

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDA A REDAÇÃO FINAL
DA TESE DEFENDIDA PELO SR. GASTÃO CLOVIS
LIMA CORREIA E APROVADA PELA COMIS-
SÃO JULGADORA.
CAMPINAS, 16 DE NOVEMBRO DE 1987.



A RACIONALIDADE DA DESCOBERTA CIENTÍFICA

Gastão Clovis Lima Correia

Dissertação apresentada ao Depar-
tamento de Filosofia da Universi-
dade Estadual de Campinas sob a
orientação do Prof. Dr. ZELJKO
LOPARIĆ, para a obtenção do títu-
lo de mestre em Lógica e Filoso-
fia da Ciência.

Campinas, Outubro de 1987.

C817r

8880/BC

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

A RACIONALIDADE

DA DESCOBERTA CIENTÍFICA

Gastão Clovis Lima Correia

Agradecimentos:

Ao Professor Zeljko Loparić por sua
orientação no decorrer deste trabalho.

Aos amigos: Elias Humberto Alves,
ao "moleque" IEL,
e a Ana Lêda de Araujo.

A

Amelia, Betty e Dalila

Agradeço as bolsas de pesquisa
que me foram concedidas pelas
seguintes instituições: CAPES,
CNPQ e FAPESP.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
1 - METODOLOGIAS QUE NÃO CONSIDERAM A DESCOBERTA CIENTÍFICA COMO RACIONAL	10
1.1 - O falseacionismo de Popper	11
1.2 - Kuhn	20
Notas	27
2 - A METODOLOGIA DOS PROGRAMAS DE PESQUISA E A RACIONALIDADE DA DESCOBERTA CIENTÍFICA	28
2.1 - A metodologia dos programas de pesquisa	29
2.2 - A racionalidade da descoberta científica	38
Notas	45
3 - O MÉTODO DE ANÁLISE E SÍNTESE E A CONSTRUÇÃO RACIONAL DE TEORIAS	46
3.1 - A heurística	47
3.2 - O método heurístico de análise e síntese	48
3.3 - A conjectura de Euler e o seu desenvolvimento em um programa de pesquisa	61
3.4 - Conclusão	86
Notas	90
Bibliografia	92

A RACIONALIDADE DA DESCOBERTA CIENTÍFICA

INTRODUÇÃO

O objetivo deste estudo é discutir a possibilidade de uma explicação racional para a descoberta e construção das teorias científicas. Para o alcance deste objetivo iniciamos esta dissertação com a apresentação das metodologias de Popper e Kuhn, discutimos as suas características, procuramos, ver como cada uma dela apresenta a questão do surgimento das teorias e como explicam a racionalidade da descoberta científica. Posteriormente analisamos a metodologia dos programas de pesquisa e examinamos o fato desta metodologia possibilitar uma interpretação da descoberta científica como racional, dentro da história interna da ciência. Por último, mostramos que o uso pelos cientistas do método heurístico de provas e refutações, ou análise e síntese, possibilita à metodologia acima inserir o processo de descoberta científico como parte do estudo da filosofia da ciência.

Este estudo consta dos seguintes capítulos:

Cap. 1- Metodologias que não consideram a descoberta científica como racional.

Neste capítulo fazemos uma breve apresentação das metodologias de Popper e Kuhn, procurando mostrar que as suas principais teses metodológicas, bem como as suas colocações sobre a racionalidade da atividade científica, não con-

sideram como racional a descoberta científica.

Na secção 1.1 - O falseacionismo de Popper, explicamos como é erigida e desenvolve-se a ciência, fazemos uma apresentação das principais características desta metodologia, procurando mostrar em que ela se diferencia das metodologias indutivas, mostramos as exigências que uma teoria deve cumprir para que não possa ser considerada ad hoc e represente um desenvolvimento no conhecimento científico, e finalizamos apresentando as principais teses desta metodologia com relação à racionalidade científica.

A existência da secção 2.2 - Kuhn - pode ser explicada em razão deste autor ter uma concepção da ciência divergente da de Popper, como também porque duas importantes obras metodológicas de Lakatos (1970) e (1971) são um constante diálogo com Kuhn. Em um contexto mais geral podemos afirmar que esta secção pode ser justificada pela nossa necessidade de, em oposição a Kuhn, esclarecermos a retirada dos componentes psicológicos e sociológicos nos processos de descoberta, feita por Lakatos.

Nesta secção procuramos mostrar que para Kuhn a atividade científica possui elementos sociopsicológicos marcantes, e que diferentes paradigmas são incomensuráveis entre si.

Cap. 2 - A metodologia dos programas de pesquisa e a racionalidade da descoberta científica.

Iniciamos a primeira parte deste capítulo fazendo uma exposição da metodologia de Lakatos, mostramos como são avaliadas as teorias científicas, o que são programas de pesquisa, definimos o que é heurística negativa e positiva de um programa, quando este é progressivo ou degenerativo, e por último colocamos o problema da eliminação dos programas de pesquisa.

Na segunda parte apresentamos as principais teses' da metodologia dos programas de pesquisa com relação à racionalidade, procuramos mostrar que esta metodologia possui uma definição do que seja a racionalidade científica de forma a englobar aspectos inexplicados internamente pelas metodologias do capítulo anterior, discutimos o problema da descoberta científica ser ou não ser racional, e concluimos afirmando ' que a filosofia da ciência pode estudar e explicar racionalmente a descoberta científica.

Cap. 3 - O método de análise e síntese e a construção racional de teorias.

Partindo da conclusão de que a filosofia da ciên-cia pode estudar a descoberta científica e que o processo de construção de teorias pode ser explicado pela história interna da ciência, torna-se necessário que explicitemos que métodos podem ser utilizados para isto. Em vista disto iniciamos o terceiro capítulo com um estudo sobre heurística, nesta ' parte definimos o que seja heurística e apresentamos algumas regras heurísticas para a descoberta.

O segundo momento deste capítulo é uma discussão ' sobre o método heurístico de análise e síntese, partimos da descrição de Pappus deste método e apresentamos as interpretações de Robinson, Cornford, Gulley e Lakatos.

A terceira parte se constitui em uma reconstrução' do processo de descoberta da conjectura de Euler, $V - A + F = 2$, e o seu desenvolvimento posterior em um programa de pesquisa.

Na última parte da dissertação procuramos mostrar' que existem diferenças significativas entre o enfoque dedutivo e o heurístico, e que o enfoque heurístico não é infalí-vel. É apenas mais plausível, e nisto reside a sua justificativa

1 - METODOLOGIAS QUE NÃO CONSIDERAM A DESCOBERTA CIENTÍFICA COMO RACIONAL.

Em primeiro lugar queremos salientar que não abordaremos a metodologia utilizada pelos indutivistas, seja na versão clássica ou neoclássica, em razão de que o objetivo desta dissertação é mostrar a existência de uma lógica da descoberta para a construção de teorias, e como a partir das obras de Liebig e Whewell ficou demonstrado que o método indutivo clássico (formulado por Bacon, Herschel e Mill) não poderia servir para a descoberta de teorias (1). Mais recentemente, Popper e Lakatos mostraram que o método indutivo não funciona nem para a descoberta nem para a confirmação de teorias. Com relação aos indutivistas neoclássicos (Carnap, Reichenbach e a escola de Cambridge) queremos destacar que não os analisamos aqui em razão de eles não considerarem a descoberta científica como um fenômeno racional e não terem discutido nem o próprio desenvolvimento da ciência, restringido-se apenas aos aspectos inerentes à justificação.

Neste capítulo apresentamos as metodologias de Popper e Kuhn. Embora estes dois autores não considerem a descoberta científica como racional, o objetivo das suas apresentações nesta dissertação deve-se ao fato de Popper e Kuhn, 'contribuírem para a compreensão da metodologia dos programas de pesquisa, e para introduzir a demarcação de Lakatos entre a história interna e externa da ciência, de forma a retirar' da primeira os componentes psicológicos e sociológicos da descoberta científica.

1.1 - O falseacionismo de Popper

Nesta seção, dedicada ao falseacionismo de Popper, fazemos uma apresentação das principais características desta metodologia. Procuramos mostrar em que ela se diferencia das metodologias baseadas no método indutivo, explicamos como desenvolve-se a ciência e finalizamos apresentando a principal tese desta metodologia com relação à descoberta científica, isto no contexto da racionalidade da atividade científica.

O método falseacionista surge da recusa de Popper em aceitar que o método científico esteja baseado na lógica indutiva, seja a clássica ou a neoclássica. Devido a esta recusa Popper é forçado a rejeitar os critérios de demarcação entre a ciência e a não ciência, propostos pelos indutivistas, por achar que a sua utilização retira do corpo da ciência as leis universais da natureza, as teorias científicas. Salientamos que as leis universais devem ser entendidas como enunciados que por sua forma lógica são estritamente universais, no enunciado só aparecem nomes universais, não estão limitados quanto ao espaço e ao tempo; estes enunciados não podem ser verificados por não podermos registrar a totalidade do mundo, para sabermos o que existe ou não existe. Eles podem apenas ser falseados por enunciados básicos. Enquanto as teorias são formadas por enunciados universais que descrevem o mundo e explicam os dados observáveis, funcionando como redes, com malhas cada vez mais finas, que lançamos para racionalizar, explicar e dominar o mundo. E explicar um dado observado é deduzir o enunciado que o descreve a partir da teoria e condições iniciais, que são enunciados singulares que se referem ao evento a explicar (2).

Em oposição à "verificabilidade" e "confirmabilidade" como critérios de demarcação (3), Popper propõe a falsea

bilidade. Com o falseacionismo os sistemas científicos e metafísicos são diferenciados pelo fato de os primeiros serem susceptíveis de testes experimentais, e porque devem ser construídos de forma que possam ser refutados com o uso do modus tollens da lógica dedutiva. Enquanto os indutivistas afirmam que a verificação - ou a confirmação - dos enunciados singulares transfere a verdade - aumenta o grau de probabilidade -, indutivamente, aos enunciados universais, Popper afirma que o teste dos enunciados singulares apenas pode falsear os enunciados universais.

A utilização do método falseacionista inicia-se após o ato de invenção da teoria pelo cientista, invenção esta que não faz parte do campo de estudo da lógica do conhecimento científico, que passa então a utilizar as regras da lógica dedutiva para a dedução de enunciados singulares que possam ser contrastados pela observação; caso existam observações possíveis para refutar a teoria dizemos que ela é científica, em caso contrário afirmamos que ela é metafísica.

Como Popper nega que a partir da indução se possa construir teorias, e que também exista uma lógica para a sua construção, ele diz que a ciência surge com os mitos, "na discussão crítica dos mitos, das técnicas e práticas mágicas. A tradição científica se distingue da tradição pré-científica por apresentar dois extratos; como esta última, ela lega suas teorias, mas lega também com elas, uma atitude crítica com relação a essas teorias. As teorias são transferidas não como dogmas mas acompanhadas por um desafio para serem discutidas e se possível aperfeiçoadas" (4).

Este aperfeiçoamento e também a expansão da ciência se faz através do uso do método de conjecturas e refutações. As conjecturas são as teorias construídas pelo cientista na sua tentativa de explicar a realidade; enquanto as possibilidades de refutações funcionam como determinadoras da cientificidade da teoria, como elemento crítico das conjecturas, por permitir a verificação da sua falsidade, e consequentemente nos forçar à procura de conjecturas mais audazes.

O ato de propor novas conjecturas obedece a critérios metodológicos que irão assegurar a possibilidade de desenvolvimento do conhecimento; o cientista só propõe uma teoria nova quando ela possui um conteúdo empírico adicional com relação ao seu conhecimento de partida, esse conteúdo que *dará* uma maior testabilidade à teoria proposta. Salientamos que quanto maior o conteúdo empírico da teoria, menor o índice de probabilidade, e maiores são as possibilidades de refutações. Isto porque, consideremos que o conteúdo da teoria seja a, $Ct(a)$, ao incorporarmos à teoria a proposição b, teremos $Ct(ab)$ maior, ou pelo menos igual a $Ct(a)$, e $Ct(b)$ menor ou igual a $Ct(ab)$, ou seja:

$$Ct(a) \leq Ct(ab) \geq Ct(b)$$

podendo $Ct(ab)$ ser mais susceptível de refutações, caso tenha aumentado as possibilidades de teste; enquanto no cálculo de probabilidade a situação será:

$$p(a) \geq p(ab) \leq p(b),$$

onde o aumento do conteúdo diminui a probabilidade. Existindo assim uma assimetria entre o conteúdo empírico de uma teoria e sua probabilidade, pois aumentar o conteúdo da teoria é torná-la mais falseável e menos provável, enquanto que aumentar o grau de probabilidade torna a teoria menos falseável e com menor conteúdo (5).

O conteúdo empírico de uma teoria é que irá possibilitar a distinção entre o "mundo real da experiência", dos mundos logicamente possíveis (objetivo da ciência); assim, uma teoria terá maior conteúdo empírico quanto mais proibir o aumento das proibições tornará a teoria mais refutável, pois o mundo real possui uma margem de possibilidades menor que os mundos possíveis. Não dizemos que a ciência conseguiu, ou conseguirá, alcançar o mundo real; apenas afirmamos que o objetivo da ciência é alcançar uma maior verossimilhança, no sentido de uma maior aproximação da ciência à verdade (6).

Verossimilhança é definida como grau de aproximação do conteúdo de uma teoria com a verdade. Este grau que só é igual a 1 se a teoria for completa, incluir todos os fatos verdadeiros, e apenas estes. Porém esse ideal é irrealizável. Salientamos que a distinção entre verossimilhança e probabilidade pode ser vista quando observamos que o primeiro conceito está ligado ao conteúdo, combina "a verdade com o conteúdo, enquanto a probabilidade combina a verdade com a falta de conteúdo" (7).

Para que as teorias ^{se} "aproximem" cada vez mais, da verdade, necessitamos propor novas teorias; consideremos que o nosso conhecimento de partida seja T; para a proposição de uma nova teoria, T', é necessário:

- 1 - T' deve ser mais simples que T;
- 2 - T' deve ser testada independentemente;
- 3 - T' deve resistir a alguns dos novos testes (8).

A primeira exigência, maior simplicidade, que o próprio Popper reconhece ser um tanto vaga (1963b, p. 267), deve ser entendida como a necessidade de T' ter um grau de universalidade e precisão maior que T, sendo assim mais falseável, portanto mais testável (9).

A testabilidade independente, segunda exigência, baseia-se no fato de que é sempre possível formular-se uma nova teoria que se ajuste a um conjunto predeterminado de explicanda, pelo uso de hipóteses ad hoc; para que esse fato não ocorra há a exigência de novas consequências testáveis; T' deve levar à previsão de fenômenos ainda não observados; por essa exigência "a nova teoria representará de fato um passo adiante, qualquer que seja a consequência dos novos testes".

No momento do surgimento de uma nova conjectura, sabemos se os dois primeiros critérios "podem ser atendidos ou não em grande parte pela análise lógica das teorias novas e antigas:[eles] são 'requisitos formais'". Porém para sabermos algo sobre o terceiro critério devemos esperar a experimentação empírica da nova teoria, "trata-se de um 'requisito material', uma exigência de sucesso empírico" (10). Com este

critério Popper não quer afirmar que a falsificação logo no primeiro teste torne a teoria desinteressante, pois conjecturas promissoras e interessantes já nasceram refutadas, e as refutações também são importantes por legar à ciência novos experimentos e problemas.

Embora as falsificações sejam importantes, na ciência existe a necessidade deste último critério metodológico' como regra devido ao fato de que sem corroboração da teoria o progresso da ciência não poderia continuar, e correríamos' o risco de estarmos produzindo uma série de teorias ad hoc (11). Podemos construir uma teoria que cumpra os dois primeiros requisitos mas que seja sempre refutada pelos testes independentes, "precisamos apenas associá-la, conjuntivamente, de uma forma ou de outra com qualquer previsão fantástica ad hoc que nos ocorra (ou a algum escritor de ficção científica), testável mas ainda não testada" (12). Assim podemos ver que a ciência para o seu desenvolvimento necessita tanto de falsificações como de corroborações, pois de outra forma não haveria progresso científico

A corroboração ocorre quando deduzimos da teoria, mais condições iniciais, enunciados singulares (predições), e os contrastamos com os enunciados básicos aceitos; caso os enunciados básicos contradigam os singulares a teoria fica refutada; caso contrário a teoria fica corroborada.

Os enunciados básicos é que determinam se uma teoria é empírica, seja por corroborar as hipóteses falseadoras da teoria, ou por não estar em contradição com ela. Eles só podem cumprir esta função por poderem contradizer a teoria,

e, porque, por sua forma lógica, sua negação não poder ser um enunciado básico. Porém eles necessitam cumprir um requisito material, serem contrastados intersubjetivamente pela observação, pois apenas desta maneira podemos afirmar que um evento observado acontece em uma região individual do espaço e do tempo.

Podemos afirmar que falseabilidade e grau de corroboração estão estreitamente relacionados, isto porque quanto maior a falseabilidade de uma teoria, maior a sua base empírica, podendo ser submetida a mais contrastações, que se não forem refutadoras aumentará o grau de corroboração da teoria.

O cumprimento dos dois primeiros critérios e o sucesso empírico de algumas teorias, no terceiro, é que fazem as teorias científicas aumentarem o seu grau de corroboração, que é distinto do grau de probabilidade, segundo a demonstração de Popper; caso tomemos os dois termos como equivalentes negaremos a adotar teses paradoxais (13).

O aumento do grau de corroboração não se dá como decorrência do número de casos corroboradores, mas em virtude da severidade das contrastações a que se submete a teoria. Séveridade esta que depende da simplicidade da teoria, sua universalidade e precisão. Condideremos as seguintes teorias:

T¹ - "Todas as órbitas dos corpos celestes são circunferências;

T² - "Todas as órbitas dos planetas são circunferências;

T³ - "Todas as órbitas dos corpos celestes são elipses";

T⁴ - "Todas as órbitas dos planetas são elipses"(14).

Salientamos que T¹ poderá ter um grau de corroboração maior, por possuir mais universalidade e precisão que as outras, haja visto que qualquer enunciado básico que refute T², T³ ou T⁴ refutará também T¹, enquanto esta teoria pode ser falsificada por uma contrastação e as outras ficarem incólumes. Podemos afirmar que T¹ é a teoria que pode ser melhor corroborada, por sua universalidade, precisão e ser a que mais proibe, possuindo assim um maior grau de contrastabilidade, podendo por isto ser submetida a contrastações mais severas, no sentido de poder ser testada com qualquer corpo celeste, que tenha qualquer órbita.

Embora os conceitos de falseabilidade, verossimilhança, contrastação e corroboração funcionem na metodologia de Popper em estreita dependência da base empírica, não devemos pensar que as teorias se desenvolvem a partir de observações, em realidade a ciência se desenvolve de um problema para outro - problemas cada vez mais profundos. A teoria é uma tentativa de resolver um problema científico, ou seja, "um problema relacionado à descoberta de uma explicação". Salientamos que os problemas surgem quando as expectativas malogram, ou quando "as teorias nos trazem dificuldades e contradições - que podem surgir dentro de uma teoria, entre duas teorias diferentes, ou como resultado de um conflito entre elas e nossas observações." (15)

Podemos observar que a metodologia de Popper introduz mudanças significativas na metodologia científica quando comparada com a metodologia dos indutivistas, seja na sua

forma clássica ou neoclássica: por modificar os padrões para a avaliação do conhecimento científico; introduzir um novo critério de demarcação entre a ciência e a metafísica; erigir a ciência de forma que o seu produto desenvolva-se através de um permanente processo de revolução; e destacar que não existe observação sem teorias. Mudanças estas que tinham por objetivo mostrar que o conhecimento científico está baseado na lógica dedutiva, e se desenvolve à procura de uma maior verossimilhança através de conjecturas cada vez mais audazes e novas refutações.

Em linhas gerais podemos fazer as seguintes afirmativas com relação à metodologia falseacionista:

- 1 - O processo de descoberta de teorias é irracional, não faz parte da lógica do conhecimento científico (1959, § 2);
- 2 - As teorias ad hoc não são científicas, não aumentam a verossimilhança das teorias (1963b, pp. 266-71)
- 3 - A ciência é cumulativa, cada nova teoria possui pelo menos tanto conteúdo não refutado quanto a sua teoria de partida (1963b, pp.267);
- 4 - As teorias são comensuráveis (como decorrência de 3);
- 5 - A ciência está em revolução permanente, as conjecturas são refutadas e substituídas por outras mais audazes (1959, § 85).

1.2 - Kuhn

Kuhn introduz novos parâmetros para a discussão sobre a ciência. Em função disto necessitamos discutir os conceitos utilizados por este autor, para mostrarmos as características da sua metodologia: em primeiro lugar definiremos o que seja um paradigma, para em um segundo momento apresentarmos a linha divisória entre a ciência e a não ciência; feito isso passaremos a definir a ciência normal de forma a possibilitar a determinação da ocasião em que esta entra em crise e acarreta a emergência de um novo paradigma, incompatível e incomensurável com o anterior.

Enquanto para Popper a atividade científica é cumulativa, comensurável e está em revolução permanente, Kuhn nos diz em A Estrutura das Revoluções Científicas que apenas a ciência normal é cumulativa, que a ciência não está em revolução permanente e que diferentes paradigmas são incomensuráveis entre si.

Diante destes novos conceitos precisamos redefinir a ciência, para podermos ver como esta desenvolve-se, e como podemos explicar a descoberta científica.

Para entendermos o pensamento de Kuhn é necessário iniciarmos discutindo o que são os paradigmas e o que eles representam. Embora Kuhn, em seu livro de 1962, utilize o termo paradigma em diversas acepções, como bem salienta Mas-

terman, no seu Posfácio - 1959 Kuhn informa que utilizou este termo em dois sentidos: "De um lado indica toda constelação' de crenças, valores e técnicas, etc....., partilhadas pelos membros de uma comunidade determinada. De outro denota um elemento dessa constelação: as soluções concretas de quebra-cabeças que empregados como modelos ou exemplos, podem substituir regras explícitas como base para a solução dos restantes quebra-cabeças da ciência normal" (16).

O conceito de paradigma possui duas características centrais: em primeiro lugar ele é formado por elementos partilhados por uma comunidade científica, assim como a comunidade científica é definida pelo fato de seus membros partilharem o mesmo paradigma. E em segundo lugar a existência de um paradigma é que irá demarcar a ciência da não ciência.

Os paradigmas, enquanto compartilhados por uma comunidade, possibilitam aos cientistas a utilização, sem discussões, de determinadas expressões formais ou não, que servem de pontos de apoio para a manipulação lógica e matemática nos seus trabalhos de resolução de enigmas; fornecem à comunidade científica modelos que irão determinar o que será aceite como explicação ou como solução de quebra-cabeças; e caracterizam-se, também, pelos valores compartilhados pelos cientistas, que possuem uma importância especial no momento de identificar uma crise, ou escolher entre maneiras incompatíveis de praticar sua disciplina; salientamos, com relação aos valores, que embora sejam compartilhados podem existir divergências quanto a sua aplicação, pois julgamentos de simplicidade, coerência interna, plausibilidade, variam de indi

víduo a indivíduo, podendo a sua aplicação ser afetada por traços de personalidade individual e pela biografia dos membros da comunidade. Os paradigmas são exemplos compartilhados: o estudante inicia resolvendo problemas, começa a perceber semelhanças com outros que já encontrou, começando então, a estabelecer relações que lhe permitirão resolver os quebra-cabeças, isto depois de haver assimilado a forma aceita pela comunidade de solucionar problemas (17).

O problema da demarcação entre a ciência e a não ciência, o segundo ponto colocado no penúltimo parágrafo, é solucionado por Kuhn creditando à demarcação a existência de uma tradição de solução de enigmas (ciência normal), pois a "pesquisa eficaz raramente começa antes que uma comunidade científica pense ter adquirido respostas seguras para perguntas como: quais são as entidades fundamentais que compõe o universo? como interagem essas entidades umas com as outras e com os sentidos? que questões podem ser legitimamente feitas a respeito de tais entidades e que técnicas podem ser empregadas na busca de soluções?"(13). A resposta a questões como esta é que irá demarcar a ciência da não ciência, pois apenas quando um campo de estudos obtém estas respostas ele passa a possuir um paradigma que propiciará a prática da ciência normal; sem um paradigma as questões acima ficam sem respostas, impossibilitando a existência de enigmas para serem resolvidos e tornando inócua a própria coleta de fatos, pela inexistência de critérios para distinguir os relevantes dos não relevantes.

Com a emergência de um paradigma fica demarcada a ciência e determinado os fatos relevantes para a compreensão da natureza das coisas, permitindo assim a prática da ciência-

cia normal na solução de quebra-cabeças.

Na ciência normal a atividade do cientista é de re solução de quebra-cabeças para determinar os fatos significa tivos da natureza, harmonizar a teoria com os fatos e melhor articular a teoria.

A ciência normal é "um empreendimento altamente cu mulativo, extremamente bem sucedido no que toca ao seu obje- tivo, a ampliação contínua do alcance e da precisão do conhe cimento científico" (19). Para obter seus objetivos não ne- cessita ser totalmente dirigida por regras, pois na falta' destas os paradigmas com seus pressupostos e pontos de vista compartilhados pelos cientistas funcionam como guias para a pesquisa normal continuar o seu desenvolvimento de forma coe rente. A necessidade da busca de regras na ciência normal ' apenas surge quando existe desacordo entre os cientistas ' quanto à existência ou não de soluções para problemas de sua área de estudos.

Embora Kuhn saliente que a ciência normal não se proponha a descobrir novidades no terreno dos fatos ou da teoria, ocorre que ela descobre fatos insuspeitos, que não podem ser explicados por ajustamentos do paradigma. Quando' isto ocorre existe uma violação das expectativas do paradi- ' gma pela natureza, exigindo então do cientista uma ampla pes quisa para converter o anômalo em esperado. A percepção da anomalia é que irá propiciar o caminho para a descoberta, pa- ra que isto ocorra é necessário tanto a "existência de algo" (a anomalia) quanto o conhecimento de sua "natureza", e isto irá exigir novas articulações do paradigma, "que serão cada vez mais frequentemente descritas como adaptações ad hoc"; até que, embora ainda exista um paradigma, poucos cientistas estejam de acordo sobre qual seja ele, e mesmo soluções ante

riormente aceitas passam a ser questionadas, entrando assim o paradigma em crise.

A transição de um paradigma em crise para um outro, não é um processo que se resolva pela rearticulação do velho paradigma, é necessário uma total reconstrução da área de estudos, sobre novos princípios, ocorrendo, também, alterações nas generalizações teóricas do antigo paradigma, bem como mudanças nos métodos e aplicações. Esta transição para um novo paradigma é o que Kuhn chama de revolução científica, por ver um paralelismo com as revoluções políticas, ambas iniciando-se pelo sentimento crescente de funcionamento defeituoso, seja da exploração da natureza ou das instituições, e visando realizar mudanças pela escolha entre modos incompatíveis e incomensuráveis de fazer ciência e de vida comunitária.

Durante a revolução científica a escolha de um novo paradigma, tal como nas revoluções políticas, não pode ser determinado simplesmente pelos procedimentos de avaliação característicos da ciência normal, pois estes dependem parcialmente de um paradigma determinado, e este paradigma, por sua vez, está em questão. Existindo um debate onde cada grupo utiliza o seu paradigma para argumentar em favor deste mesmo paradigma (20). Na escolha de um novo paradigma não entram apenas critérios lógicos e de provas para a avaliação, mas também as técnicas de argumentação persuasiva eficazes no interior dos grupos de cientistas; isto porque os critérios lógicos e de provas só são aceitos quando a comunidade inteira converteu-se ao novo paradigma.

A incompatibilidade entre os paradigmas decorre do fato de que o novo paradigma em algum ponto deve permitir predições diferentes daquelas derivadas de sua predecessora,

diferenças estas que não deveriam ocorrer caso fossem logicamente compatíveis. (21)

Além da incompatibilidade Kuhn frisa que os paradigmas são também incomensuráveis, pois um novo paradigma requer uma redefinição da própria ciência, mudando os problemas e os padrões considerados legítimos para a ciência, modificando a sua concepção da área de estudos, seus métodos e objetivos, ocorrendo mesmo o fato de antigos problemas serem declarados não científicos. A incomensurabilidade dos paradigmas pode ser vista, caso concordemos com Kuhn, quando observamos que a mudança de paradigma exige uma redefinição das entidades do universo; os conceitos de espaço, tempo, terra e movimento, necessitaram ser redefinidos por Einstein, Copernico e Galileu, o que implicou em uma mudança de perspectiva incomensurável com os paradigmas vigentes anteriormente, por implicarem em modificações nos próprios objetos de estudos, e nas entidades componentes do universo.

De acordo com o exposto até agora podemos ver que a atividade científica, para Kuhn, possui elementos sociopsicológicos marcantes, haja visto que: a) a decisão para a escolha entre dois paradigmas concorrentes não pode ser tomada baseando-se em critérios puramente lógicos e de experiência; b) quando ele relaciona as revoluções políticas com as científicas mostra que ambas necessitam recorrer a técnicas de persuasão de massas; c) na escolha individual entre paradigmas entram em questão fatores como personalidade, educação e padrão anterior de pesquisa profissional.

Kuhn argumenta que o fato de fazer as afirmações acima não quer dizer uma defesa da irracionalidade na ciência, mas apenas que a noção de racionalidade tem que ser revista para poder expressar a história real do desenvolvimento da ciência, que não engloba apenas aspectos de caráter ló

gico, isto porque: nas decisões para a escolha de paradigmas as partes envolvidas vêem de maneiras diferentes certas situações experimentais e de observações a que tem acesso, divergindo mesmo sobre qual paradigma possui maior simplicidade, coerência interna, plausibilidade, pois critérios de julgamento sobre estes conceitos variam de pessoa para pessoa; no debate sobre a escolha de paradigmas ocorre algo semelhante ao das revoluções políticas, nenhuma das partes aceita os pressupostos da outra, necessitando então da utilização de técnicas de persuasão, onde valores compartilhados entram em interação com experiências particulares do grupo, até que a maior parte da comunidade acabe por considerar que um conjunto de argumentos é mais decisivo do que outros; os fatores como personalidade e educação entram na escolha de paradigmas devido ao fato de que a biografia individual do cientista é que irá determinar qual o paradigma mais simples, mais coerente internamente e o mais plausível.

NOTAS AO CAPÍTULO 1.

- 1 - Laudan (1963), p. 37-3.
- 2 - Popper (1959), p. 53, § 12, 15, e (1955), p. 131.
- 3 - Correia (1984), p. 5-9. Relatório de Pesquisa apresentado à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.
- 4 - Popper (1957), p. 30.
- 5 - Popper (1963b), p. 243.
- 6 - Popper (1959), § 31.
- 7 - Popper (1963b), p. 263. Na página 260, deste texto, Popper afirma que a testabilidade ou corroboração é a contra partida metodológica à ideia metalógica da verossimilhança.
- 8 - Popper (1963b), p. 267-3.
- 9 - Popper (1959), § 43.
- 10- Popper (1963b), p. 263.
- 11- Popper afirma que uma teoria é ad hoc quando: 1 - não possui conteúdo empírico adicional (1963b, p. 267), ou 2 - não possui corroboração adicional (1963b, p. 269-70); Lakatos chama o primeiro tipo de ad hoc, de Popper, de ad hoc¹, o segundo de ad hoc² (1963, p. 242).
- 12- Popper (1963b), p. 270.
- 13- Correia (1984), p. 15-17. E Apêndice [†]9 de Popper (1959).
- 14- Popper (1959), § 36.
- 15- Popper (1963), p. 247.
- 16- Kuhn (1969), p. 213.
- 17- Ibid., p. 226-37
- 18- Kuhn (1962), p. 23.
- 19- Ibid., p. 77.
- 20- Ibid., p. 126-7.
- 21- Ibid., p. 131.

2 - A METODOLOGIA DOS PROGRAMAS DE PESQUISA E A RACIONALIDADE DA DESCOBERTA CIENTÍFICA.

A metodologia dos Programas de pesquisa de Lakatos introduz mudanças significativas na teoria da ciência, isto em comparação com o que foi desenvolvido no capítulo anterior.

Nos seus escritos de 1963, 1970 e 1971 Lakatos expõe uma metodologia para a avaliação dos programas de pesquisa com um núcleo estabelecido, enquanto que nas suas obras de 1976 e 1977a ele discute um método para a formação do núcleo. Diante disto poderíamos pensar na existência de Lakatos¹ e Lakatos², para usar uma terminologia inerente ao autor em questão, onde o primeiro seria um defensor da tese de que a lógica do conhecimento somente pode avaliar teorias elaboradas, enquanto que Lakatos² afirmaria que a lógica do conhecimento permite a descoberta racional de teorias mediante um processo lógico, e as avalia. Este fato embora possa parecer contraditório não o é, porque em realidade só existe um Lakatos, que em alguns textos se propõe a avaliar programas de pesquisa que possuem um núcleo "irrefutável por decisão metodológica", e que em outros estuda exatamente como são elaborados estes núcleos e desenvolvem-se em um programa de pesquisa (1).

Este capítulo é constituído de duas partes, uma onde apresentamos a metodologia dos programas de pesquisa, e outra na qual discutimos a problemática da racionalidade, onde procuramos mostrar que as teorias metodológicas descritas

no capítulo anterior oferecem uma concepção restrita da racionalidade, isto por não colocarem a descoberta científica' como passível de ser explicada racionalmente, o que pode ser realizado dentro da metodologia dos programas de pesquisa.

2.1 - A metodologia dos programas de pesquisa

Nesta seção fazemos uma exposição do pensamento de Lakatos, procurando mostrar o que são os programas de pesquisa e quais são as suas partes constitutivas mais importantes. Complementamos a seção indicando como esta metodologia possibilita uma reconstrução racional da ciência de forma a englobar aspectos considerados não racionais para outras metodologias.

Lakatos empreende a elaboração da metodologia dos programas de pesquisa afirmando que uma teoria é científica quando ela representa um avanço sobre a sua predecessora, estando por isto claro que não a avaliamos de forma isolada, mas no seu desenvolvimento histórico; desta forma a avaliação de teorias não deve ser realizada para teorias isoladas, mas sim para uma série de teorias.

Consideremos uma série de teorias, T^1 , T^2 , T^3 , ... onde "cada teoria subsequente resulta da adição de cláusulas auxiliares à teoria anterior (ou das reinterpretações semânticas da teoria anterior) a fim de acomodar alguma anomalia, tendo cada teoria pelo menos tanto conteúdo quanto o conteúdo não refutado da sua predecessora" (2). Esta série de teorias será teoricamente progressiva se cada nova teoria tiver excesso de conteúdo empírico em relação à anterior. As que incorporarem a corroboração de parte do conteúdo excessivo

serão empiricamente progressivas. As séries de teorias serão progressivas quando forem ao mesmo tempo empiricamente e teoricamente progressivas e degenerativas quando não o forem. E serão científicas quando forem pelo menos teoricamente progressivas.

As séries de teorias são chamadas por Lakatos de programas de pesquisa para ressaltar a existência de uma continuidade histórica entre as diversas teorias da série. Os programas caracterizam-se por um conjunto de regras metodológicas que nos dizem os caminhos que a pesquisa deve evitar (heurística negativa), e outros que indicam os caminhos a seguir (heurística positiva).

Os programas de pesquisa são caracterizados por seu núcleo, que no caso do programa de Newton incluía as três leis da dinâmica e a lei da gravitação. A heurística negativa tem por função proteger este núcleo, impedindo-nos de dirigir o modus tollens para ele. Por isto utilizamos hipóteses auxiliares para a criação de um cinto protetor, que é para onde dirigimos o modus tollens, de forma a que ele suporte as consequências dos testes, seja através de pequenas modificações ou de sua total substituição. O que irá determinar se um programa é bem sucedido são as modificações do cinto protetor; caso elas conduzam o programa à transferência teoricamente progressiva de problemas ele será científico.

A heurística positiva é formada pelo cinturão de hipóteses auxiliares, que protege o núcleo do programa, que elabora os modelos simuladores da realidade, que define os problemas, prevê anomalias e procura transformá-las em exemplos corroboradores.

Desta forma podemos assinalar que enquanto a heurística negativa especifica o núcleo irrefutável do programa, a heurística positiva "consiste em um conjunto parcialmen-

te articulado de sugestões ou palpites sobre como mudar as 'variantes refutáveis' do programa de pesquisa, e sobre como modificar e sofisticar o cinto de proteção 'refutável'"(3).

A teoria gravitacional de Newton, "exemplo clássico de programa bem sucedido", sugere que desviemos o modus tollens do seu núcleo (heurística negativa), as três leis da dinâmica e a lei gravitacional; enquanto o trabalho do cientista deve ficar dirigido à sua heurística positiva. Quando da sua elaboração a teoria de Newton viu-se cheia de contra-exemplos sustentadas por teorias observacionais. "os newtonianos, contudo, transformaram, com tenacidade e engenho brilhantes, um contra exemplo depois do outro em exemplos corroboradores, principalmente derrubando as teorias observacionais originais a cuja luz essa 'evidência contrária' foi estabelecida. No processo eles mesmos produziram novos contra-exemplos, que novamente resolviam"(4).

Na metodologia dos programas de pesquisa a heurística positiva não permite que as anomalias falsifiquem logo o programa, elas são registradas para procurar soluções dentro do cinto protetor. Isto porque um programa de pesquisa 'para ser científico necessita ser apenas teoricamente progressivo, prever fatos novos; podendo deixar a corroboração' para um segundo momento, quando as hipóteses auxiliares já foram reformuladas para a transformação das anomalias em fatos corroboradores. Não exigimos que cada passo do programa introduza um novo fato observado, mas que se constitua em uma transferência teoricamente progressiva, e que o programa, como um todo, exiba uma transferência empírica intermitentemente progressiva. Dentro desta concepção uma anomalia não mostra a perda de força de um programa, mostra apenas que o modelo está imperfeito e necessita de reformulações.

Não se quer dizer que a heurística positiva possa sempre salvar o programa de pesquisa do seu abandono; diz-se apenas que, enquanto um programa de investigação for progressivo ele deve ser trabalhado. Sendo que pode ocorrer a transformação de um programa degenerativo em progressivo, me diante uma transformação na heurística positiva.

É necessário salientar que "um programa de pesquisa é progressivo enquanto o seu desenvolvimento teórico antecipa seu desenvolvimento empírico, isto é, continua predizendo fatos novos com certo êxito" e é degenerativo "quando seu desenvolvimento teórico fica atrasado em relação ao desenvolvimento empírico, isto é, quando somente faz post hoc, ou bem somente proporciona descobrimentos por casualidade, ou prediz fatos antecipados e descobertos em um programa rival" (5). Por isso é que o cientista deve procurar abandonar os programas em fase degenerativa e substituí-los por programas progressivos, e não devemos, nos informa Lakatos, 'conservar um programa até o esgotamento de sua força heurística.

A metodologia dos programas de pesquisa possibilita e explica a maior autonomia da ciência teórica, isto porque, nesta metodologia, não existe um "modelo dedutivo monotéorico", onde as teorias colidem com os fatos; mas um modelo pluralístico, onde a colisão não ocorre entre teorias e fatos, ^{mas} ~~sim~~ entre teorias de alto nível: "entre uma teoria interpretativa para fornecer os fatos e uma teoria explanatória para explicá-los". Com teorias de alto nível Lakatos está considerando que, em um modelo pluralístico, as teorias explanatórias e interpretativas possuem os mesmos níveis, podendo as primeiras serem usadas como teorias interpretativas para julgar os "fatos" obtidos, e que em casos de conflito

podemos rejeitar os "fatos" como "monstros" este modelo varias teorias estão soldadas umas nas outras, todas são problemáticas; enquanto que no modelo monoteórico apenas a teoria explanatória é considerada problemática. Assim sendo, o modelo pluralístico pode explicar a importância da análise 'infinitesimal clássica, desenvolvida por newtonianos, como precondição para o êxito do programa. É a maior autonomia 'da ciência teórica pode ser observada quando vemos que "as dificuldades reais para o cientista teórico nascem mais das dificuldades matemáticas do programa [que são consideradas 'em um modelo monoteórico como partes não problemáticas da ciência] do que das anomalias" (6).

Os problemas escolhidos pelos cientistas não são determinados pelas anomalias sim pela heurística positiva 'do programa, que avança aos poucos, com descaso das refuta-'ções; o seu ponto de apoio são as verificações, não no senti-'do de verificar o programa, mas no de mostrar a sua força heurística, por fornecer pontos de contato com a realidade. 'Apenas os cientistas que trabalham com a "ciência imatura" - "que consiste em um renovado padrão de ensaio e erro -, ou os que trabalham com programas em fase degenerativa, é que necessitam concentrar suas atenções nas anomalias". Para La-Katos um problema não surge do vazio, está relacionado com o "background knowledge" do cientista, que mostra o que preci-sa ser investigado dentro de um programa; enquanto que uma anomalia "é um problema que encaramos como um desafio ao programa", podendo ser resolvido das seguintes maneiras: é solu-cionada dentro do programa original (a anomalia transforma-'se em exemplo); a anomalia é neutralizada, isto é, soluciona-da em um programa independente, indiferente (a anomalia desa-parece); ou então é solucionada em um programa rival (a ano-malia converte-se em exemplo contrário) (7).

O programa de pesquisa de Prout, que possuía como

núcleo a tese de que os pesos atômicos de todos os elementos químicos são números inteiros, é um excelente exemplo para realçar que os programas podem progredir junto com as anomalias. Quando surgiu, as anomalias eram muitas, mas a sua heurística positiva afirmava que as anomalias existiam em decorrência das técnicas experimentais para a purificação dos elementos. Com isto a heurística positiva do programa de Prout consistiu em trabalhar com a química analítica, da época, procurando substituí-la por uma outra que fornecesse novas formas de purificação dos elementos, para com isto a teoria de Prout poder ser aplicada com base em uma nova teoria observacional. As anomalias nunca foram razões para a recusa do programa, em virtude dele propiciar transferências progressivas de problemas.

A metodologia dos programas de pesquisa além de combater a excessiva importância dada às anomalias, mostra também que os programas jovens podem desenvolver-se sobre fundamentos inconsistentes quando desenvolvem-se inseridos em outro programa com o qual é inconsistente, mas que com o desenvolvimento do jovem programa inicia-se uma competição entre eles, e os defensores do novo programa procuram substituir aquele sobre o qual fundamentava-se. Com isto Lakatos não quer abandonar o princípio de consistência, nem afirmar que a inconsistência não seja um problema, mas apenas que a descoberta da inconsistência não precisa deter o desenvolvimento do programa; ela pode temporariamente ser deixada de lado, pois se o programa tiver força heurística a sua heurística positiva poderá vir a solucionar as inconsistências.

Como decorrência do exposto surge a seguinte questão: como são eliminados os programas de pesquisa?

Até o presente momento vimos que o programa de pes

quisa não pode ser recusado apenas por conter anomalias, nem pela existência de inconsistências iniciais. Podemos pensar então que o fato dele entrar em fase degenerativa de problemas seja a razão para a sua eliminação; porém vimos anteriormente que uma mudança na heurística positiva do programa pode transformá-lo em progressivo. Então? A resposta é que um programa só pode ser eliminado quando existe um outro que o suplanta em força heurística, no sentido de antecipar mais fatos novos que o seu concorrente; ocorrendo, também, que um novo programa comece apenas reinterpretando antigos fatos e só com o seu desenvolvimento venha a produzir fatos realmente novos. Um novo programa deve ser resguardado do seu rival estabelecido enquanto for progressivo, e devemos considerar a reinterpretação de um fato como um fato novo.

Nos textos de Lakatos não existe uma definição do que seja força heurística, porém, seguindo algumas de suas indicações, podemos afirmar que é a capacidade de um programa antecipar fatos novos, explicar suas refutações no decorrer do seu crescimento e antecipar novas teorias auxiliares. Em outras palavras, um programa possui força heurística quando a sua heurística positiva possibilita uma transferência de problemas empiricamente e teoricamente progressiva.

Voltemos agora à pergunta há pouco formulada: Como são eliminados os programas? A resposta é que na metodologia dos programas de pesquisa os programas não são eliminados, pois eles podem sair de depressões degenerativas mediante modificações na heurística positiva; e que a única razão para parar de trabalhar com ele é um outro programa rival com maior força heurística, que permita a antecipação de novos fatos e novas teorias auxiliares.

Salientamos que a metodologia dos programas de pesquisa além de fornecer regras para a avaliação dos progra-

mas, é, também, um programa de investigação historiográfico e uma teoria da racionalidade científica. É um programa de investigação historiográfico porque dirigirá as investigações para a busca na história da ciência de programas rivais, problemáticas progressivas ou degenerativas; à simplicidade (de Duhem) do programa de Copernico, será contraposto, com base na história da ciência, que os outros concorrentes estavam estagnados e que o de Copernico era progressivo, por isto se impondo aos demais; ao experimento crucial (do falseacionismo) será mostrado que havia programas concorrentes em luta. É uma teoria da racionalidade por permitir avaliar os programas de pesquisa, explicando "a racionalidade da aceitação da teoria de Einstein sobre a de Newton, porém não dando conselhos ao cientista para trabalhar no programa einsteiniano e não no newtoniano" (3).

A metodologia de Lakatos, como teoria da racionalidade científica, necessita propiciar uma reconstrução racional da ciência, que não poderá explicar, apenas pela história interna, porque a genética mendeliana desapareceu da União Soviética em 1950; isto porque os seres humanos não são totalmente racionais e podem, inclusive quando agem racionalmente, terem uma concepção falsa das suas próprias atitudes racionais (9). Por isto Lakatos recorre à história externa para complementar a história interna na sua reconstrução da ciência, que não coincidirá com a história real devido ao fato "de que nenhum conjunto de juízos humanos é completamente racional" (10).

Para solucionar a discrepância entre a reconstrução racional e a história real, Lakatos traça um novo critério de demarcação para a história real da ciência, que é mais rica que qualquer reconstrução racional ou história interna, que sozinha não pode explicar a história real, e por isto necessita de uma história externa para explicar os

fatores residuais, não racionais, da história real. Segundo a metodologia dos programas de pesquisa a história interna é primária, e incorpora a parte da ciência que pode ser racionalmente reconstruída; enquanto a externa é secundária, isto porque os problemas da história externa são definidos pela interna, e incorpora o que não pode ser interpretado racionalmente.

Para um melhor esclarecimento da diferença entre a história interna e a externa assinalamos que a primeira é altamente seletiva, à luz de uma teoria da racionalidade, ou metodologia, seleciona os fatos considerados importantes para a reconstrução racional da ciência e indica as discrepâncias existentes entre a reconstrução racional e a história real, possibilitando assim recorrer-se à história externa para solucionar as discrepâncias.

Defendendo a tese de que "todas as metodologias funcionam como teorias (ou programas de investigação) historiográficas ou (meta-históricas) e podem ser criticadas, criticando as reconstruções históricas a que elas conduzem"(11), Lakatos demonstra que a história falseia o falseacionismo e a Duhem. Isto porque a teoria da racionalidade de Lakatos em vez de enfatizar as refutações instantâneas de Popper ou a simplicidade de Duhem, procura mostrar a existência de programas de pesquisas rivais, em uma batalha que começa antes e termina muito depois do suposto experimento crucial; e à simplicidade contrapõe a tese de que a vitória de um dos programas foi devido ao fato da estagnação empírica de um dos programas concorrentes e ao progresso do outro (12).

O estudo da racionalidade científica progredirá "pelo descobrimento de fatos históricos novos, pela reconstrução racional, de volume crescente da história saturada de valorações" (13). Esta teoria da racionalidade não pretende ex

plicar toda a história da ciência como racional, interna, pois algumas anomalias tem que ser explicadas por uma melhor teoria da racionalidade ou por alguma teoria externa. Porém a utilização da história externa deve ser feita apenas enquanto o programa historiográfico interno seja progressivo, ou caso o programa historiográfico externalista seja incorporado de forma progressiva, porém complementar. Por último salientamos que em uma melhor teoria da racionalidade a história interna pode ampliar-se e tomar terreno à história externa.

2.2 - A racionalidade da descoberta científica

Quando falamos em descoberta estamos fazendo referência a um processo (lógico ou psicológico) que produz um fato novo, ou uma redefinição conceitual de um fato já existente, do tipo empírico ou teórico. Dito isto podemos perguntar: a filosofia da ciência pode caracterizar a descoberta científica como um processo racional ?

Para respondermos a esta questão é necessário compreendermos a controvérsia existente entre filósofos da ciência quanto ao seu próprio objeto de estudo: alguns filósofos afirmam que à filosofia da ciência concerne estudar apenas a justificação de teorias (contexto da justificação); enquanto que outros afirmam que além do contexto da justificação ela deve estudar também o contexto da descoberta. O que é contexto da justificação e da descoberta ? como podemos estudar a descoberta ?

Os indutivistas clássicos acreditavam ser possível explicar a descoberta de teorias pela utilização de métodos algorítmicos, porém, após comprovada a impossibilidade disto, passaram a entender como tarefa da filosofia da ciência ape-

A distinção entre contexto da descoberta e da justificação é atribuída a Reichenbach, no seu livro Experience and Prediction, esta distinção é feita traçando-se uma linha de demarcação entre a "descrição psicológica dos processos" do pensamento como uma sequência de etapas temporais (contexto da descoberta) e, por outro lado, a atemporal, relações lógicas entre proposições (contexto da justificação)" (14). Para este autor a lógica é uma atividade normativa, que não é concernente com a descrição de inferências como as efetuadas realmente pelas pessoas, mas com sua justificação, por meio da apresentação de uma reconstrução racional. Segundo esta interpretação a filosofia da ciência ocupa-se apenas com a lógica do contexto da justificação, isto porque uma lógica da descoberta, no sentido de uma lógica do contexto da descoberta, só pode ser definida como matéria psicológica.

A posição expressa acima, sobre a lógica da descoberta, própria de Reichenbach, é parcialmente compartilhada por Popper; ambos caracterizam-se por defenderem uma lógica para a avaliação prévia, que concerne apenas à apreciação metodológica das hipóteses depois que elas são geradas e antes de serem testadas. Porém, enquanto a lógica de Popper possibilita que os cientistas busquem suas teorias ou hipóteses através da intuição, "guesses", "insight" ou sonhos, Reichenbach faz oposição a estas formas de descoberta afirmando que "a estrutura profunda da descoberta científica é guiada pelo princípio da indução" (15).

Popper realiza uma crítica da lógica da geração de teorias, no sentido de uma máquina da descoberta que proceda algorítmicamente (sentido B - 1 da lógica da geração de teo-

Segundo Curd (1930) Popper critica a lógica da geração de teorias, no sentido de uma máquina da descoberta ' que proceda algoritmicamente, em razão de:

- 1 - "Sem hipóteses prévias para guiar nossas investigações não temos idéias dos fatos que são relevantes para nosso inquérito e em nenhum caso o conjunto de fatos relevantes pode ser exaustivo.
- 2 - "Teorias são sempre indeterminadas pelos dados disponíveis; ainda que a teoria seja gerada de acordo com todos os dados conhecidos, não existe garantia^{de} que a teoria seja verdadeira.
- 3 - "A descoberta de teorias significativas, semelhante às associadas aos nomes de Newton, Maxwell e Einstein envolve um elemento essencial' de criatividade e inovação conceitual que jamais poderia ser executada por uma máquina seguindo um algoritmo" (Curd, p. 207).

Uma segunda crítica feita por Popper é para a lógica da geração de teoria entendida como "uma classificação e análise das inferências que os cientistas fazem raciocinando para suas hipóteses mais uma justificação filosófica de porquê estas inferências são razoáveis". Nesta crítica ele diz' que "a etapa inicial, o ato de conceber uma teoria, não me parece que exija uma análise lógica nem seja susceptível dela. A questão de como ocorre uma idéia nova a uma pessoa(...) pode ser de grande importância para a psicologia empírica, ' porém carece de importância para a análise lógica do conhecimento científico. (...) Em consequência distinguirei nitidamente entre o processo de conceber uma ideia nova e os resultados de seu exame lógico. Enquanto a tarefa da lógica do conhecimento - que tenho contraposto à psicologia do mesmo -, me basearei no suposto de que consiste pura e exclusivamente

na investigação dos métodos empregados nas contrastações sistêmicas a que deve submeter-se toda idéia nova antes de que se possa sustentá-las seriamente. (...) Não existe em absoluto um método lógico de ter idéias, nem uma reconstrução racional deste processo." (Popper, 1959, p. 2)

Este ponto, para negar a existência de uma lógica da descoberta como parte da lógica do conhecimento, esquece, segundo Curd, que a primeira pode ser comparada com a lógica de testes, pois ela "é concernente com a justificação cognitiva das ações do cientista quando eles propõem, testam, adotam ou rejeitam teorias. (...) Se, então, deve existir uma lógica da descoberta terá que ser uma reconstrução racional do período de geração de teorias dentro do contexto da justificação" (16).

Esta controvérsia sobre como considerar a descoberta científica deve-se a dois obstáculos: de ordem filosófica e de ordem prática.

O de ordem filosófica baseia-se na afirmação de que os processos inerentes à descoberta científica são de caráter psicológico, não existindo nenhum método para a geração de teoria.

Esta caracterização é recusada por diversos autores. Hanson, por exemplo, afirma a tese de que "se existe uma lógica em estabelecer uma hipótese por suas predições também o tem a concepção de uma hipótese", não podendo, portanto, significar que as concepções que conduzam às hipóteses sejam irracionais.

Gutting afirma que esta discussão é devida a uma dicotomização nos processos de descoberta e justificação científica, e que se entendermos a lógica da ciência não como uma lógica de testes, mas como sendo uma lógica para o desenvolvimento e descoberta de hipóteses, a dicotomia passa a ser injustificada e não esclarecedora. "Injustificada porque

fazer uma descoberta é chegar a conhecer alguma coisa e conhecimento requer justificação. Não esclarecedora porque, ainda que nós suportemos o sentido comum de 'descoberta' e o usemos como termo técnico para o desenvolvimento de hipóteses antes de sua justificação, a distinção a nada corresponde na metodologia da ciência. Todos os métodos da ciência são sempre dirigidos ao desenvolvimento justificado de hipóteses; eles são simultaneamente métodos de 'descoberta' (propriamente, desenvolvimento) e justificação" (17).

O problema de ordem prática, segundo Monk, é devido à indisponibilidade de dados para analisar o raciocínio produtivo (descoberta científica). Isto porque poucos cientistas realizaram registros dos seus processos de descoberta e praticamente inexistem registros rigorosos.

Este problema pode ser solucionado recorrendo-se aos poucos trabalhos existentes (os de Kepler, por exemplo), entrevistando cientistas que tem solucionado importantes problemas, e pelo "monitoring of research in progress", como o realizado por Lakatos e Hanson.

Alguns desses métodos podem ser criticados por pretenderem uma análise do raciocínio do cientista, e como o "raciocínio é pensamento, pensamento é processo mental, processo mental ocorre na mente, nós não temos acesso direto à mente de outras pessoas, logo nós não podemos conhecer o que elas estão pensando" (18). Este tipo de argumento sobre a natureza do raciocínio científico merece considerações, isto porque precisamos mostrar como a filosofia da ciência pode estudar e mostrar a racionalidade da descoberta científica.

O estudo filosófico do raciocínio produtor de descobertas científicas não pretende "reproduzir a corrente do pensamento consciente de um cientista raciocinando"; isto porque esta corrente inclui "pensamentos e imagens irrelevantes, repetições, estúpidos erros imediatamente corrigidos", por omitir muita coisa e fazer muito barulho. O seu objetivo é, repetiremos, "reconstruir, para casos particulares, o caminho do raciocínio que conduziu a um importante progresso científico, filtrando detalhes irrelevantes mas não omitindo erros, passagens encobertas, e inadequações de pensamento que jogaram seu papel, para melhor ou pior, no desenvolvimento do raciocínio, e fazer uma análise geral do raciocínio produtivo a partir de estudos de caso como evidência" (19).

Por último, seguindo Monk, salientamos que o estudo filosófico do raciocínio envolvido na descoberta científica é teórico, não apenas fenomenológico. Uma análise deste processo requer uma articulação de conceitos e uma descrição teórica de processos. Podemos perguntar que "tipos de processos estão em jogo? e não apenas: que tipos de processos observamos? Teorias de processos de raciocínio podem ser testadas empiricamente na maneira usual, não é essencial que os processos de raciocínio sejam realmente observados".

Tendo visto que a filosofia da ciência pode estudar o processo de descoberta científica, fazendo uma reconstrução racional da ciência, como o fizeram Lakatos e Hanson, temos, ainda, a dizer que ela pode, também, indicar caminhos para a descoberta científica pela utilização de métodos heurísticos na ciência. Métodos estes que não nos garante a infalibilidade, pois conjecturas e conceitos podem ser aperfeiçoados, seja pelo aperfeiçoamento na própria teoria, ou mesmo via mudanças na teoria dominante.

Queremos salientar que a metodologia dos programas de pesquisa pela utilização do método heurístico de provas e refutações, ou análise e síntese, permite que a construção de teorias seja explicada dentro da história interna da ciência, pois as definições e explicações não são apresentadas no vazio, como no estilo dedutivo de Popper e Hempel, a construção de teorias é explicada dentro do próprio processo das suas refutações e aperfeiçoamentos de conceitos. Embora não exista uma lógica infalibilista do descobrimento científico, existem métodos heurísticos que possibilitam explicar a construção de teorias dentro da história interna da ciência, ampliando assim o conceito de racionalidade científica, de forma a englobar a justificação e a descoberta ou desenvolvimento de teorias.

NOTAS AO CAPÍTULO II

- 1 - Para um melhor esclarecimento sobre este ponto observe a nota 163, p. 164, de Lakatos (1970), onde é colocado que "neste ensaio não se discute o citado processo" (o processo de elaboração dos núcleos dos programas de pesquisa). A formação deste núcleo será estudada no próximo capítulo.
- 2 - Lakatos (1970), p. 144. Com relação às clausulas auxiliares e reinterpretações semânticas da teoria, consultar Lakatos (1976), p. 13-42.
- 3 - Lakatos (1970), p. 165.
- 4 - Ibid., p. 163.
- 5 - Lakatos (1971), p. 23.
- 6 - Lakatos (1970), p. 163 e 163-9.
- 7 - Ibid., p. 195-9; e (1976), p. 70.
- 8 - Lakatos (1971), p. 145.
- 9 - Ibid., p. 31-2.
- 10 - Ibid., p. 60-1.
- 11 - Ibid., p. 45-6.
- 12 - Ibid., p. 64.
- 13 - Ibid., p. 65, 43, 40 e 41.
- 14 - Curd (1980), p. 209.
- 15 - Ibid., p. 210.
- 16 - Ibid., p. 209.
- 17 - Hanson (1963), p. 71; Gutting (1980), p. 221.
- 18 - Monk (1980), p. 333.
- 19 - Ibid., p. 333-9.

3 - O MÉTODO DE ANÁLISE E SÍNTESE E A CONSTRUÇÃO RACIONAL DE TEORIAS

Este capítulo é destinado ao estudo do processo de construção de teorias na ciência pelo uso do método heurístico de análise e síntese, pois o estudo de métodos heurísticos pela filosofia da ciência contribui tanto para a ampliação do conceito de racionalidade científica, como para o desenvolvimento do conhecimento; isto porque o estudo dos processos de descoberta passam a ser parte integrante da filosofia, e possibilita que as teorias não sejam mais explicadas como descobertas por "guesses", mas pela utilização de métodos heurísticos.

Partindo da conclusão de que o processo de construção de teorias pode ser racionalmente analisado, torna-se necessário que explicitemos que métodos podem ser utilizados para que a descoberta científica, e o citado processo, venham a fazer parte da história interna da ciência.

Para o alcance dos nossos objetivos dividimos este capítulo em três seções: na primeira definimos o que seja heurística e apresentamos algumas regras para a descoberta; a segunda seção é uma discussão sobre o método heurístico de análise e síntese, partimos da descrição de Pappus deste método e apresentamos algumas das suas interpretações; a terceira seção constitui-se em uma reconstrução racional do processo de descoberta da conjectura de Euler, $V - A + F = 2$, e o seu desenvolvimento posterior em um programa de pesquisa.

3.1 - A heurística

"O objetivo da heurística é o estudo dos métodos e regras de descoberta e da invenção. (...) [A heurística] procura compreender o processo solucionador de problemas, particularmente as operações mentais, típicas deste processo que tenham utilidade, (...) A experiência na resolução de problemas e a experiência na observação dessa atividade por parte de outros devem constituir a base em que se assenta a heurística. Neste estudo, não devemos descurar nenhum tipo de problema e sim procurar aspectos comuns na maneira de tratar de problemas de toda sorte. O estudo da heurística tem objetivos 'práticos'; melhor conhecimento das operações mentais que se aplicam à resolução de problemas". (1)

É importante salientar que a heurística não procura encontrar regras de descoberta infalíveis, que solucionem todos os problemas, ela visa a descoberta de conjecturas plausíveis para a solução de problemas, sendo que estas conjecturas não são simples conjecturas, escolhidas ao acaso. Quando temos um problema não começamos a conjecturar aleatoriamente, analisamos todos os dados disponíveis, fazemos analogias com outros problemas, e depois disso é que conjecturamos, conjectura esta que não nos garante ter encontrado a solução, mas, dadas as evidências disponíveis, torna-a plausível. *Apartir daí* é que iniciamos o processo de resolução dos problemas.

Polya nos apresenta algumas indicações que podem ser usadas pelos cientistas para a solução de problemas, que talvez possamos chamar de regras heurísticas para melhor di-

rigir as conjecturas:

- 1 - "A observação pode conduzir à descoberta".
- 2 - "A observação deverá revelar alguma regularidade, modelo ou lei."
- 3 - "A observação tem mais chances de fornecer resultados dignos de interesse se ela for guiada por uma atenção judiciosa, por uma premonição".
- 4 - "A observação oferece apenas generalizações para serem examinadas, suposições, mas não demonstrações."
- 5 - "Submeta suas suposições à prova: examine os casos particulares e suas consequências."
- 6 - "Todo caso particular verificado, isto é, tido como exato, aumenta o crédito que se possa conceder à conjectura."
- 7 - "Distinga cuidadosamente sugestão e demonstração, conjectura e fato."
- 8 - "Não negligencie as analogias: elas podem levar à descoberta."
- 9 - "Examine os casos extremos." (2)

3.2 - O método heurístico de análise e síntese

O método de análise e síntese é um método heurístico em razão dele ser um método para a descoberta e não apenas de prova, como os métodos da ciência baseados em uma lógica justificacionista. Esta afirmativa que realça os as-

pectos heurísticos do método de análise e síntese pode ser corroborada pelos textos de Polya, Lakatos, Hintikka e Remes, e na recente dissertação de mestrado de Roberto Lima de Souza.

O método heurístico de análise e síntese, que se constitui em um padrão standard da lógica do descobrimento, tem suscitado diversas discussões, em razão das diferentes interpretações que foram dadas, e pela existência de versões contraditórias sobre a análise; por isto, iniciamos com a descrição feita deste método seguindo a tradução feita por Roberto Lima de Souza:

(I) A análise, então, toma o que é procurado como se fosse admitido e a partir disso, através de suas sucessivas consequências passa para algo que se admite como ponto de partida da síntese: pois na análise, assumimos o que se procura como se isso (já) fosse dado, e investigamos algo de que provém, aquilo que o acarreta como resultado, e, novamente, qual a causa antecedente deste último e assim por diante, até que seja alcançada, pela retrodução dos nossos passos, alguma coisa, acima, já conhecida ou pertencente à classe dos primeiros princípios. A um tal método chamamos de análise como solução retrovertida.

(II) Mas, na síntese, que é processo reverso, tomamos como já dado o que por último foi alcançado na análise e, colocando na ordem natural de consequência o que antes era antecedente e conectando-os sucessivamente um ao outro, chegamos finalmente à construção do que era procurado; e a isto chamamos de síntese.

(III) A análise, por sua vez, é de dois tipos: o primeiro é dirigido para a busca da verdade e se chama de análise teórica; o segundo se dirige para a descoberta do que estamos decididos a encontrar e se chama de análise de problema.

1) Na análise teórica, assumimos o que se procura como se fosse existente e verdadeiro. Feito isso, passamos, através de suas sucessivas consequências, como se elas fossem também verdadeiras e estabelecidas em virtude da nossa hipótese, para algo admitido: neste ponto, (a) se o que é admitido é verdadeiro, então o que é procurado será também verdadeiro, e a prova corresponderá ao caminho reverso da análise; mas (b) se o que é alcançado é algo reconhecidamente falso, o que se procura é igualmente falso.

2) Na análise de problema, assumimos o que é proposto como se fosse conhecido. Depois disso, passamos através de suas sucessivas consequências, tomando-as como verdadeiras, até chegarmos a algo admitido: Neste ponto, (a) se o que é admitido é possível e obtenível, isto é, se se trata do que os matemáticos chamam de dados, então o que era originalmente proposto será também possível, e a prova, novamente, corresponderá à ordem reversa da análise; mas (b) se chegarmos a algo reconhecidamente impossível, o problema será também impossível. (3)

Este relato de Pappus dá origem a três interpretações divergentes: a primeira defendida por Heath e Robinson,

nos diz que a análise e a síntese são dedutivas; a segunda coloca que apenas a síntese é dedutiva, Cornford; e a terceira que procura mostrar que, na realidade, os gregos conheciam duas formas do método, uma em que a análise e a síntese eram dedutivas, e outra em que apenas a síntese o era, Gullay.

A interpretação do método de análise e síntese como sendo um movimento dedutivo nas duas direções baseia-se no fato de que para a demonstração da proposição (I) deve-se proceder da seguinte forma:

Análise - "Primeiro assumo que (I) é verdadeiro, ou seja, assumo o que de fato desejo demonstrar. A seguir, considero o que se segue de (I). Digamos que descobro que (I) implica (II). Em seguida, considero o que se segue de (II). Digamos que descobro que (II) implica (III). Sigo deste modo até alcançar uma proposição que já sei ser verdadeira. Digamos que (V) seja essa proposição. Não importa como (V) seja conhecida, desde que seja conhecida, e conhecida independentemente de (I). Pode tratar de um axioma, de um teorema anteriormente demonstrado ou de um elemento de construção."

Síntese - "Consiste em percorrer os mesmos passos na ordem inversa. Uma vez que se sabe que (V) é verdadeira, então (IV) é verdadeira e, por conseguinte (III), (II) e, finalmente, (I), que era o que se pretendia demonstrar." (4)

Neste esquema as implicações são recíprocas. (I) implica (II), (II) implica (III). (III) implica (IV), que im

plica (V); como também (V) implica (IV), (IV) implica (III), (III) implica (II), que implica (I). Assim, a síntese testa a análise e demonstra a proposição. Caso na análise (V) fosse conhecida como falsa, a síntese não seria realizada; mas no caso da análise mostrar que (V) é verdadeira, torna-se necessário a realização da síntese, pois proposições falsas podem acarretar proposições verdadeiras; neste sentido é que afirmamos que a síntese testa a análise e demonstra a proposição.

A interpretação do método de análise e síntese que afirma o fato de apenas na elaboração da síntese os passos serem dedutivos, defendida por Cornford, parte da questão de que o que se entende na análise por conseqüências lógicas, para ser compreendido corretamente, deve ser interpretado como uma busca de premissas, e não como uma dedução de conseqüências. Os passos da análise não são dedutivos, apenas quando da realização da síntese fazemos uso da dedução. A análise não começa perguntando

"o que é implicado por (I). Começa perguntando o que poderia implicar (I). Se descobro que (II) poderia implicar (I), indago a mim se sei que (II) é verdadeira. Se sei que é, a análise está concluída; mas se não devo dar um segundo passo. E, como antes, esse segundo passo não será perguntar o que é implicado por (II), mas o que implicaria (II)." O processo deve continuar até que se alcance algo que de fato conheço. Digamos que seja (V). Terei então concluído a análise, podendo fazer minha síntese: '(V) é verdadeira e implica (IV), (IV) implica (III), (III) implica (II), e (II) implica (I)

que, por sua vez é o que se deve provar!" (5).

A terceira interpretação do método de análise e síntese, defendida por Gulley, apresenta a tese de que as abordagens de Cornford e Robinson "descrevem métodos que eram reconhecidos pelos gregos como métodos de análise geométrica", e que a discussão em torno da direção da análise resulta de Pappus oferecer duas interpretações diferentes:

- 1 - "como um movimento ascendente na direção de proposições antecedentes, das quais se segue um pressuposto inicial;
- 2 - "como um movimento descendente de dedução, a partir de um pressuposto inicial." (6)

O pressuposto comum a estas duas interpretações é que ambas afirmam tratar-se do método chamado pelos gregos de análise geométrica.

Em defesa de 2 é colocado por Gulley e Robinson, que Euclides Arquimedes e Pappus realizaram demonstrações utilizando-se da análise como um movimento dedutivo; e que 1 é uma mera forma de descrever 2 em razão de que

"como as implicações são recíprocas e a conclusão da análise se torna a premissa da síntese, a análise pode ser descrita corretamente como uma busca de premissas ou de proposições antecedentes, visto que as proposições que, na análise eram consequências lógicas, se tornam, na síntese, proposições das quais a proposição original se segue, como conclusão. Dessa forma, (1) se torna consisten-

te com (2), como uma forma alterternativa de (2)."
(7)

Para argumentarmos em defesa da descrição (1) necessitamos decidir se a tradição em que se baseia esta abordagem é legítima ou não. Podemos afirmar que existe

"um grande número de textos antigos em que há evidências em favor de uma forma de análise não dedutiva, ou seja, um método de trabalho em sentido inverso, da conclusão para as premissas, das quais se deduz essa conclusão, Galley conclui que é principalmente em Aristóteles que repousa o reconhecimento de uma forma de análise, empregada na geometria, correspondente à descrição (1) de Pappus, onde claramente a relação lógica entre premissas e conclusões é não reversível." (8)

Até o momento temos evidências em favor de (1) e de (2), considerando que ao menos uma das abordagens é correta teremos que: ou uma é correta e a outra confunde análise geométrica com alguma outra forma de análise, ou ambas são formas de análise geométrica.

Em favor da tese de que os gregos conheciam um tipo de análise geométrica em que a análise e a síntese eram dedutivas não restam dúvidas, mesmo antes da época de Pappus havia uma exposição do método que colocava ambas as etapas como sendo conversíveis (9). Desta forma resta-nos saber se a descrição (1) é legítima ou não.

Os comentadores gregos enfatizam a análise como um método para a descoberta de demonstrações, e, aparentemente,

assumem que "a análise geométrica é simplesmente a aplicação, a uma situação particular, de um método que possui outras e mais amplas aplicações" (10), e que uma das formas principais de análise é definida como uma ascensão para proposições anteriores.

A legitimidade da descrição (1) de Pappus pode ser vista em exemplos retirados de Aristóteles, por Gulley, ilustrando a existência, na geometria, de análise e síntese não reversíveis. Existindo portanto em Aristóteles

"o reconhecimento de um método de análise usado na geometria que corresponde à descrição (1) de Pappus, e ilustrados por exemplos em que se reconhece que a relação entre ἀναλύειν e συνθέπειρασμα é não reversível" (11)

O que não se faz presente em Aristóteles é qualquer descrição do método de análise que corresponda à formulação dedutiva de Pappus. Em Analíticos Posteriores (73a) Aristóteles afirma

"que as proposições matemáticas são mais comumente conversíveis do que as proposições dialéticas e que isso torna a análise mais fácil na matemática". (13)

Esto não quer dizer que existam dois tipos de análise: uma para as proposições matemáticas, e outro para as proposições dialéticas; pois os comentadores assumem que o termo análise refere-se à análise geométrica.

Esta interpretação de Gulley, do método de análise

e síntese, introduz novos parâmetros para a avaliação deste método e o seu uso na ciência contemporânea, em razão dos próprios gregos já saberem que o conhecimento não é apenas sinônimo de conhecimento provado, porém, também, de conhecimento conjectural, pois as implicações não precisam ser necessariamente recíprocas.

A fragilidade da interpretação de Gulley deve-se ao fato dele ver uma inconsistência na descrição de Pappus.

"Para Gulley, embora Pappus, em seu relato, aparentemente esteja descrevendo um único método, como um conjunto de regras, na realidade está reproduzindo duas abordagens diferentes da análise geométrica, as quais correspondem às duas formas distintas do método, e está supondo a equivalência das duas, em (1) e (2), para todos os casos da análise, sem se dar conta das inconsistências envolvidas nessa sua suposição". (13)

Em oposição à terceira interpretação de Gulley, Hintikka e Remes afirmam que inexiste inconsistência no relato de Pappus, e que a análise possui um movimento ascendente. O problema da inconsistência é solucionado procurando mostrar que os termos que são compreendidos, no relato, como consequências lógicas, refere-se em realidade a uma certa concomitância da conclusão com as premissas (14).

Outros pontos que devem ser destacados na interpretação do método de análise e síntese, segundo a Hintikka e Remes, é que o relato de Pappus não indica dois métodos, o da análise e o da síntese, mas um único método com duas partes que se completam; que a questão da direção da análise é um aspecto superficial do método que termina por obscurecer

o valor heurístico do método, que é o mais importante.

O caráter heurístico do método de análise fica manifesto pela necessidade de introduzirmos novos elementos, como as construções auxiliares, para a resolução de um problema, pois

"O objeto da análise não é meramente a simples figura determinado por um certo teorema ou problema, mas esta mesma figura ampliada por um certo número de construções adequadas. Em outras palavras, a análise só poderá ser bem sucedida se, além de assumirmos a verdade do teorema ou a solução do problema, formos capazes de explicitar um número suficiente de construções auxiliares na figura, a partir dos quais sejam obtidos os elementos que possibilitem executar a construção da prova ou chegarmos aos dados que possibilitarão resolver o problema.

"No entanto por maior que seja a certeza da necessidade de tais construções, a imprevisibilidade do número desses elementos auxiliares implica em uma correspondente incerteza do método de análise, no sentido de que, em princípio, nunca se pode estar seguro de que tenhamos realizado as construções auxiliares suficientes até que se atinja o resultado almejado. Deste modo, a descoberta das construções auxiliares não apenas é o elemento de maior dificuldade da análise, como também parte essencial para a prova de uma proposição ou solução de um problema geométrico". (15)

A análise acima feita por Roberto Lima de Souza, '

da utilidade heurística do método analítico pode ser complementada com a seguinte passagem extraída de Hintikka e Remes:

"o valor heurístico do método analítico depende consideravelmente do fato de ser possível encarar as demonstrações obtidas por seu intermédio como concernentes a um tipo específico de constelação de indivíduos (membros do nosso universo de discurso). No caso original da geometria elementar, a demonstração irá lidar com um tipo particular de configuração geométrica. Como consequência, pode-se entender a busca dessa demonstração como um estudo das interdependências existentes nessa configuração de indivíduos. Como usualmente fazemos uma idéia clara dessas interdependências, é mais fácil recorrer a nosso conhecimento implícito neste caso do que em muitos outros tipos de procedimento de demonstração". (16)

A análise *classica* entendida como uma análise de configurações ou figuras possui uma restrição, a de que a figura analisada não é a figura de que trata o teorema a ser demonstrado, mas essa figura suplementada por construções auxiliares, que não são, em geral, previsíveis, e não podemos saber quando já efetuamos as construções auxiliares em número suficiente para a análise ser bem sucedida. Assim, podemos ver que não devemos nos restringir a analisar a figura original envolvido no teorema a ser demonstrado, como não podemos, em princípio, estar ^{mos}seguros de já ter ^{mos}desenvolvido suficientemente as construções auxiliares necessárias.

A necessidade de construções auxiliares adequadas, e sua imprevisibilidade, mostra que o método analítico não

pode ser um infalível procedimento geral de descoberta, mas apenas um método heurístico que pode levar à descoberta, não obstante a pretensão de Descartes em utilizá-lo como um instrumento infalível.

Tese diferente das anteriores é defendida por Lakatos em seu texto O método de análise e síntese, onde aceita a interpretação de Robinson como fiel à descrição de Pappus, e afirma que a concepção de Descartes do método de análise e síntese é uma adaptação do método de Pappus à ciência moderna; caracterizando-se Descartes e Robinson pela pretensão de alcançar um conhecimento infalível, seja pela aplicação do circuito de Pappus à geometria euclidiana ou, como fez Descartes, pela tentativa de transportar o método à ciência moderna. Porém essas tentativas são falhas por entenderem o método de análise como um processo de justificação, e não como um processo de descoberta, e por acreditarem que pela utilização do método chegar-se-ia a um conhecimento isento de erros.

Lakatos, embora concorde com Hintikka e Remes quanto ao papel heurístico do método de análise e síntese, apresenta razões diferentes, pois considera que na geometria euclidiana só existia lugar para a realização da síntese, que a análise foi realizada no período pré-euclidiano, através da utilização de conjecturas ingênuas que passaram por experimentos mentais de contrastação e prova, ainda sem nenhuma linha conhecida e sem nenhum sistema axiomático seguro,

"somente depois de centenas de análises e sínteses satisfatórias, depois de centenas de 'procedimentos de prova' (no sentido do meu Provas e Refutações) conseguiu conectar lemas certos, que chega-

heurístico das construções auxiliares para a resolução de um problema, e considerar que o valor heurístico da análise residuiu apenas em gerar o sistema axiomatizado de Euclides.

A discussão sobre o valor heurístico das construções auxiliares decorre principalmente do fato de Lakatos ter em mente o papel da análise apenas quanto à geração de novos programas de pesquisa, esquecendo-se no texto sobre o método de análise e síntese, que a solução de problemas já estabelecidos por um programa, pode levar à sua maior progressividade. Podemos afirmar que Lakatos, utilizando a terminologia de Kuhn, só reconhece o valor heurístico da análise nos períodos de revoluções científicas; enquanto Mintikka e Remes consideram a análise como profícua na resolução de quebra cabeças da ciência normal.

3.3 - A conjectura de Euler e o seu desenvolvimento em um programa de pesquisa

Esta terceira parte se constitui em uma exposição, da reconstrução feita por Lakatos, do processo de descoberta da conjectura de Euler, e o seu desenvolvimento posterior em um programa de pesquisa. Procuramos mostrar como surgiu a conjectura de Euler e o seu desenvolvimento; o importante papel desempenhado pelas analogias, que no nosso exemplo foi a analogia dos polígonos com os poliedros, na sua contribuição para o surgimento da conjectura; e iniciamos a colocar em prática o método de análise e síntese, na interpretação de Lakatos, mediante uma exposição, via uma reconstrução ra-

cional, de como se processou o desenvolvimento posterior da conjectura de Euler.

Na reconstrução racional realizada por Lakatos deste programa de pesquisa iniciado com a conjectura de Euler, pode-se observar a aplicação do método de análise e síntese a partir da prova de Cauchy para a conjectura. Esta prova que decompõe a conjectura original em subconjecturas possibilita novas oportunidades para teste da conjectura e um aparecimento maior de contra-exemplos, que após uma análise detalhada da prova tornam-se exemplos corroboradores de uma nova conjectura aperfeiçoada, surgida não do vazio, mas de uma análise crítica da prova.

Essa passagem da conjectura à prova acarreta o surgimento de contra-exemplos e o aperfeiçoamento constante da conjectura, mediante uma permanente crítica da prova que transforma os contra-exemplos em exemplos corroboradores da nova conjectura aperfeiçoada. Este processo é que caracteriza o método de análise e síntese como um método heurístico racional para a descoberta científica e que será aqui exposto.

O programa de pesquisa iniciado por Euler surgiu a partir da percepção de um problema para a classificação dos poliedros, pois enquanto na geometria plana os polígonos podem ser classificados de acordo com o número de lados, que é sempre igual ao número de ângulos, na geometria dos sólidos o problema é mais complexo, pois o número de faces é insuficiente para a classificação. Salientamos, como o faz Pólya, que as analogias são instrumentos bastante fecundos para a descoberta e solução de problemas, a percepção da existência de uma analogia é que possibilitou a Euler formular

o problema, e iniciar a busca de uma solução para a questão da relação entre V (vértices), A (arestas) e F (faces) semelhante à relação entre V e A existente nos polígonos. (19)

A partir deste problema foi iniciado um programa de pesquisa que possuía como núcleo irrefutável, heurística negativa, a tese de que existe uma relação entre V , A e F nos políedros, análoga à relação entre V e A dos polígonos.

A solução do problema acima proporciona elementos para esclarecermos controversias em relação a duas questões que são colocadas pelos filósofos da ciência: como as teorias são descobertas e desenvolvem-se, segundo os padrões de uma metodologia que utiliza-se do método de análise e síntese? Como a utilização do método de análise e síntese permite uma ampliação do conceito de história interna na ciência, de forma a explicar como racional a descoberta de teorias?

Estas duas questões serão respondidas analisando-se o processo de descoberta da conjectura de Euler, sobre os poliedros, $V - A + F = 2$, e o seu desenvolvimento em um programa de pesquisa que levou a "uma classificação completa de superfícies fechadas topologicamente equivalentes, e à classificação de conjuntos de polígonos n -tuplicamente conectados e ao cálculo de $V - A + F$ para um amplo leque de objetos topológicos". (20) Salientamos que o processo de descoberta de Euler, bem como a sua transformação em um programa de pesquisa serão analisados a partir dos textos de Polya e Lakatos.

Aqui começaremos a analisar, via uma reconstrução racional, como originou-se a conjectura de Euler para os poliedros, e de que forma se processou o seu desenvolvimento posterior. Caso aceitemos como correta a tese de que a con-

jectura de Euler desenvolveu-se por indução teremos de aceitar o fato das observações guiarem as idéias, elaborarmos uma lista dos poliedros com as suas respectivas características, para, a partir disto, construirmos indutivamente uma hipótese que as explique. Porém, esse processo não poderá chegar a bom termo em razão de que a observação sem uma idéia diretiva raramente produzirá resultados que mereçam créditos, não saberemos nem mesmo o que observar; "os fatos não sugerem conjecturas, nem as amparam", isto porque "quando nos deparamos com um caos real de fatos dificilmente poderemos ajustá-los em uma fórmula correta".

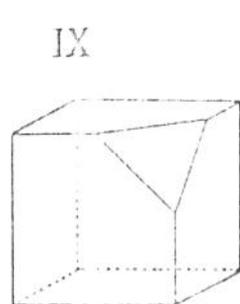
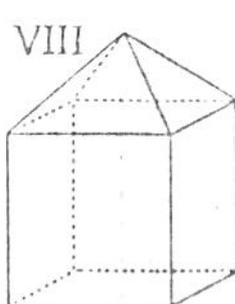
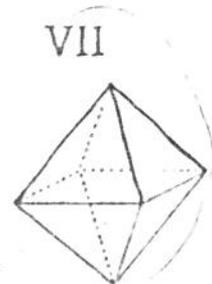
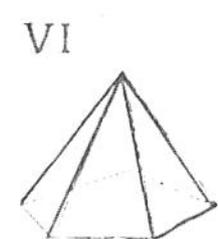
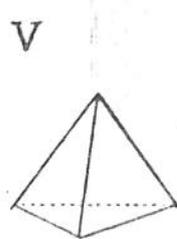
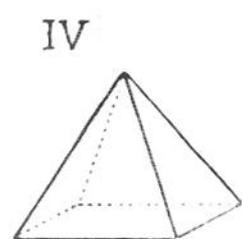
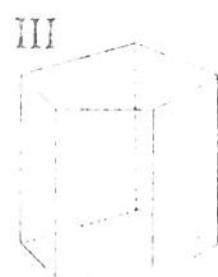
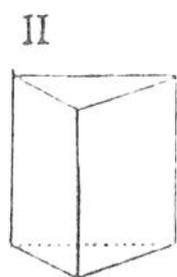
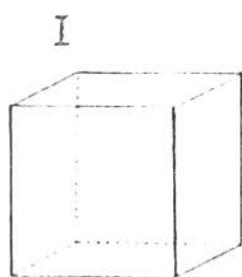
Os falseacionistas irão afirmar que a conjectura de Euler surgiu do seu método de conjecturas e refutações. O pesquisador inventa conjecturas, por "guesses", não explicadas racionalmente, e as contrasta com a experiência, que poderá corroborar ou refutar; caso a conjectura fique corroborada procura-se testes mais severos, caso fique refutada procura-se uma nova conjectura para novas contrastações. Este argumento dos falseacionistas incorre em erro, essencialmente por não conseguirem explicar como surgem as conjecturas, e não poderem; pela utilização do método de conjecturas e refutações, corrigir e melhorar as conjecturas, não podendo desta maneira engendrar um desenvolvimento justificado racionalmente das teorias científicas.

A metodologia dos programas de pesquisa utiliza-se do método de análise e síntese, também chamado por Lakatos de provas e refutações, para explicar por meios heurísticos o surgimento e desenvolvimento da conjectura de Euler. O método de provas e refutações inicia-se com o surgimento de uma primeira conjectura ingênua, a ser seguida de um experimento mental.

A conjectura ingênua de Euler surgiu da procura de uma relação para os poliedros análoga à existente entre os polígonos, a percepção da analogia possibilitou que as conjecturas iniciais lançadas não fossem meros "guesses", elas foram dirigidas para o estabelecimento de uma relação entre V , A e F para os poliedros, semelhante à existente entre os polígonos, onde $V = A$. A busca dessa relação análoga restringe o número de conjecturas a serem feitas, como também dirige o próprio ato de conjecturar. (22)

A reconstrução de Polya e Lakatos nos informa que após a realização entre polígonos e poliedros partiu-se para a fase de teste de conjecturas, a primeira conjectura é a de que "o número de faces aumenta com o aumento do número de vértices". De posse desta conjectura procurou-se testá-la examinando e comparando poliedros, chegando-se ao resultado de que o octaedro refuta a conjectura quando comparado com o cubo, enquanto um possui mais faces, o outro possui mais vértices (ver tabela e desenhos abaixo). (23)

Poliedros	F	V	A
I. Cubo	6	8	12
II. Prima triangular	5	6	9
III. Prisma pentagonal	7	10	15
IV. Pirâmide quadrada	5	5	8
V. Pirâmide triangular	4	4	6
VI. Pirâmide pentagonal	6	6	10
VII. Octaedro	8	6	12
VIII. "Torre"	9	9	16
IX. "Cubo truncado"	7	10	15



Com a refutação da primeira conjectura duas outras são colocadas: "A aumenta com V" e "A aumenta com F"; ficando ambas refutadas em razão da comparação da "torre" com o "cubo truncado", quando A aumenta de 15 para 16, V cai de 10 para 9; e do octaedro com o prisma pentagonal, A aumenta de 12 para 15 e F cai de 8 para 7.

Embora nossas conjecturas iniciais não tenham sobrevivido aos testes, nós ainda as podemos modificar em busca de uma regularidade que preserve a nossa analogia com os polígonos; é certo que nem F nem V aumentam com A, porém, eles em conjunto, podem aumentar o número de arestas. De posse dessa nova conjectura vamos para os políedros testá-la, e constatamos que

$$F + V = A + 2$$

se verifica no teste com todos os nossos poliedros.

Após termos visto que a conjectura ficou corroborada pelos testes resta-nos saber como as diferentes metodologias a irão analisar: os indutivistas dirão que

"a verdade dela ficou patente em tantos casos, que não pode haver dúvida de que ela valha para qualquer sólido. Assim a proposição me parece suficientemente demonstrada" (24)

Os falseacionistas irão procurar submeter a conjectura a testes cada vez mais severos, e caso ela fique refutada por um desses testes, passarão a buscar uma nova conjectura ainda não refutada. A metodologia dos programas de pesquisa irá considerar $F + V = A + 2$ como uma conjectura ingênua, que possibilita sair do período de tentativa e erro para entrar na fase de experimentos mentais que permitam provar e corrigir a conjectura, de forma a possibilitar a elabora-

ção de um programa de pesquisa.

A prova da conjectura de Euler, apresentada por Cauchy, se constituiu em uma experiência mental que decompôs a conjectura original, $V - A + F = 2$ para todos os poliedros, em subconjecturas, que possibilitaram novas oportunidades para testes, aumentaram as possibilidades de contra exemplos.

Vejamos agora como Cauchy provou a conjectura de Euler e de que forma esta desenvolveu-se em um programa de pesquisa:

Suponhamos que de fato $V - A + F = 2$ para todo poliedro, consideremos uma instância particular, o cubo, e realizemos como segue:

1 - preparemos um modelo oco de um cubo feito de borracha, com as arestas pintadas em vermelho;

2 - recortemos uma das faces; podemos, então, estender a superfície restante sobre a mesa (as faces e arestas se deformarão, as arestas talvez curvem-se, porém V , A e F não se alterarão, de modo que o poliedro original $V - A + F = 2$ se e somente se nesta rede plana $V - A + F = 1$);

3 - tracemos agora uma diagonal em cada polígono da rede plana (aumentamos assim A e F em 1, de modo que o total $V - A + F$ não variará);

4 - eliminemos um a um os triângulos da rede triangulada (para remover um triângulo retiramos uma aresta, com o que desaparece uma face e uma aresta, ou removemos duas arestas e um vértice, com o que uma face, duas arestas e um vértice desaparecem);

5 - no final do processo temos um triângulo com

$V - A + F = 1$, estando provada a conjectura.

Podemos descrever a prova como:

$$E(P') \longrightarrow E'(Tp'),$$

onde P' é um poliedro especial, o cubo, e Tp' é o triângulo que resulta da "prova". O predicado E significa euleriano e E' quase euleriano (isto é, a propriedade que se aplica aos objetos para os quais $V - A + F = 1$).

A derivação acima sugere com força a fórmula mais geral

$$E(P) \longrightarrow E'(Tp),$$

onde P é uma variável que percorre o campo dos poliedros. Neste caso necessitamos de supostos auxiliares (lemas, sub-conjecturas) para derivar de $E(P)$ a conclusão $E'(Tp)$. Necessitamos supor que:

H^1 - todos os poliedros ocos de borracha, depois de eliminadas uma das faces podem esticar-se até ficarem planos, e $V - A + F = 1$ se e somente se $V - A + F = 2$ para o poliedro original;

H^2 - todas as redes planas podem ser trianguladas sem afetar $V - A + F$;

H^3 - todos os triângulos podem ser eliminados um a um, até chegarmos ao último, sem mudar $V - A + F$.

Sendo então nossa cadeia semelhante a

$$\begin{array}{ccc} H^1 & H^2 & H^3 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ E(P) & \longrightarrow & E'(Tp). \end{array}$$

Depois de termos feito uso das subconjecturas acima podemos percorrer o nosso caminho para trás, do triângulo até o poliedro, e derivar o teorema de Euler. A análise nos

proporcionou os supostos ocultos necessários para a prova, ' foi a inovação criadora, que possibilitará, agora a síntese, "uma tarefa rotineira de colegial" (25).

A decomposição da conjectura original, nas três ' subconjecturas acima, abriu novas perspectivas de crítica pa- ra a prova, pois agora podemos encontrar além de contra-exem- plos globais, para a conjectura original, também contra-exem- plos locais, para as subconjecturas.

A crítica da prova de Cauchy mostra que os lemas ' são falsos+ isto em razão de que a retirada dos triângulos' (3º lema) pode causar alteração na relação $V - A + F$ da estrutura triangulada; o cubo oco, fig. 1, abaixo, falseia o 1º lema e a conjectura original, em razão de que ele não po- de ser estendido como uma rede plana e que $V - A + F = 4$ para este sólido; e o cubo empenachado (fig. 2) falseia o se- gundo lema, por necessitar de duas arestas para aumentar em' um o número de faces, e também a conjectura original por $V - A + F = 3$.

O contra exemplo que falseia o 3º lema, por ser ' apenas local, pode ser solucionado mediante uma cuidadosa ' análise da prova, ele não coloca em questão a conjectura, ' por isto nós podemos melhorar o lema de forma a manter a con- jectura original e a própria prova, desta forma a análise da prova nos indica que o lema H³ não será falseado caso o modi- fiquemos para:

os triângulos podem ser retirados em uma ordem cer- ta, de modo que $V - A + F$ não se alterarão ' até que atinjamos o último triângulo.

No caso do contra-exemplo apenas local conseguimos manter a conjectura original mediante correções no lema con- denado, porém o que fazer quando do surgimento de contra- '

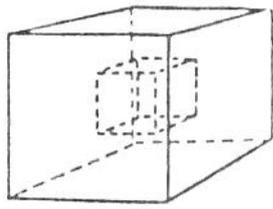


FIG. 1

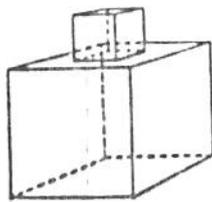


FIG. 2

exemplos globais e locais, como o cubo oco e o cubo empenachado ?

Quando ocorre a refutação de uma conjectura podemos: a) rejeitar a conjectura e a prova; b) rejeitar apenas a conjectura, mantendo a prova; c) rejeitar o próprio contra-exemplo; d) ou partirmos para aperfeiçoar a conjectura.

a) A rejeição da conjectura e da prova baseia-se no fato de que a conjectura foi refutada por ser falsa e a prova nada provar, por não dar a "garantia de verdade certa" e não comprovar o que se quer provar.

b) O ato de aceitar que o contra-exemplo global critica apenas a conjectura mas não a prova, baseia-se no fato de que a prova não tem necessariamente de provar, a prova entendida como experimento mental pode mesmo não provar a conjectura original, podendo até mesmo provar uma falsa conjectura, pois mesmo não comprovando elas contribuem, com as suas refutações, para o aperfeiçoamento das conjecturas.

c) A rejeição do contra-exemplo é utilizada com o objetivo de mostrar a prova livre da crítica, devido à crença dogmática de que as provas devem necessariamente comprovar o que se quer provar, para a rejeição do contra-exemplo eles são tratados como monstros, e, para isto, recorre-se a redefinições de poliedro, ou dos seus termos definidores; salientamos que estas hábeis redefinições são feitas sempre de forma "ad hoc": para cada novo contra-exemplo procura-se uma nova definição que retire o contra-exemplo do campo dos poliedros. A rejeição do contra-exemplo como monstro assume uma defesa sistemática da conjectura ingênua, propondo mudanças sub-reptícias nas expressões linguísticas da conjectura, porém não faz com que o programa se desenvolva. Isto porque proporciona apenas explicações post hoc (26), não conseguin-

do aperfeiçoar a conjectura original e transformá-la em um programa de pesquisa.

d) O aperfeiçoamento da conjectura pode ser realizado pelos métodos: 1 - antiexcessão; 2 - ajustamento dos contra-exemplos; 3 - e pela incorporação de lemas.

1 - O método antiexcessão baseia-se no princípio de que existem "três tipos de proposições: verdadeiras, irremediavelmente falsas e remediavelmente falsas"; podendo este último tipo ser aperfeiçoada para converter-se em proposições verdadeiras, acrescentando-se uma cláusula restritiva que declare as excessões. Como a conjectura possui muitos contra-exemplos, através deste método procuramos encontrar o domínio de validade perfeito para a conjectura original, restringindo o seu domínio de validade à medida que apareçam as excessões, ou em "vez de excluir excessões uma a uma, devemos traçar a linha limítrofe de maneira discreta, mas seguramente: 'Todos os poliedros convexos são eulerianos'" (27). Esta conjectura apresentada como teorema, baseava-se no fato de que os contra-exemplos à conjectura original só apareceram quando passou-se a trabalhar com poliedros não convexos. Salientamos que o método utilizado para alcançar a nova conjectura restringe em excesso o seu domínio, porém aceita o contra-exemplo como crítica da conjectura e da prova.

2 - O método de ajustamento de contra-exemplos parte da tese de que "em um exame mais acurado as excessões vem a tornar-se apenas aparentes e o teorema de Euler continua válido mesmo para as pretensas excessões" (28), como o "ourigo-cacheiro" (fig. 3) de Kepler. Segundo a interpretação do "ourigo-cacheiro" feita por Poinot ele possui 12 pentágonos em estrelas, 12 vértices, 30 aretas e 12 faces pentagonais, falseando portanto a conjectura de Euler pois $V - A + F = 6$;

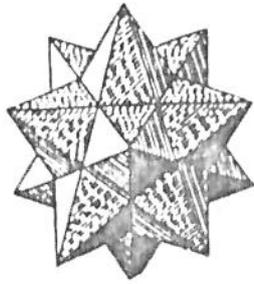


FIG. 3

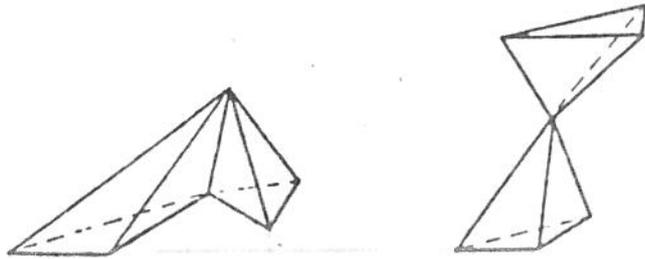


FIG. 4.

mas os defensores da eulerianeidade dos poliedros reinterpretam o "ouriço-cacheiro" como tendo 60 faces trianguladas, 90 arestas e 32 vértices, corroborando portanto a conjectura de Euler. Este método de ajuste de monstros nos ensina que "temos de expurgar nossas mentes de ilusões engadoras; temos de aprender a ver e a definir corretamente o que vemos", sendo portanto um método terapêutico. Com relação a este método podemos questionar "porque admitir apenas a interpretação que é bem ajustada" ? (29)

3 - O método de incorporação de lema aceita os contra-exemplos como crítica da conjectura, desfaz-se da conjectura original por ser falsa, mas apresenta uma nova conjectura, não mais ingênua, gerada pela prova. Este método aceita o cubo empenachado, o tetraedro gêmeo (fig. 4) e o ouriço cacheiro como contra-exemplos à conjectura original e ao primeiro lema da prova, mas mediante uma análise da prova incorpora o lema refutado à conjectura ingênua, passando a nova conjectura, que surgiu da prova, a ser "a conjectura Descartes-Euler vale para poliedros 'simples', isto é, para aqueles que, após retirada uma face, podem ser planificados"(30). Diferentemente do método antiexcessão, que aceita o contra-exemplo como crítica da conjectura e da prova, o método de incorporação de lemas sustenta a prova "mas reduz o domínio da conjectura ao próprio domínio do lema condenado".

Porém o que fazer quando surge um contra-exemplo à conjectura aperfeiçoada, como o cubo empenachado de Lhuillier? Como o cubo empenachado falseia apenas a conjectura aperfeiçoada, deixando intacto o método de aperfeiçoamento, é necessário reexaminar a prova para ver o porque do seu fracasso, pois deve haver um outro lema falso (conforme Lakatos, 1976, p. 35), necessitando, por isto, restringir a conjectura aperfeiçoada, mas não pela mera incorporação do lema refutado, e

sim por uma cuidadosa análise da prova, a qual mostrará que apenas as faces simplesmente ligadas adquirem a forma de duas peças quando cortadas por uma aresta. Diante disto a nova conjectura aperfeiçoada será: "para poliedro simples, com todas as suas faces simplesmente ligadas,

$$V - A + F = 2".$$

É necessário observar que o método acima difere do método antiexceção por exigir uma minuciosa análise da prova. Enquanto no método antiexceção a prova não aparece na conjectura melhorada, a prova e o contra-exemplo são independentes, no método de incorporação de lemas existe uma unidade intrínseca entre a lógica do descobrimento e a lógica da confirmação. É interessante notar que, embora não tenhamos conseguido comprovar a nossa conjectura ingênua, nós conseguimos uma interligação entre a descoberta e a justificação que transitou da conjectura ingênua às premissas, desfazendo a conjectura inicial e substituindo-a por um teorema gerado pela prova. Lakatos salienta ainda que:

"o teorema nem sempre difere da conjectura ingênua. Não melhoramos necessariamente ao comprovar. As provas aperfeiçoam quando a idéia de prova descobre aspectos inesperados da conjectura ingênua que então aparecem no teorema. Mas em teorias maduras pode não acontecer isso. É o caso certamente, em teorias jovens, em crescimento. Esta interligação de descoberta e justificação, de aperfeiçoamento e comprovação, é sobretudo característica das últimas". (Lakatos, 1976, p. 42)

Essa simbiose entre descoberta e justificação, refutações e aperfeiçoamentos, nos ensina que não devemos em uma metodologia dos programas de pesquisa abandonar os programas insipientes apenas pelo surgimento de

refutações, pois a heurística positiva do programa poderá digerir as refutações mediante transformações revitalizadoras' da sua força heurística. E que mesmo as teorias maduras po-'dem ser rejuvene_cidas mediante uma modificação criativa em sua heurística positiva, de forma a transformar as suas refu-tações em exemplos corroboradores.

Embora todos os lemas utilizados sejam falsos, e não tenhamos conseguido provar o que nos propunhamos, "todos os poliedros são eulerianos", chegamos a um conhecimento maior' sobre os poliedros, e com o surgimento das refutações ao nos so teorema podemos dar início a um novo processo de análise e síntese para aperfeiçoarmos a nossa conjectura, modifican-do os lemas, de forma a transformar a nova conjectura em um' programa de investigação.

Salientamos que a nossa conjectura ingênua surgiu' da analogia com os polígonos, e quando a submetemos a uma re-futação pretendidamente sofisticada como o "cubo oco", neces-sitamos dar início a um novo "procedimento de prova" pela 'utilização da análise e da síntese, que corrija e melhore a' conjectura, pois

"a prova somente pode proclamar-se concordando, 'por convenção, onde tem de deter-se a crítica am-'pliadora de conceitos e aduzindo para as conjectu-ras matemáticas, uma prova válida em uma teoria 'de primeira ou segunda ordem". (30)

Até o presente discutimos contra-exemplos locais, 'mas não globais (apenas aos lemas), e os contra-exemplos glo-bais e locais (à conjectura e aos lemas), mas o que fazer no caso do surgimento de um contra-exemplo global que não refu-te nenhum dos lemas e que seja um contra-exemplo do teorema' surgido da prova, como o "contra-exemplo 5", o cilindro ? '

(Lakatos, 1976, p. 22) Podemos resolver este problema assumindo que o teorema é perfeito e que o erro está no próprio contra-exemplo, e para eliminá-lo temos apenas que dar significado mais preciso aos termos envolvidos no teorema, como por exemplo afirmar que o cilindro não é um contra-exemplo porque uma aresta deve terminar em cantos (31). Uma outra solução é encontrar um lema oculto na prova, que o contra-exemplo não satisfaça, e trabalhar-se com o método de incorporação de lemas, ou então assumirmos que o cilindro é realmente um contra-exemplo, que, portanto, nosso último teorema não é um "teorema perfeito", necessitando, por isto, de aperfeiçoamentos, que podem ser feitos mediante uma rigorosa análise

da prova que transforme os contra-exemplos globais, mas não locais - terceiro tipo - em globais e locais, criando um novo lema (que não será oculto, mas acrescentado à nossa lista original), pois a análise da prova é válida e o teorema "é verdadeiro se, e apenas se, não houver contra-exemplos do terceiro tipo para ele". Este critério é chamado por Lakatos de Princípio de Retransmissão de Falsidade,

"porque ele exige que contra-exemplos globais sejam também locais: a falsidade deve ser retransmitida da conjectura ingênua aos lemas, do consequente do teorema ao seu antecedente. Se um contra-exemplo global, mas não local, violar este princípio, restauramo-lo pelo acréscimo de um lema apropriado à análise da prova. O Princípio de Retransmissão de Falsidade é, portanto, um princípio regulador para a análise da prova in statu nascendi, e um contra-exemplo global, mas não local é um agente fermentador no progresso de análise da prova". (Lakatos, 1976, p.47-8)

Necessitamos de refutações' para o próprio desenvolvimento do conhecimento, pois a falta de crítica ou de refutações pode converter conjecturas im-
plausíveis em "verdades a priori" e assim explicações aproxima-
mativas em provas. "Sem refutação não se pode manter suspei-
ção: o holofote da suspeição logo se desliga se um contra-
exemplo não o reforça, dirigindo o foco de luz da refutação,
para um aspecto desprezado da prova que dificilmente seria '
notado na meia luz da verdade trivial". Desta forma podemos'
ver que provas e refutações não podem ser analisadas como es-
tando em compartimentos estanques. Isto porque, da mesma for-
ma que as refutações nos impelem a realizar uma minuciosa '
análise da prova, a análise da prova também funciona como '
agente fermentador para o descobrimento de refutações. Devi-
do a estas características, Lakatos considera o seu método '
como sendo de provas e refutações, e apresenta os seus prin-
cipais aspectos em regras heurísticas:

"Regra 1. Se tivermos uma conjectura, '
disponhamo-nos a comprová-la e a refutá-la. Inspe-
cionemos a prova cuidadosamente para elaborar um
rol de lemas não triviais (análise da prova); en-
contremos contra-exemplos tanto para a conjectura'
(contra-exemplo global) como para os lemas suspei-
tos (contra-exemplo local).

"Regra 2. Se tivermos um contra-exemplo'
global, desfaçamo-nos de nossa conjectura, acres-
centemos à nossa análise da prova um lema apropria-
do que venha a ser refutado pelo contra-exemplo, e
substituamos a conjectura desprezada por outra me-
lhorada que incorpore o lema como uma condição. '
Não permitamos que uma refutação seja destituída '
como um mostro. Esforcemo-nos por tornar explíci-
tos todos os 'lemas implícitos'.

"Regra 3. Se tivermos um contra-exemplo local, confirmamos para verificar se ele não é também contra-exemplo global. Se for podemos facilmente aplicar a Regra 2". (Lakatos, 1976, p. 49-50)

É interessante observar que a Regra 2 ao mesmo tempo em que nos informa que a incorporação de lemas tem que ser realizada mediante uma análise da prova, para permitir o uso de lemas adequados, "que se harmonizem com o espírito da experiência mental", e evitem assim o uso de lemas totalmente ad hoc como "todos os poliedros tem no mínimo 17 arestas", para eliminar mos o cilindro. Abre perspectiva de crítica pela discussão sobre a própria análise da prova, pois é possível argumentar que o rigor da prova é atingível, enquanto o rigor da análise da prova é inalcançável em razão da incerteza da linguagem, e que para alcançarmos o rigor da prova necessitamos de apenas uma única norma: "Provas rigorosamente elaboradas (claras como cristal)", onde os contra-exemplos não refutam o teorema, por serem contra-exemplos "linguísticos, e não poliedrais, podendo no máximo limitar o seu domínio de validade. Porém este tipo de argumentação esquece-se de que a prova também não é suficiente, isto em razão de que necessitamos esclarecer o que a prova comprovou, e para isto necessitamos combinar o rigor da prova com o da análise da prova (32), procurando ampliar o domínio do teorema, em vez de estreitá-lo pela mera utilização da incorporação de lema, mas sim pela substituição do lema refutado por outro não falseado, que pode ser expresso pela seguinte regra heurística:

"Regra 4. Se tivermos um contra-exemplo que seja local, mas não global, tentemos melhorar nossa análise da prova mediante substituição do lema refutado por outro não falseado." (Lakatos, 1976, p. 53).

É possível interpretar a regra 4 de dois modos: ' uma interpretação fraca, que possibilita a substituição do falso lema por outro ligeiramente modificado, que não seja' mais refutado pelo contra-exemplo, não passando de um remendo local que mantém a prova original; e uma segunda interpretação, radical, que possibilita a substituição do lema, ou mesmo a de todos os lemas, como também a criação de uma ' nova prova totalmente diferente da prova original. As modificações de lema que apresentamos até agora são do primeiro tipo, enquanto que as provas de Gorgonne e Legendre são do segundo tipo (33). Salientamos que todas estas provas são insatisfatórias: a de Gorgonne por não explicar a eulerianeidade dos poliedros não - gorgonnianos, a de Legendre por ser aplicada apenas a poliedros convexos e a alguns semiconvexos, enquanto a relação de Euler entre V , A e F "corresponde a algo mais fundamental que a convexidade; e a prova de Cauchy por não explicar a eulerianeidade do "grande dodecaedro estelado" não explica também a eulerianeidade em toda a sua extensão". (34)

Para que a eulerianeidade possa ser explicada em toda a sua extensão é preciso que o teorema seja certo, que não exista contra-exemplos em seu domínio, e final, não haja exemplos fora do seu domínio. Sendo, portanto, necessário que as condições do teorema sejam não apenas suficientes, mas também necessárias. Esta procura de provas finais e correspondentes condições necessárias e suficientes deve-se à procura de uma certeza absoluta, de uma prova irrefutável, porém como as "provas formais são sempre traduções de provas não formais" e "os processos tradutórios são sempre vastos reservatórios de problemas", e nós não podemos ter certeza de que uma prova verdadeira em uma teoria dominante continuará verdadeira com a mudança de teoria, em razão de que os novos conceitos podem "não servir para a solução do problema

para o qual o antigo conceito servia", nós não poderemos ter certeza absoluta, poderemos apenas procurar maior profundidade. (35)

A busca de uma maior profundidade não pode ser limitada pela regra 4, que exige apenas provas mais profundas para a conjectura ingênua, até agora prestamos "muita atenção a $V - A + F = 2$ só porque pensávamos que isso era verdadeiro. Sabemos agora que não, e temos de encontrar uma nova conjectura ingênua mais profunda (...) que seja uma relação entre V , A e F para qualquer poliedro", devemos estar preparado para abandonar o problema original e substituí-lo por outro, porém não de forma indutiva pois só "por acaso histórico pode-se chegar a conjecturas indutivas ingênuas: quando nos defrontamos com um caos real de fatos dificilmente poderemos ajustá-los em uma fórmula correta" (36), por isto devemos recorrer à regra 5:

Regra 5. Se tivermos contra-exemplos de qualquer tipo, experimentemos encontrar, por suposição dedutiva, um teorema mais profundo ao qual eles não mais sejam contra-exemplos". (Lakatos, 1976, p. 76)

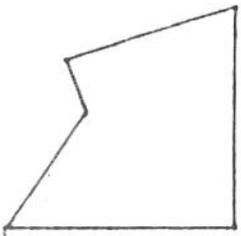
A rejeição do método indutivo para alcançarmos uma nova conjectura ingênua, não quer dizer que tenhamos de voltar ao nosso trabalho de conjecturas e refutações para a descoberta de uma nova conjectura, necessitamos apenas de uma idéia, que já está em nossas mentes quando formulamos o problema. De fato está na própria formulação do problema, a idéia de que "para um polígono $V = A$. Como porém o polígono é um sistema de polígonos que consiste em mais de um polígono. E para poliedros, $V \neq A$, a que ponto a relação $V = A$ cessa na transição de sistemas monopoligonais para sistemas poligonais?" (37)

Vejamos:

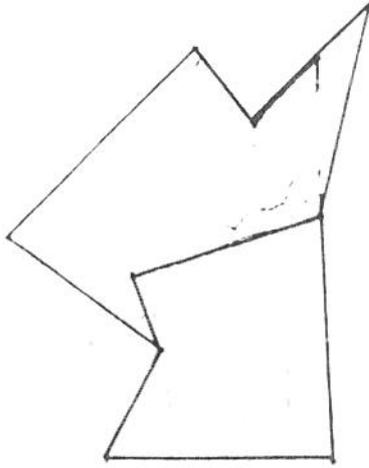
"para qualquer polígono $A - V = 0$ [fig. 5]. Que acontece se ajusto outro polígono a ele (não necessariamente no mesmo plano) ? O polígono adicional tem n_1 arestas e n_1 vértices; ajustando-o agora ao original ao longo de uma cadeia de n_1 arestas e $n_1 + 1$ vértices aumentaremos o número de arestas em $n_1 - n_1$ e o número de vértices em $n_1 - (n_1 + 1)$; isto é, no novo sistema bipoligonal haverá um excesso no número de arestas sobre o número de vértices: $A - V = 1$ [fig. 6]; para uma ajustagem pouco comum mais perfeitamente adequada, veja-se [fig. 7]. "Ajustar" nova face ao sistema sempre aumentará em um, ou para um sistema F-poligonal elaborado desse modo, $A - V = 1$.(...)

[Esta] "construção só pode levar a sistemas poligonais "abertos" - limitados por um circuito de arestas! Posso, facilmente, estender meu experimento mental a sistemas poligonais "fechados", *sem* nenhum desses limites. Esse fechamento pode ser conseguido cobrindo-se um sistema poligonal aberto, do tipo vaso, com um polígono como tampa: ajustando esse polígono tampa aumentamos F de um, sem mudar V ou A." (Lakatos, 1976, p.71)

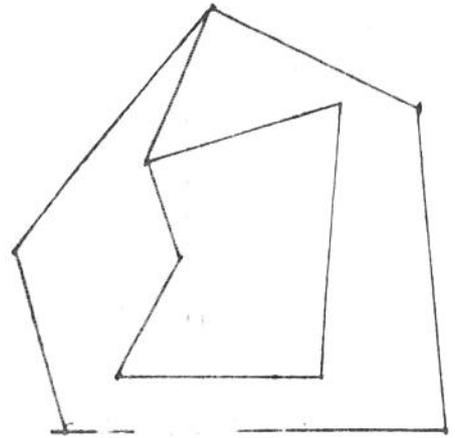
Logo, em um sistema poligonal fechado, construído dessa forma, $V - A + F = 2$. Podemos então iniciar o processo de refutações análises de prova e formação do teorema, sem necessitar passar por um período de descoberta de provas, de conjecturas ingênuas, ou de ponto de partida indutivo, para aumentar o conteúdo. Podemos deixar de lado o método de conjecturas e refutações e procurar aumentar o conteúdo por suposição dedutiva.



(5)



(6)



(7)

O experimento mental acima gerou o seguinte teorema:

"Todos os poliedros normais fechados são eulerianos".

Onde "normais" são "os poliedros que podem ser construídos a partir de um polígono "perfeito" pela ajustagem de le (a) $F - 2$ faces sem alterar $V - A + F$ (esses são poliedros normais abertos) e (b) então uma última face que aumente $V - A + F$ de 1 (e transforme o poliedro aberto em fechado)".

Polígono "perfeito" é "aquele que pode ser construído a partir de um único vértice pela ajustagem a ele primeiro de $n - 1$ arestas sem alterar $V - A$, e, então, uma última aresta fechadora que diminua $V - A$ de 1". (Lakatos, 1976, p. 76)

Caso continuemos com a suposição dedutiva podemos estabelecer os seguintes fatos:

"começamos a partir de

(1) Um vértice é um vértice.

deduzimos

(2) $V = A$ para todos os polígonos perfeitos.

Deduzimos

(3) $V - A + F = 1$ para todos os sistemas poligonais abertos normais.

Disso deduzimos que

(4) $V - A + F = 2$ para todos os sistemas poligonais fechados normais.

[Ainda podemos deduzir], alternadamente

(5) $V - A + F = 2 - 2(n - 1)$ para poliedros n -esferóides normais.

(6) $V - A + F = 2 - 2(n - 1) + \sum_{k=1}^F e_k$ para poliedros n -esferóides normais com faces multiligadas.

$$(7) V - A + F = \sum_{j=1}^K \left\{ 2 - 2(n-1) + \sum_{k=j}^F e_k \right\}$$

para poliedros n-esferóides normais
com faces multiligadas e com cavida-
des". (Lakatos, 1976, p. 80)

Esta sequência de deduções que parece ser iniciada com o conhecimento sobre o vértice, mostra que pela dedução é possível aumentar o conteúdo infalivelmente, sem refutações. Mas este tipo de constatação erra por pensar que o caminho da descoberta vai dos axiomas e/ou definições às provas e teoremas, esquecendo-se, em verdade, que iniciamos com um problema, e que a dedução não pode aumentar o conteúdo, pois "se a crítica revela que a conclusão é mais rica que a premissa, temos que reforçar a premissa tornando explícitos os lemas implícitos, que são os que contém o requinte e falibilidade e, em última instância, destroem o mito da dedução infalível" (38). Por outro lado, a crença de que a experiência dedutiva leva infalivelmente à verdade, que a partir de uma pequena semente de verdade a dedução se expandirá infalivelmente, é devido à idéia de que o progresso da matemática é contínuo, não tendo a crítica nenhum papel; porém, esta expansão contínua do conhecimento pode necessitar, tanto para explicar o cilindro que não tem vértices, como também necessita da crítica, pois caso ela não existisse não precisaríamos seguir em frente a partir de (4).

3.4 - Conclusão

Para entendermos o papel da crítica e da refutação para o desenvolvimento do conhecimento é necessário esclarecermos a própria evolução dos conceitos científicos e matemáticos. Quando da apresentação da conjectura de Euler o con-

ceito de poliedro incluía todos os poliedros convexos e alguns côncavos, a conjectura era verdadeira na interpretação pretendida; mas os refutacionistas insinuavam interpretações não pretendidas, que tornavam falsa a conjectura. A "refutação não revelou qualquer erro na conjectura original, nenhum engano na prova original: revelou a falsidade de uma nova conjectura que ninguém havia afirmado e sobre a qual ninguém havia pensado antes". (39) Assim podemos ver que os defensores do método antiexceção não abandonavam o conceito, mas que procuravam salvaguardar o conceito original mediante traduções de definições, que não significavam aperfeiçoamentos da conjectura ingênua.

Podemos afirmar que os contra-exemplos apresentados não eram contra-exemplos lógicos à conjectura ingênua, visto que não eram inconsistentes com a conjectura na interpretação intencional. Porém eram contra-exemplos heurísticos, em razão de estimularem o desenvolvimento do conhecimento e o consequente desenvolvimento do programa de pesquisa iniciado por Euler. Caso não aceitemos os contra-exemplos heurísticos impediremos o desenvolvimento do programa de pesquisa, pois o trabalho será sempre realizado dentro da mesma estrutura conceitual e não poderemos aperfeiçoar as conjecturas e os conceitos. Salientamos que quando do surgimento de um "contra-exemplo" temos duas opções: ou nos recusamos a incomodarmos com ele, por não ser um contra-exemplo em nossa linguagem L^1 ; ou concordamos em modificar a linguagem estendendo conceitos e aceitando o contra-exemplo na nova linguagem L^2 , procurando explicá-lo em L^3 . Com isto a ciência nos ensina "a não respeitar qualquer estrutura linguística conceitual para que não se converta em prisão conceitual, pois à medida que o conhecimento progride, a linguagem muda (...) e o progresso do conhecimento não pode ser modelado em qualquer linguagem". (40)

Da mesma forma que os conceitos necessitam passar' pelo processo de provas e refutações, as conjecturas também necessitam; pois no progresso do conhecimento as

"conjecturas e conceitos ingênuos são suplantadas' por conjecturas (teoremas) e conceitos (conceitos' gerados por prova ou conceitos teóricos) que sur-' gem do método de provas e refutações. E à medida ' que idéias e conceitos suplantam idéias e concei-' tos ingênuos, a linguagem teórica suplanta a lin-' guagem ingênuo".(41)

É importante observar que mesmo pela utilização do método heurístico de provas e refutações não podemos alcan- çar a infalibilidade, pois conjecturas e conceitos sempre po- dem ser aperfeiçoados, seja pelo aperfeiçoamento na própria' teoria, ou mesmo via mudanças na teoria dominante.

Em último lugar, precisamos salientar que existem' diferenças significativas entre o enfoque dedutivo de Popper e Hempel e o Heurístico na ciência com relação à descoberta' de teorias. Isto porque o enfoque dedutivo obscurece o pro-' cesso de descoberta das teorias, apresenta-as como produtos' 'acabados' que se desenvolvem pela utilização de conjectu-' ras e refutações, e que quando da refutação necessitamos ape- nas de uma nova conjectura, que surge de uma forma inexplica- da por 'gues' do cientista, não havendo como explicar racio- nalmente o surgimento dessa nova conjectura. A metodologia ' dos programas de pesquisa, por outro lado, parte do princípio de que não existe uma lógica infalibilista do descobrimento' científico, e sim uma lógica falibilíst do descobrimento, a heurística, que funciona como um tipo de raciocínio provi- sório e apenas plausível, mas que é importante para a desco- berta da solução de problemas. (41)

A metodologia dos programas de pesquisa pela utilização do método heurístico de provas e refutações, ou análise e síntese, permite que a construção de teorias seja explicada dentro da história interna da ciência, pois as definições e explicações não são apresentadas no vazio, como no estilo dedutivo, a construção de teorias é explicada dentro do próprio processo das suas refutações e aperfeiçoamentos de conceitos, a partir de uma conjectura ingênua ou um experimento mental.

É necessário esclarecermos o papel heurístico dos contra-exemplos, na metodologia dos programas de pesquisa, para a construção de teorias, enquanto na metodologia falseacionista os contra exemplos acarretam a refutação da teoria e a necessidade de uma nova e inexplicada conjectura, na metodologia dos programas de pesquisa os contra-exemplos não são sinônimos de refutações, mas da necessidade de aperfeiçoamento da teoria, ou da necessidade de uma nova teoria, que toma como ponto de partida a própria refutação para gerar por meios heurísticos, explicáveis racionalmente, uma nova versão do programa de pesquisa, isto sem falar que a própria teoria pode criar contra-exemplos para serem transformados, posteriormente, em exemplos corroboradores, por transformações na heurística positiva.

Podemos concluir afirmando que, embora não exista uma lógica infalibilista do descobrimento científico, existem métodos heurísticos que possibilitam explicar a construção de teorias dentro da história interna da ciência, ampliando assim o conceito de racionalidade científica. Embora não possamos chegar a provas definitivas na ciência, podemos pelo uso do método de análise e síntese aperfeiçoar constantemente as conjecturas, conseguindo, caso tenhamos sucesso, chegar a um promissor programa de investigação, que no exemplo analisado possuía como heurística negativa a relação de analogia entre polígonos e poliedros.

NOTAS AO CAPÍTULO III

- 1 - Polya (1945), p. 36-7.
- 2 - Polya (1962-4), p. 36-7.
- 3 - Souza (1985), p. 48-50.
- 4 - Robinson (1936), p. 5-6.
- 5 - Para a exposição do pensamento de Cornford utilizamo-nos da interpretação feita por Robinson (1936), p. 8.
- 6 - Gulley (1958), p. 16.
- 7 - Ibid. p. 18; e Robinson (1936).
- 8 - Souza (1985), p. 114. Notas 3 e 4.
- 9 - Gulley (1958), p. 18-9.
- 10 - Ibid., p. 19.
- 11 - Ibid., p. 23.
- 12 - Ibid., p. 23.
- 13 - Souza (1985), p.115.
- 14 - Hintikka e Remes (1974), p. 13-15; e Souza (1985), p. 126-32.
- 15 - Souza (1985), p. 163.
- 16 - Hintikka e Hemes (1976), p. 39.
- 17 - Lakatos (1977b), p. 140.
- 18 - Ibid..
- 19 - Para uma melhor compreensão do papel das analogias consultar Polya (1945), p. 29-35; e (1962-4), p. 338-9.
- 20 - Lakatos (1977b), p. 135.
- 21 - Lakatos (1976), p. 73; Polya (1962-4, p. 341.
- 22 - A existência da analogia como recurso heurístico para a descoberta da conjectura de Euler é enfatizada por Lakatos (1976), p. 6 e 70; por Polya (1954) e (1962-4), p. 74 e 338, respectivamente.
- 23 - Polya (1954), p. 65-6; Lakatos (1976), p. 69 e 73 na nota nº 2.
- 24 - Lakatos (1976), p. 7, citando Euler.
- 25 - Lakatos (1976) e (1977b), p. 6-12 e 132-5, respectivamente.
- 26 - Sobre a rejeição de contra-exemplos ver Lakatos (1976), p. 14-22; para as teorias ad hoc consultar Lakatos (1971) p. 28.

- 27 - Lakatos (1976), p. 23.
- 28 - Ibid., p. 31.
- 29 - Ibid., p. 31.
- 30 - Lakatos (1977b), p. 143.
- 31 - Lakatos (1976), p. 43; e Polya (1954), p. 495.
- 32 - Lakatos (1976), p. 51-3.
- 33 - Estas provas são do segundo tipo por envolverem uma mudança de perspectiva radical, elas não se baseiam na necessidade de planificação dos poliedros.
- 34 - Ibid., p. 59-61. Informamos que a aplicação da regra 4 na sua versão fraca ou radical, é equivalente a pequenas ou radicais transformações na heurística positiva dos programas de pesquisa.
- 35 - Ibid., p. 120-6.
- 36 - Ibid., p. 67 e 72.
- 37 - Ibid., p. 70.
- 38 - Ibid., p. 81.
- 39 - Ibid., p. 84.
- 40 - Ibid., p. 93.
- 41 - Ibid., p. 91.
- 42 - Polya (1945), p. 88.

BIBLIOGRAFIA

- BRAITHWAITE, R. B. (1953) - La explicación Científica. Traduzido por Victor Sanchez de Zavala. Editorial Tecnos, 1965, 410 p.(Estructura y Funcion 15).
- CURD, M. V. (1980) "The Logic of Discovery: An Analysis of Three Approaches". In NICKLES, T. (1980c), p. 201 - 19.
- GULLEY, N. (1958) - "A análise Geométrica Grega". Traduzido POR Roberto Lima de Souza. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, nº 4, 1983, Campinas, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, p. 16 -27.
- GUTTING, G. (1980) - "The Logic of Invention". In NICKLES, T. (1980c), p. 221 - 34.
- HANSON, N. R. (1953) - Pattern of Discovery. Cambridge, Cambridge University Press, 1971, 241 p..
- HINTIKKA, J. & REMES, U. (1974) - The Method of Analysis. Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, 1974, 144 p..
- _____ (1976) - "A Análise Geométrica Antiga e a Lógica Moderna". Tradução de Walter Carnielli. In: Cadernos de História e Filosofia da Ciência, nº 4, 1983, Campinas, Centro de Lógica, Epistemologia e História da ciência, p. 28 - 47.
- KUHN, T. S. (1962) - A Estrutura das Revoluções Científicas. Tradução de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo, Editora Perspectiva, 1975, 262 p. (Debates, 115).
- _____ (1969) - "Posfácio - 1969". In: KUHN (1962), p.217 - 57.

- _____ (1971) - "Notas sobre Lakatos". In: LAKATOS (1971), p. 79 - 95.
- LAKATOS, I. (1962) - "Regressión Infinita e Fundamentos de la Matemática". In: LAKATOS (1977a), p. 15 - 41.
- _____ (1967) - "Existe um Renascimento del Empirismo en la Reciente Filosofia de la Matemática ?" In: LAKATOS (1977a), p. 42 - 66.
- _____ (1968) - "Cambios en el Problema de la Lógica Inductiva". In: LAKATOS (1977a), p. 174 - 268.
- _____ (1970) - "O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa". In: LAKATOS & MUSGRAVE (1970), p. 109 - 243.
- _____ (1971) - Historia de la Ciencia y sus Reconstrucciones Racionales. Tradução de Diego Ribes Nicolás. Madrid, Editorial Tecnos, 1974, 156 p..
- _____ (1976) - Proofs and Refutations - The Logic of Mathematical Discovery. Edited by John Worrall & Elie Zahar. Cambridge University Press, 1977, 174 p..
- _____ (1977a) - Matemáticas, Ciencia y Epistemología. Tradução de Diego Ribes Nicolás. Editado por J. Worrall & G. Curie. Madrid, Alianza Editorial, 1981, 360 p..
- _____ (1977b) "El método de Analisis - Síntesis". In: LAKATOS (1977a), p. 103 - 44.
- LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. (ed.) (1970) - A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento. Tradução de Octavio Mendes Cajado. São Paulo, Cultrix e Edusp, 1979, p. 343..

- LAUDAN, L. (1963) - "Teorias do Método Científico de Platão a Mach". Tradução de Balthazar Barbosa Filho. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Suplemento nº 1, 1980, Campinas, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, 77 p..
- MASTERMAN, M. (1970) - "A Natureza de um Paradigma". In: LAKATOS & MUSGRAVE (1970), p. 72 - 108.
- MONK, R. (1980) - "Productive Reasoning and the Structure of Scientific Research". In: NICKLES (1980c) p. 337-54.
- NICKLES, T. (1980a) - "Scientific Discovery and the Future of Philosophy of Science". In: NICKLES (1980c), p. 1 - 59.
- _____ (1980b) - "Can Scientific Constraints Be Violated Rationally ?" In: NICKLES (1980c), p. 235 - 315.
- _____ (ed.) (1980c) - Scientific Discovery, Logic, and Rationality. Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, 1980, 385..
- POLYA, G. (1945) - A Arte de Resolver Problemas. Tradução de Heitor Lisboa de Araujo. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 1973, 196 p..
- _____ (1954) - Matemáticas y Razonamiento Plausible. Tradução de Jose Luis Abellon. Madrid, Editorial Tecnos, 1966, 580 p. (Estructura y Funcion, 19).
- _____ (1962-4) La Découverte des Mathematiques. Traduzido por M. Didier e H. Praderie. Paris, Dunod, 1967, 2 v. (Sigma, 9).
- POPPER, K. R. (1955) - "A Distinção entre Ciência e Metafísica". In: POPPER (1963a), p. 281 -321.
- _____ (1956) - "Três Pontos de Vista Sobre o Conhecimento Humano". In: POPPER (1963a), p. 125 - 146.
- _____ (1957) - "Ciência: Conjecturas e Refutações". In: POPPER (1963a), p. 63 - 83.

- _____ (1959) - La Lógica de la Investigación Científica. Traduzido por Victor Sanchez de Zavola. Madrid, Editorial Tecnos, 1971, 451 p. (Estructura y Funcion, 3).
- _____ (1963a) - Conjecturas e Refutações. Tradução de Sérgio Bath. Universidade de Brasília, s. d. 449' p. (Coleção Pensamento Científico, 1).
- _____ (1963b) - "Verdade Racionalidade e a Expansão do ' Conhecimento Científico". In: POPPER (1963a), 241-74.
- ROBINSON, R. (1936) - "A análise na Geometria Grega". Traduzido por Roberto Lima de Souza. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, nº 4, 1983, Campinas, ' Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciên-
cia, p. 5 - 15.
- SOUZA, R. L. de (1985) - Sobre o Problema da Interpretação ' do Método de Análise - Da Concepção Tradicional à Visão de Hintikka e Remes. Dissertação de Mestra-
do, Universidade Estadual de Campinas, Instituto ' de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Filosofia, Campinas, 1985, 214 p..