. New York: Free Press, 1965.

- 19 - HESSE, M. (1) Models and Analogies in Science
Notre Dame, University of Notre
Dame Press, 1966.
- 20 - HINTIKKA, J. (1) "A discourse on Descartes' Method"
(Artigo não publicado, 1980).
- 21 - HINTIKKA, J. & REMES, U. (1) The Method of Analysis
Dordrecht, Holland
D. Reidel Publishing Company, 1974.
- 22 - JACKSON, Ph. (1) Introduction to Artificial Intelli-
gence, New York, Petrocelli Books,
1975.
- 23 - KAUFMANN, G. (1) Imagery, Language and Cognition
Universitatsforlaget, 1980.
- 24 - KUHN, T.S. (1) The Structure of Scientific Revolutions
Trad. Bras. - A Estrura das Revoluções
Cientificas, - São Paulo
Editora Perspectiva, 1975.
- 25 - KUHN, T.S. (2) "What are Scientific Revolutions?"
Occasional Paper nº 18, 1981.
(Não Publicado).

- 26 - LAKATOS, I. (1) "The Method of Analysis- Syntesis" in Mathematics, Science and Epistemology, Philosophical Papers, Vol.II, 19.
- 27 - LAUDAN, L. (1) Progress and its Problems. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1977.
- 28 - LAUDAN, L. (2) "A Problem- Solving APPROACH to Scientific Progress" in Scientific Revolutions, Hacking, I (ed). Oxford University Press 1981.
- 29 - LOPARIC, Z. (1) Scientific Problem- Solving in Kant and Mach. Tese de Doutoramento. Universite' Catholique de Louvain - Belgica.(1983)
- 30 - Mc LAUGHLIN, R. (1) "Invention and Induction: Laudan, Simon and the Logic of Discovery" Philosophy of Science, 49, 1982 pp. 198- 211.
- 31 - MILLER, G. GALANTER, A. (1) PLANS and the Structure of Behavior & PRIBRAM, R. New York, Halt, 1960.

- 32 - NEWELL, A. SHAW, J.
& SIMON, H. (1) "GPS: a program that simulates
human thought" In Feingembaum and
Feldamann (eds) Computers and Thought
New York, McGraw-Hill, 1963.
- 33 - NEWELL, A. SHAW, J.
& SIMON, H. (1) Human Problem Solving
New Jersey, Englewood Cliffs, 1972.
- 34 - NEWELL, A. SIMON, H. (2) The Simulation of Human Thought
In Current Trends in Psychological
Theory, Pittsburgh, Pittsburgh
University Press, 1962.
- 35 - NILSSON, N. (1) Problem-Solving Methods in Artificial
Intelligence
New York, McGraw-Hill, 1971
- 36 - PEIRCE, CH. (1) Collected Papers, v. VII
- 37 - POLYA, G. (1) How To Solve It
Trad. Bras. A Arte de Resolver Problemas
Rio de Janeiro, Editora Intersciencias,
1978.
- 38 - POPPER, K.R. (1) The Logic of Scientific Discovery
New York, Science Editions, INC, 1961
- 39 - PUCHKIN, V.N. (1) Heuristics
Trad. Brasi. Heuristica - RJ. Zahar, 1976

- 40 - PUTNAM, H. (1) "The Corroboration of Theories" in
Scientific Revolutions, Hacking, I (ed)
Oxford University Press, 1981.
- 41 - RAPHAEL, B. (1) The Thinking Computer
S.Francisco , Freeman, 1976
- 42 - SAYRE, K. (1) "The Simulation of Epistemic Acts"
In Ringle, M. (ed) Philosophical
Perspectives in Artificial Intelligence,
Sussex, The Harvester Press Limited, 1979.
- 43 - SHAPER, D. (1) "Notes Toward a Post - Positivistic
Interpretation of Science", pg (115-160)
in Achinstein and Baker (1969).
- 44 - SIMON, H. (1) Models of Discovery
Cambridge, MIT Press 1974.
- 45 - SIMON, H. (2) The Science of Artificial
Cambridge, MIT Press, 1969.
- 46 - SLOMAN, A. (1) The Computer Revolution in Philosophy
Sussex, The Harvester Press Limited
1978.
- 47 - SUPPE, F. (1) The Structure of Scientific Theories
Illinois, The Board of Trustees Univer-
sity of Illinois, 1974.

48 - TURING, A.

- (1) "Computing Machinery and Intelligence" .
in Feingenbaun and Feldmann, (eds)
Computers and Thought New York,
McGraw-Hill, 1963.

49 - TOULMIN, S.

- (1) Foresight and Understanding
London: Hutchinson New York: Harper
and Row, Torchbook, 1964.

50 - VON WRIGHT, G.

- (1) A Treatise on Induction and Probability
Routledge and Kegan Paul 1951.