

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO

Luiz Carlos Gomes

AS DESCOBERTAS DA ASTRONOMIA À LUZ DA TEORIA DA ABSTRAÇÃO
REFLEXIONANTE DE JEAN PIAGET

Porto Alegre

2007

Luiz Carlos Gomes

AS DESCOBERTAS DA ASTRONOMIA À LUZ DA TEORIA DA ABSTRAÇÃO
REFLEXIONANTE DE JEAN PIAGET

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação.

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Becker

Porto Alegre

2007

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

G633d Gomes, Luiz Carlos

As descobertas da astronomia à luz da teoria da abstração reflexionante de Jean Piaget [manuscrito] / Luiz Carlos Gomes; orientador: Fernando Becker. – Porto Alegre, 2007.

83 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Educação. Programa de Pós-Graduação em Educação, 2007, Porto Alegre, BR-RS.

1. Epistemologia genética. 2. Pensamento operatório. 3. Abstração reflexionante. 4. Percepção. 5. Astronomia – Ensino. 6. Piaget, Jean. I. Becker, Fernando. II. Título.

CDU – 159.953.5

Aos meus pais, Carlos Luiz Gomes e Alira dos Santos Gomes, com uma certeza que a herança que eles estão me deixando frutificou, rendeu juros, dividendos e transbordou as expectativas de quem teve inicialmente como grande sonho na vida ser bancário.

Postumamente ao meu padrinho, Clemente Edvino Link, Mestre Link, que desde quando eu era pequeno, me chamava para conversarmos sobre a conquista espacial, os mistérios do universo, os mistérios da vida, os mistérios da mente e formulava perguntas que me deixavam em estado de permanente reflexão até o nosso próximo encontro.

AGRADECIMENTOS

Quando um sujeito de 54 anos conclui uma dissertação ou uma tese, não se deve perguntar quanto tempo ele demorou em escrevê-la: este trabalho mostra que qualquer coisa que acreditemos que tenha sido escrito em meia-hora, em dois anos, em dois anos e meio, na verdade foi escrito durante toda sua vida. O fechamento pôde ser feito em um curto período. Mas as idéias, sua estrutura, seus erros, enganos e acertos foram organizados desde antes do seu primeiro choro. Por isso, vai ser difícil agradecer a todas as pessoas que contribuíram para que esta dissertação estivesse concluída. É difícil lembrar de todos e é impossível relacionar aqui todos aqueles que pudermos lembrar. Vamos fazer um esforço para, pelo menos, citar os mais imediatos, a saber:

Aqueles que mais participaram, que mais foram sonogados da nossa companhia nesse período de estudos, de escrita e revisões, com certeza foram minha mulher, meus filhos, meus enteados e os netos que são recém-chegados ao planeta. Agradecer a eles é muito pouco.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Becker, pela paciência, pela precisão nas críticas e sugestões, pelas horas em que ao ler e reler meus escritos também teve que se ausentar do carinho dos seus, e pela grande aula que tive, através de nossos contatos, mostrando na prática como se deve proceder para ser um grande orientador.

Aos colegas que participaram das diferentes fases da disciplina Seminários Avançados (EDUP – 153) oferecida semestralmente pelo PPGEdu – UFRGS, pois foi graças às discussões, às colaborações, à participação nas experiências e principalmente por terem colocado dúvidas que passaram a ser nossas também, que a fundamentação teórica deste trabalho muito se enriqueceu.

À Secretaria do PPGEdu – UFRGS e à ComPós pela tolerância nos prazos que não puderam ser cumpridos.

Ao Colégio Militar de Porto Alegre, seja a Instituição, sejam os colegas, pelas concessões e dispensas de horário que me permitiram fazer o exercício da reflexão, tão necessários a esse tipo de trabalho.

Aos alunos e ex-alunos do Clube de Astronomia do Colégio Militar de Porto Alegre que, com certeza, foram fonte inspiradora e motivadora permanente.

À Direção e aos colegas do Colégio Anchieta de Porto Alegre, que, mesmo sabendo das dificuldades que adviriam da minha ausência na coordenação dos laboratórios de física, independentemente de qualquer obrigação legal, me concederam licença de dois anos para cursar as disciplinas do mestrado. Fico com o sentimento de não mais poder ter retornado, pois fatos novos durante o período de minha ausência me impossibilitaram de voltar a ocupar o lugar que me cabia na Instituição.

A todas as escolas em que trabalhei, em particular ao Colégio Sévigné, sem deixar de lembrar das colegas Petronilha Beatriz Gonçalves da Silva e Ana Cristina Rangel, pelos desafios de diferentes ordens que me foram propostos e pelas primeiras leituras e discussões sobre o trabalho de Piaget, Paulo Freire, entre tantos.

Às incompreensões e às intolerâncias retribuímos com nossa compreensão e tolerância.

Na verdade, é quase um milagre que os métodos modernos de instrução não tenham exterminado completamente a sagrada sede de saber, pois essa planta frágil da curiosidade científica necessita, além de estímulo, especialmente de liberdade; sem ela, fenece e morre. É um grave erro supor que a satisfação de observar e pesquisar pode ser promovida por meio da coerção e da noção do dever. Muito ao contrário, acredito que seria possível eliminar por completo a voracidade de um animal predatório obrigando-o, à força, a se alimentar continuamente, mesmo quando não tem fome, especialmente se o alimento usado para a coerção for escolhido para isso.(EINSTEIN, Albert. Notas Autobiográficas, 1982. Pág.26)

RESUMO

Procuramos fundamentar e explicitar neste trabalho o modo pelo qual o sujeito organiza, pessoal, coletiva e historicamente seu conhecimento astronômico. Toma-se como referencial teórico para essa organização a epistemologia genética de Jean Piaget, em particular sua teoria da abstração reflexionante. Apontam-se, na revisão bibliográfica, aspectos que se consideram relevantes para o conhecimento astronômico, tanto do ponto de vista teórico quanto histórico, seguindo uma direção que estrutura a gênese desse conhecimento específico, desde as estruturas sensório-motoras do sujeito, passando pelo pensamento pré-operatório, o pensamento operatório concreto e o pensamento operatório formal. O caminho seguido, uma vez que não podemos abranger o trabalho de Piaget na sua totalidade, foi o de fundamentar a aquisição do conhecimento no equilíbrio cognitivo, conseguido através de abstrações empíricas e reflexionantes, tendo como modelo, principalmente, o equilíbrio dos sistemas biológicos. Isso é, pretendemos mostrar como o conhecimento astronômico, iniciando pela percepção do céu, mediado pelo processo de equilíbrio e de abstração reflexionante, evolui por sucessivas tomadas de consciência dos fenômenos celestes e, ao mesmo tempo, das compreensões do próprio sujeito.

Apontam-se, finalmente, algumas sugestões pedagógicas para que os fenômenos dos céus, inferenciais na sua totalidade, possam ser compreendidos em diferentes níveis de suas possíveis leituras.

PALAVAS-CHAVES: Epistemologia genética. Pensamento pré-operatório. Pensamento operatório concreto. Pensamento operatório formal. Abstração empírica. Abstração reflexionante. Percepção. Abstração pseudo-empírica. Abstração refletida. Astronomia. Ensino de Astronomia.

ABSTRACT

This work has the objective of fundamental and explicit in what ways one organizes, personal, collective and historically, its own astronomic knowledge. Jean Piaget's genetics epistemology is taken as the referential theory, and the reflexionant abstraction theory taken as the central point. Through a checking on the bibliography, different aspects considered relevant for the astronomic knowledge are pointed out, in theory as in history, following a direction that structures the genesis of this specific knowledge, since one's sensory-motor structures, going through the pre-operational thinking, the concrete operational thinking and the formal operational thinking. The way through which it was done, since we cannot go thorough the complete work of Piaget, fundamentals the acquisition of knowledge on the cognitive equilibrium, acquired through empiric and reflexionant abstractions, having as a model, mainly, the biological systems equilibrium. In another way, with the astronomic knowledge, taken from the skies' perception, mediated by the equilibrium theory and the reflecting abstraction theory, leads to the perception and understanding of the celestial phenomenon.

By the end, the conclusions also point out suggestions in a pedagogical level so that the skies phenomenon, inferential in their totality, can be fully comprehended in all different ways of possible reading.

KEY-WORDS: Genetic epistemology. Pre operational thinking. Concrete operational thinking. Formal operational thinking. Empiric abstraction. Reflexionant abstraction. Perception. Pseudo empiric abstraction. Reflected abstraction. Astronomy. Astronomy teaching.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO	14
3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DA ASTRONOMIA	14
3.1 A OBSERVAÇÃO ASTRONÔMICA	18
3.1.1 O que é a Astronomia?	18
3.1.2 O que vemos ao olhar para o céu?	20
3.1.2.1 A FISILOGIA DO OLHO NA OBSERVAÇÃO ASTRONÔMICA	20
3.1.2.2 MOVIMENTOS DO CÉU	21
4 A FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	26
4.1 MÉTODO DE ANÁLISE E JUSTIFICATIVAS	29
5 A CONSTRUÇÃO DO MUNDO	31
5.1 EQUILÍBRIO MECÂNICO	33
5.2. EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO	34
5.3 EQUILÍBRIO BIOLÓGICO	38
5.4 EQUILÍBRIO COGNITIVO	39
5.5 AS ABSTRAÇÕES	42
5.5.1 Abstração Empírica	43
5.5.2 Abstração Reflexionante	45
5.5.2.1 ABSTRAÇÃO PSEUDO EMPÍRICA	45
5.5.2.2 REFLEXIONAMENTOS E REFFLEXÕES	48
5.5.2.3 ABSTRAÇÕES REFLETIDAS	52
6 A ESTRUTURA DO PENSAMENTO E O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO	54
6.1 DO OPERATÓRIO-CONCRETO PARA O OPERATÓRIO FORMAL	59
6.2 O CONHECIMENTO ASTRONÔMICO	64
6.3 A ASTRONOMIA DO SENSO COMUM	66
6.4 PERCEPÇÃO E RAZÃO	69
Á GUIA DE CONCLUSÃO	73
BIBLIOGRAFIA	80
ÍNDICE	83

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por finalidade descrever o conhecimento astronômico tal como é construído individual, social e coletivamente pelos sujeitos. Na forma de revisão bibliográfica, utilizam-se referências históricas e a teoria da abstração reflexionante de Jean Piaget para fundamentar os argumentos de como se dá essa construção, com contribuições provenientes de minha experiência pessoal. Incluo na minha experiência pessoal, como de importância extremamente significativa, esclarecedora e fundamental, os resultados dos debates sobre a teoria de Piaget que aconteceram nas diferentes versões da disciplina que frequentei oferecida pelo PPGEduc, EDP-53-I, Seminários Avançados, e a expressiva e inestimável colaboração de todos os colegas que comigo participaram, sob a coordenação do Prof. Dr. F. Becker

A teoria de Jean Piaget sobre a gênese e o desenvolvimento do conhecimento humano é, de uma maneira geral, bastante ampla e complexa para ser abordada por completo em um trabalho de dissertação. Por isso, escolhi um caminho que deixe claro a seqüência de complexidades dos conteúdos abordados, de tal forma que, se não puder abordar todos os aspectos da teoria, pelo menos, consiga explicitar as maneiras pelas quais os tópicos mais significativos possam contribuir para que haja um bom entendimento do processo de construção do conhecimento astronômico. Este, por sua vez, também não deixa de ser bastante amplo, complexo e multidisciplinar. Por este motivo, também, fez-se necessário limitar a escolha de eventos e fenômenos para serem utilizados como exemplos.

No capítulo 3, analisando o que recomendam os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do MEC, comparando livros didáticos de ciências e geografia, bem como relatando minha experiência pessoal como professor, destaco algumas considerações a respeito da realidade do ensino brasileiro de astronomia nas escolas de ensino fundamental e médio, bem como nas universidades. Nessa mesma linha, não pude deixar de apontar, também, a contribuição dada pela literatura disponível em revistas, em livros e pela rede mundial de computadores, bem como o papel desempenhado pela realização de olimpíadas nacionais e internacionais de astronomia como elementos incentivadores para o estudo dessa área do conhecimento.

Sendo a astronomia uma ciência que atua predominantemente sobre dados colhidos do ambiente através da visão, com ou sem aparelhos, muito mais do que da manipulação física dos objetos, avalio a importância da escolha de um bom referencial espacial para que possamos perceber e até medir os diferentes movimentos no céu. Saber escolher bons referenciais espaciais para apoiar a observação astronômica irá nos permitir compreender, não só o que podemos fazer com a astronomia hoje, mas, principalmente, o papel que ela representou no passado. Dada a grande importância da visão nas atividades astronômicas, são apresentados também rudimentos da fisiologia ocular necessários para se fazer uma boa observação do céu. Uma vez que fisiologicamente o olho funcione a contento, abordam-se também as dificuldades em registrar os movimentos das estrelas menos brilhantes, devido ao excesso de luminosidade das cidades.

Após uma rapidíssima passagem por alguns dos temas notáveis da teoria de aprendizagem de Piaget, reclama-se da ausência de estudos específicos sobre a gênese do conhecimento da astronomia nos seus trabalhos e compreende-se o porquê de existirem algumas dificuldades para se fazer esses registros, como foram feitos em outras áreas. Surge desta ausência de registros da gênese do conhecimento de astronomia a formulação do problema central, bem como alguns subproblemas que advêm desta formulação. O capítulo 4, então, apresenta o método de análise e as justificativas pelas quais optei por realizar este trabalho, a partir de desafios vindos de minha experiência como professor de física e de astronomia para alunos de diferentes idades e formações.

Com o título “A Construção do Mundo”, o capítulo 5 inicia a fundamentação da discussão a partir do conceito de equilíbrio, que vai se tornar o mote central desta dissertação. Piaget busca, na física, na química e na biologia o significado de equilíbrio que ele transfere para o entendimento do equilíbrio das funções cognitivas. Para isso, apóia-se nos postulados do equilíbrio mecânico, do equilíbrio termodinâmico e no equilíbrio dos organismos vivos. O conceito de reversibilidade e de irreversibilidade é comparado com os mesmos conceitos na termodinâmica.

O equilíbrio cognitivo se dá a partir de desequilíbrios e reequilibrações sucessivas. Porém, diferentemente do equilíbrio biológico, cujo alimento provém exclusivamente de fontes exógenas, o equilíbrio cognitivo alimenta-se também de fontes endógenas, que são as coordenações internas das ações, através das abstrações nas suas diferentes formas. Diferentemente do equilíbrio biológico, que tem limites programados hereditaria-

mente no seu desenvolvimento, o equilíbrio cognitivo supera o biológico, sem limites conhecidos.

As operações organizam os equilíbrios cognitivos, em diferentes níveis, desde a ação organizada dos reflexos até a plenitude da utilização do pensamento operatório formal como organizador das ações do sujeito.

A evolução de um estado cognitivo para outro, desde os reflexos, passando pelos esquemas sensório-motores, até o pré-operatório, e deste para o operatório concreto e deste para o operatório formal não se dá por maturação biológica. Mas existe uma complexa preparação de um estágio precedente para o seguinte que demora largos períodos de experimentação ativa que envolve a construção de uma realidade própria à medida que o sujeito organiza o mundo.

O capítulo 6 centra a atenção na passagem delicada que existe entre o pensamento operatório concreto e o pensamento operatório formal. Destacam-se os avanços que ocorreram no conhecimento astronômico como um todo, à medida que o homem aprendeu a ler o céu utilizando a concretude de suas operações mentais e servindo-se da construção de instrumentos de medida para poder deslocar-se sobre o planeta e não ficar limitado a um sítio de observação apenas.

A dificuldade em acessar fisicamente os fenômenos do céu e a impossibilidade de reproduzir em terra o que acontece “nas alturas”, somadas às dificuldades inferenciais lógico-matemáticas, levam as pessoas a buscarem no realismo infantil explicações sobre os fenômenos celestes, que nada mais é que o pensamento de senso comum. Mesmo utilizando conhecimentos matemáticos de ordem superior, nasce a astrologia.

O aprimoramento do entendimento, o refinamento dos mecanismos de ação da razão, implica na qualidade das abstrações reflexionantes, para a leitura da percepção. A percepção refinou-se à medida que os conhecimentos avançaram e novos aparelhos ópticos, cada vez mais precisos, foram apontados para o céu. Novas hipóteses puderam ser elaboradas a respeito de paisagens celestes invisíveis ao olho humano, mas passíveis de materialização pela diversidade de equipamentos que hoje dispomos.

Nas conclusões, levando em conta as discussões dos capítulos anteriores, levanto algumas alternativas para que a complexidade do conhecimento astronômico possa ser traduzida pedagogicamente, permitindo avaliar limites e criar possibilidades e estraté-

gias para que se consiga, através do trabalho sistemático e de uma pedagogia ativa, fazer uma verdadeira leitura científica do céu.

Quero salientar que muitos termos, próprios das definições de Piaget ou da física e da astronomia, aparecerão antes dos mesmos serem definidos ou conceituados ao longo do texto. Para facilitar a compreensão de uma primeira leitura dos mesmos, coloquei ao final um índice de termos e expressões fundamentais, com a indicação da respectiva página na qual encontramos esclarecimentos sobre os mesmos.

2 OBJETIVO

O presente trabalho visa a explicitar, com o auxílio teórico da Epistemologia Genética, a maneira – pessoal, coletiva e histórica – pela qual o sujeito organiza seu conhecimento astronômico.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DA ASTRONOMIA

É inegável o fascínio que o ato de olhar para o céu desperta em nossos sentimentos. Seja sua leitura feita com conhecimento científico, ou sob quaisquer outras formas (mítica, religiosa, e até mesmo indiferente), os prazeres das descobertas que fazemos são sempre eivados de mistérios. Do contato que temos com diferentes públicos em palestras, cursos e atividades populares de observação celeste, com e sem aparelhos, um número mínimo de pessoas demonstram ultrapassar os limites desses mistérios do céu. Poucos avançam além daqueles conhecimentos elaborados a partir de suas experiências individuais ou transmitidos oralmente, arraigadas a um folclore que se apresenta fortemente impregnado de causalidades, próprias de explicações animistas ou artificialistas.

Academicamente, conseguimos aperfeiçoar o conhecimento astronômico a partir dos conteúdos ministrados em geografia e ciências, unicamente nas quintas séries do ensino fundamental, se levar em conta a estrutura atual do ensino brasileiro. Minha geração teve uma formação acadêmica sob outra estrutura de ensino e esses mesmos conteúdos eram ministrados na primeira série ginasial, a equivalente à atual quinta série. Porém, esse estudo acadêmico apenas apresenta um universo organizado, sistematizado, cujo conhecimento não vai além de uma classificação que limita nossa existência à pertinência a um sistema solar; giramos em torno de uma estrela central (que, na realidade, a rigor, não se encontra no centro), acompanhada de outros planetas vizinhos com e sem satélites, maiores ou menores, anões ou gigantes. Alguns planetas, inclusive, são circundados por anéis. Sem sair do nosso sistema solar, podemos também acrescentar ao céu cometas, asteróides, meteoróides e, indo bem mais longe, estrelas com diferentes brilhos e tamanhos, localizadas a distâncias incomensuráveis pelos padrões terrestres. Raras vezes nos é dado entender os mecanismos mais complexos, como os dos eclipses e das marés.

Com esses conteúdos passamos toda uma vida a admirar e a tentar entender o céu, seja pela observação direta dos seus fenômenos, seja pela leitura em revistas ou jornais, seja pelo acompanhamento de tele-jornais, através de documentários, filmes, etc.

Mesmo para quem vai além da formação ministrada no ensino fundamental, cursando o ensino médio, não logra grandes acréscimos a respeito dos mistérios do céu. Os mecanismos que regem a lei da gravitação universal de Newton¹ e as três leis de Kepler² para o movimento planetário, embora constem nas matrizes curriculares das escolas e nos livros de física a partir dos estudos de oitava série do ensino médio, não passam de conteúdos ministrados *en passant*, que muitas vezes são suprimidos da grade curricular da programação escolar por não terem significado formativo nem para o professor nem para o aluno, segundo entendimentos de ambos. Nosso currículo escolar ainda se encontra muito preso aos programas dos exames vestibulares, dando-se mais ênfase para aqueles conteúdos que podem ser solicitados nesses concursos. No máximo, quando se torna possível a abordagem desses capítulos durante um ano letivo, todo o conteúdo acaba se convertendo em meros exercícios de aplicação do mecanismo algébrico das definições que regem os princípios fundamentais da mecânica celeste; não têm signifi-

¹ Isaac Newton (1642 – 1727)

² Johannes Kepler (1571 – 1630)

cado prático; são considerados, portanto, inúteis. Muitos professores, entre os quais me incluo, transformam o estudo desses capítulos sobre as leis da gravitação universal e sobre as leis de Kepler para o movimento planetário em trabalhos extra-classe que devem ser formalmente escritos, cuja entrega é, freqüentemente, acompanhada de uma apresentação oral ou dramatizada para os colegas, e valorizados na forma de uma nota, conceito ou menção para avaliação.

Analisando os *Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN)*, na sua versão mais atualizada (MEC, 1999, Parte III, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, sobre Conhecimentos de Física), para o ensino médio, a relação conteúdo/habilidade/competências prevê para os currículos, de maneira ampla e muito geral: “Uma Física que discuta a origem do universo e sua evolução.” (Idem, pág. 230). Mais adiante, é dada maior ênfase para o estudo da gravitação universal como fundamento para entender a cosmologia moderna: “A possibilidade de um efetivo aprendizado de Cosmologia depende do desenvolvimento da teoria da gravitação, assim como de noções sobre a constituição elementar da matéria e energética estelar...” (Idem, pág. 234).

Uma vez ultrapassado o ensino fundamental e médio, o estudo da astronomia só será novamente trabalhado em suas particularidades e com maior profundidade, por um público muito pequeno, bastante restrito, composto por alunos que porventura venham a freqüentar o número mais reduzido ainda de cursos de física, nas diferentes ênfases para licenciatura e bacharelado, oferecidos pela totalidade das universidades existentes. Isto é, se o indivíduo que não freqüentar um desses cursos específicos quiser aprofundar seus conhecimentos sobre astronomia, indo além do que foi trabalhado no ensino fundamental e médio, deverá contar com o acesso a uma boa e qualificada literatura ou participar de eventuais cursos de extensão promovidos pelas diferentes entidades (universidades, planetários, associações, clubes, etc.) que trabalhem regularmente com astronomia.

A rede mundial de computadores (internet) oferece hoje grandes facilidades de acesso a imagens fotográficas, infográficos, mapas, simuladores celestes, cursos virtuais, etc. para o aperfeiçoamento individual frente aos conhecimentos de astronomia. As páginas da NASA lideram, com certeza, todos os aspectos, salientando-se a qualidade e a cientificidade. O único inconveniente em consultar a NASA é a utilização da língua inglesa em suas páginas. Para a língua portuguesa, destacamos os cursos de astronomia à distância promovidos pelo Observatório Nacional, do Rio de Janeiro, e os hipertextos

de astronomia e astrofísica do Departamento de Astronomia do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que já se tornaram referência internacional para consulta permanente no ensino de disciplinas desta área.

Quanto à literatura existente, poucos autores brasileiros se arriscaram a publicar alguma obra de divulgação que se aproximasse do público leigo. Com exceção feita a Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, que há muitos anos se dedica a esse propósito, e mais recentemente Marcelo Gleiser, a maioria das obras que se encontram nas prateleiras das livrarias são de autores estrangeiros, tais como Carl Sagan e Isaac Asimov, para citar apenas dois dentre os mais conhecidos. São referências didáticas nacionais os autores Roberto Boczko e Kepler de Souza Oliveira Filho, o primeiro de São Paulo e o segundo do Rio Grande do Sul, porém suas obras estão mais voltadas para o público que domine os princípios da física e tenha bastante afinidade com a matemática de nível superior. São também desse porte as obras editadas pela EDUSP e pela Livraria da Física, ambas de São Paulo, que reúnem coletâneas de autores, todos eles professores de universidades e de centros de pesquisa, como o INPE e CPTEC, entre tantos.

Com exceção das revistas *Ciência Hoje*, *FAPESP Pesquisa* e *Cientific American Brasil*, todas as outras revistas populares não alcançam a qualidade de verdadeiros divulgadores do saber científico na área de astronomia e astrofísica. Até há poucos meses, quando do início da escrita deste trabalho, existia à venda nas bancas de revista e livrarias a revista *Astronomy Brasil*, uma versão nacional da *Astronomy Magazine* americana. Foram editados 16 números, apenas, porém seu tempo de vida foi curto, não existindo mais essa fonte inestimável de informação para o público leigo.

Paralelamente às dificuldades relativas ao estudo da astronomia, grande esforço tem sido feito pela Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) e, mais recentemente, pela Agência Espacial Brasileira (AEB), para divulgar e, de certo modo, incentivar o estudo e o gosto pela astronomia e Astronáutica, através da promoção de olimpíadas nessas áreas. Desde 1998, com a realização da I Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA), anualmente mais e mais escolas estão participando dos eventos, chegando neste ano à sua décima versão (X OBA), com mais de 340.000 participantes. Os cinco melhores alunos de uma OBA são convidados a participar também da Olimpíada Internacional de Astronomia (OIA), promovida pela Sociedade Euro-Asiática de Ciências. A OIA, promovida desde 1996, já se encontra na sua XII versão, ocorrendo alternadamente na Criméia, Índia, China e demais países asiáticos.

Somando esse fascínio, exercido pelos mistérios do céu, com a minimalização dos conteúdos astronômicos ministrados na escola, pode-se dizer que o conhecimento astronômico da população parece ser o que se apresenta com uma maior homogeneidade, tanto na qualidade quanto na quantidade, de uma maneira tal que não aparece em outros conteúdos científicos como a termodinâmica, a termometria e a própria mecânica. Isto é, nessas últimas áreas só existem dois extremos: ou, por exemplo, se conhece a termodinâmica, ou não; não existe meio termo. Dificilmente alguém opina sobre equilíbrio termodinâmico, transformações reversíveis ou irreversíveis, em uma conversa. Porém, em astronomia, fala-se abertamente até em buracos negros, sem conhecimento algum do que seja, tendo como base de discussão, principalmente, o mito embalado pelos raciocínios de senso comum.

O que ocasiona essa pouca inserção dos conteúdos de astronomia nos conteúdos curriculares? Será que a astronomia hoje perdeu a importância que já teve para a humanidade no passado? É difícil programar uma atividade didática de observação noturna, ou mesmo diurna, se esta está voltada para registrar os movimentos do Sol? Com certeza, uma boa atividade de observação noturna ou diurna do céu não deve converter-se num *laissez-faire* onde cada participante observa o que quiser. Além de destacar o significado histórico e cultural de uma observação celeste, esta pode servir muito bem para colocar em prática o “método científico” de pesquisa e, se possível, possibilitar que se ultrapassem os limites de uma atividade experimental singular. Cada atividade deve estar muito bem programada para que se escolham referenciais espaciais e temporais que possibilitem o registro dos eventos pelos participantes, pois mesmo à vista desarmada, a observação do céu apresenta muitos fenômenos relativos à mecânica celeste, dignos de serem registrados, como o descreveremos a seguir.

3.1 A OBSERVAÇÃO ASTRONÔMICA

3.1.1 O que é a Astronomia?

Podemos reconhecer na astronomia (tradução nossa):

“[...] uma categoria de ciência de alto nível que cobre toda exploração científica do espaço muito além de nossa atmosfera e a astrofísica é um ramo da astronomia que está afeita com a atual física das estrelas, dos planetas, dos buracos-negros, etc., sua formação, evolução e, ultimamente, seu futuro³.”

O Collins Dictionary (1994) apresenta a astronomia como sendo (tradução nossa):

“O estudo teórico e observacional dos corpos celestes, de regiões do espaço e do universo como um todo. A astronomia é uma das mais antigas ciências e tem se desenvolvido em etapas, de acordo com os avanços na instrumentação e outras tecnologias, bem como com o avanço na física, na química e matemática. Seus principais ramos são a astrometria, a mecânica celeste, o maior e mais moderno campo da astrofísica, que por sua vez se divide ainda em cosmologia, radioastronomia e estatística estelar.”

Embora hoje enxerguemos a astronomia somente pelo seu lado exato, relativo ao conhecimento científico devido às relações que fazemos com as imagens de sofisticadíssimos telescópios, não podemos esquecer suas origens vitais para o ser humano ao longo da sua história:

“Ao contrário do que muitos supõem a astronomia não é razão de deleite de alguns poucos. A astronomia nasceu e cresceu gradativamente para suprir necessidades sociais, econômicas, religiosas e também, obviamente, culturais. (BOCZKO, 1984, pag. 2).”

Para viajarmos nos dias de hoje não precisamos mais realizar leituras do céu como o faziam os povos antigos para se deslocar pelo mundo. Para nos deslocarmos para qualquer lugar recorreremos a estradas, mapas e, em casos extremos, a monitoramento eletrônico por satélites. O céu não é mais tomado como estrada ou como mapa, como o

³ Disponível em <http://www.physlink.com/Education/AskExperts/ae296.cfm>, agosto, 2007.

entendiam os beduínos e os navegantes quando se encontravam na imensidão do deserto ou do mar, respectivamente. Somado a isso, o recolhimento a ambientes fechados, a pouca visibilidade do céu nas cidades devido tanto ao aglomeramento dos prédios quanto ao excesso de luminosidade e o direcionamento de nossos interesses, nos impedem cada vez mais de olharmos para cima.

3.1.2 O que vemos ao olhar para o céu?

Vamos denominar de céu (do latim *caelum*, *vazio*⁴) o objeto de estudo da astronomia. Quando olhamos para o céu, à noite, do horizonte para cima e sobre nossas cabeças, aparece uma região escura, que denominamos de abóbada celeste, polvilhada de pontos luminosos, as estrelas. Se estivermos nos meses de março ou agosto, em Porto Alegre, em torno de 22h00min, verificamos que, passando por sobre a nossa cabeça, existe uma faixa mais brilhante, com mais estrelas que o resto da paisagem celeste, unindo dois extremos quase opostos do horizonte: é a Via-Láctea. Podem também ser diferenciadas estrelas com maior brilho e com menor brilho, passando de umas muito brilhantes a outras tão fracas que somente com a fixação do olhar será possível notá-las.

3.1.2.1 A FISILOGIA DO OLHO NA OBSERVAÇÃO ASTRONÔMICA

A observação do céu conta com dois fatores limitantes para a percepção astronômica das estrelas com brilho mais fraco: a abertura da pupila ocular e a luminosidade local. O mecanismo dessa acomodação visual à luminosidade é muito complexo em sua totalidade, pois não envolve somente a acomodação da pupila, propriamente dita, mas também uma acomodação da retina à luminosidade. Esta última não corresponde a um

processo mecânico apenas, mas atende a uma fisiologia que foge dos limites de uma análise mais simples.

A abertura da pupila, seja do olho ou a de qualquer outro instrumento óptico, telescópios ou binóculos, é um fator importantíssimo para a observação do céu, pois o número de estrelas que podemos observar obedece a uma proporcionalidade em relação ao diâmetro da sua abertura. À medida que o sujeito avança na idade, a córnea, o cristalino e a musculatura contratora da pupila enrijecem e esta perde sua flexibilidade, não conseguindo abrir o suficiente para uma boa entrada de luz, bem como não mais consegue fechar o suficiente para determinados excessos de luminosidade. A pupila humana pode oscilar seu diâmetro entre 1,5mm (miose) a 8,0mm (midríase), em média, ficando este limite bem menor com o avanço da idade (HENEINE, 1984, pág. 311). Jovens enxergam mais estrelas pouco brilhantes no céu que pessoas mais velhas. Se a pupila estiver contraída, para que ocorra uma midríase completa são necessários de vinte a trinta minutos para a adaptação ao escuro; se a pupila já estiver adaptada ao escuro, no máximo de sua dilatação, e acontecer que uma fonte de luz incida sobre ela, a miose é quase instantânea, sendo necessários outros vinte a trinta minutos para uma nova acomodação visual (FERREIRA, s/d, pag. 203).

A luminosidade local interfere na observação do céu, na medida em que a luz artificial dos ambientes, e mesmo a luz natural (da Lua ou do Sol) são refletidas pelas paredes, objetos e partículas de poeira e umidade, que estão dispersas na atmosfera, incidindo em nosso olho e estimulando a contração da pupila. Por esse motivo, uma boa observação do céu somente ocorre em lugares longe de luminosidades naturais ou artificiais e em noite “sem lua” (Lua Nova, término da Minguante e início da Crescente); na Lua Cheia, quando ela se encontra acima do horizonte, não temos uma noite proveitosa para observação do céu; investigação e medidas acuradas com aparelhos devem ser transferidas para outras fases.

3.1.2.2 MOVIMENTOS DO CÉU

⁴ Dicionário Essencial. Latim/Português – Português/Latim. Portugal: Porto Editora, 2002.

Quando dispomos de condições para uma contemplação mais duradoura do céu, costumamos brincar de “criar” figuras com a disposição das estrelas, conforme elas estejam visualmente mais próximas umas das outras, mais afastadas, aglomeradas, em conformação linear, circular, enfim com o formato que o sujeito “enxergar”; conforme suas crenças, conhecimentos e habilidades, poderá formar vários *insights*, constituir totalidades figurativas segundo as leis formuladas pela teoria da Gestalt: proximidade, pregnância, experiência passada, assimilação e contraste.

Qualquer outra particularidade que possa ser observada no céu, como, por exemplo, a diferenciação de cores entre as estrelas, variações de luminosidade própria, identificação de pares estelares muito próximos e de baixa resolução para o olho humano, dependerá muito da acuidade visual do observador, das condições atmosféricas e das condições de luminosidade do sítio de observação.

Os movimentos dos astros no céu não podem ser acompanhados com uma observação singular, apenas. Para podermos notar as mudanças que acontecem constantemente na paisagem celeste, é necessário que se façam observações sistemáticas que demandem largos intervalos de tempo e se apoiem em significativos referenciais espaciais. O horizonte é um ótimo referencial espacial para uma observação desse tipo. Porém, na ausência de um horizonte bem delineado, outros componentes da paisagem podem assumir o papel de referenciais, tais como árvores, elevações do terreno, prédios, etc. Ao se dar conta que os referenciais naturais não eram eficazes para os registros precisos das posições dos astros no céu, o homem sentiu necessidade de construir aparelhos que garantissem a credibilidade na leitura dos registros, inventando o gnomon, o relógio solar, o quadrante mural, o sextante, o astrolábio, entre outros. Modernamente, equipamentos mais sofisticados, acoplados a telescópios, ou mesmo de uso manual, prescindem totalmente de referenciais paisagísticos para a localização e o registro dos movimentos dos astros.

A dificuldade em se registrar os movimentos do céu reside na sua diversidade e na sua complexidade. Alguns movimentos mais simples, relativos ao movimento de rotação e de translação da Terra, detectáveis pela observação sistemática sem aparelhos, apresentam mudanças no cenário celeste, que se tornam notáveis após uma hora de observação; outras após um dia, outras em não menos de uma semana, e muitas até mesmo após um mês, ou um ano.

Durante uma hora, cada astro descreve no céu arcos de circunferência de aproximadamente 15° . Se não tivermos um bom referencial em relação à paisagem do sítio de observação, se não nos detivermos a comparar as posições das estrelas durante um intervalo de tempo significativamente grande, superior a uma hora, não perceberemos as mudanças, principalmente para as estrelas que se encontram nos pontos mais altos de sua trajetória do céu.

De um dia para outro, é bastante difícil notar o deslocamento de um astro em relação à sua posição do dia anterior, na mesma hora. A cada dia as estrelas nascem 4 minutos mais cedo, aproximadamente, no horizonte. Isto equivale a dizer que no dia seguinte, na mesma hora, todo o céu estará adiantado de 1° em relação à mesma hora do dia anterior. E esta mudança também é completamente imperceptível sem um excelente referencial espacial!

As mudanças horárias e diárias da posição dos astros são cumulativas com o passar dos dias, tornando-se notáveis ao final de uma semana, a ponto de, ao final de quinze dias, numa hora T as estrelas ocupam aproximadamente a mesma posição que ocupavam duas semanas antes, numa hora T+1h.

Num mês, as estrelas ocuparão a mesma posição de um mês antes, na hora T+2h. E assim por diante! Isto é, os deslocamentos de 15° (uma hora) e de 30° (duas horas) começam a ser perceptíveis da mesma forma como o poderiam ser numa noite de observação do céu com bons referenciais.

Após um ano o céu passa a repetir-se, com as estrelas ocupando as mesmas posições que ocupavam um ano antes, quando observadas na mesma hora.

Todas essas mudanças podem ser contempladas à vista desarmada, não sendo necessário, portanto, equipamentos sofisticados ou especializados, tais como telescópios ou, mesmo binóculos, que, a partir deste ponto, denominaremos simplesmente de aparelhos.

Existem ainda outros movimentos do céu que podem ser vistos sem aparelhos, tais como o movimento diário da Lua e o deslocamento mensal dos planetas por entre as constelações. Aliás, o nome “planeta” é de origem grega⁵ (*πλανήτης*) e significa “errante”. São “astros” que não permanecem fixos nas constelações, mudando constantemente

⁵ Dicionários Acadêmicos. **Dicionário Grego/Português – Português/Grego**. Portugal: Porto Ediora, 2004.

de posição. Vale salientar aqui que os “planetas”, assim denominados há séculos, não tinham o significado que hoje temos a seu respeito. Eram compreendidos como sendo estrelas, da mesma forma que um leigo, hoje, ao olhar para o céu, não diferenciará um planeta, apenas pelo seu brilho, de uma estrela qualquer. Somente depois do advento do telescópio e com as observações e registros de Galileu Galilei⁶ é que eles passaram a ter um significado que os inclui na família do nosso sistema solar, com características inicialmente idênticas às da Terra. Visualmente, só podemos enxergar o brilho de cinco planetas no céu: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Esses, mais o Sol e a Lua, na terminologia antiga, anterior ao advento do telescópio (e ainda hoje na astrologia!), são os “planetas”, os “astros errantes”, que iluminaram nossos antepassados e continuam a brilhar vivamente nos nossos céus. Os outros planetas, Urano, Netuno e Plutão somente puderam ser visualizados, por astrônomos, após o aperfeiçoamento das técnicas de construção dos grandes telescópios.

Uma grande acuracidade nos registros deve se somar aos ótimos referenciais que são necessários para a percepção do movimento dos planetas entre as constelações ao longo de um considerável intervalo de tempo. Não será uma observação apenas, ou várias observações num intervalo de tempo muito pequeno, que nos permitirá perceber os movimentos dos planetas entre as constelações. Isso requer várias observações e registros num intervalo de tempo bastante amplo, principalmente em relação aos planetas exteriores (Marte, Júpiter e Saturno), que têm período orbital maior, parecendo deslocar-se mais lentamente entre as constelações. Os planetas interiores (Mercúrio e Vênus) mostram movimentos mais rápidos entre as constelações, que podem ser feitos dentro de um prazo de uma a três semanas com resultados bastante significativos. Os de maior brilho podem ter suas presenças apreciadas, principalmente quando participarem de constelações com estrelas de pouco brilho.

Júpiter e Vênus se destacam quanto aos seus brilhos. Marte e Mercúrio, pouco brilhantes, somente serão identificados como sendo planetas se tiverem suas posições realmente registradas regularmente, senão podem passar completamente despercebidos no céu.

É fato comum, nas atividades de observação do céu à vista desarmada, os observadores iniciantes não acreditarem que “aqueles pontos luminosos” sejam planetas e não estrelas, no sentido atual. Se não tivermos um telescópio que mostre a redondeza

⁶ Galileu Galilei (1564 – 1642)

dos astros e sua coloração diferenciada, seus satélites, etc, será mesmo inacreditável que se esteja observando planetas, pois seus brilhos realmente são indistinguíveis daqueles das estrelas.

Ocasionalmente, outros movimentos podem ser vistos no céu, tais como a entrada de meteoróides na atmosfera que ao inflamarem são vistos como meteoros, popularmente denominados de estrelas cadentes. Mas nesse caso, com exceção de alguns períodos denominados de chuvas de meteoros, não é possível prever o aparecimento individual dos mesmos, tornando-os, para a observação terrestre descomprometida, astros fortuitos, sem nenhum interesse observacional digno de registro, a menos por seus efeitos maravilhosos relativos a tamanho, cor, rapidez com que aparecem e desaparecem, etc. E nos tempos atuais, outros fenômenos, idênticos aos das estrelas cadentes, se somaram aos movimentos naturais do céu: as estações espaciais orbitais, os satélites artificiais e o lixo espacial que se encontra em órbita da Terra, que apresentam também uma periodicidade no seu movimento.

Os cometas foram considerados, durante muito tempo, fenômenos atmosféricos, pois eles, além de serem raros, aparecem “de repente” e permanecem no céu estáticos exibindo suas belas caudas durante a noite. Seu movimento em relação às estrelas, numa única noite, também é imperceptível. Somente com o passar dos dias é que se nota sua relativa aproximação ou afastamento do Sol e seu deslocamento aparente sobre as constelações de fundo.

Podem ser acrescentados ainda neste rol de movimentos aqueles que consideramos seculares, tais como a precessão dos equinócios, que altera a posição da eclíptica em relação ao nosso planeta, tendo como consequência a mudança das estações climáticas do ano e a variação da posição dos pólos celestes; existe também o afastamento e a aproximação de galáxias; as estrelas têm o que denominamos de movimento próprio. O movimento próprio é caracterizado por velocidades individuais das estrelas, apontando para diferentes direções, que com o passar dos séculos modificam a configuração das constelações. Mas essas alterações seculares não são perceptíveis no intervalo de tempo de uma vida humana. Por isso, não levaremos em conta o refinamento dessas alterações nas nossas discussões. Além do mais a particularização de todos os movimentos existentes no céu, devido a tantos fatores, foge do objetivo proposto no início desse trabalho, o qual deverá ser esclarecido no capítulo a seguir com a formulação do problema a ser estudado e seus consequentes subproblemas.

4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Através da obra de Jean Piaget estudamos o ser humano como um ser simbólico, cujo simbolismo é construído a partir de sua estrutura biológica – sua origem primeira. A partir das ações reflexas, que funcionam pelo menos desde o nascimento, evoluindo para o controle dos reflexos, passando pelas coordenações de ações não conscientes, até as coordenações conscientes de suas ações, as trocas que o ser humano faz com o seu ambiente, com o meio em que vive, com os objetos que o rodeiam, chega à construção de estruturas mentais isomórficas às estruturas biológicas, porém de maior alcance espacial e temporal que as primeiras, a partir das quais foram geradas. Isto é, as estruturas biológicas estão limitadas a um funcionamento regrado, muito bem determinado geneticamente, que tem um desenvolvimento, um amadurecimento e um decaimento bastante previsíveis. Ao contrário, as estruturas mentais, possibilitadas por aquelas, uma vez desenvolvidas, não têm um limite determinado para se multiplicarem e generalizarem-se ao encontrar um ambiente favorável para o seu profícuo desenvolvimento.

Piaget traz da biologia o entendimento da construção das novas estruturas e esquemas de ação a partir do organismo vivo. Um organismo vivo, quando colocado em um ambiente ou um ecossistema favorável, ao qual consegue adaptar-se se mantém vivo assimilando, a partir dos seus esquemas de ação, os elementos desse ambiente a suas estruturas. Frente a qualquer exigência externa que não possa ser assimilada imediatamente, o organismo reorganiza essas estruturas (acomodação) de maneira a conseguir responder às novas exigências, a ponto até de criar novos esquemas de assimilação. De certo modo, a acomodação refina o processo de assimilação pela melhora dos seus esquemas primitivos. Quando isto é conseguido, podemos dizer que o organismo está adaptado às novas exigências do meio. Mas essa adaptação não se dá no sentido do organismo somente. Os organismos além de se adaptarem ao ambiente físico, através da sua ação conjunta nos ecossistemas, também adaptam o ambiente geoquímico a suas necessidades biológicas (ODUM, 1988).

No modelo de aprendizagem de Piaget, sujeito e objeto modificam-se mutuamente, interagindo. A aprendizagem tem uma assimilação e uma acomodação, cujo proces-

so, como foi dito antes, é idêntico na sua ação ao processo biológico, que pode culminar numa adaptação das estruturas mentais às novidades, melhorando essas estruturas (equilíbrio majorante), a ponto de poder criar outras novidades.

Essa troca com o meio é encarada por Piaget num primeiro momento do ponto de vista biológico. Isso acontece quando ele trata do processo de aprender de uma maneira geral, como um mecanismo de retroalimentação, comum a todo ser vivo em interação com o meio ambiente. Segundo Piaget, os mecanismos cognitivos respondem a estados de equilíbrio e desequilíbrio que se retroalimentam e se reestruturam para alcançar novos patamares de equilíbrio. Mas esses patamares de maneira alguma se comparam ao equilíbrio mecânico newtoniano; são, antes, patamares de equilíbrio dinâmicos homeorréticos. O equilíbrio cognitivo pode assemelhar-se a um equilíbrio termodinâmico quase-estático, porém, sem destruição de estruturas. Uma estrutura cognitiva é subsumida numa estrutura posterior, maior, mais evoluída, pois ela sofre uma evolução homeorrética ou homeostática. A homeorresia ou a homeostasia garantem a auto-organização dos sistemas.

A equilibrção é um processo que explica o desenvolvimento e a formação dos conhecimentos, que leva de certos estados de equilíbrio aproximado para outros, qualitativamente diferentes, passando por muitos desequilíbrios e reequilibrções (PIAGET, 1977).

Porém, particularmente para o pensamento humano, simbólico, esse mesmo processo de retroalimentação é enxergado como uma seqüência de etapas de *abstrações**, cujo mecanismo de troca Piaget ensaia na sua teoria da abstração reflexionante (PIAGET, 1995). Abstrair tem sua origem no latim, *abs + trahere*, que significa retirar, arrancar, tirar algo de alguma coisa (BECKER, 2001; p. 47). Enquanto os organismos vivos realizam suas trocas somente com o meio ambiente, mais especificamente, o meio físico, o pensamento realiza trocas simbólicas com objetos virtuais do seu próprio pensamento, de sua própria construção, com objetos equivalentes do meio social, cultural.

Para entender essa dinâmica, Piaget classifica a abstração em empírica e reflexionante. A abstração reflexionante desdobra-se, por sua vez, em pseudo-empírica e refletida. Existem dois mecanismos que organizam a complexidade das abstrações: o reflexionamento, que retira de um patamar inferior características dos objetos, das ações ou coordenações das ações e as joga para um patamar superior de abstração, e a reflexão,

que organiza no patamar superior o que foi colhido por reflexionamento do patamar inferior (PIAGET, Idem).

Piaget escreveu, com muitos colaboradores, uma vasta obra, em que apresenta investigações à exaustão sobre o pensamento da criança, sob muitos pontos de vista, abrangendo o período que vai do nascimento à entrada na vida adulta. Os dois modelos, da equilíbrio das estruturas cognitivas e da abstração reflexionante, constituem sínteses dessas investigações.

Porém, apesar de suas investigações abrangerem quase todas as áreas do conhecimento, a pesquisa sobre a gênese do conhecimento astronômico não aparece em nenhuma de suas obras, salvo em duas situações: primeiro alguns exemplos em que aspectos do conhecimento astronômico são o ponto de chegada para uma conceituação, e, segundo, no estudo do artificialismo infantil (PIAGET, 1973). Isso pode dever-se ao fato de que a astronomia seja realmente uma ciência multidisciplinar. Até podemos fazer uma leitura totalmente pessoal, de senso comum, dos fenômenos do céu, porém a astronomia, como ciência exata, só pode ser entendida em sua totalidade inferencialmente. Isto é, a novidade no conhecimento astronômico somente pode ser obtida a partir de reflexões que tomam por forma a totalidade dos conhecimentos previamente construídos pelas ações coordenadas pelo pensamento matemático ou pelo pensamento físico. Isso faz com que as conceituações astronômicas, que dizem respeito a um mundo físico distante, portanto, sejam de origem mais tardia que as demais conceituações do mundo físico próximo, imediato.

Como Piaget argumenta (BRINGUIER, 1993), o problema de toda sua investigação epistemológica está centrado na explicação de como se chega ao conhecimento novo nas diferentes fases de desenvolvimento do ser humano. Para entender isso, ele teria que investigar a história do pensamento humano, até chegar aos períodos pré-históricos e reconstruir essa história até a humanidade atual. Mas isso é impossível a partir da entrevista com o homem-adulto, uma vez que cada palavra, cada ação do adulto está impregnada de ações e estruturas já formadas, cuja história é desconhecida na sua totalidade pelo próprio sujeito. O estado atual de um adulto não pode fornecer o caminho de como ele chegou ali, uma vez que o seu estado atual é um resultado de tudo que fez antes. Por isso, a criança é o indivíduo que parte do zero cultural e pode ser acompanhada em sua evolução. Nesse sentido, a criança é o pai do adulto.

No caso da astronomia, quando o sujeito começa a olhar para o alto para perscrutar intencionalmente o céu e estabelecer as conexões entre os fenômenos celestes e as leituras de sua realidade, ele já coordena com maestria praticamente quase todas as ações visuais, motoras e mentais que lhe possibilitam agir e obter informações sobre o mundo.

Portanto, o problema central do meu trabalho será o seguinte: descrever e analisar, ao longo da história, o processo de aquisição, individual e coletivo, em diferentes níveis lógico-operatórios, do conhecimento científico que possuímos hoje sobre o céu e a aquisição futura de novos conhecimentos, tendo a teoria da abstração reflexionante de Jean Piaget como instância explicativa para entender essas aquisições.

Para fazer essa descrição terei que investigar as relações lógico-operatórias necessárias para se fazer uma leitura científica do céu e os patamares de coordenação dessas relações.

Como ficam os modelos do senso-comum? São válidos? Como podem ser fundamentadas as diferenças, em termos lógicos e do processo de abstração reflexionante, entre os modelos formais de compreensão do céu e os modelos do senso-comum? Serão os modelos antigos do universo realmente modelos de senso-comum?

Por fim, todo esse entendimento deve conduzir a uma análise crítica da forma como está disponibilizado e organizado pedagogicamente o conhecimento que atualmente temos sobre o céu, principalmente na literatura. Essa análise deve determinar também se essa organização favorece a compreensão dos fenômenos celestes e o surgimento de novos patamares de abstrações refletidas (abstrações reflexionantes com tomadas de consciência). Afinal, aprender as “coisas do céu”, ao contrário do que possa acontecer em uma sala-de-aula ou em um laboratório, implica construir esse conhecimento por interação entre o sujeito “daqui” e os objetos que pertençam a um ambiente físico completamente impalpável, intangível.

4.1 MÉTODO DE ANÁLISE E JUSTIFICATIVAS

A análise será feita pelos recursos da revisão bibliográfica específica da história antiga e atual da astronomia, e da teoria do desenvolvimento cognitivo de Jean Piaget. Todos os exemplos, resultados, etc. advirão dessas fontes, bem como de minha experiência como professor de física e astronomia.

Como professor de física, atuo em sala-de-aula há pouco mais de trinta e dois anos, com algumas incursões nas áreas de matemática e ciências, quando se fez necessário. Desde o início das minhas atividades como professor tenho utilizado em aula fartos exemplos de aplicações da física e da matemática utilizando eventos astronômicos. Tentei iniciar atividades extraclasse com alunos voluntários em todas as escolas em que já trabalhei; em algumas obtive relativo sucesso e noutras nenhuma repercussão. Mesmo tendo me dedicado diletantemente ao estudo da astronomia, o trabalho realmente ativo, envolvendo significativamente uma comunidade escolar, teve seu início e reconhecimento há sete anos, quando da criação do Clube de Astronomia, do Colégio Militar de Porto Alegre. Nesse clube tenho desenvolvido atividades de ensino de astronomia com crianças desde quinta série do ensino fundamental até alunos do terceiro ano do ensino médio. A atividade sistemática do trabalho nesse clube fez-me acompanhar, todos os anos desde sua fundação, alunos de ensino médio e fundamental na participação de provas seletivas nacionais da Olimpíada Brasileira de Astronomia, sediada em São Paulo; e, por duas vezes, em dois anos distintos, dois alunos à Olimpíada Internacional de Astronomia, na Ásia. Somando-se a essa atividade, também há mais de quatro anos, leciono a disciplina “*Introdução à Astronomia*”, no curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Luterana do Brasil, ULBRA, no campus de Canoas, Rio Grande do Sul, onde estou escrevendo uma didática para o ensino da astronomia com o intuito de trabalhar esse conteúdo na formação de professores.

Foi o enfrentamento com essa diversidade de dificuldades e facilidades que me levou a procurar entender como se constrói o conhecimento astronômico, uma vez que as questões, dúvidas, entendimentos, insucessos e acertos mostraram nuances idênticas nos alunos, embora as diferenças existentes nas idades e no nível de instrução acadêmica.

O material humano que tenho à disposição poderia constituir-se em fonte de uma amostragem representativa para uma pesquisa de campo sobre o conhecimento, a aprendizagem e o ensino de astronomia para indivíduos de diferentes idades, interesses e nível de conhecimento. Porém, minha preocupação neste momento é o de fundamentar o

conhecimento astronômico com uma teoria de aprendizagem que possa servir de sustentáculo científico para toda pesquisa posterior.

Portanto, na medida do possível, a partir de agora, procurarei deter-me somente na redação dos fundamentos teóricos em pauta e no seu aspecto histórico. Procurarei não adentrar nas particularidades filosóficas dos resultados das análises, embora possa vir a formulá-las.

5 A CONSTRUÇÃO DO MUNDO

Longe de acontecerem ao relento, as primeiras relações de troca com o mundo, para o homem moderno, acontecem dentro de um ambiente fechado, entre seus semelhantes, e normalmente no seio familiar. Mas as relações do homem com esse ambiente têm início muito antes de vir à luz, ainda na fase fetal. Bem cedo seu organismo reage por instinto à influência dos sons externos, aos sons internos do próprio organismo da mãe, aos seus movimentos, variações de temperatura, mudanças hormonais, etc. A partir de nove semanas o feto já exercita seus reflexos, movimentos de braços e mãos, não sendo raras as imagens de fetos com o dedo polegar na boca; isso sugere já um mecanismo de sucção em ação, a partir da 13^a semana de gestação (CERNACH, 2006, pág.8).

Ao nascer o pequeno ser humano já traz possibilidades reflexas, neuroniais, hereditárias, próprias da espécie. Isso permite que ele dê respostas imediatas às manifestações do meio, tais como reagir aos primeiros puxões e empurrões do médico, sentir a repentina mudança de umidade do meio circundante, reagir às novas e desconhecidas variações de temperatura, sentir os contatos da pele com texturas antes inexistentes, manifestar sentimentos de privação alimentar, entre tantas.

Os primeiros enfrentamentos com que o ser humano se depara diante do mundo social, que vai acompanhá-lo para o resto da vida, seus primeiros contatos, as primeiras adaptações e as trocas que faz com o meio foram fartamente estudados por Piaget. Em diferentes obras, que se tornaram marco referencial para a compreensão da gênese do conhecimento, Piaget relata o que pôde observar a respeito das trocas entre a criança e o

meio a partir das atividades reflexas sensório-motoras, passando pela aquisição da representação simbólica e atingindo o pensamento operatório-formal.

O ser humano ao aportar no mundo deve adaptar-se a ele para sobreviver. A adaptação ocorre na vida cognitiva isomorficamente à vida biológica. Essa adaptação, tanto biológica quanto cognitiva, se dá pela procura constante do equilíbrio entre o ser e o meio ambiente através da acomodação na medida em que responde aos desafios trazidos pela assimilação.

Quando falamos em equilíbrio, imediatamente pensamos no equilíbrio mecânico. Entretanto, Piaget faz questão de ressaltar, em diferentes momentos, a diferença entre *equilíbrio mecânico*, *equilíbrio termodinâmico* e *equilíbrio cognitivo*. Seu intuito é deixar claro que a atividade de aprender se dá pela sucessão de diferentes etapas de desequilíbrios e equilíbrios, mediada por um processo de constantes reequilibrações.

Vale a pena discorrer um pouco sobre a questão do equilíbrio, pois o autor constitui a busca do equilíbrio cognitivo como fulcro de sua tese da equibração, cujo processo estende-se além do nível biológico, alcançando o nível das abstrações nas trocas simbólicas próprias do meio social humano.

Discutiremos inicialmente o equilíbrio mecânico. O equilíbrio mecânico é a forma de equilíbrio das quais temos mais controle consciente de nossas ações no dia-a-dia. Isto se dá pelo fato que em muitas situações que exijam equilíbrio mecânico nós participamos ativamente com nosso corpo. Essa participação acontece, seja na regulação dos quadros perceptivos espaciais (ajustando os objetos em diferentes posições), seja na própria ação motora exigida para organizar esses mesmos quadros (o esticar do braço, a torção do pulso, o encolher dos dedos, etc., para poder agir sobre o objeto e modificá-lhes as posições, por exemplo). A seguir, faz-se necessário apresentar algumas noções de equilíbrio termodinâmico, para que se entenda, no contexto da física da termodinâmica, o que sejam as transformações reversíveis e irreversíveis, aplicadas a sistemas abertos e fechados, e porque se criam estruturas cibernéticas para controle dessas transformações. Esses sistemas cibernéticos são réplicas criadas pelo homem na tentativa de prover, por exemplo, uma máquina com a capacidade de regulação que se assemelhe o mais possível a um organismo vivo. A replicação cibernética torna-se possível na medida em que entendemos que o equilíbrio biológico ocorre através de processos que obedecem às leis da termodinâmica, uma vez que os organismos vivos são sistemas abertos que fazem trocas energéticas constantes com o meio ambiente. Advém daí, finalmente,

o equilíbrio dos sistemas cognitivos, com seus desequilíbrios e reequilibrações, e as trocas endógenas e exógenas, que resultarão em conhecimento e criação de novidades.

5.1 EQUILÍBRIO MECÂNICO

Piaget costuma referir-se ao equilíbrio mecânico apenas por um de seus aspectos, aliás, o mais intuitivo deles: o de repouso dos sistemas. O equilíbrio mecânico: “[...] mantém-se sem modificações, ou, no caso de ‘deslocação’, apenas dá origem a uma ‘moderação’ da perturbação, sem proporcionar uma compensação completa.” (PIAGET, 1977, pág. 14).

A rigor, o equilíbrio mecânico acontece quando um sistema ou uma partícula apresenta aceleração nula. Aceleração nula traz uma dualidade, pois garante que a partícula, ou esteja em *repouso*, ou esteja em *movimento retilíneo uniforme*. A idéia formal de força advém da contradição a este postulado, pois a força é o fator responsável por desequilibrar um sistema, por induzir uma aceleração, ou mudar sua velocidade, tanto em valor quanto em sentido. Acreditar que o equilíbrio mecânico acontece somente quando um corpo ou sistema se encontra em repouso, com todas as forças se contrapondo vetorialmente e impedindo a tomada de movimento da partícula, é uma primeira noção intuitiva de equilíbrio. Para garantir um movimento retilíneo e uniforme, cada par de forças que atua numa partícula também deve cancelar-se mutuamente, o que garante que sua velocidade irá permanecer sempre a mesma, sem mudança nem de valor nem de direção (por isso, retilíneo). Se um veículo automotor, por exemplo, se mantém com velocidade constante em uma estrada retilínea, significa que as forças impostas pelo motor que o impulsiona equilibram as forças decorrentes do atrito com o ar, do atrito com a estrada e do atrito entre suas partes mecânicas móveis. Para as concepções de senso comum, é difícil entender que um corpo que se movimenta possa estar em equilíbrio. As leis da mecânica de Newton constituem a formalização de três postulados que garantem a organização do pensamento frente a esse fenômeno do equilíbrio dos corpos, contrapondo-se às concepções intuitivas que conferem às forças somente as propriedades de “puxar” e “empurrar”.

5.2 EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO

Mas o que caracteriza um equilíbrio termodinâmico e por que Piaget o utiliza tão freqüentemente em seus estudos? Piaget admite que a *reversibilidade*, como capacidade cognitiva, tem uma proximidade conceitual com os equilíbrios termodinâmicos:

“[...] os equilíbrios cognitivos estão mais próximos dos estados estacionários, mas dinâmicos, aos quais se refere Prigogine (¹), com trocas que podem ‘construir e manter uma ordem funcional e estrutural num sistema aberto’, e estão, sobretudo, mais próximos dos equilíbrios biológicos, estáticos (homeostases) ou dinâmicos (homeorreses). (PIAGET, Idem).”

Primeiramente, devemos explorar o que seja um estado termodinâmico. Não podemos confundir o estado termodinâmico de uma substância com seus estados *de agregação*, que, antigamente, eram denominados de *estados físicos* da matéria. Didaticamente, classificamos os estados de agregação da matéria como sólido, líquido e gasoso (subentendendo que para determinadas condições, a substância tenha antes que passar pelo estado de vapor). Podemos definir o que seja um *estado termodinâmico* dizendo que:

“[...] existem estados particulares (denominados estados de equilíbrio) de sistemas simples que, macroscopicamente, podem ser caracterizados completamente pela sua energia interna U , o volume V e o número de mols n_1, n_2, \dots, n_r dos seus componentes químicos. (CALLEN, 1960, pág. 12).”

A *energia interna* U de um corpo está associada à sua *temperatura* T . Quanto maior a temperatura de um corpo, maior será sua energia interna. Esta energia interna, na verdade, pode ser interpretada como o somatório de todas as relações energéticas

internas da matéria no nível atômico, sujeitas a um princípio de conservação preciso e claramente bem definido. O *número de mols* n corresponde à grandeza físico-química denominada de *quantidade de matéria*. A quantidade de um mol está associada ao *Número de Avogadro* (N_0), cujo valor mede aproximadamente $6,023 \times 10^{23}$. E quanto ao *volume* V , de maneira mais simples ainda, podemos dizer que é a medida do espaço ocupado pela matéria expressa em metros cúbicos (m^3), no Sistema Internacional (SI).

Em termodinâmica costumamos utilizar como matéria primordial de seus estudos as substâncias na forma agregada de gás. Este gás pode ser encontrado em diferentes estados termodinâmicos, que, para simplificar, podemos denominar somente de *estado do gás*. Por exemplo, podemos colocar uma quantidade N de moléculas do gás em um recipiente com volume V_0 , à temperatura ambiente T_0 . A essa temperatura temos, então, associada uma energia interna U_0 , que podemos considerar como sendo a energia interna inicial, a partir da qual todas as seguintes serão referidas. Com isto, já temos caracterizado o estado termodinâmico deste gás. Se somente uma dessas grandezas for alterada (a temperatura, por exemplo), estaremos alterando o estado termodinâmico deste gás, uma vez que cada grandeza se relaciona com a outra, através da equação de Clapeyron⁷, que, para os gases ideais, pode ser escrita na forma:

$$P.V = n.R.T$$

Implicitamente, no exemplo anterior, aparece regida pela Primeira Lei da Termodinâmica e pela equação de Clapeyron uma outra grandeza, que denominamos pressão P_0 . No exemplo anterior, se o recipiente que contém o gás nunca mudar seu volume durante uma sucessão de processos e sofrer um aumento de temperatura, sua pressão também irá aumentar de maneira que obedeça a uma proporção direta; nesse mesmo recipiente de volume constante, se ocorrer um decréscimo na temperatura, sua pressão terá também uma redução diretamente proporcional.

Com certeza, o estado do gás que está contido no recipiente mudará completamente se acrescentarmos ou retirarmos gás (alteração do número de mols n), se o recipiente alterar seu volume através de paredes móveis (um pistão), etc.

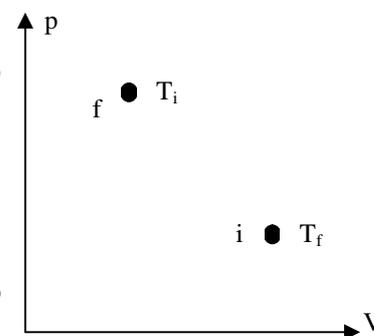
A alteração dos estados termodinâmicos pode evoluir entre dois estados de duas maneiras: através de *processos irreversíveis* e através de *processos reversíveis*.

⁷ Emile Clapeyron (1799 – 1864)

Num processo denominado *irreversível* somente temos acesso ao estado inicial e ao estado final do sistema termodinâmico, sem conhecermos o caminho pelo qual as grandezas deste sistema passaram para mudar de um estado para outro. Podemos ter uma quantidade de gás com N moléculas inicialmente sob uma temperatura T (ou uma energia interna U), uma pressão p e um volume V . Se, por um processo qualquer, esperarmos este gás mudar sua temperatura, sua pressão e seu volume para T' , p' e V' , não poderemos dizer nada sobre os diferentes estados ocupados por este gás ao longo deste processo, de tal forma que se quiser voltar para a situação inicial, T , p e V , não sabermos por qual caminho retornar. Isto é, poderemos voltar a ter o gás com T , p e V iniciais, mas não seguramente pelo mesmo caminho: não houve controle sobre as variações das diferentes grandezas associadas aos estados do gás em cada instante. Será que a temperatura se manteve constante por algum tempo? Entre dois pontos consecutivos, a pressão mudou para mais ou para menos? Essa mudança foi muito grande? Em algum intervalo entre dois pontos a pressão se manteve constante? E o volume, como variou? Em torno de um estado qualquer existem infinitos pontos vizinhos que poderiam ter sido ocupados pelo gás em algum momento antes. Qual deles retomar para um retorno às situações iniciais?

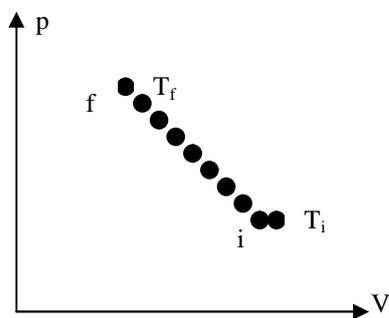
Graficamente, representamos esta mudança de estado do gás por um gráfico cartesiano do tipo pressão X volume, como mostra ao lado.

Para termos um processo *reversível* de mudança de estado de um gás, desde um estado inicial a um estado final, recorremos a um artifício, que é o de fazê-lo mudar suas grandezas muito lentamente, em pequenas porções, de tal modo que possamos ter o controle de cada estado intermediário vizinho ao anterior, e quase imediatamente vizinho ao posterior. Isto é,



teremos um caminho de ida para um estado final que pode ser retomado na volta para o estado inicial, estado por estado, no sentido inverso de como foi feito no processo de ida. As variações, as mudanças nas grandezas T , p e V são feitas de formas tão pequenas que quase nem notamos as diferenças entre as vizinhanças dos estados. A este processo, muito lento, feito estado por estado, denominamos de *quase-estático*. Com isso, teremos graficamente um formato para o caminho entre os estados inicial e final do gás. O gráfico cartesiano ao lado nos mostra este processo. Quanto menores forem as varia-

ções entre as grandezas, mais controle teremos do caminho tomado pelo gás em sua mudança de estado.



A rigor, não existem processos quase-estáticos reversíveis. Um processo reversível, uma idealização, é constituído de infinitos pequenos processos quase-estáticos irreversíveis. Os processos, tanto reversíveis quanto irreversíveis de mudança de estado termodinâmico subentendem esperas para novas acomodações do sistema termodinâmico. Cada estado termodinâmico corresponde a uma estrutura. Quando mudamos de estado, mudamos a estrutura, destruindo a anterior e construindo uma nova estrutura interna da matéria. Sob este aspecto, podemos concordar com Piaget de que o estado posterior pode ser considerado como: “[...] o repouso da destruição das estruturas anteriores” (PIAGET, 1977, pág. 14).

Fica claro que nos processos quase-estáticos de mudança de estado termodinâmico conseguimos manter uma ordem funcional e estrutural do sistema, que podemos considerar aberto, uma vez que existem trocas de energia com a vizinhança do sistema (calor, realização de trabalho externo, realização de trabalho interno, entrada e saída de gás, etc). Se essas trocas se configurarem como “perdas” para a vizinhança (por atrito, por exemplo) mesmo um sistema quase-estático pode ser irreversível, de tal forma que não conseguimos voltar ao estado inicial do processo pelo mesmo caminho que o sistema evoluiu. Ou, até, podemos “perder o caminho de volta”, devido às diferenças energéticas que aparecerão nas trocas com a vizinhança (THOMSEM, 1960).

Os processos irreversíveis eram tidos como processos “irrecuperáveis”, com tendência ao desgaste e à desestruturação total dos sistemas, em relação ao seu formato inicial. Desde cedo, Prigogine⁸ se interessou por estudar os sistemas irreversíveis, na tentativa de entender como sistemas muito bem organizados, como os sistemas biológicos, por exemplo, poderiam desenvolver-se a partir da “desordem”. Tais sistemas são denominados também sistemas não-lineares, uma vez que não seguem estritamente o paradigma do modelo newtoniano de estruturação do universo. O trabalho de Prigogine procura descrever sistemas que seguem as leis de uma cinética não-linear e que, além do mais, estejam em contato com suas vizinhanças trocando energia, o que denominamos de sistemas abertos e que as relações de não-equilíbrio são também fontes de organiza-

ção. Isto é, Prigogine fundamenta a dinâmica das trocas energéticas entre os sistemas segundo o princípio da Segunda Lei da Termodinâmica, ao afirmar que mesmo os processos irreversíveis conduzem a um novo tipo de dinâmica dos estados da matéria que denominou de estruturas dissipativas (PRIGOGINE, 1977).

5.3 EQUILÍBRIO BIOLÓGICO

Os sistemas biológicos são sistemas abertos que trocam energia com suas vizinhanças. As contribuições de Prigogine aparecem numa época em que os processos termodinâmicos irreversíveis tinham somente uma direção temporal, com aumento da entropia dos sistemas, que, em outras palavras, significa um aumento da desordem estrutural desses sistemas, sem retorno espontâneo aos estados iniciais.

A ordem funcional e estrutural no caso termodinâmico não consegue espontaneamente se organizar sem um agente externo, uma vez alterado seu estado. Aspectos cibernéticos deverão ser constituídos, quando quisermos que os sistemas se auto-regulem. Por exemplo, se quiser evitar que a temperatura do gás aumente indefinidamente, podemos instalar um termostato ligado a um sistema de resfriamento, de forma a manter o valor da temperatura sempre constante e, em consequência, as outras grandezas vinculadas às suas variações. Os mecanismos mecânicos de retroalimentação são denominados de servo-mecanismos pela engenharia, enquanto que os biólogos empregam a expressão *mecanismos homeostáticos*. Isto é, nos mecanismos homeostáticos existem regulações internas que mantêm o sistema sempre numa mesma configuração, que podemos chamar de estática ou em equilíbrio (ODUM, 1988, pág.29; 31). No exemplo equivalente ao do termostato que controla a temperatura do gás no recipiente, nos animais de sangue quente existe um centro cerebral que controla a temperatura corporal. A homeostase, no seu aspecto estático, de equilíbrio, ao contrário do equilíbrio mecânico newtoniano, garante que um sistema seja dinâmico na sua manutenção. Nos organismos vivos, a homeostase é conseguida pela participação dos seus componentes na manutenção do ciclo vital que manterá o organismo em atividade para a qual está programado

⁸ Ilya Prigogine (1917 – 2003)

para funcionar. Um fígado encontra-se em homeostasia, desde que suas células trabalhem eficientemente na elaboração dos açúcares que chegam a quantidades diversificadas; um fígado são é um fígado em equilíbrio homeostático, que consegue fazer todas as regulações possíveis para as quais está geneticamente programado. Para atingir a homeostasia, um organismo passa por uma evolução estrutural, dinâmica na sua estrutura, que denominamos de homeorrese. A homeorrese é também um estado de equilíbrio dinâmico, porém com evolução e modificações dentro da própria estrutura.

“Em qualquer caso o controle depende de uma retroalimentação (feedback), que ocorre quando uma parte da saída volta para a entrada. [...] A retroalimentação positiva acelera os desvios e é, naturalmente, necessária para o crescimento e a sobrevivência dos organismos. Contudo, para conseguir o controle – e.g., para evitar o superaquecimento de uma sala ou o super-crescimento de uma população – deve haver também a retroalimentação negativa, ou entrada suprimidora de desvios. A energia envolvida num sinal de retroalimentação negativa é mínima, comparada com o fluxo de energia através do sistema, seja ele um sistema de aquecimento residencial, um organismo ou um ecossistema. Componentes de baixa energia que apresentam, na retroalimentação, efeitos muito amplificados de alta energia estão entre as principais características dos sistemas cibernéticos. (ODUM, Idem, pág. 29).”

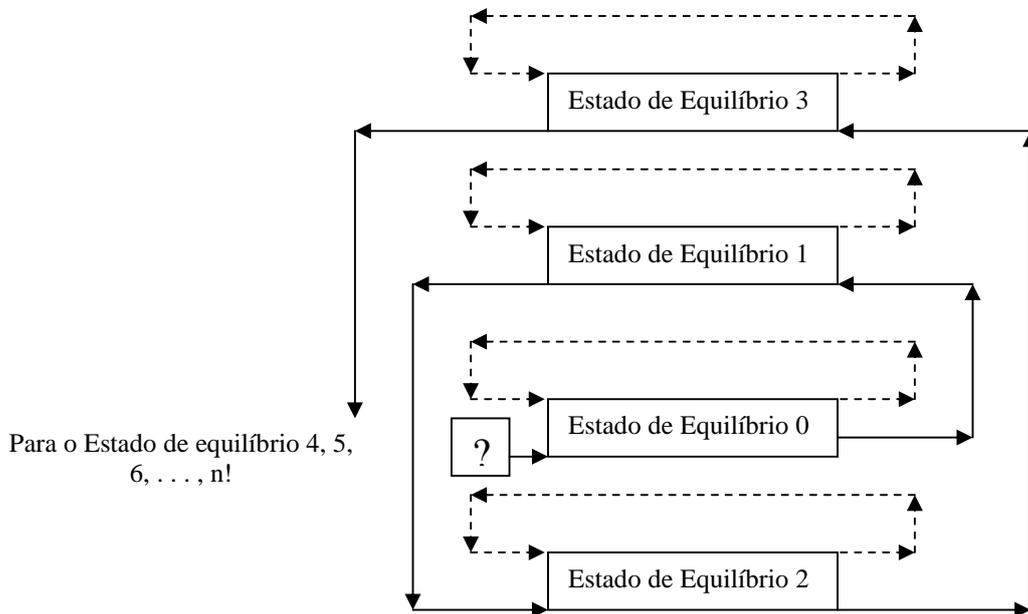
5.4 EQUILÍBRIO COGNITIVO

O equilíbrio cognitivo assemelha-se ao equilíbrio termodinâmico quase-estático. No equilíbrio cognitivo, uma estrutura não desaparece para dar lugar a uma nova estrutura; uma estrutura nasce pela transformação, homeorrésica ou homeostática, da estrutura anterior. Portanto, uma estrutura posterior subsume a anterior; por isso mesmo ela se manifesta como maior, mais evoluída. É por isso que não existe um caminho pelo qual possamos, a partir de um estado de equilíbrio cognitivo, mais evoluído, retroceder no tempo e no processo e recuperar as condições iniciais que fizeram chegar até o atual estado de cognição. Esta impossibilidade é que justifica Piaget a buscar, a partir da observação e da entrevista com a criança, em pleno processo de evolução biológica, psicológica e cognitiva, a forma como o conhecimento evolui, ao invés de partir do adulto “construído” e “finalizado”.

O desenvolvimento e a formação dos conhecimentos obedecem a uma dinâmica de reequilibração semelhante à auto-regulação que visa sua constante reorganização. Desse modo, não podemos dissociar a adaptação da organização, pois o organismo como um todo se adapta, reorganizando-se frente às pressões do meio, uma vez que está aberto a este. Um conjunto de conhecimentos pode facilmente ser desequilibrado por um fato novo; um mesmo esquema de ação precisa ser reorganizado para ser aplicado a diferentes situações que desequilibram a forma anterior de atuar.

Algumas reequilibrações fazem retornar ao equilíbrio anterior, outras, que podemos considerar como sendo as reequilibrações mais importantes para o desenvolvimento cognitivo constituem um equilíbrio novo e melhor, garantindo a auto-organização do sistema: são as *equilibrações majorantes*. Porém, onde se situa o início de um ciclo de equilibrações e de reequilibrações? É muito difícil determinarmos este ponto de partida. Somos obrigados a escolher um estado que consideramos como sendo fiducial, de referência, e a partir dali estabelecer as relações de desenvolvimento, pois, como afirmamos anteriormente, a vida não começa no estágio sensório-motor. Onde é o início: no estado fetal ou no embrionário? Ou, ainda, anterior ao embrionário? Uma criança no estágio sensório-motor ainda não faz uso da fala, de tal maneira que não podemos trabalhar com a entrevista clínica, mas apenas com a observação clínica, para acompanhar sua organização cognitiva, a construção de sua realidade. A aplicação de um método qualquer de análise do desenvolvimento de um sujeito parte da leitura de condições e manifestações que ele externa e que compõem o estado fiducial, seu estado inicial. É, pois, a partir dessas externalizações do sujeito que podemos acompanhar os futuros desenvolvimentos, sem esquecer que antes desse “zero” existe uma história à qual não tivemos acesso anteriormente. O acesso que teremos a todo seu desenvolvimento posterior se dará somente por indícios, a partir de ações ou verbalizações, que poderão indicar uma ou outra organização, conforme a interpretação do observador.

Essa sucessão de estados de equilíbrio, de desequilíbrios e de reequilbrações majorantes, comporta-se de forma cíclica e ascensional, que pode ser esquematizada pelo seguinte diagrama:



Os sistemas biológicos são alimentados por elementos exógenos, ao passo que a alimentação dos sistemas cognitivos é tanto exógena quanto endógena, com origem nas abstrações. Admitir, porém, que os sistemas cognitivos se realimentam da mesma maneira que os organismos biológicos seria admitir que todo conhecimento vem de uma realidade externa, sem possibilidades para a criação, para a novidade, concebendo estas (a criação e a novidade) como sendo apenas uma justaposição de quadros perceptivos. Por isso, a isomorfia dos dois sistemas não significa a redução de um sistema a outro. Eles são isomorfos apenas nos aspectos da dinâmica funcional.

E essa dinâmica funcional, sua organização, pode ser entendida num primeiro momento a partir do ciclo de adaptação (PIAGET, 1990), caracterizado pelas diferentes interações $A X A'$, . . . , formado pelos elementos que pertençam ao organismo ($A, B, C, . . .$) e os elementos proporcionados pelo meio ($A', B', C', . . .$). Se o organismo estiver em um ambiente, legitimamente adaptado, o processo todo ocorre de tal maneira que a assimilação se dá pelo atendimento de suas necessidades, com o organismo mantendo suas características funcionais homeostaticamente:

$$(A X A') \rightarrow (B X B') \rightarrow (C X C') \rightarrow \dots \rightarrow (Z X Z') \rightarrow (A X A').$$

Se, “porém, ocorrer uma modificação no ambiente, de tal forma que o elemento B’ seja transformado em B”, ou o ciclo é interrompido e a organização é destruída por falta de adaptação com a morte do organismo, ou este se adapta por uma modificação compensadora que substitui C por C_2 dando continuidade à forma:

$$(A X A') \rightarrow (B X B') \rightarrow (C_2 X C') \rightarrow \dots \rightarrow (Z X Z') \rightarrow (A X A').$$

O equilíbrio entre a acomodação e a assimilação acontece na medida em que a acomodação se compatibilize com o ciclo, promovendo modificações que aperfeiçoem a capacidade de assimilação.

Porém, as modificações por auto-regulação dos organismos vivos estão limitadas à capacidade de ação da bagagem genotípica dos indivíduos. Por mais que haja mudanças fenotípicas para atender às pressões do meio, estas mudanças visam somente a reorganização do organismo para aquele meio diferenciado. Poderá haver uma melhoria no funcionamento do organismo para assimilar esta ou aquela substância com maior ou menor eficácia, acontecer alterações em sua forma, mas nunca esse organismo deixará de executar as funções para as quais foi programado. Num exemplo extremo, podemos garantir que um rim, dotado com um subsistema de funções extremamente complexas⁹, jamais poderá funcionar como um cérebro, apesar das inúmeras modificações adaptativas realizadas pelo organismo.

As funções cognitivas alimentadas a partir das abstrações, como será visto a seguir, ao contrário das funções biológicas, devem ultrapassar, e ultrapassam, suas funções primitivas, constituindo os desequilíbrios apenas pontos de partida. A eficácia de uma função cognitiva é estimada pela possibilidade de ultrapassar os desequilíbrios e constituir novos estados de equilíbrio, criando funções superiores, mais aperfeiçoadas do que aquelas que sofreram o desequilíbrio (por isso, reequilibrações majorantes).

5.5 AS ABSTRAÇÕES

⁹ Não é interessante nesse ponto adentrarmos nas discussões das funções de uma única célula, visto as potencialidades que qualquer célula tenha de poder funcionar como célula-tronco.

A noção comum que se tem de abstração é a de algo que somente pode acontecer no nível das idéias, do pensamento, no sentido de ser o oposto de concreto, contrário à realidade sensível. O dicionário Houaiss apresenta “abstrato” e “concreto” como antônimos (HOUAISS, 2004).

Como foi dito antes, os sistemas cognitivos são alimentados pelas abstrações, tanto exógena quanto endogenamente. A alimentação endógena dos sistemas cognitivos pelas abstrações dá-se como produto do próprio pensamento, da coordenação interna de ações, dos não observáveis, o que não fere de modo algum a concepção usual do que seja uma abstração, como já apontamos no parágrafo anterior. Porém, o que parece nos colocar em contradição é o fato de afirmarmos que as abstrações também podem se valer de informações exteriores ao pensamento, isso é, de informações provenientes dos objetos ou dos aspectos materiais das ações, isso é, dos observáveis. Piaget chama a isso de abstração empírica.

5.5.1 Abstração empírica

A abstração empírica, no sentido que lhe dá Piaget, é a leitura das informações fornecidas pelos objetos, ou pelas ações materiais do sujeito sobre os objetos, e está presente em qualquer idade ou nível de desenvolvimento cognitivo, predominando, porém, no nível sensorio-motor. Quando falamos em “leitura”, implica que o sujeito que lê deve possuir uma estrutura que permita fazer essa leitura. Isto é, precisa de alguma estrutura que assimile o dado lido.

Ao olharmos uma fotografia de um cenário celeste, por abstração empírica retiramos dados que nossa sensação visual apreende como pontos claros, com cores diferentes num fundo preto; manchas de diferentes tonalidades também podem estar distribuídas pelo cenário. Independentemente de quem olhe esta foto, a impressão sensorial será a mesma: fundo escuro, pontos claros e manchas. Porém, a leitura que se faz do dado sensorial, o significado que a ele é dado, é resultado da percepção, pois os pontos claros

podem tanto ser estrelas, quanto luzes de uma cidade à noite, quanto defeitos na gravura.

Como ao longo de toda a vida do sujeito, a leitura do dado empírico é feita utilizando-se seus sentidos e suas atividades proprioceptivas, como mediadoras entre o sujeito e os objetos, o que o sujeito poderá ler empiricamente do ambiente não estará limitado somente à sua fisiologia, mas principalmente à sua imaginação (seja ela reprodutora ou criadora), aos pré-conceitos, à intuição e às operações de nível mais elevado que estará capacitado a realizar. A esse conjunto de fatores que permitem o acesso a essa leitura denominamos de mecanismos de percepção. Ao ato de perceber os objetos do meio físico implica, portanto, uma atividade organizada pelas coordenações internas do sujeito. Perceber os objetos do meio físico implica atividade perceptiva; implica, portanto, aplicar esquemas.

A observação do céu pode ser feita somente no plano perceptivo, num primeiro contato, quando o sujeito assimila por abstração empírica o panorama celeste. Ao passar a exercer uma atividade perceptiva com os olhos se movimentando e imitando os contornos das figuras formadas pela disposição dos astros, por exemplo, a abstração deixa de ser apenas empírica e se transforma em reflexionante, mais especificamente, pseudo-empírica na medida em que coloca no cenário celeste imagens retiradas de experiências anteriores.

Esse ponto é uma passagem delicada que tem causado muita controvérsia nas discussões entre empiristas e aprioristas: o conhecimento provém do dado empírico ou é apenas fruto do pensamento? Na obra *Les Mécanismes Perceptifs* (1961), Piaget dedica-se a discutir sobre o verdadeiro papel ocupado pela percepção no conhecimento, a partir das pesquisas feitas por sua equipe. É muito tênue o limite da distinção entre o que seja um dado puramente empírico, proveniente, por exemplo, do meio físico, e a sua interpretação, sua leitura, pelas estruturas de assimilação do sujeito. Nas informações retiradas do meio físico colocamos imediatamente significados retirados de nossas experiências anteriores. Tudo “lembra” alguma coisa. Raras situações podem ser consideradas novas, do ponto de vista empírico. As duas galáxias satélites da nossa (visíveis no hemisfério sul, somente, a poucos graus do pólo sul celeste), por exemplo, foram consideradas por muito tempo como sendo “nuvens” no firmamento, por isso os nomes de Pequena e Grande Nuvem de Magalhães (levam este nome por terem sido avistadas oficialmente em 1519 por aquele navegante português). O próprio nome “galáxia” provém

do grego¹⁰ “gala” (γαλα), que significa “leite”, “leitoso” (γαλακτικοζ)! O dado empírico é o fato de serem regiões esbranquiçadas no céu (até o termo esbranquiçado . . .), independente do que chamemos essas regiões. Da mesma forma aconteceu com as nebulosas (do latim¹¹ “nebula”, nevoeiro, nuvem).

5.5.2 Abstração reflexionante

5.5.2.1 A ABSTRAÇÃO PSEUDO EMPÍRICA

A percepção, como entende Piaget, não é, como poderíamos crer, a recepção passiva das informações sensoriais provenientes do ambiente externo ao sujeito, como uma “colagem” de impressões na memória, mas é, na verdade, uma atividade, rica em ações internas e coordenadas. Os dados externos são desprovidos de forma lógico-matemática; a leitura dos dados perceptivos utiliza estruturas, cujas construções são anteriores à percepção atual; é a ação assimiladora do sujeito sobre os objetos que dá significado aos dados acomodando a eles seus esquemas, através de coordenações de ações internas. Isso faz com que se distingam as funções cognitivas em operativas e figurativas. A função operativa caracteriza-se pelo poder de transformar o objeto através de operações superiores, ou de estruturas lógico-matemáticas. A figurativa prende-se à percepção; consiste numa tomada de posse de elementos imediatos e atuais, sem modificação do objeto pela estrutura assimiladora.

No exemplo anterior, de olharmos uma fotografia do céu, se identificarmos os pontos claros como estrelas, passamos a exercer uma abstração pseudo-empírica, pois colocamos a característica “estrela” para aqueles pontos; e somente sabemos que aquela gravura se traduz em um retrato do céu, pela imagem que temos dele retirada de nossa memória construída através de experiências anteriores.

¹⁰ Dicionário Essencial, op. Cit.

¹¹ Dicionários Acadêmicos, op. Cit.

As imagens das constelações não estão no céu, como pensamos. Uma mesma atividade perceptiva (a perscrutação do céu) pode invocar diferentes nomes e representações das constelações para diferentes culturas e pessoas. Dentre tantos exemplos, podemos citar a constelação Scorpius (Escorpião). Essa constelação tem esse nome e essa representação proveniente da mitologia grega. Conta que escorpião foi o animal enviado por Ártemis, deusa da caça, para matar o caçador Órion, porque ela se sentia prejudicada em suas atividades por aquele gigante. Mas o escorpião nunca chegou a matar Órion e até hoje continua a persegui-lo! Por esse fato as constelações de Órion e Scorpius são antipódicas, pois quando uma está nascendo no leste a outra está se pondo no oeste, e vice-versa. Scorpius é a constelação das noites de inverno e Órion é a constelação das noites de verão. Essa mesma constelação nada tem a ver com a figura de um escorpião para os nativos neozelandeses. Para eles, ela é a constelação que lembra um anzol, em homenagem ao semideus e pescador Maui¹² que, segundo a lenda Maori, retirou a Nova Zelândia do fundo do mar, na origem dos tempos, e jogou o anzol para o céu! O nome da Nova Zelândia, “Te ika Maui”, em maori, significa “peixe de Maui”¹³.

Existe um estudo da “astronomia” dos índios brasileiros que mostra uma descrição do céu totalmente diferente daquela que estamos acostumados a ler, onde, por exemplo, encontramos a constelação da Ema (Guira Nhandu), que abrange toda a região onde se localizam as constelações Crux, Scorpius, Musca, Circinus, Centaurus, Triangulum Australe, Ara e Telescopium. A Via Láctea é conhecida como o Caminho da Anta (Tapi’i rape), pois numa das extremidades da “Via Láctea” pode ser localizada a constelação da Anta (Tapi’i). Logicamente, a descrição do céu dos índios brasileiros é muito diferente da descrição do nosso céu de origem européia, uma vez que as imagens que os nativos lá colocam representam seu universo conhecido, que nada tinha a ver com a mitologia greco-romana ou com a mitologia neozelandeza. O pioneiro nessas pesquisas e grande referência no tema é o professor da Universidade Federal do Paraná, Germano Bruno Afonso¹⁴.

Quando levamos, pela primeira vez, pessoas de diferentes idades para olhar o céu, em atividades de observação orientada, propomos um exercício muito divertido e

¹² Astronomy Magazine. July 2000. Celestial portraits: Scorpius, pág. 86. Milwaukee, USA: Kalmbach Publishing Co.

¹³ WHITMORE, Robbie. **The history of New Zealand : a brief overview of the pre-historic, colonial and modern periods**. Disponível em <http://www.history-nz.org/maori9.html>, agosto 2007.

¹⁴ AFONSO, Bruno Germano. **Mitos e Estações no Céu Tupi-Guarani**. Revista Scientific American Brasil. Edição Especial: Etnoastronomia. N° 14. Pág. 46 a 55

bastante motivador, antes de passar para a atividade propriamente dita: cada um deve procurar “enxergar” formas no céu, ligando os diferentes grupos de estrelas. Em muitos casos, as formas oficiais (peixes, libra, sagitário, balança, aquário, corvo, entre tantas) não são mais aceitas por “parecerem menos significativas” que aquelas que os sujeitos identificaram anteriormente, nessa atividade preliminar.

Estrelas novas ou supernovas destacam-se no cenário celeste pelo seu brilho “repentino”, desconfigurando uma imagem anterior guardada na memória. Quem nunca olha para o céu e, por isso, não tem o cenário memorizado, nunca enxergará uma nova ou supernova. Isso acontece porque o cenário só será novo para o observador que tiver referenciais anteriores; caso contrário, não ocorrerão diferenciações no nível perceptivo. Nos dias de hoje a procura por supernovas passou a ser intencional, motivo de pesquisa, quando imagens (constituídas por gravuras, imagens fotográficas, imagens feitas a partir de telescópios robotizados¹⁵) de uma mesma região do céu são justapostas ou comparadas. Os nomes “nova” e “supernova” advêm do fato dessas estrelas surgirem em regiões do céu onde, antes, ou não havia estrela alguma, ou uma estrela de brilho muito fraco passou a brilhar com muita intensidade. Dentre as estrelas “novas” havia algumas que brilhavam mesmo durante o dia claro, por isso chamadas de “supernovas”.

Além das formas que colocamos nas constelações, até mesmo a dinâmica do céu pode ser lida a partir da percepção (percepção como atividade perceptiva, com caráter diferenciador do cenário). São perceptíveis, nesse sentido, as diferentes intensidades dos brilhos das estrelas, suas posições, movimentos, proximidade, posições aparentes em relação a um cenário terrestre, entre tantos.

Neste ponto, é necessário definir, nesse trabalho, quem é o sujeito que observa o céu. Com certeza não é a criança do estágio sensorio-motor, nem do pré-operatório, por razões já apontadas anteriormente. Nosso sujeito que observa o céu com intencionalidade é um sujeito que opera concretamente as estruturas imagéticas (PIAGET, 1993) e espaciais (PIAGET, 1977). A mais simples observação do céu, no sentido de uma verdadeira observação, requer que, no mínimo, operações de seriação, de ordenação, de classificação, transitividade, noção de objeto, noção de espaço, noção de proximidade e profundidade, já sejam conscientes pelo sujeito.

¹⁵ NAPOLEÃO, T. A. et all. **Um Programa Brasileiro Para Busca de Supernovas: Conceção e Primeiras Descobertas**. Disponível em <http://telescopiosnaescola.pro.br/napoleao.pdf>, agosto, 2007.

A atividade perceptiva por si só não gera novidade. A astronomia utiliza como dado principal a imagem, originária da percepção. Todas as informações que podemos obter dos astros celestes provêm de inferências matemáticas sobre essas imagens. Porém, como vimos, para que exista a percepção, é necessária uma estrutura que tenha capacidade de “perceber”, de ler e dar significado ao dado empírico. Isso não é feito pela percepção, apenas; mas pela atividade perceptiva, lógico-matemática, que remonta à atividade estrutural do sujeito. Como se constróem essas estruturas? Como lemos o dado empírico em forma de imagens astronômicas? Essa leitura apoia-se em que modelos de estruturas?

5.5.2.2 REFLEXIONAMENTOS E REFLEXÕES

O mecanismo (é assim que Piaget o denomina) da abstração reflexionante é constituído de reflexionamentos que extraem informações de um patamar inferior de abstração e projetam-nas para um patamar superior:

“[...] O reflexionamento mais elementar que consideramos aqui é o que conduz das ações sucessivas à sua representação atual, portanto, de um movimento sensório-motor a um início de conceituação que o engloba, assim como seus predecessores próximos. [...] O segundo patamar é o da reconstituição (com ou sem narrativa) da seqüência das ações, do ponto de partida ao seu término, e que consiste, portanto, em reunir as representações em um todo coordenado. O terceiro patamar é o das comparações, em que a ação total, assim reconstituída, é comparada a outras, análogas ou diferentes (PIAGET, 1995, pág. 275).”

Seja, por exemplo, o exercício do jogo, executado pelas crianças. Nessa atividade predominantemente assimiladora, se dermos uma coleção de objetos de formatos diferentes para uma criança brincar, verificamos que ela brinca aparentemente sem objetivo algum, mexendo apenas os objetos, visivelmente exercitando os esquemas já construídos tornando o jogo em si nada mais que o próprio exercício de suas condutas sensório-motoras. Com o passar do tempo (e se esse passar do tempo for acompanhado por um número muito grande de experimentações, aparentemente repetindo a mesma atividade)

a criança começa espontaneamente a classificar e a ordenar esses mesmos objetos. Quando isso acontece a criança já consegue coordenar as semelhanças (classificações) e distinguir as diferenças (seriações).

Até esse ponto, podemos abarcar os três patamares de reflexionamentos citados anteriormente. Um quarto patamar pode aparecer no momento em que as “reflexões” passam a reorganizar as seriações e as classificações sintetizando-as e dando origem à noção de número.

O número, então, passa a ser o objeto de novos reflexionamentos e novas reflexões, transformando-se em novo objeto de pensamento para novas reflexões, o que pode atingir diferentes graus de “meta-reflexão”. Isto é, a idéia de número que resultou de coordenações, em um patamar superior, a partir do que foi projetado de patamares inferiores, passa a se tornar também o patamar inferior de novos reflexionamentos para novos patamares superiores, e assim sucessivamente. A esta reorganização, no patamar superior, do que foi projetado do patamar inferior, Piaget denomina de reflexão:

“Esta “reflexão”, segundo aspecto da abstração reflexionante, é, então, necessariamente generalizadora, pelo fato de que ela se apóia sobre uma totalidade mais ampla. Não se trata, portanto, de relações indissociáveis da abstração e da generalização que determinam os dois pólos do processo da equilibração, mas, de modo mais geral, dos pólos da diferenciação e da integração. Quanto a este último, implica ele uma ação do sistema total sobre os subsistemas e não se reduz, portanto, sem mais, a um equilíbrio ou assimilação recíproca entre os subsistemas: com efeito, a integração em um todo conduz à formação de leis gerais de composição, podendo diferir das leis dos subsistemas . (PIAGET, 1977, pág. 28).”

Quando Galileu Galilei apontou seu telescópio para os planetas, estes não passavam, visual e conceitualmente, de estrelas como quaisquer outras, porém errantes, por não pertencerem a uma constelação fixa ao longo do ano. As primeiras observações que ele fez de Júpiter mostraram que em torno daquela “estrela” existiam quatro pontos luminosos alinhados (abstração empírica). De observações sistemáticas (intencionais!) foram coletados dados (se não numéricos, pelo menos imagéticos) que mostraram que os quatro pontos luminosos não somente estavam alinhados em torno, mas giravam ao redor de Júpiter com períodos aparentemente regulares individualmente, mas com diferentes períodos de translação entre si (abstração pseudo-empírica). Galileu chamou a

esses quatro pontos luminosos de “Estrelas Mediceanas”, em homenagem ao seu patrocinador florentino, o Gran Duque Cosimo II de Médici. A observação sistemática posterior mostrou, ainda, que Vênus e Mercúrio apresentavam fases, a exemplo da Lua, fazendo crer que a luz dos planetas que percebemos aqui da Terra seria a luz do Sol refletida das suas superfícies. Com isso, ele tematiza a hipótese segundo a qual os planetas que vemos no céu, incluindo a própria Terra (que não vemos), estariam orbitando em torno do Sol, o que concordaria com as hipóteses de Copérnico¹⁶ e faria o próprio Galileu entrar em confronto com a Igreja (WATSON, 2005). Na época, a mecânica celeste adotada pela Igreja tinha como base uma cosmologia aristotélica, na qual todo o universo (sol, planetas e estrelas) girava em órbitas perfeitamente circulares, tendo a Terra como centro desses giros. Esse modelo aristotélico do universo era congruente com a Bíblia, em particular o livro do Gênesis. Some-se a isso que o modelo de universo de Ptolomeu, imaginado a partir de medidas herdadas de observadores mais antigos, contribuía para essa visão (PANNEKOEK, 1960).

O que se deve levar em conta é que o modelo de sistema solar, proposto por Ptolomeu¹⁷, não é um modelo de senso comum; muito ao contrário, é um modelo inferido a partir do registro sistemático das medições das posições dos astros feitas por ele mesmo e por seus antecessores. Lembremos que, à época de Ptolomeu, o telescópio ainda não tinha sido inventado e que os registros eram feitos através de régua, goniômetros, comprimentos de sombras, deslocamentos relativos dos astros, etc. Pelos registros, notava-se que Saturno era o planeta que mais demorava para retornar à mesma constelação, seguido por Júpiter e depois Marte, respectivamente. Ora, o retorno à mesma posição significava que os planetas descreviam curvas fechadas, que, para o paradigma da época, deveriam ser circunferências perfeitas. À maior circunferência correspondia o maior caminho percorrido; portanto, tal caminho logicamente deveria pertencer a Saturno. E assim sucessivamente. Desse modo, a ordem de afastamento dos planetas em relação à Terra não poderia ser outra senão a que conhecemos: Marte, Júpiter e Saturno. O Sol, por sua vez, nunca passou pela frente do disco lunar, mas o contrário, o disco lunar frequentemente cruzava o disco solar, escurecendo-o nos eclipses. Não estaria a Lua, então, mais próxima da Terra que o Sol e este além da órbita da Lua? A Terra não poderia, por este ponto de vista, deixar de ser o centro das observações. A passagem dos planetas pelas constelações era outra garantia que as outras estrelas “imóveis”, nas suas constela-

¹⁶ Nicolau Copérnico (1473 – 1543)

ções, deveriam se encontrar mais longe ainda. A mudança das constelações ao longo do ano é outra evidência de que existe um movimento do céu que arrasta todos os astros.

As hipóteses de Copérnico contrariavam quase completamente o sistema de Ptolomeu na medida em que seu modelo afirmava que: 1) não haveria um centro para todas as órbitas ou esferas celestes; 2) o centro da Terra não é o centro do mundo, mas somente da gravidade e da órbita lunar; 3) todas as órbitas planetárias são feitas em torno do Sol, como se ele estivesse no centro, de modo que o centro do sistema planetário como um todo se encontra no Sol; 4) a relação da distância entre o Sol e a Terra com a altura do firmamento é muito menor que a existente entre o semidiâmetro da Terra em relação à distância ao Sol, de tal modo que a sua razão em relação à altitude do firmamento é imperceptível; 5) o que aparece como movimento no firmamento não é devido a ele mesmo, mas à Terra; 6) o que nos parece em movimento em relação ao Sol não é devido a ele mesmo, mas devido à Terra, que se encontra em revolução tal como acontece com qualquer outro planeta; 7) o movimento retrógrado dos planetas no céu não são devidos aos movimentos dos planetas como tais, mas são decorrentes dos movimentos da Terra também (PANNECKOEK, idem).

Copérnico reconhecia o caráter herético do seu trabalho e, embora o conteúdo já fosse de conhecimento público, manteve seus manuscritos invioláveis e escondidos para evitar uma provável audiência com os inquisidores da Igreja. Não era sua intenção publicá-los, mas em 1541, quando completou a escrita dos seus *De Revolutionibus*, seu discípulo Rheticus¹⁸, o convence a publicá-los na Alemanha, país predominantemente protestante, na época (DANIELSON, 2006).

Se o processo diferenciador fosse válido por si só, Galileu chegaria à conclusão de que existem estrelas com fases e estrelas sem fases e, ainda, estrelas que orbitam estrelas, pluralizando a rede de classificações das estrelas feitas, até aquela época, somente com recursos visuais, sem aparelhos. Mas ele foi além, construindo uma totalidade nova, a partir do conhecimento da época, por uma generalização integradora, relacionando as fases de Vênus e Mercúrio com as fases da Lua. Será que Galileu buscava essa evidência, ou a observação desses planetas foi uma ação fortuita para aplicar a utilidade do telescópio em outros cenários? Se foi fortuita, podemos dizer que essas “novidades” aconteceram primeiramente por uma atividade perceptiva, pela organização de quadros

¹⁷ Claudius Ptolomeu (90 – 147)

¹⁸ Joachim Rheticus (1514 – 1574)

estáticos perceptivos, por abstração empírica. A partir daí, as investigações do céu deixaram de ser fortuitas; tornaram-se intencionais. Qualidades e propriedades que antes não apresentavam foram neles colocadas, por abstração pseudo-empírica: períodos orbitais, distâncias relativas, etc.

Mas de onde a abstração pseudo-empírica retira qualidades ou propriedades que não se encontram no dado empírico? A assimilação do dado empírico não é agente de criação de novidade. Ao contrário, a riqueza do dado empírico será cada vez mais refinada na medida em que mais e mais propriedades possam ser atribuídas ao objeto por abstração reflexionante, no caso, pseudo empírica. Para que aconteçam novidades, é necessário que o sujeito, através de ações coordenadas, num patamar superior de reflexão, reorganize conscientemente as ações, os fatos, as informações e outros dados que forem retirados (abstraídos) de patamares inferiores.

5.5.2.3 ABSTRAÇÕES REFLETIDAS

Retomemos o exemplo do exercício do jogo executado pelas crianças. Após um longo percurso de experimentação ativa a criança descobre que ter dois bonecos, duas esferas, dois feijões, duas calças, etc. significa colocar neles uma propriedade comum (ser dois) que independe dos objetos. Essa descoberta nada mais é do que a síntese da seriação e da classificação ou da idéia do que seja o número, nesse caso, o número dois. Antes dessa descoberta, “ser dois” era uma qualidade “colada” nos objetos, como se fosse alguma característica individual imposta aos objetos por alguém, tal como um nome – embora um nome, como João, por exemplo, também possa ser atribuído a muitas pessoas. Por abstração refletida, a propriedade de ser dois deixa de ser um atributo de alguns objetos físicos imediatos com os quais brincava e passa a ser uma propriedade que pode ser aplicada a infinitos conteúdos: dois anos, dois dedos, duas galáxias, dois planetas, duas árvores, e assim por diante. É uma propriedade obtida como resultado da interação sujeito-objeto por abstração reflexionante.

Reflexões feitas em diferentes patamares de abstração a respeito do que as informações sobre os planetas confirmavam ou não, acabaram conduzindo a uma abstração refletida ressignificando o conceito de planeta, que se sobrepôs ao conceito anterior. Essa sobreposição do conceito novo sobre o conceito antigo de planeta não exclui aquelas noções primitivas do primeiro. Para quem observa o céu, mesmo sistematicamente, sem a utilização de aparelhos, sem se apossar dos conceitos impostos pela cultura, não consegue diferenciar o que é planeta e o que é estrela. Indo mais longe, podemos afirmar que, mesmo de posse dos conceitos impostos pela cultura através da escola, principalmente, é muito difícil diferenciarmos entre um e outro, se não tivermos uma carta celeste e se não fizermos um acompanhamento sistemático do céu num largo intervalo de tempo ou, ainda, se não tivermos alguma informação que permita diferenciar um e outro.

Na abstração empírica, os reflexionamentos transferem qualidades dos objetos ou das ações em suas características materiais, isso é, dos observáveis. A abstração reflexionante, entretanto, não se faz sobre observáveis, mas sobre as coordenações das ações. Para cada nova coordenação de ações num patamar de reflexão superior, novas formas poderão ser constituídas. A tomada de consciência dessas novas formas, que caracteriza uma abstração refletida, pode ser lida como um novo conteúdo que emerge da reflexão, nesse patamar superior. Essas novas formas enriquecem cada vez mais o objeto original com novas propriedades, a ponto de se tornar um objeto virtual ou de pensamento. Cada nova reelaboração, realizada pela reflexão, produz formas cada vez mais ricas. Essas formas constituem o sujeito epistêmico, aumentando cada vez mais sua capacidade, de diferenciação e de integração, e, por isso mesmo, de generalização. Isto é, quanto mais diferenciador for o sistema assimilador do sujeito, mais ele conseguirá aperfeiçoar a ação da abstração pseudo-empírica, o que permitirá um maior refinamento das abstrações reflexionantes e melhor leitura das abstrações empíricas. Em vista disso, dizemos que a abstração empírica e a abstração reflexionante são solidárias pelo fato de uma colaborar com a outra. Não existe reciprocidade total entre elas porque a abstração reflexionante desenvolve-se em níveis cada vez mais elevados, o que não acontece com a abstração empírica que só melhora com a abstração reflexionante. A abstração empírica depende da abstração reflexionante para se enriquecer e a abstração reflexionante vai às coordenações das ações (ao empírico buscar fatos, conteúdos, objetos, observar ações materiais – isso é âmbito da abstração empírica), para avançar na reflexão, levantar no-

vas questões, organizar novos patamares de reflexão. É esse refinamento da abstração reflexionante que faz com que um objeto observável (mirado pela abstração pseudo-empírica) nunca se esgote.

Retomando a linguagem da equilibração, vemos que um conceito, como o de planeta, firmado, adotado como certo e perene pelas instituições da época, foi abalado, perturbado através das observações e reflexões de Galileu, que geraram contradições. Os novos conteúdos, advindos de suas observações, não mais se enquadravam às suas estruturas assimiladoras, desequilibrando por isso seu sistema cognitivo, uma vez que o equilíbrio entre a assimilação desses e a respectiva acomodação às estruturas pré-existentes fora abalado.

As observações de Galileu poderiam ter simplesmente constatado um aumento no número de estrelas invisíveis à vista desarmada. Bem antes de Galileu, outros observadores já haviam desenhado esboços de crateras da Lua utilizando o telescópio; haviam detectado a presença de um número muito maior de estrelas do que habitualmente se via e, no entanto, esses dados não modificaram em nada o conhecimento da época (WATSON, idem). Por que, então, esses outros observadores não tiveram a mesma curiosidade de Galileu e avançaram no conhecimento como ele o fez? O que gera um desequilíbrio cognitivo? Em que estruturas se apoia um novo equilíbrio?

Para respondermos a essas questões, é importante agora esmiuçarmos um pouco mais a dinâmica do pensamento procurando entender as estruturas produzidas pelas abstrações e ver como se dá o desenvolvimento cognitivo.

6 A ESTRUTURA DO PENSAMENTO E O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO

A organização do pensamento apóia-se em dois aspectos complementares: as condições de equilíbrio, a exemplo do que acontece com as estruturas biológicas, e a construção de estruturas para a manutenção desse equilíbrio. As condições de equilíbrio envolvem auto-regulações: reequilibrações, ao sair de estados de menor equilíbrio para os

de maior equilíbrio, sobrepondo-se estes últimos aos anteriores. As estruturas constituem sistemas em equilíbrio – dinâmico não estático. A fim de conservar o equilíbrio, utilizando mecanismos reguladores, as ações próprias dessas estruturas são capazes de compensar as perturbações causadas, por exemplo, por uma contradição (PIAGET, 1976).

Existem três formas de equilíbrio (PIAGET, 1977). A equilíbrio: 1) entre a assimilação dos esquemas de ação e a acomodação destes esquemas aos objetos; 2) entre os subsistemas de esquemas; 3) entre a diferenciação e a integração (das relações que unem subsistemas cognitivos a uma totalidade que os engloba).

A primeira forma corresponde ao que anteriormente denominamos de equilíbrio homeostático dos sistemas cognitivos, da implicação mútua da assimilação e da acomodação, com aquela conferindo significado ao objeto, sem modificação da estrutura (por exemplo, a estrutura já vista constituída pelo ciclo de adaptação dos organismos vivos), mas admitindo modificações internas acomodadoras.

Retomando Galileu, fica visível que o instrumento utilizado por ele não apenas ajudou a ampliar as imagens que ele formou a partir da observação das estrelas, mas também a acomodar-se às “novas” estrelas não visíveis com a vista desarmada. O que era invisível passou a ser visível; a mesma estrutura assimiladora das coisas visíveis adapta-se para ver as coisas “invisíveis”; pelo processo de acomodação modificam-se os esquemas anteriores.

A segunda forma não é tão imediata, uma vez que os subsistemas são relativamente independentes e nem todos eles fazem elaborações ao mesmo tempo, com a mesma velocidade. A conservação ou equilíbrio mútuo de dois ou mais subsistemas pode ser conseguida mais cedo ou mais tarde por assimilação recíproca. Essa organização dos diferentes esquemas ocorre com a assimilação e a acomodação, agora internas, de um sistema de ação a outro. O telescópio passou a ser um prolongamento da ação visual humana. A exemplo do bastão, que a criança utiliza para puxar objetos que estão longe, coordenando os esquemas de puxar, pegar, apreender, etc., olhar ao telescópio requer coordenações de esquemas diferentes para executar um ato simples como o de enxergar.

A última forma de equilíbrio acrescenta uma hierarquia às simples relações entre subsistemas colaterais, originando um sistema mais geral, com a integração de ambos, mas mantendo a diferenciação entre os esquemas. O novo conceito de planeta,

construído por Galileu, requer que ao mesmo tempo se diferenciem duas situações que acontecem simultaneamente: embora se retire, por abstração empírica, as informações visuais dos planetas, ainda concebidos como estrelas, corre paralela a esses dados a compreensão de que suas naturezas são muito diferentes.

De outro modo, para que os objetos exteriores A' sejam assimilados pela estrutura, ou esquema A , é necessário que o sujeito distinga os caracteres a' desse esquema A , diferentes de todos os outros, que podemos considerar como $n\tilde{a}o-a'$, retendo uns (operação positiva) e descartando os outros (operação negativa). Da mesma forma, para os ajuizamentos dos caracteres é necessário distinguir entre os esquemas A e os $n\tilde{a}o-A$. Esses ajuizamentos, essas distinções, na maioria das vezes não são conscientes na sua forma, mas existem situações em que a explicitação das diferenciações deve tomar a forma de uma sistematização. Nem sempre um esquema A encontrará seu alimento A' , mas pode encontrar uma acomodação em outros termos A'' , com caracteres a'' . Se acontecer esta acomodação, o esquema A será modificado para A_2 , coexistindo com A na sua antiga forma, que passa a ser A_1 . O esquema A será então a síntese $A = A_1 + A_2$. A necessidade funcional das negações faz-se, então, presente para que o equilíbrio desta nova forma aconteça com A_1 a utilizar unicamente os A_1' e A_2 a utilizar A'' . E isso somente se consegue quando reconhecemos as negações parciais $A_2 = A \bullet n\tilde{a}o-A_1$ e $A_1 = A \bullet n\tilde{a}o-A_2$.

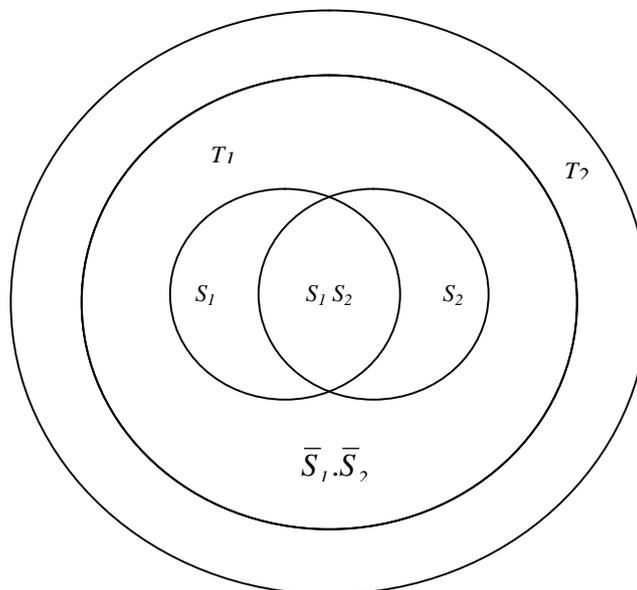
Da mesma forma, a coordenação de dois subsistemas cognitivos, S_1 e S_2 , consiste em descobrir-lhes uma parte operativa comum, $S_1.S_2$, que se opõe a $S_1 \bullet n\tilde{a}o-S_2$ e a $S_2 \bullet n\tilde{a}o-S_1$. Essa parte operativa comum $S_1.S_2$ corresponde a uma estrutura de intersecção, característica da equilibração por assimilação e acomodação recíprocas (PIAGET. *Idem*, pág. 22), que pode ser visualizada utilizando os círculos de Venn¹⁹-Euler²⁰, e compreendidos da seguinte maneira:

“[...] diferenciar uma totalidade T em subsistemas S é afirmar que cada um destes tem de seu, e, além disso, e em igual medida, excluir o que quer dizer, negar, as propriedades que não compreende e pertencem a outros. Em segundo lugar, constituir um sistema total T é destacar positivamente as propriedades comuns a todos os S , mas é também distinguir, agora negativamente as propriedades comuns dos caracteres particulares que não pertencem a T . Em suma, a diferenciação assenta em

¹⁹ John Venn (1834 – 1923)

²⁰ Leonhard Euler (1707 – 1783)

negações e a integração, por sua vez, implica-as, enquanto a própria totalidade T é ultrapassada e transformada num subsistema T1 de categoria superior aos S, ao lado de uma segunda estrutura T2 e no interior de uma nova totalidade ampliada. (IDEM, pág. 22-23).”



A forma como se coordenam e organizam todas essas ações diferenciadoras e totalizadoras, representadas simbolicamente pelos círculos de Venn-Euler, construídos a partir da sintaxe das negações e afirmações, constitui uma estrutura que lhes dá significado. O pensamento estruturado é pensamento organizado. Qualquer dificuldade que possa advir na incorporação de um objeto a um esquema de ação ou na assimilação recíproca de dois esquemas de ação, denomina-se perturbação.

No nível das abstrações, as diferenciações se estendem para além da operação paritária de exclusão. Isto é, as negações e afirmações na sua forma mais simples irão conduzir à organização do pensamento, passando pela estrutura mais elementar de classificação que é o agrupamento até atingir potencialmente o pensamento formal, hipotético-dedutivo. Dizemos potencialmente, porque a construção de estruturas depende da maturação do sistema nervoso, das experiências adquiridas em função do meio físico e das pressões do meio social; enfim, das perturbações e contradições a partir das quais se reorganiza o universo pessoal. A essas primeiras formas de negações denominamos de negações parciais, visto que elas se fundamentam sobre a complementaridade relativa das classes imbricantes mais próximas (PIAGET, 1977), impossibilitando a reversibilidade operatória pela sua extensão. Dizer, por exemplo, que a totalidade do céu se com-

põe de estrelas e *não-estrelas* implica afirmar que tudo o que não for estrela compõe uma sub-classe; desse modo, os meteoróides, cometas e planetas constituem uma sub-classe ou classe complementar ao conceito estrela. Isso traz um problema lógico de classificação sucessiva que consiste em transformar a sub-classe das não-estrelas em outras subclasses que englobariam por sua vez as classes menores dos cometas, dos planetas, etc. E o pensamento não se reduz a uma diferenciação, apenas, do universo perceptivo, através de classificações e seriações. E não se executam operações de classificações e seriações a partir das justaposições de quadros perceptivos provenientes da abstração empírica.

Considerando que “[...] uma operação é uma ação que pode ser interiorizada e revertida e que, com outras de mesma espécie, constitui uma estrutura caracterizada por leis de totalidade que incorporam uma ou outra forma de reversibilidade.” (PIAGET, 1969, pág. 356), o pensamento pré-operatório (ou intuitivo) não executa operações nesse sentido. É um pensamento que não produz transformações do porte das transformações no nível concreto. São transformações que evoluem de uma situação mais simples, particular, para outras mais complexas que as iniciais, porém também particulares. As transformações que se observam são atribuídas à própria ação pessoal do sujeito ou terão origens causais externas – criam-se assim os mitos, os artificialismos e os animismos. As contradições, que porventura aparecerem nesse período, não podem ser ainda consideradas como tais no sentido lógico; são inconstâncias do real que desconfiguram a percepção. Essas inconstâncias perceptivas também são reequilibradas por regulações executadas pelas abstrações, acomodando as estruturas às diferentes realidades, tanto no nível visual quanto no nível das correções e dos ajustamentos intrínsecos à ação pessoal (regulações perceptivas). Nessa etapa, os cenários perceptivos não seguem uma trajetória de filiação que atenda a uma sucessão temporal ou seqüencial de acontecimentos organizados e estruturados com leis gerais de funcionamento.

O pensamento operatório concreto, que começa a se mostrar evidente a partir dos 7 anos, em média, ordena, por outro lado, suas operações a partir de estruturas muito bem organizadas e apoiadas em leis gerais de funcionamento, colocando nos observáveis físicos (ações ou objetos) mais imediatos as regularidades das quais o sujeito tem consciência (no sentido mesmo de tomadas de consciência ou de abstrações refletidas anteriores). Essa busca das propriedades imediatas das regularidades limita ainda o esforço da ação combinatória que possa existir para diferentes elementos e suas diferentes

propriedades, não permitindo que o sujeito consiga raciocinar sobre todas as possibilidades reais e, principalmente, sobre possibilidades que não sejam reais ou não-observáveis. As abstrações refletidas desse período, portanto, acontecem principalmente a partir das reflexões sobre elementos colhidos pelos reflexionamentos, predominantemente por abstração pseudo-empírica. Essas reflexões, que se traduzem pelas coordenações internas das ações do sujeito nos diferentes patamares de abstração, porém, estão mais voltadas para as sucessivas tomadas de consciência de propriedades comuns passíveis de leitura pelo sujeito, tais como classificação, seriação, correspondências, transitividades, propriedades dos objetos. O sujeito ainda não realiza a síntese de conceitos mais complexos, mais abrangentes, a partir das propriedades retiradas das coordenações dessas ações mais imediatas. Quando o sujeito conseguir realizar essa síntese de conceitos mais complexos, podendo incluir na combinatória das possibilidades de ações imediatas também a combinatória de ações não observáveis, não imediatas, podemos dizer que seu pensamento é operatório formal.

6.1 DO OPERATÓRIO CONCRETO AO OPERATÓRIO FORMAL

As duas formas de reversibilidade próprias do pensamento concreto (reversibilidade por inversão e reversibilidade por reciprocidade) não se encontram, nesse estágio, fundidas em uma estrutura única. Mas, apesar de não constituir um sistema integrado, cada forma de reversibilidade expressa um sistema em equilíbrio, porque as formas de reversibilidade são compensações para as possíveis perturbações que podem se apresentar para o sistema cognitivo.

A reversibilidade, do ponto de vista lógico e estrutural, pode se apresentar por duas formas distintas que se complementam: a) pela negação ou inversão, onde o produto de uma relação direta com seu inverso resulta numa operação nula, ou retorno à identidade; b) pela reciprocidade, onde o produto de duas operações recíprocas nos dá uma equivalência. Podemos entender essas duas formas tanto pelas ações do sujeito, quanto pela sua estrutura proposicional.

Proposicionalmente, a inversa de uma operação é a complementar com referência à afirmação completa ($p \bullet q$), que pode ser considerada como sua negação no seio da afirmação completa (PIAGET, 1976, Definição 32). Por exemplo, seja o trilema, ou disjunção não exclusiva:

$$p \vee q = (p \bullet q) \vee (p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q)$$

a sua inversa será

$$N(p \vee q) = \sim p \bullet \sim q = \sim [(p \bullet q) \vee (p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q)],$$

cujos resultados mais gerais podem ser expressos por

$$N(a \ b \ c \ d) = (a' \ b' \ c' \ d')$$

Isto é, no nível das ações, existindo duas maneiras p e q dessas ações serem executadas, existirão também duas maneiras das mesmas serem executadas inversamente, $\sim p$ e $\sim q$ (não- p e não- q). Essas quatro ações podem ser combinadas proposicionalmente sob quatro formas distintas de conjunção: $(p \bullet q)$, $(p \bullet \sim q)$, $(\sim p \bullet q)$ e $(\sim p \bullet \sim q)$. Para caracterizar uma disjunção, porém, essas quatro maneiras podem se combinar de três modos distintos: $(p \bullet q) \vee (p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q)$. Se tivermos uma balança em equilíbrio, com duas massas colocadas simetricamente em cada um dos seus braços (PIAGET, 1976, Cap. 11), podemos tirar essa balança do equilíbrio e fazê-la pender para a direita, por exemplo, ou aumentando a massa (p) no braço direito, ou aumentando a distância da massa ali colocada (q), em relação ao centro de equilíbrio, afastando-a para a extremidade. Isso se expressa pela relação geral $p \vee q$, que pode ser realizada através da combinação de suas possibilidades: $p \bullet q$, aumentar o valor da massa e aumentar a distância do centro; $p \bullet \sim q$, aumentar a massa se trouxermos sua posição mais para perto do centro; $\sim p \bullet q$, diminuir a massa se a afastarmos do centro. A quarta possibilidade de combinação, $\sim p \bullet \sim q$ consiste em diminuir a massa e aproximá-la do centro; essa última sequência de ações não é possível de se fazer, porque se o resultado da operação é o de tirar a balança do equilíbrio e fazê-la pender para a direita, essa última possibilidade vai fazê-la pender para a esquerda fazendo subir o lado direito – o que redundaria num resultado não desejado. A operação inversa, para fazer voltar o equilíbrio da balança, para a horizontalidade, uma vez que esta esteja inclinada para a direita, consiste em inverter as proposições p e q , diminuindo o valor da massa ($\sim p$) e trazendo a massa mais para perto

do centro ($\sim q$) de equilíbrio; ou, de outro modo, resolvendo a expressão lógica através de suas propriedades, temos:

$$\begin{aligned} N(p \vee q) &= \sim p \bullet \sim q = \sim [(p \bullet q) \vee (p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q)] \\ &= \sim (p \bullet q) \bullet \sim (p \bullet \sim q) \bullet (\sim p \bullet q) \\ &= (\sim p \vee \sim q) \bullet (\sim p \vee q) \bullet (p \vee \sim q) \end{aligned}$$

Isto é, para a balança voltar à posição horizontal, depois de ser inclinada para a direita, temos as seguintes possibilidades: $\sim p \vee \sim q$, diminuir a massa ou aproximá-la do centro de equilíbrio; $\sim p \vee q$, diminuir a massa ou afastá-la do centro; $p \vee \sim q$, aumentar a massa, ou aproximá-la do centro. Uma quarta possibilidade de combinação, $p \vee q$, aumentar a massa ou afastá-la do centro, também não é admitida, porque esse procedimento não a fará retornar à horizontalidade.

A reciprocidade é a mesma operação, mas referindo-se à proposição de sinais inversos (PIAGET, 1976, Definição 33). Retomando o mesmo trilema anterior, escrever sua recíproca é ter

$$R(p \vee q) = \sim p \vee \sim q = (p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q) \vee (\sim p \bullet \sim q),$$

ou

$$R(a \ b \ c \ d) = (d \ c \ b \ a)$$

Retomando novamente a balança podemos fazê-la inclinar para o lado direito de outras maneiras, porém manipulando as variáveis massa e distância, no outro braço, ou diminuindo a massa ($\sim p$) que se encontra no braço esquerdo ou diminuindo ($\sim q$) a distância da massa que ali está colocada em relação ao centro de equilíbrio. Isso se expressa claramente pela relação geral $\sim p \vee \sim q$, que pode ser realizada através da combinatória de suas possibilidades: $p \bullet \sim q$, aumentando o valor da massa e diminuindo a distância ao centro; $\sim p \bullet q$, diminuindo a massa e afastando-a para a extremidade; $\sim p \bullet \sim q$, diminuindo a massa e aproximando-a do centro. A possibilidade de combinação $p \bullet q$, aumentar a massa e afastá-la do centro, não é possível porque se o resultado da operação é o de fazer a balança se desequilibrar, inclinando o lado direito, essa última possibilidade vai fazê-la inclinar o lado esquerdo, levantando o lado direito.

O retorno ao equilíbrio pode ser feito alterando as variáveis do lado esquerdo da balança também. A essa operação, que corresponde ao inverso da recíproca, denomina-

mos de correlativa. A correlativa de uma operação é a operação que se obtém, substituindo, na forma normal correspondente, os (\bullet) por (\vee) e reciprocamente, mas sem mudar os sinais (PIAGET, 1976, Definição 34):

$$C(p \vee q) = p \bullet q = \sim[(p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q) \vee (\sim p \bullet \sim q)],$$

ou

$$R(a \ b \ c \ d) = (d \ c \ b \ a)$$

Resolvendo a operação lógica, temos:

$$\begin{aligned} C(p \vee q) &= \sim[(p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q) \vee (\sim p \bullet \sim q)] \\ &= \sim(p \bullet \sim q) \bullet \sim(\sim p \bullet q) \bullet \sim(\sim p \bullet \sim q) \\ &= (\sim p \vee q) \bullet (p \vee \sim q) \bullet (p \vee q) \end{aligned}$$

A inversa, a recíproca e a correlativa, embora sejam formalmente definidas através dessa complexidade operatória, é comum interpretá-las somente pelo seu aspecto perceptivo apenas, quando as operações inversas são tomadas como adjunções ou supressões de elementos e as reciprocidades como simetrias ou semelhanças (PIAGET, 1976, pág. 205). Por exemplo, não são operações inversas vestir e retirar uma roupa, afastar e aproximar um objeto; trata-se de ações inversas, mas não caracterizam uma operação porque uma não desfaz a outra – na verdade trata-se de duas ações diferentes, enquanto que na operação trata-se da mesma ação com dois sentidos, direto e inverso.

Embora o pensamento operatório concreto também comporte combinações de ações ou combinações operatórias frente a propriedades que colocamos nos objetos, esta combinatória não se estende a uma totalidade, permanecendo ligado ao dado real, com as possibilidades restritas às relações de vizinhança. As operações concretas não são mais que estruturações diretas dos dados reais, estruturações estas que são decorrentes, ainda, do nível anterior, pré-operatório, quando as regulações perceptivas se organizavam em estruturas definidas de classificação, seriação, correspondências, etc. Elas não passam de prolongamentos virtuais das ações ou operações aplicadas a diferentes conteúdos, domínio por domínio, não generalizáveis a todos os conteúdos. As hipóteses desse período são apenas projetos de ações possíveis (PIAGET, 1976).

Mas mesmo que os sistemas cognitivos se estruturam isoladamente um do outro, a partir de diferentes níveis de reequilibrações realizadas pelas abstrações reflexionantes, determinadas situações impostas pela realidade exigem que vários desses domínios interfiram-se de múltiplas maneiras, com as propriedades de uns atuando nas características dos outros. Um exemplo notável é a relação entre espaço e tempo, dois campos independentes um do outro na organização estrutural própria do conhecimento: as ações que se coordenam no primeiro, relativamente às suas propriedades métricas são idênticas às coordenações das ações para o registro das medidas do segundo. Em vista disso, o sujeito é obrigado a servir-se de instrumentos operatórios novos. No caso do espaço e do tempo, podem traduzir-se no conceito de velocidade e de suas propriedades físicas, que é um dado não-observável. A velocidade é lida somente pela inferência matemática a partir das medidas observáveis do espaço e do tempo. Por sua vez, o instrumento de medida de tempo, o relógio, o cronômetro, já é uma construção apoiada na métrica espacial para poder permitir uma leitura de eventos não observáveis, tais como os eventos temporais. Essas situações podem advir de contradições frente a regras já estabelecidas pela organização prévia do seu mundo. Sendo assim, ou o sujeito rejeita a contradição, que o perturba e desequilibra, ou reformula o mundo na tentativa de dissociar, por negação, reciprocidade ou neutralização, e reorganizar fatores a partir de novas intervenções experimentais que, com o tempo, se generalizem e conduzam à combinatória completa das possibilidades de ação sobre os observáveis, submetendo a partir disso o real às suas hipóteses.

Sabemos que a ação assimiladora do ser humano é muito limitada por natureza devido aos limites dos seus sentidos físicos (insensibilidade às pequenas variações de temperatura, visão pouco diferenciadora numa pequena faixa do espectro eletromagnético, audição pouco diferenciadora, também dentro de uma faixa de frequência muito pequena e um olfato e um paladar que se confundem), bem como pelo número de ações organizadas e de tomadas de consciência sobre as mesmas (ambiente pouco rico em atividades experimentais, ou diminuta qualidade da reflexão sobre as atividades experimentais). Porém, devido principalmente às características limitadoras da percepção humana, exige-se que, diante das incoerências e das contradições conceituais frente à realidade, esses mecanismos perceptivos devam se estender para além de seus limites. A construção de aparelhos cada vez mais sofisticados para medir e ler o mundo físico permite o refinamento dessas leituras por abstração pseudo-empírica ampliando o con-

teúdo retirado por abstração empírica. O que fazem as sondas espaciais nos diferentes recônditos do nosso sistema solar nada mais é do que isso: estender a capacidade humana para além de seus limites – ampliar seu poder assimilador!

O reflexionamento, de um patamar inferior para um superior, não é algo que acontece automaticamente. Na realidade, cada patamar seguinte, ao receber, por reflexionamento, conteúdos de um patamar inferior precisa assimilar este conteúdo e essa assimilação não acontece sem um desequilíbrio e, por consequência, novas acomodações. Isto é, para cada reflexionamento é buscado o equilíbrio entre as diferenciações que separam as características que deverão ser transferidas para outro patamar, e as integrações dessas características em novas totalidades; estas conduzirão a generalizações construtivas, repetindo, para cada reflexão, o ciclo epistêmico, que conduzirá à construção de novidades. Todas essas novidades estão ligadas logicamente e não simplesmente justapostas. Passa a existir um estabelecimento de conexões entre as extensões e as compreensões, fazendo com que o sujeito se aproprie das coordenações de suas ações em todos os níveis possíveis, levando a uma tomada de consciência dessas ações, sejam físicas ou inferenciais. O mecanismo da tomada de consciência, no interior das abstrações refletidas, aparece como um processo de conceituação que reconstrói e depois ultrapassa, num patamar superior, o que fora adquirido num patamar inferior. O conceito é o resultado de n operações reversíveis realizadas ciclicamente pelo sujeito, produto das coordenações inferenciais entre n operações (PIAGET, 1977).

Portanto, o conhecimento astronômico não se dá pela percepção apenas. Dá-se por abstração reflexionante que, através da abstração pseudo-empírica ressignifica continuamente a percepção do céu. É assim que o sujeito alcança níveis inimagináveis de conhecimento na medida em que constrói coordenações cada vez mais complexas (lógica) as quais projeta no céu, retirando dele novas coordenações que podem ser objeto de tomadas de consciência.

6.2 CONHECIMENTO ASTRONÔMICO

Monumentos e inscrições encontrados em diversos sítios arqueológicos, espalhados pelo planeta nos mostram que o ser humano tem registrado os movimentos dos céus, no mínimo, desde há quatro mil anos. Tabuletas de argila da Mesopotâmia trazem registros dos movimentos dos planetas e dos períodos lunares, que constituem um dos primeiros calendários baseados nos fenômenos celestes.

Não podemos precisar os primórdios do conhecimento astronômico, mas podemos ter certeza que no início o conhecimento matemático a respeito da tomada de medidas era bastante precário, sem comparação alguma com o nível de conhecimento atual, fazendo com que a totalidade do conhecimento, até então disponível para as generalizações, fosse muito limitado. As figuras do mito, do animismo e do artificialismo, predominam nas culturas antigas mostrando que desde cedo o ser humano sente necessidade de entender seu mundo físico e explicar os diferentes fenômenos que o rodeiam. O que pode garantir que as estruturas cognitivas disponíveis eram limitadas é o fato de sabermos que essas figuras foram concebidas a partir do pensamento pré-conceitual, típico de uma organização explicativa do mundo de igual nível.

A percepção das desconfigurações do céu, por diversos motivos, despertou o interesse de indivíduos que recorreram a ações que pudessem registrar, no plano físico, informações sobre os eventos à medida que eles iam acontecendo, passando esses registros, de alguma maneira, através das gerações. Se algum fator, algum indício, de origem paisagística ou outro qualquer, desencadeia a comparação de quadros perceptivos retirados da memória, que as regulações automáticas não possam dar conta, servimo-nos das regulações ativas. A construção de observatórios primitivos, com a justaposição de pedras em lugares estratégicos, a elevação de dólmenes, menires e outras estruturas têm mais o peso da ação espontânea das regulações ativas do que o resultado de um planejamento estruturado a partir de hipóteses lógico-formalizadas. Até certo ponto as regulações ativas podem resolver as nossas pseudocontradições, mas não resolvem as verdadeiras contradições que a complexidade das relações impostas pela realidade obrigam o sujeito, mais cedo ou mais tarde, a buscar a novidade.

Os êxitos dos registros dessas ações são anteriores à compreensão inteligente dos próprios fenômenos a que elas se referiam. As observações sistemáticas desses registros, as reflexões sobre os dados coletados, as sucessivas tomadas de consciência é que foram dando corpo a uma totalidade generalizadora imprescindível para a criação das novidades sobre o céu.

Mesmo em época carente de recursos matemáticos sofisticados, a classificação, a seriação, a correspondência, a comparação, as relações de biunivocidade e as transitividades já constituíam as operações mais elementares, uma vez que essas se originam das organizações do sujeito, quando ainda no estágio pré-operatório, sendo a métrica uma síntese dessas operações. O inconveniente de um sítio de observação construído sobre uma paisagem é o fato de ele não poder ser deslocado. Isto é, todas as medidas feitas num determinado local são exclusivas deste local. Portanto, aprender a medir o céu a partir de referenciais não paisagísticos, através de instrumentos portáteis que tomam o próprio céu como sistema de referência, representou a novidade que permitiu o registro de novas informações, aumentando os limites de observação e registro dos fenômenos e efemérides, independentemente da paisagem em que se encontre o observador.

O entendimento da mecânica celeste avançou na medida em que fatos novos, obtidos por abstrações pseudo-empíricas, passaram a ser integrados na totalidade das operações do sujeito, através de sucessivas reflexões e tomadas de consciência. A cada fato novo, retirado do céu, correspondem novos desequilíbrios e novas reequilibrações. Porém, o que sempre limitou a eficiência da hipótese astronômica foi a (quase) inacessibilidade ao plano empírico. Isto é, as hipóteses somente poderiam ser confirmadas a partir de novos dados, de novas inferências, sem acesso direto ao fenômeno (daí o interesse pela abstração reflexionante, porque ela explica o conhecimento não apenas por abstração empírica, mas como construção a partir da projeção das coordenadas das ações e a retirada do empírico (céu) do que os sujeitos colocaram lá em diferentes tempos). Em vista da dificuldade dos indivíduos fazerem inferências, predominaram os juízos de senso comum sobre o funcionamento da mecânica celeste.

6.3 ASTRONOMIA DO SENSO COMUM

Para Piaget o senso comum é o prolongamento dos hábitos próprios do realismo infantil, que considera os significantes como sendo os próprios objetos e como sendo mais real do que toda construção intelectual (PIAGET, 1978. pág. 184). Explicar que o Sol é constituído de fogo é uma legítima utilização de senso comum na tentativa de ex-

plicar o funcionamento de algo, pela justaposição de dois cenários perceptivos cujo acesso direto só é possível a um deles: a imagem do sol, quente e luminosa que lembra fogo em fogueiras, fogões, incêndios, etc. Chamar o céu de “firmamento” é não reconhecer a dinâmica estelar e fazer inferências a partir apenas de um quadro perceptivo. São dessa natureza também todas as explicações e lendas sobre a origem do mundo ou do universo das civilizações antigas e primitivas: o movimento celeste explicado a partir do movimento de uma tartaruga, o aparecimento do mundo a partir da expiração de uma entidade divina, entre tantos.

Retomando o modelo do sistema solar de Ptolomeu, poderia ser este modelo, dessa forma, resultado apenas de justaposições de quadros perceptivos ou de regulação ativa? Naquele modelo vimos que existe um controle sobre a percepção, controle esse mediado pelos registros e pelos cálculos, impostos pela matemática e pela geometria elementar.

À medida que os instrumentos vão se aperfeiçoando, as reflexões sobre as novas medidas, mais precisas, desequilibram os modelos antigos e fazem ressurgir novos modelos que satisfaçam as novas exigências devidas ao refinamento. O modelo proposto por Copérnico²¹, em face das dificuldades que começaram a aparecer e das contradições que apareciam no modelo de Ptolomeu frente às observações e aos registros mais acurados, conseguia resolver boa parte dos problemas trocando de posições, por hipótese, a Terra e o Sol. Mas aqui, novamente, o paradigma da época, ligado à religião, impedia que se avançasse neste particular, uma vez que estando o Sol no centro do sistema solar contrariaria as Escrituras Sagradas. Como o pensamento, predominantemente intuitivo, não consegue ler as representações do pensamento formal hipotético-dedutivo, as concepções de senso comum apregoadas pelo poder constituído na época, que era da Igreja Católica, conseguem calar Copérnico e sua hipótese de funcionamento do sistema solar se mantém desconhecida, até sua morte.

Satisfaz-se, aqui, o terceiro aspecto das equilibrações, com a coordenação simultânea de diferentes esquemas de ação. Em vista desses aspectos, verificamos novamente como a abstração empírica se encontra empobrecida pela pouca qualidade da restrita totalidade das reflexões, sendo a percepção dos dados retirados por abstração empírica por ela visivelmente perturbada pelas inferências vindo a ocasionar uma assimilação

²¹ Nicolau Copérnico (1473 – 1543)

deformante, com a adequação dos dados perceptivos à estrutura de assimilação pré-existente, que permanece inalterada.

Outro exemplo interessante é o caso da astrologia. A astrologia, anterior a Newton, era considerada como lei universal da natureza. As concepções astrológicas dessa época concordavam com as concepções aristotélicas em vários pontos, a saber: 1) que o céu e os corpos celestes eram inalteráveis e imutáveis; 2) que o movimento do céu era eterno, circular e perfeito; 3) que existia uma “quinta-essência” superior, distinta do “mundo inferior” da terra e seus elementos; 4) que neste mundo inferior prevaleciam os processos de geração, alteração e decomposição como as mudanças de estações, os movimentos geológicos, o nascimento e a morte das plantas e dos animais. A astrologia como ciência procurava fornecer uma visão orgânica e coerente de mundo, e não foi à toa que os alquimistas a consideravam uma ciência de base e estrutural para todo o conhecimento. Newton, Galileu e Kepler, para não citar outros, eram antes de tudo astrólogos, sintonizados com essa visão, e ganhavam algum dinheiro extra, fazendo mapas astrológicos para a nobreza da época (ROSSI, 1992).

O conhecimento matemático e astronômico da época era voltado para a astrologia, uma vez que ainda não existia a astronomia como ciência, da forma como a conhecemos. Toda investigação do céu, todo o aperfeiçoamento do conhecimento da mecânica celeste era deformado pelas concepções de senso comum e pelos paradigmas da época para se obter uma descrição a mais perfeita possível que legitimasse as previsões, e que estas pudessem ser cada vez mais corretas. A mecânica celeste era lida como tendo uma causalidade moral, existencial, sendo o céu uma estrutura viva, onde as estrelas e os planetas: “[...] têm poder evocativo, seduzem e aprisionam a mente, ‘representam o objeto no sentido pleno da palavra, isto é, tornam real sua presença, revelam as qualidades essenciais dos seres que se identificam com as estrelas e nelas se incorporam...’” (ROSSI, Idem).

As leis de Newton para a mecânica e para a gravitação universal, as leis de Kepler para o movimento dos planetas e os resultados das observações de Galileu acabaram dando o golpe mortal que derrotou a astrologia como ciência, separando de vez a astronomia das evocações do senso comum. Fato curioso: o grande argumento de Kepler, para quem o Sol deveria estar no centro do universo, era de origem teológica: o Sol era considerado a fonte de vida, luz e calor para todos os seres vivos; e a fonte da vida, da luz e do calor são características intrínsecas de Deus. Por que seria digno do homem

estar no centro do universo e não Deus, representado, no caso, pelo Sol (CASPAR, 1993)? Isto é, mesmo que a razão tenha organizado a percepção do movimento celeste (em particular o movimento dos planetas do nosso sistema solar) o argumento matemático de Kepler não consegue se dissociar da teologia e do paradigma religioso da época, servindo para comprovar este, e não para diferenciá-lo.

Serão todas as informações retiradas por abstração empírica ou por abstração pseudo-empírica convertidas em conhecimento através de reflexionamentos e reflexões? Podem existir assimilações (assimilações negativas), sem reorganização do pensamento?

6.4 PERCEPÇÃO E RAZÃO

A objetividade de uma experiência consiste na escolha dos observáveis. Nem sempre os observáveis que escolhemos contribuem com informações, com conteúdos significativos para as reflexões e as possíveis tomadas de consciência que possam advir delas. Muitas vezes não interpretamos determinadas informações perceptuais como sendo observáveis significativos para se realizar uma reflexão. Por exemplo, a atividade perceptiva sobre uma estrela pode nos dar duas informações empíricas: sua localização no cenário celeste e seu brilho. Por abstração pseudo-empírica, podemos tomar as medidas exatas da sua altura e do seu azimute. Com essas duas medidas, tomadas sistematicamente durante uma noite, podemos ter, com precisão, a sua velocidade de deslocamento pelo céu; cumulativamente, podemos ter sua velocidade ao longo do ano. Porém, nenhuma dessas medidas pode nos informar alguma coisa sobre a distância da estrela até nós. Que informações podemos obter a partir do seu brilho? Aparentemente, nenhuma!

Um observável para ser significativo deve ser inserido na totalidade das conexões. É essa totalidade que possibilita meta-reflexões, que é a reflexão sobre produtos já refletidos e que temos denominado, até aqui, de totalidade operatória. A partir do conheci-

mento sobre espectroscopia e espectrometria podemos determinar, através do brilho de uma estrela, a distância que ela se encontra de nós, sua temperatura, composição química, idade, etc. E tudo isso é inferencial, não observável diretamente por abstração empírica – mas, também, não sem a cuidadosa descrição do dado empírico. Isto é, a composição química e a distância da estrela até nós não podem ser observadas, como acontece com sua localização e seu brilho, mas podem ser mensuradas por instrumentos que possibilitem a atividade de medida; essa atividade não foi criada por abstração empírica mas por abstração reflexionante.

Portanto, para que um conteúdo empírico se torne significativo, é importante que o sujeito reconheça nesse conteúdo propriedades com as quais possa estabelecer relações lógicas. O reconhecimento de tais relações implica numa interação sujeito-objeto mediada por leituras perceptivas, avaliações dessas leituras e, então, leituras mais complexas e assim sucessivamente.

Em outro exemplo, no final de dezembro de 1612, mais precisamente em 28 de dezembro de 1612 e em 2 de Janeiro de 1613²², quando Galileu Galilei observava a “estrela” Júpiter, com seu telescópio, prendeu sua atenção o fato de que em torno do planeta havia quatro estrelas orbitando com períodos distintos e regulares. Ao fundo apareciam outras estrelas notadamente “fixas” em relação às quatro que orbitavam Júpiter. Porém, dentre tantas estrelas (excluindo as quatro que orbitavam Júpiter), havia uma que se deslocava pelo céu, mais rápida que as outras. Embora Galileu observasse esse movimento, jamais tomou consciência das particularidades dessa estrela. Foi a primeira vez que alguém “observou” o planeta Netuno - e o fez 250 anos antes de ter sido descoberto por Le Verrier²³.

Surge daí a questão: quem, afinal, descobriu Netuno? Quem na realidade descobre, ou inventa algo? É interessante lermos o que comenta Jean-François Robredo em um artigo²⁴ a respeito desse fato (tradução nossa):

“Questão surpreendente, mas significativa. A história mantém Le Verrier como descobridor oficial. Mas na batalha que foi furiosa na época também entre Le Verrier, o inglês Adams, que publicou no observatório de Greenwich os mesmos cálcu-

²² Astronomy Magazine. April 2003. *Ask Astro*, pág. 73. Milwaukee, USA: Kalmbach Publishing Co.

²³ Urbain Le Verrier (1811 –1877)

²⁴ ROBREDO, Jean-François. *Galilée a vu Neptune . . .* Ciel & espace: le magazine de l’astronomie. N° 442. Paris Fr: Association Française d’Astronomie, Mars 2007.

los previsivos antes do francês, e o alemão Galle que fez o primeiro avistamento observacional, somamos agora . . . Galileu.’

‘Pode-se considerar a observação simples, o resultado puro da experiência, como referência em matéria de descoberta? Esta questão revive a análise da relação entre o real e a ciência. Costumamos conceber o ato de conhecer como o fruto do diálogo entre a natureza e o espírito humano. Mas esta metáfora pode ser enganosa, visto que não existe relação simétrica e equilibrada neste diálogo. A natureza, tal como se apresenta a nossos sentidos, não tem discurso próprio, nem mensagem a transmitir: Netuno não falou a Galileu! Não existe ato de conhecimento só pelo ato de contato sensorial, imediato e evidente. Em compensação, o trabalho do entendimento faz emergir uma mensagem, um discurso e finalmente um conhecimento da natureza. Não existe fenômeno natural sem trabalho de reflexão. É o mesmo que dizer que o fenômeno natural não existe. Portanto, não podemos confundir sensação e existência: o planeta Netuno pode muito bem existir depois de 4 milhões de anos sem que o percebamos sensorialmente, embora saibamos de sua existência.’

A invenção da luneta é anterior à utilização dela por Galileu. Antes de chegar a suas mãos, seu inventor, Lipperhey²⁵ já a utilizava para observar as paisagens, sendo que sua primeira aplicação foi náutica. Antes de Galileu, outros já haviam observado os mesmos panoramas celestes que Galileu observou, e com registros. Por que, então, estes primeiros observadores não transformaram suas observações em conhecimento, como o fez Galileu? Por que Galileu sentiu necessidade de entender o que observava? A necessidade é fruto de coordenações lógicas de natureza operatória; ela impõe-se quando do acabamento ou do fechamento de uma estrutura (lógico-matemática). Logo, a necessidade aparece com os resultados das abstrações reflexionantes. As generalizações do pensamento intuitivo podem se constituir a partir das abstrações empíricas; porém, o dado perceptivo é significado pelas abstrações reflexionantes, cujos resultados geram necessidades. A necessidade é a energia da estrutura. No caso de Galileu, o movimento da “estrela” frente a estaticidade das outras aparece apenas como uma descrição de modificações de um cenário perceptual, porém seu interesse estava totalmente voltado para as novas descobertas em relação a Júpiter. De outro modo, a emoção em descobrir as novidades sobre Júpiter superaram uma pequena generalidade proveniente do quadro perceptivo como um todo.

A história da astronomia é rica em exemplos desse tipo, desde a aplicação da geometria, quando se apontaram os compassos para o céu, até a descoberta da possibilidade de se fazer a análise espectral das estrelas, da mesma maneira como se faz com as substâncias aqui na Terra, para descobrir sua composição química; desde a classificação

simples das estrelas pelos seus brilhos, criando uma escala de magnitude, até a medida da intensidade luminosa desses brilhos com um fotômetro, da mesma maneira como se faz para avaliar a potência de iluminação de uma chama; desde a medida das distâncias dos planetas do sistema solar pelas relações angulares entre eles, a Lua e o Sol, até a medida das distâncias estelares e galácticas, cujos valores se tornaram extremamente grandes a ponto de se inventarem novas unidades de medida.

Invariavelmente, o ser humano passa a vida organizando o seu mundo. A função organizadora da inteligência organiza o mundo desde o estágio sensório-motor, em suas relações com o imediato e o atual, até os estádios de meta-reflexão, cujos objetos de ação são virtuais. Quando a contradição aparece, novas reorganizações se fazem necessárias. A abstração reflexionante refina a abstração empírica e esta lhe fornece os dados que confirmam ou não suas hipóteses. Não foi o que aconteceu em agosto de 2006, quando da escolha da nova nomenclatura dos planetas?

Em agosto de 2006, a União Astronômica Internacional resolveu reclassificar os planetas em vista da complexidade e da multiplicidade de corpos celestes que estavam sendo descobertos dentro do próprio sistema solar. Pela classificação antiga, para ser planeta bastava orbitar em torno do Sol. Hoje, devido à qualidade das reflexões e das meta-reflexões sobre os resultados, de observações cada vez mais refinadas, trazidos pelos reflexionamentos, foi necessário uma nova reorganização, não mais do mundo, mas do universo, numa escala que comporta mais características de classificação, com qualidades dos objetos cada vez menos observáveis.

Lembremos também dos primeiros croquis de galáxias feitos a lápis, ainda nos anos 1700, a partir da observação do céu, com os primeiros grandes telescópios. Esses croquis, com seus detalhes limitados não só à capacidade de reprodução do que se via, mas também às ainda não tão boas qualidades ópticas dos instrumentos levaram os pesquisadores a interpretar o que viam sob formas que hoje nada têm a ver com o nome que deram às suas descobertas. Galáxia do Cata-vento, Nebulosa dos Alteres, Galáxia do Esquimó, entre tantas. Hoje nada lembram dos nomes a elas atribuídos, devido à riqueza de detalhes trazidos pelos atuais equipamentos eletrônicos de altíssima resolução de imagens.

²⁵ Hans Lipperhey (1570 – 1619)

Nessa época, os objetos celestes não apresentavam cores! Não por não serem coloridos, mas porque a radiação emitida, devido a grande distância a que se encontram, não ativa as células responsáveis pela percepção da cor, somado ao fato que o olho não armazena impressões luminosas. Com o advento da câmara fotográfica, padrões coloridos puderam ser fixados em um filme que poderia ser exposto por intervalos de tempo bastante longos o suficiente para que diferentes radiações pudessem fixar-se numa imagem. Essa técnica revelou novas formas e novos elementos constituintes do céu dos quais nunca sequer cogitou-se a existência. Essas novas formas, antes invisíveis, alteraram sobremaneira a percepção a ponto de constituírem novas fontes de abstração reflexionante, que por sua vez lançaram novas propriedades aos objetos, ressignificando cada vez mais a abstração empírica e refazendo profundamente as abstrações pseudo-empíricas.

Hoje, devido às contribuições desse refinamento tecnológico dos instrumentos de observação do céu podemos diferenciar, por abstração pseudo-empírica, as diferentes temperaturas associadas às cores das estrelas, suas idades e até mesmo avaliar suas distâncias e inferir suas composições químicas a partir da “leitura” de uma fotografia em livros, revistas, filmes, etc.

À GUISA DE CONCLUSÃO

Retomando o objetivo deste trabalho, podemos verificar que a organização do conhecimento não é algo que se faz de uma hora para outra ou da noite para o dia. O ser humano, na sua individualidade, demora, em média, doze anos para poder dispor de uma estrutura que lhe possibilite organizar o mundo e a si próprio. E isto não garante e não significa que ele disporá de todas as possibilidades dessa estrutura para ler plenamente o mundo pelo resto de sua vida.

Já nos primeiros dias de vida ativa, fica evidente que as ações reflexas não constituem uma totalidade que permita ao sujeito agir com a plenitude de seus movimentos sobre o mundo. Os braços têm alcance limitado, os objetos nem sempre estão na posição adequada para que as mãos se encaixem para apreendê-lo, nem sempre os objetos se encaixam perfeitamente nas mãos, exigindo torções, rotações, distensões e contrações

musculares, além daquelas ações musculares mínimas do exercício próprio do ato reflexo. São essas inadequações que geram os primeiros desequilíbrios das ações motoras. O organismo precisa se reorganizar para se adaptar às novas exigências do meio físico. O corpo precisa levantar, torcer-se, a cabeça precisa virar para olhar, para escutar. Enfim, as pressões do meio solicitam novas acomodações do arcabouço assimilador do sujeito. Sem essas novas acomodações, refazendo o ciclo de adaptação, o organismo pode até não sobreviver.

À medida que se desenvolve, o sujeito, além de aprimorar as ações físicas, aprimora paralelamente outras ações em nível de pensamento. Estas ações, coordenadas internamente, passam a coordenar as ações externas. Os esquemas motores evoluem das ações reflexas às ações pensadas; passará, então, a ocorrer em pensamento antes de ocorrer fisicamente.

Gradualmente, à medida que sujeito e objeto interagem (considerando objeto, tudo que não for o sujeito) as ações do pensamento vão assumindo cada vez mais o controle das regulações sobre os desequilíbrios nos dois planos, mental e físico, a ponto de superarem as ações físicas neste particular. A experiência física tem como instrumentos de regulação dos desequilíbrios físicos o próprio corpo; a ação mental tem como instrumentos de regulação, tanto dos desequilíbrios físicos quanto dos desequilíbrios mentais, as operações, produtos das abstrações.

O conhecimento astronômico, embora sustentado em suas particularidades pelas aquisições em todas as áreas do conhecimento humano, faz-se único pelo fato de ser toda leitura ou informação sobre o assunto de ordem inferencial, sem possibilidade de comprovação empírica direta. E quando falamos de inferências nos referimos a propriedades operatórias das estruturas que estão além do nível proposicional, pois podem ser interproposicionais e transproposicionais. Isto é, a compreensão da mecânica celeste, da astrofísica e de outras áreas da astronomia, não se faz com uma simples leitura perceptiva; ela não constitui um amontoado de quadros perceptivos e de associações passivamente recebidas. Ao contrário, todas suas relações são constituídas por vínculos internos muito fortemente assentados em leis de formação, estruturalmente bem definidas. Os objetos celestes que são trazidos pela percepção na forma de imagem devem ser lidos como realidades intelectuais, pois as imagens deste cenário não podem ter apenas um aspecto figurativo, mas devem ser objetos que têm sua concretude como produto de elaborações geométricas, cinemáticas, causais, etc., enfim, dos atos da inteligência.

Uma leitura do céu não será feita no âmbito do conhecimento científico se o seu cenário como um todo não estiver impregnado de significantes.

Quando dizemos que a abstração pseudo-empírica se encontra apoiada na totalidade das experiências do sujeito e de seus resultados, podemos levantar o fato que um sujeito singular não consegue realizar, numa vida, todas as experiências possíveis que possam permitir-lhe adquirir uma quantidade de conhecimentos tão abrangente que consiga entender todos os fenômenos da natureza. Na realidade, a totalidade do conhecimento humano é construída a partir da síntese das experiências de todos os indivíduos que compõe esta humanidade.

A culminância de um resultado, numa pesquisa científica, por exemplo, não só nos deve apontar os resultados finais, mas também deve vir acompanhada da forma como todas as ações físicas e mentais foram coordenadas para que se conseguisse expressar os resultados ou a elaboração final de um conceito. Normalmente, a expressão dessa elaboração é apresentada através da escrita. O registro da coordenação dessas ações, realizadas no ambiente de um laboratório, permite que outros indivíduos reproduzam a mesma experiência, através de um caminho que traduza uma lógica operacional compreensível e factível, utilizando uma economia de energia considerável, se considerarmos o processo de descoberta individual e das tomadas de consciência que ocorrem nesse processo.

Podemos, numa atitude arbitrária, escolher entre permanecer na compreensão dos fenômenos astronômicos apenas no nível das classificações, como o dispõem os currículos escolares, ou até mesmo optar pelos mitos, pelo folclore, pela magia e pelas crenças com origem nas explicações do senso comum. Nenhuma dessas classificações, entretanto, comporá a totalidade operatória que permite acompanharmos, com senso crítico e espírito verdadeiramente científico, a evolução das pesquisas nas áreas da astronomia, quando divulgadas pela literatura ou pela mídia.

Portanto, aqui vemos muito claro o papel da escola na divulgação e na perpetuação das notícias e dos registros das descobertas. O conhecimento dos processos que levaram outros indivíduos a desvelar segredos da natureza pode, de alguma maneira, incitar, acelerar e ampliar a compreensão dos fenômenos. De posse do conhecimento desses registros não haverá necessidade de se dispender o mesmo tempo que foi necessário para que os mesmos fossem elaborados inicialmente, trazendo para a atualidade as mesmas estranhezas, os mesmos problemas, as mesmas situações desequilibradoras, que

deflagraram todas as coordenações de ações que organizaram as reflexões posteriores conduzindo às diferentes tomadas de consciência.

Por isso, é muito importante reconhecermos o desenvolvimento cognitivo alcançado por diferentes indivíduos, tanto em quantidade quanto em qualidade. A adequação da linguagem e das atividades deve propiciar avanços no entendimento dos mecanismos que regem a estrutura cósmica, a partir da construção contínua de novos patamares de abstração. O conhecimento astronômico não se constituiu por uma única, mas por diversas e sucessivas tomadas de consciência ao longo do tempo. É necessário que introduzamos atividades que façam com que o sujeito consiga se apropriar das próprias ações, apropriando-se, inclusive, de suas primeiras concepções intuitivas. Ao invés de apenas contrariar essas intuições, ou negá-las, é mais construtivo colocá-las, pedagogicamente, em contradição, pois, como vimos, gera-se assim um desequilíbrio cognitivo; do mesmo modo, deve-se propiciar experiências de variadas naturezas para que o sujeito logre ultrapassar os desequilíbrios causados pelas contradições.

Ao falar em variadas experiências, reportamo-nos primeiramente às atividades de sala-de-aula, de um laboratório estrategicamente bem montado, mas não podemos esquecer que qualquer atividade que possa ser desenvolvida em um laboratório escolar, ou qualquer outro ambiente, nunca irá reproduzir a situação do real conhecimento do céu. Toda atividade experimental e os resultados das reflexões sobre as atividades, com tomada de consciência ou não, servirão apenas para ampliar a totalidade operatória do sujeito ampliando sua capacidade inferencial. Tratará, assim, das coisas do céu e terá controle sobre a atividade perceptiva podendo valer-se produtivamente de abstrações empíricas.

Raras (para não dizer nenhuma) escolas promovem atividades de observação do céu para que os alunos familiarizem-se com a mecânica mais simples dos seus movimentos. Mesmo com a impossibilidade de chamar os alunos para uma atividade noturna, os movimentos do céu, durante o dia, protagonizados principalmente pelo Sol, e às vezes pela Lua, trazem para as atividades de sala de aula uma riqueza muito grande de observações que podem ser aplicados a diferentes conteúdos, de diferentes disciplinas. Desde a medida de ângulos de sombras, medida de velocidade de movimentos do Sol, avaliação da taxa de radiação incidente no ambiente, entre muitos outros.

E não é pouco o material escrito por diferentes autores brasileiros em revistas especializadas a respeito do ensino de astronomia e suas relações com outras disciplinas.

Aproveito para lembrar aqui o trabalho desenvolvido pelo professor Rodolpho Caniato, ao longo das décadas de 1980 e 1990, que muito nos inspirou a vincular conteúdos de astronomia aos conteúdos de física do ensino regular. Seus livros didáticos “*A Terra em Que Vivemos*” (Campinas, SP: Papirus, 1989) e “*O Céu*” (São Paulo, SP: Ática, 1993) são clássicos para esse tipo de atividade. São dignos de mencionar também “*O Que é Astronomia*” (São Paulo, SP: Brasiliense, 1994) e “*Com(ns)ciência na Educação*” (Campinas, SP: Papirus, 2003). O professor Caniato tem também escrito uma peça teatral em três atos, “*Joãozinho da Maré na Escola*”, cujo tema central também é a divulgação da astronomia.

Num trabalho recente, de defesa de dissertação de mestrado no Instituto de Física da UFRGS, por exemplo, o tema era o estudo da astronomia como motivação para o estudo de física em Oitava Série do Ensino Fundamental (MEES, 2004).

Destaco como referências para consulta a respeito do ensino de astronomia, tanto por especialistas quanto por professores de rede pública e particular, os seguintes periódicos: *Revista de Ensino de Física e Física na Escola*, ambas publicadas pela *Sociedade Brasileira de Física*; *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (antigo *Caderno Catarinense de Ensino de Física*), editado pelo Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Para escolas que podem dispor de acesso direto à rede mundial de computadores, encontram-se disponibilizados hoje uma infinidade de projetos de agendamento para se realizar observação remota do céu. Em todas as atividades propostas, nesses projetos, existem diferentes atividades para serem integradas com os conteúdos escolares regulares, em tempo real. Juntamente com essas atividades, acompanham projetos de aperfeiçoamento de professores para operar, com eficácia, os agendamentos e os acessos remotos. Contamos, no Brasil, com o Projeto Telescópios na Escola²⁶, que vem acompanhado de cinco telescópios que estão distribuídos por cinco estados brasileiros. O Rio Grande do Sul é representado, nesse projeto, pelo Colégio Militar de Porto Alegre, que atua em convênio com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Esse projeto tem como modelo outro projeto internacional, o Telescopes In Education²⁷, EUA, administrado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e pelo Jet Propulsion Laboratory (JPL), do California Institute of Technology (Caltech). Mais recentemente-

²⁶ Disponível em <http://www.telescopiosnaescola.pro.br/>, agosto, 2007.

²⁷ Disponível em <http://www.telescopesineducation.com/>, agosto, 2007.

te, o projeto Hands-On Universe²⁸, EUA, do The Lawrence Hall of Science at University of California, Berkeley, oferece atividades astronômicas para a comunidade escolar do Brasil. O único inconveniente desses dois projetos é o idioma.

Além dos projetos de observação remota, existem ainda os simuladores de céu. Alguns são vendidos via rede mundial de computadores e outros são disponibilizados, nessa rede, gratuitamente. A qualidade dos simuladores de céu oscila da representação pictórica dos componentes do céu, com dinâmica limitada, até simuladores que se aproximam do aspecto visual real. A vantagem de se trabalhar em um simulador é a facilidade que se tem de trocar as datas dos eventos, podermos alterar a velocidade de ocorrência do evento, mudar o local de observação, evitar a poluição luminosa (o simulador *Starrynight*²⁹ chega a ponto de ter opção de céu para diferentes intensidades de poluição luminosa para observação), ler um catálogo de informações sobre cada astro, entre tantos. Dissemos, em vários momentos deste trabalho, que os fenômenos do céu não podem ser manipulados. Porém, com os simuladores do céu essas manipulações podem acontecer à vontade.

A mais recente novidade parece ser o Google Sky³⁰, onde se encontram disponibilizados via internet um acervo de imagens contendo 100 milhões de estrelas e 200 milhões de galáxias, com possibilidade de acesso a hipertextos que conduzem o internauta a outros pontos da rede, tais como a Wikipédia e as páginas de observatórios em atividade virtual e em tempo real.

Antes de finalizar, acredito que, ao descrever a forma como se constrói o conhecimento astronômico, tendo como suporte a abstração reflexionante de Jean Piaget, respondi, também, ao desafio³¹ colocado pelo Prof. Dr. Kepler de Oliveira Filho, do Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS. Na XXXI Reunião Anual da Sociedade Astronômica Brasileira, em Águas de Lindóia, São Paulo, em agosto de 2005, perguntou-me ele: “As crianças, com os recursos tecnológicos de hoje, têm condições de aprender fundamentos de astronomia e astrofísica?”.

²⁸ Disponível em <http://www.handsonuniverse.org/>, setembro, 2007.

²⁹ Disponível em www.space.com, setembro, 2007.

³⁰ Disponível em <http://idgnow.uol.com.br/internet/2007/08/22/idgnoticia.2007-08-22.2584123902/>, outubro, 2007

³¹ GOMES, Luiz Carlos. **As Descobertas da Astronomia e da Astrofísica à Luz da Teoria da Abstração Reflexionante de Jean Piaget**. Porto Alegre, UFRGS, Julho de 2006. Proposta de Dissertação de Mestrado. PPGEduc. UFRGS.

Acrescento, ainda, o conhecimento astronômico nunca esteve, em outro momento da nossa história, tão acessível como atualmente. Se falarmos em multimeios, a astronomia é fartamente explorada por documentários televisivos: noticiários, *podcasts* ou, ainda, reportagens especiais. Livrarias e bancas de revistas oferecem, periodicamente, lançamentos de documentários na forma de discos compactos (CDs).

Finalmente, o conhecimento astronômico é tão vasto e complexo quanto vasta e complexa é a epistemologia genética de Jean Piaget. É impossível abordar essas duas áreas de conhecimento em uma dissertação, apenas. Muitos exemplos astronômicos não foram abordados e muitos aspectos da epistemologia genética não foram sequer tocados. Porém, espero que esse trabalho constitua uma referência que gere textos científicos. Textos que explorem, com mais detalhes, o que não pôde ser aqui abordado em função dos limites próprios de uma dissertação.

BIBLIOGRAFIA

ADAS, Melhem. **Geografia**. 5^a Série. 4^a Ed. São Paulo: Moderna. 2001

BECKER, Fernando. **Educação e Construção do Conhecimento**. Porto Alegre: ARTMED, 2001. 125p.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999. 364p.

BRINGUIER, Jean-Claude. **Conversando com Jean Piaget**. Trad. de Maria José Guedes. 2^a Ed. Rio de Janeiro: Bertrnd Brasil, 1993. 210p.

CALLEN, Herbert B. **Thermodynamics, an Introduction to the Physical Theories of Equilibrium Thermostatitics and Irreversible Thermodynamics**. New York: John Wiley & Sons, 1960. 376p.

CASPAR, Max. **Kepler**. MewYork: Dover, 1993. 450p.

CASTORINA, José Antonio; PALAU, Gladys Dora. **Introduccion a la Logica de Piaget: Alcances e Significado para la Psicologia Genetica**. Barcelona: Paidos, 1982. 200p.

CERNACH, Mirlene C. P. **A Gênese da Mente**. Fascículo 1: A mente do bebê. Revista Mente e Cérebro Especial. S.Paulo: Duetto, 2006.

DANIELSON, Dennis. **The First Copernican: Georg Joachim Rheticus and the Rise of the Copernican Revolution**. New York: Walker & Co., 2006. 264p.

DELBONI, Henrique; ROTA, Paulo. **Geografia para todos**. 5^a Série. S. Paulo: Scipione, 2003.

Dicionário HOUAISS da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro: Objetiva. 2004.

HENEINE, Ibrahim Felipe. **Biofísica Básica**. Biblioteca Biomédica. Rio de Janeiro: Atheneu, 1984. 385p.

FERREIRA, Máximo; ALMEIDA, Guilherme de. **Introdução à astronomia e às observações astronômicas**. 6ª Edição. Lisboa: Plátano, s/d. 305p.

KRUPP, Edwin. **Echoes of the Ancient Skyes: The Astronomy of Lost Civilizations**. New York: Dover, 1983. 386p.

LUCCI, Elian Alabi; BRANCO, Anselmo Lazaro. **Geografia: Homem & Espaço – A Natureza, o Homem e a Organização do Espaço**. 5ª Série. 17ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

MEES, Alberto Antonio. **ASTRONOMIA; Motivação para o Ensino de Física para a 8ª Série**. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física. UFRGS. Porto Alegre, 2004. Disponível em PDF.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. Trad. Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 434p.

PANNEKOEK, Anton. **A History of Astronomy**. New York: Dover, 1960. 530p.

PIAGET, Jean. **The Mecanisms of Perception**. Translated by G. N. Seagram. London: Routledge & Kegan Paul, 1969. 384p.

_____ et all. **Tratado de Psicologia Experimental**. Volume VI. A percepção. Cap. XVIII: O desenvolvimemnto da percepção em função da idade. Rio de Janeiro: Forense, 1969. 230p.

_____ ; **La Representacion del Mundo em el Niño**. Com la portación de 11 colaboradores. Version espanola de Vicente Valls Y Angles. Madrid: Morata, 1973. 333p.

_____ ; Inhelder, B. **Da Lógica da Criança à Lógica do Adolescente: Ensaio Sobre a Construção das Estruturas Operatórias Formais**. Trad. Dante Moreira Leite. São Paulo: Pioneira, 1976. 260p.

_____ ; INHELDER, Barbel. **A Imagem Mental na Criança. Estudo Sobre o Desenvolvimento das Representações Imagéticas**. Trad. Antonio Couto Soares. Porto: Civilização Editora, 1977. 530p.

_____ et al. **A Tomada de Consciência**. Trad. Edson Braga de Souza. São Paulo: Melhoramentos, Ed. da Universidade de São Paulo.,1977. 212p.

_____. **O Desenvolvimento do Pensamento. Equilíbrio das Estruturas Cognitivas**. Trad. Álvaro de Figueiredo. Lisboa: Dom Quixote, 1977. 230p.

_____. **A Construção do Real na Criança**. 3^a Edição. Trad. Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: ZAHAR, 1979. 360p.

_____. **O Nascimento da Inteligência na Criança**. Trad. Álvaro Cabral. Porto Alegre: Globo; São Paulo: EDUSP, 1979. 396p.

_____. **A Formação do Símbolo na Criança: Imitação, Jogo e Sonho, Imagem e Representação**. 3^a Edição. Trad. Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: ZAHAR, 1990. 370p.

_____. **Biología y Conocimiento: Ensayo Sobre las Relaciones Entre las Regulaciones Orgánicas y los Procesos Cognitivos**. 10^a Edição. Trad. Francisco González Aramburu. México: sigloveintiuno editores, 1990. 338p.

_____; INHELDER, Barbel. **A Representação do Espaço na Criança**. Trad. Bernardina Machado de Albuquerque. Porto Alegre: Artes Médicas, 1993. 505p.

_____; **Abstração Reflexionante: Relações Lógico-Aritméticas e Ordem das Relações Espaciais**. Trad.: Fernando Becker e Petronilha B. G. da Silva. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995. 292p.

PRIGOGINE, Ilya. **Time, Structures and Flutuations**. Nobel Lecture. Université Libre de Bruxels, Brussels, Belgium and University of Texas at Austin, Austin Texas, USA. 8 de dezembro, 1977. Em arquivo PDF.

THOMSEN, John S. **Thermodynamics of an Irreversible Quasi-Static Process**. American Journal of Physics, 28, 119, 1960.

WATSON, Fred. **Stargazer: the Life and Times of the Telescope**. Cambridge: Da Capo Press, 2005. 342p.

ÍNDICE

- Abóbada celeste, 18
- Abstrair, 25
- Abstração, 40
- Abstração empírica, 25, 40
- Abstração pseudo-empírica, 15, 42
- Abstração refletida, 25, 49
- Abstração reflexionante, 25
- Acomodação, 38
- Assimilação, 38
- Astronomia, 17-18
- Atividade perceptiva, 41
- Binóculos, 21
- Céu, 18
- Ciclo de adaptação, 38
- Conceito, 60
- Condições de equilíbrio, 51
- Correlativa de uma operação, 58
- Criação, 38
- Equilibração, 25, 51
- Equilibração majorante, 37
- Equilíbrio acomodaçãoXassimilação, 39
- Equilíbrio cognitivo, 36
- Equilíbrio dinâmico homeorrético, 36
- Equilíbrio mecânico, 30-31
- Equilíbrio termodinâmico, 31-35
- Equilíbrio termodinâmico quase-estático, 34
- Esquemas de assimilação, 38
- Estado termodinâmico, 32
- Estrelas, 18
- Estrelas Novas, 44
- Estrelas supernovas, 44
- Estruturas, 51
- Força, 31
- Função figurativa, 42
- Função operativa, 42
- Galáxia, 41
- Homeorrese, 36
- Homeostase, 36
- Inferências, 70
- Inversa de uma operação, 56
- Mecanismos de percepção, 41
- Mecanismos homeostáticos, 36
- Midríase, 19
- Miose, 19
- Movimento próprio de uma estrela, 23

Nebulosas, 42

Necessidade, 67

Negações parciais, 54

Novidades, 38, 48

Objetividade de uma experiência, 65

Objeto, 69

Observáveis, 65

Operação, 54

Operações concretas, 58

Patamares de equilíbrio, 38

Pensamento pré-operatório, 54

Pensamento operatório-concreto, 55

Pensamento operatório-formal, 55, 59

Percepção, 42

Perturbação, 53

Planeta, 22

Precessão dos equinócios, 23

Recíproca de uma operação, 57

Reequilibração, 37

Reflexão, 25, 46

Reflexionamento, 25, 45

Regulações, 51

Reversibilidade, 31

Reversibilidade por inversão ou negação, 55

Reversibilidade por reciprocidade, 56

Senso Comum, 62

Servo-mecanismos, 36

Sistemas biológicos, 35

Sujeito, 44

Telescópios, 21

Transformações irreversíveis, 33

Transformações reversíveis, 34

Via-Láctea, 18

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO

Luiz Carlos Gomes

AS DESCOBERTAS DA ASTRONOMIA À LUZ DA TEORIA DA ABSTRAÇÃO
REFLEXIONANTE DE JEAN PIAGET

Porto Alegre

2007

Luiz Carlos Gomes

AS DESCOBERTAS DA ASTRONOMIA À LUZ DA TEORIA DA ABSTRAÇÃO
REFLEXIONANTE DE JEAN PIAGET

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação.

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Becker

Porto Alegre

2007

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

G633d Gomes, Luiz Carlos

As descobertas da astronomia à luz da teoria da abstração reflexionante de Jean Piaget [manuscrito] / Luiz Carlos Gomes; orientador: Fernando Becker. – Porto Alegre, 2007.

83 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Educação. Programa de Pós-Graduação em Educação, 2007, Porto Alegre, BR-RS.

1. Epistemologia genética. 2. Pensamento operatório. 3. Abstração reflexionante. 4. Percepção. 5. Astronomia – Ensino. 6. Piaget, Jean. I. Becker, Fernando. II. Título.

CDU – 159.953.5

Aos meus pais, Carlos Luiz Gomes e Alira dos Santos Gomes, com uma certeza que a herança que eles estão me deixando frutificou, rendeu juros, dividendos e transbordou as expectativas de quem teve inicialmente como grande sonho na vida ser bancário.

Postumamente ao meu padrinho, Clemente Edvino Link, Mestre Link, que desde quando eu era pequeno, me chamava para conversarmos sobre a conquista espacial, os mistérios do universo, os mistérios da vida, os mistérios da mente e formulava perguntas que me deixavam em estado de permanente reflexão até o nosso próximo encontro.

AGRADECIMENTOS

Quando um sujeito de 54 anos conclui uma dissertação ou uma tese, não se deve perguntar quanto tempo ele demorou em escrevê-la: este trabalho mostra que qualquer coisa que acreditemos que tenha sido escrito em meia-hora, em dois anos, em dois anos e meio, na verdade foi escrito durante toda sua vida. O fechamento pôde ser feito em um curto período. Mas as idéias, sua estrutura, seus erros, enganos e acertos foram organizados desde antes do seu primeiro choro. Por isso, vai ser difícil agradecer a todas as pessoas que contribuíram para que esta dissertação estivesse concluída. É difícil lembrar de todos e é impossível relacionar aqui todos aqueles que pudermos lembrar. Vamos fazer um esforço para, pelo menos, citar os mais imediatos, a saber:

Aqueles que mais participaram, que mais foram sonogados da nossa companhia nesse período de estudos, de escrita e revisões, com certeza foram minha mulher, meus filhos, meus enteados e os netos que são recém-chegados ao planeta. Agradecer a eles é muito pouco.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Becker, pela paciência, pela precisão nas críticas e sugestões, pelas horas em que ao ler e reler meus escritos também teve que se ausentar do carinho dos seus, e pela grande aula que tive, através de nossos contatos, mostrando na prática como se deve proceder para ser um grande orientador.

Aos colegas que participaram das diferentes fases da disciplina Seminários Avançados (EDUP – 153) oferecida semestralmente pelo PPGEdU – UFRGS, pois foi graças às discussões, às colaborações, à participação nas experiências e principalmente por terem colocado dúvidas que passaram a ser nossas também, que a fundamentação teórica deste trabalho muito se enriqueceu.

À Secretaria do PPGEdU – UFRGS e à ComPós pela tolerância nos prazos que não puderam ser cumpridos.

Ao Colégio Militar de Porto Alegre, seja a Instituição, sejam os colegas, pelas concessões e dispensas de horário que me permitiram fazer o exercício da reflexão, tão necessários a esse tipo de trabalho.

Aos alunos e ex-alunos do Clube de Astronomia do Colégio Militar de Porto Alegre que, com certeza, foram fonte inspiradora e motivadora permanente.

À Direção e aos colegas do Colégio Anchieta de Porto Alegre, que, mesmo sabendo das dificuldades que adviriam da minha ausência na coordenação dos laboratórios de física, independentemente de qualquer obrigação legal, me concederam licença de dois anos para cursar as disciplinas do mestrado. Fico com o sentimento de não mais poder ter retornado, pois fatos novos durante o período de minha ausência me impossibilitaram de voltar a ocupar o lugar que me cabia na Instituição.

A todas as escolas em que trabalhei, em particular ao Colégio Sévigné, sem deixar de lembrar das colegas Petronilha Beatriz Gonçalves da Silva e Ana Cristina Rangel, pelos desafios de diferentes ordens que me foram propostos e pelas primeiras leituras e discussões sobre o trabalho de Piaget, Paulo Freire, entre tantos.

Às incompreensões e às intolerâncias retribuímos com nossa compreensão e tolerância.

Na verdade, é quase um milagre que os métodos modernos de instrução não tenham exterminado completamente a sagrada sede de saber, pois essa planta frágil da curiosidade científica necessita, além de estímulo, especialmente de liberdade; sem ela, fenece e morre. É um grave erro supor que a satisfação de observar e pesquisar pode ser promovida por meio da coerção e da noção do dever. Muito ao contrário, acredito que seria possível eliminar por completo a voracidade de um animal predatório obrigando-o, à força, a se alimentar continuamente, mesmo quando não tem fome, especialmente se o alimento usado para a coerção for escolhido para isso.(EINSTEIN, Albert. Notas Autobiográficas, 1982. Pág.26)

RESUMO

Procuramos fundamentar e explicitar neste trabalho o modo pelo qual o sujeito organiza, pessoal, coletiva e historicamente seu conhecimento astronômico. Toma-se como referencial teórico para essa organização a epistemologia genética de Jean Piaget, em particular sua teoria da abstração reflexionante. Apontam-se, na revisão bibliográfica, aspectos que se consideram relevantes para o conhecimento astronômico, tanto do ponto de vista teórico quanto histórico, seguindo uma direção que estrutura a gênese desse conhecimento específico, desde as estruturas sensório-motoras do sujeito, passando pelo pensamento pré-operatório, o pensamento operatório concreto e o pensamento operatório formal. O caminho seguido, uma vez que não podemos abranger o trabalho de Piaget na sua totalidade, foi o de fundamentar a aquisição do conhecimento no equilíbrio cognitivo, conseguido através de abstrações empíricas e reflexionantes, tendo como modelo, principalmente, o equilíbrio dos sistemas biológicos. Isso é, pretendemos mostrar como o conhecimento astronômico, iniciando pela percepção do céu, mediado pelo processo de equilíbrio e de abstração reflexionante, evolui por sucessivas tomadas de consciência dos fenômenos celestes e, ao mesmo tempo, das compreensões do próprio sujeito.

Apontam-se, finalmente, algumas sugestões pedagógicas para que os fenômenos dos céus, inferenciais na sua totalidade, possam ser compreendidos em diferentes níveis de suas possíveis leituras.

PALAVAS-CHAVES: Epistemologia genética. Pensamento pré-operatório. Pensamento operatório concreto. Pensamento operatório formal. Abstração empírica. Abstração reflexionante. Percepção. Abstração pseudo-empírica. Abstração refletida. Astronomia. Ensino de Astronomia.

ABSTRACT

This work has the objective of fundamental and explicit in what ways one organizes, personal, collective and historically, its own astronomic knowledge. Jean Piaget's genetics epistemology is taken as the referential theory, and the reflexionant abstraction theory taken as the central point. Through a checking on the bibliography, different aspects considered relevant for the astronomic knowledge are pointed out, in theory as in history, following a direction that structures the genesis of this specific knowledge, since one's sensory-motor structures, going through the pre-operational thinking, the concrete operational thinking and the formal operational thinking. The way through which it was done, since we cannot go thorough the complete work of Piaget, fundamentals the acquisition of knowledge on the cognitive equilibrium, acquired through empiric and reflexionant abstractions, having as a model, mainly, the biological systems equilibrium. In another way, with the astronomic knowledge, taken from the skies' perception, mediated by the equilibrium theory and the reflecting abstraction theory, leads to the perception and understanding of the celestial phenomenon.

By the end, the conclusions also point out suggestions in a pedagogical level so that the skies phenomenon, inferential in their totality, can be fully comprehended in all different ways of possible reading.

KEY-WORDS: Genetic epistemology. Pre operational thinking. Concrete operational thinking. Formal operational thinking. Empiric abstraction. Reflexionant abstraction. Perception. Pseudo empiric abstraction. Reflected abstraction. Astronomy. Astronomy teaching.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO	14
3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DA ASTRONOMIA	14
3.1 A OBSERVAÇÃO ASTRONÔMICA	18
3.1.1 O que é a Astronomia?	18
3.1.2 O que vemos ao olhar para o céu?	20
3.1.2.1 A FISIOLOGIA DO OLHO NA OBSERVAÇÃO ASTRONÔMICA	20
3.1.2.2 MOVIMENTOS DO CÉU	21
4 A FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	26
4.1 MÉTODO DE ANÁLISE E JUSTIFICATIVAS	29
5 A CONSTRUÇÃO DO MUNDO	31
5.1 EQUILÍBRIO MECÂNICO	33
5.2. EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO	34
5.3 EQUILÍBRIO BIOLÓGICO	38
5.4 EQUILÍBRIO COGNITIVO	39
5.5 AS ABSTRAÇÕES	42
5.5.1 Abstração Empírica	43
5.5.2 Abstração Reflexionante	45
5.5.2.1 ABSTRAÇÃO PSEUDO EMPÍRICA	45
5.5.2.2 REFLEXIONAMENTOS E REFFLEXÕES	48
5.5.2.3 ABSTRAÇÕES REFLETIDAS	52
6 A ESTRUTURA DO PENSAMENTO E O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO	54
6.1 DO OPERATÓRIO-CONCRETO PARA O OPERATÓRIO FORMAL	59
6.2 O CONHECIMENTO ASTRONÔMICO	64
6.3 A ASTRONOMIA DO SENSO COMUM	66
6.4 PERCEPÇÃO E RAZÃO	69
Á GUIA DE CONCLUSÃO	73
BIBLIOGRAFIA	80
ÍNDICE	83

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por finalidade descrever o conhecimento astronômico tal como é construído individual, social e coletivamente pelos sujeitos. Na forma de revisão bibliográfica, utilizam-se referências históricas e a teoria da abstração reflexionante de Jean Piaget para fundamentar os argumentos de como se dá essa construção, com contribuições provenientes de minha experiência pessoal. Incluo na minha experiência pessoal, como de importância extremamente significativa, esclarecedora e fundamental, os resultados dos debates sobre a teoria de Piaget que aconteceram nas diferentes versões da disciplina que frequentei oferecida pelo PPGEduc, EDP-53-I, Seminários Avançados, e a expressiva e inestimável colaboração de todos os colegas que comigo participaram, sob a coordenação do Prof. Dr. F. Becker

A teoria de Jean Piaget sobre a gênese e o desenvolvimento do conhecimento humano é, de uma maneira geral, bastante ampla e complexa para ser abordada por completo em um trabalho de dissertação. Por isso, escolhi um caminho que deixe claro a seqüência de complexidades dos conteúdos abordados, de tal forma que, se não puder abordar todos os aspectos da teoria, pelo menos, consiga explicitar as maneiras pelas quais os tópicos mais significativos possam contribuir para que haja um bom entendimento do processo de construção do conhecimento astronômico. Este, por sua vez, também não deixa de ser bastante amplo, complexo e multidisciplinar. Por este motivo, também, fez-se necessário limitar a escolha de eventos e fenômenos para serem utilizados como exemplos.

No capítulo 3, analisando o que recomendam os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do MEC, comparando livros didáticos de ciências e geografia, bem como relatando minha experiência pessoal como professor, destaco algumas considerações a respeito da realidade do ensino brasileiro de astronomia nas escolas de ensino fundamental e médio, bem como nas universidades. Nessa mesma linha, não pude deixar de apontar, também, a contribuição dada pela literatura disponível em revistas, em livros e pela rede mundial de computadores, bem como o papel desempenhado pela realização de olimpíadas nacionais e internacionais de astronomia como elementos incentivadores para o estudo dessa área do conhecimento.

Sendo a astronomia uma ciência que atua predominantemente sobre dados colhidos do ambiente através da visão, com ou sem aparelhos, muito mais do que da manipulação física dos objetos, avalio a importância da escolha de um bom referencial espacial para que possamos perceber e até medir os diferentes movimentos no céu. Saber escolher bons referenciais espaciais para apoiar a observação astronômica irá nos permitir compreender, não só o que podemos fazer com a astronomia hoje, mas, principalmente, o papel que ela representou no passado. Dada a grande importância da visão nas atividades astronômicas, são apresentados também rudimentos da fisiologia ocular necessários para se fazer uma boa observação do céu. Uma vez que fisiologicamente o olho funcione a contento, abordam-se também as dificuldades em registrar os movimentos das estrelas menos brilhantes, devido ao excesso de luminosidade das cidades.

Após uma rapidíssima passagem por alguns dos temas notáveis da teoria de aprendizagem de Piaget, reclama-se da ausência de estudos específicos sobre a gênese do conhecimento da astronomia nos seus trabalhos e compreende-se o porquê de existirem algumas dificuldades para se fazer esses registros, como foram feitos em outras áreas. Surge desta ausência de registros da gênese do conhecimento de astronomia a formulação do problema central, bem como alguns subproblemas que advêm desta formulação. O capítulo 4, então, apresenta o método de análise e as justificativas pelas quais optei por realizar este trabalho, a partir de desafios vindos de minha experiência como professor de física e de astronomia para alunos de diferentes idades e formações.

Com o título “A Construção do Mundo”, o capítulo 5 inicia a fundamentação da discussão a partir do conceito de equilíbrio, que vai se tornar o mote central desta dissertação. Piaget busca, na física, na química e na biologia o significado de equilíbrio que ele transfere para o entendimento do equilíbrio das funções cognitivas. Para isso, apóia-se nos postulados do equilíbrio mecânico, do equilíbrio termodinâmico e no equilíbrio dos organismos vivos. O conceito de reversibilidade e de irreversibilidade é comparado com os mesmos conceitos na termodinâmica.

O equilíbrio cognitivo se dá a partir de desequilíbrios e reequilibrações sucessivas. Porém, diferentemente do equilíbrio biológico, cujo alimento provém exclusivamente de fontes exógenas, o equilíbrio cognitivo alimenta-se também de fontes endógenas, que são as coordenações internas das ações, através das abstrações nas suas diferentes formas. Diferentemente do equilíbrio biológico, que tem limites programados hereditaria-

mente no seu desenvolvimento, o equilíbrio cognitivo supera o biológico, sem limites conhecidos.

As operações organizam os equilíbrios cognitivos, em diferentes níveis, desde a ação organizada dos reflexos até a plenitude da utilização do pensamento operatório formal como organizador das ações do sujeito.

A evolução de um estado cognitivo para outro, desde os reflexos, passando pelos esquemas sensório-motores, até o pré-operatório, e deste para o operatório concreto e deste para o operatório formal não se dá por maturação biológica. Mas existe uma complexa preparação de um estágio precedente para o seguinte que demora largos períodos de experimentação ativa que envolve a construção de uma realidade própria à medida que o sujeito organiza o mundo.

O capítulo 6 centra a atenção na passagem delicada que existe entre o pensamento operatório concreto e o pensamento operatório formal. Destacam-se os avanços que ocorreram no conhecimento astronômico como um todo, à medida que o homem aprendeu a ler o céu utilizando a concretude de suas operações mentais e servindo-se da construção de instrumentos de medida para poder deslocar-se sobre o planeta e não ficar limitado a um sítio de observação apenas.

A dificuldade em acessar fisicamente os fenômenos do céu e a impossibilidade de reproduzir em terra o que acontece “nas alturas”, somadas às dificuldades inferenciais lógico-matemáticas, levam as pessoas a buscarem no realismo infantil explicações sobre os fenômenos celestes, que nada mais é que o pensamento de senso comum. Mesmo utilizando conhecimentos matemáticos de ordem superior, nasce a astrologia.

O aprimoramento do entendimento, o refinamento dos mecanismos de ação da razão, implica na qualidade das abstrações reflexionantes, para a leitura da percepção. A percepção refinou-se à medida que os conhecimentos avançaram e novos aparelhos ópticos, cada vez mais precisos, foram apontados para o céu. Novas hipóteses puderam ser elaboradas a respeito de paisagens celestes invisíveis ao olho humano, mas passíveis de materialização pela diversidade de equipamentos que hoje dispomos.

Nas conclusões, levando em conta as discussões dos capítulos anteriores, levanto algumas alternativas para que a complexidade do conhecimento astronômico possa ser traduzida pedagogicamente, permitindo avaliar limites e criar possibilidades e estraté-

gias para que se consiga, através do trabalho sistemático e de uma pedagogia ativa, fazer uma verdadeira leitura científica do céu.

Quero salientar que muitos termos, próprios das definições de Piaget ou da física e da astronomia, aparecerão antes dos mesmos serem definidos ou conceituados ao longo do texto. Para facilitar a compreensão de uma primeira leitura dos mesmos, coloquei ao final um índice de termos e expressões fundamentais, com a indicação da respectiva página na qual encontramos esclarecimentos sobre os mesmos.

2 OBJETIVO

O presente trabalho visa a explicitar, com o auxílio teórico da Epistemologia Genética, a maneira – pessoal, coletiva e histórica – pela qual o sujeito organiza seu conhecimento astronômico.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DA ASTRONOMIA

É inegável o fascínio que o ato de olhar para o céu desperta em nossos sentimentos. Seja sua leitura feita com conhecimento científico, ou sob quaisquer outras formas (mítica, religiosa, e até mesmo indiferente), os prazeres das descobertas que fazemos são sempre eivados de mistérios. Do contato que temos com diferentes públicos em palestras, cursos e atividades populares de observação celeste, com e sem aparelhos, um número mínimo de pessoas demonstram ultrapassar os limites desses mistérios do céu. Poucos avançam além daqueles conhecimentos elaborados a partir de suas experiências individuais ou transmitidos oralmente, arraigadas a um folclore que se apresenta fortemente impregnado de causalidades, próprias de explicações animistas ou artificialistas.

Academicamente, conseguimos aperfeiçoar o conhecimento astronômico a partir dos conteúdos ministrados em geografia e ciências, unicamente nas quintas séries do ensino fundamental, se levar em conta a estrutura atual do ensino brasileiro. Minha geração teve uma formação acadêmica sob outra estrutura de ensino e esses mesmos conteúdos eram ministrados na primeira série ginasial, a equivalente à atual quinta série. Porém, esse estudo acadêmico apenas apresenta um universo organizado, sistematizado, cujo conhecimento não vai além de uma classificação que limita nossa existência à pertinência a um sistema solar; giramos em torno de uma estrela central (que, na realidade, a rigor, não se encontra no centro), acompanhada de outros planetas vizinhos com e sem satélites, maiores ou menores, anões ou gigantes. Alguns planetas, inclusive, são circundados por anéis. Sem sair do nosso sistema solar, podemos também acrescentar ao céu cometas, asteróides, meteoróides e, indo bem mais longe, estrelas com diferentes brilhos e tamanhos, localizadas a distâncias incomensuráveis pelos padrões terrestres. Raras vezes nos é dado entender os mecanismos mais complexos, como os dos eclipses e das marés.

Com esses conteúdos passamos toda uma vida a admirar e a tentar entender o céu, seja pela observação direta dos seus fenômenos, seja pela leitura em revistas ou jornais, seja pelo acompanhamento de tele-jornais, através de documentários, filmes, etc.

Mesmo para quem vai além da formação ministrada no ensino fundamental, cursando o ensino médio, não logra grandes acréscimos a respeito dos mistérios do céu. Os mecanismos que regem a lei da gravitação universal de Newton¹ e as três leis de Kepler² para o movimento planetário, embora constem nas matrizes curriculares das escolas e nos livros de física a partir dos estudos de oitava série do ensino médio, não passam de conteúdos ministrados *en passant*, que muitas vezes são suprimidos da grade curricular da programação escolar por não terem significado formativo nem para o professor nem para o aluno, segundo entendimentos de ambos. Nosso currículo escolar ainda se encontra muito preso aos programas dos exames vestibulares, dando-se mais ênfase para aqueles conteúdos que podem ser solicitados nesses concursos. No máximo, quando se torna possível a abordagem desses capítulos durante um ano letivo, todo o conteúdo acaba se convertendo em meros exercícios de aplicação do mecanismo algébrico das definições que regem os princípios fundamentais da mecânica celeste; não têm signifi-

¹ Isaac Newton (1642 – 1727)

² Johannes Kepler (1571 – 1630)

cado prático; são considerados, portanto, inúteis. Muitos professores, entre os quais me incluo, transformam o estudo desses capítulos sobre as leis da gravitação universal e sobre as leis de Kepler para o movimento planetário em trabalhos extra-classe que devem ser formalmente escritos, cuja entrega é, freqüentemente, acompanhada de uma apresentação oral ou dramatizada para os colegas, e valorizados na forma de uma nota, conceito ou menção para avaliação.

Analisando os *Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN)*, na sua versão mais atualizada (MEC, 1999, Parte III, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, sobre Conhecimentos de Física), para o ensino médio, a relação conteúdo/habilidade/competências prevê para os currículos, de maneira ampla e muito geral: “Uma Física que discuta a origem do universo e sua evolução.” (Idem, pág. 230). Mais adiante, é dada maior ênfase para o estudo da gravitação universal como fundamento para entender a cosmologia moderna: “A possibilidade de um efetivo aprendizado de Cosmologia depende do desenvolvimento da teoria da gravitação, assim como de noções sobre a constituição elementar da matéria e energética estelar...” (Idem, pág. 234).

Uma vez ultrapassado o ensino fundamental e médio, o estudo da astronomia só será novamente trabalhado em suas particularidades e com maior profundidade, por um público muito pequeno, bastante restrito, composto por alunos que porventura venham a freqüentar o número mais reduzido ainda de cursos de física, nas diferentes ênfases para licenciatura e bacharelado, oferecidos pela totalidade das universidades existentes. Isto é, se o indivíduo que não freqüentar um desses cursos específicos quiser aprofundar seus conhecimentos sobre astronomia, indo além do que foi trabalhado no ensino fundamental e médio, deverá contar com o acesso a uma boa e qualificada literatura ou participar de eventuais cursos de extensão promovidos pelas diferentes entidades (universidades, planetários, associações, clubes, etc.) que trabalhem regularmente com astronomia.

A rede mundial de computadores (internet) oferece hoje grandes facilidades de acesso a imagens fotográficas, infográficos, mapas, simuladores celestes, cursos virtuais, etc. para o aperfeiçoamento individual frente aos conhecimentos de astronomia. As páginas da NASA lideram, com certeza, todos os aspectos, salientando-se a qualidade e a cientificidade. O único inconveniente em consultar a NASA é a utilização da língua inglesa em suas páginas. Para a língua portuguesa, destacamos os cursos de astronomia à distância promovidos pelo Observatório Nacional, do Rio de Janeiro, e os hipertextos

de astronomia e astrofísica do Departamento de Astronomia do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que já se tornaram referência internacional para consulta permanente no ensino de disciplinas desta área.

Quanto à literatura existente, poucos autores brasileiros se arriscaram a publicar alguma obra de divulgação que se aproximasse do público leigo. Com exceção feita a Ronaldo Rogério de Freitas Mourão, que há muitos anos se dedica a esse propósito, e mais recentemente Marcelo Gleiser, a maioria das obras que se encontram nas prateleiras das livrarias são de autores estrangeiros, tais como Carl Sagan e Isaac Asimov, para citar apenas dois dentre os mais conhecidos. São referências didáticas nacionais os autores Roberto Boczko e Kepler de Souza Oliveira Filho, o primeiro de São Paulo e o segundo do Rio Grande do Sul, porém suas obras estão mais voltadas para o público que domine os princípios da física e tenha bastante afinidade com a matemática de nível superior. São também desse porte as obras editadas pela EDUSP e pela Livraria da Física, ambas de São Paulo, que reúnem coletâneas de autores, todos eles professores de universidades e de centros de pesquisa, como o INPE e CPTEC, entre tantos.

Com exceção das revistas *Ciência Hoje*, *FAPESP Pesquisa* e *Cientific American Brasil*, todas as outras revistas populares não alcançam a qualidade de verdadeiros divulgadores do saber científico na área de astronomia e astrofísica. Até há poucos meses, quando do início da escrita deste trabalho, existia à venda nas bancas de revista e livrarias a revista *Astronomy Brasil*, uma versão nacional da *Astronomy Magazine* americana. Foram editados 16 números, apenas, porém seu tempo de vida foi curto, não existindo mais essa fonte inestimável de informação para o público leigo.

Paralelamente às dificuldades relativas ao estudo da astronomia, grande esforço tem sido feito pela Sociedade Astronômica Brasileira (SAB) e, mais recentemente, pela Agência Espacial Brasileira (AEB), para divulgar e, de certo modo, incentivar o estudo e o gosto pela astronomia e Astronáutica, através da promoção de olimpíadas nessas áreas. Desde 1998, com a realização da I Olimpíada Brasileira de Astronomia (OBA), anualmente mais e mais escolas estão participando dos eventos, chegando neste ano à sua décima versão (X OBA), com mais de 340.000 participantes. Os cinco melhores alunos de uma OBA são convidados a participar também da Olimpíada Internacional de Astronomia (OIA), promovida pela Sociedade Euro-Asiática de Ciências. A OIA, promovida desde 1996, já se encontra na sua XII versão, ocorrendo alternadamente na Criméia, Índia, China e demais países asiáticos.

Somando esse fascínio, exercido pelos mistérios do céu, com a minimalização dos conteúdos astronômicos ministrados na escola, pode-se dizer que o conhecimento astronômico da população parece ser o que se apresenta com uma maior homogeneidade, tanto na qualidade quanto na quantidade, de uma maneira tal que não aparece em outros conteúdos científicos como a termodinâmica, a termometria e a própria mecânica. Isto é, nessas últimas áreas só existem dois extremos: ou, por exemplo, se conhece a termodinâmica, ou não; não existe meio termo. Dificilmente alguém opina sobre equilíbrio termodinâmico, transformações reversíveis ou irreversíveis, em uma conversa. Porém, em astronomia, fala-se abertamente até em buracos negros, sem conhecimento algum do que seja, tendo como base de discussão, principalmente, o mito embalado pelos raciocínios de senso comum.

O que ocasiona essa pouca inserção dos conteúdos de astronomia nos conteúdos curriculares? Será que a astronomia hoje perdeu a importância que já teve para a humanidade no passado? É difícil programar uma atividade didática de observação noturna, ou mesmo diurna, se esta está voltada para registrar os movimentos do Sol? Com certeza, uma boa atividade de observação noturna ou diurna do céu não deve converter-se num *laissez-faire* onde cada participante observa o que quiser. Além de destacar o significado histórico e cultural de uma observação celeste, esta pode servir muito bem para colocar em prática o “método científico” de pesquisa e, se possível, possibilitar que se ultrapassem os limites de uma atividade experimental singular. Cada atividade deve estar muito bem programada para que se escolham referenciais espaciais e temporais que possibilitem o registro dos eventos pelos participantes, pois mesmo à vista desarmada, a observação do céu apresenta muitos fenômenos relativos à mecânica celeste, dignos de serem registrados, como o descreveremos a seguir.

3.1 A OBSERVAÇÃO ASTRONÔMICA

3.1.1 O que é a Astronomia?

Podemos reconhecer na astronomia (tradução nossa):

“[...] uma categoria de ciência de alto nível que cobre toda exploração científica do espaço muito além de nossa atmosfera e a astrofísica é um ramo da astronomia que está afeita com a atual física das estrelas, dos planetas, dos buracos-negros, etc., sua formação, evolução e, ultimamente, seu futuro³.”

O Collins Dictionary (1994) apresenta a astronomia como sendo (tradução nossa):

“O estudo teórico e observacional dos corpos celestes, de regiões do espaço e do universo como um todo. A astronomia é uma das mais antigas ciências e tem se desenvolvido em etapas, de acordo com os avanços na instrumentação e outras tecnologias, bem como com o avanço na física, na química e matemática. Seus principais ramos são a astrometria, a mecânica celeste, o maior e mais moderno campo da astrofísica, que por sua vez se divide ainda em cosmologia, radioastronomia e estatística estelar.”

Embora hoje enxerguemos a astronomia somente pelo seu lado exato, relativo ao conhecimento científico devido às relações que fazemos com as imagens de sofisticadíssimos telescópios, não podemos esquecer suas origens vitais para o ser humano ao longo da sua história:

“Ao contrário do que muitos supõem a astronomia não é razão de deleite de alguns poucos. A astronomia nasceu e cresceu gradativamente para suprir necessidades sociais, econômicas, religiosas e também, obviamente, culturais. (BOCZKO, 1984, pag. 2).”

Para viajarmos nos dias de hoje não precisamos mais realizar leituras do céu como o faziam os povos antigos para se deslocar pelo mundo. Para nos deslocarmos para qualquer lugar recorreremos a estradas, mapas e, em casos extremos, a monitoramento eletrônico por satélites. O céu não é mais tomado como estrada ou como mapa, como o

³ Disponível em <http://www.physlink.com/Education/AskExperts/ae296.cfm>, agosto, 2007.

entendiam os beduínos e os navegantes quando se encontravam na imensidão do deserto ou do mar, respectivamente. Somado a isso, o recolhimento a ambientes fechados, a pouca visibilidade do céu nas cidades devido tanto ao aglomeramento dos prédios quanto ao excesso de luminosidade e o direcionamento de nossos interesses, nos impedem cada vez mais de olharmos para cima.

3.1.2 O que vemos ao olhar para o céu?

Vamos denominar de céu (do latim *caelum*, *vazio*⁴) o objeto de estudo da astronomia. Quando olhamos para o céu, à noite, do horizonte para cima e sobre nossas cabeças, aparece uma região escura, que denominamos de abóbada celeste, polvilhada de pontos luminosos, as estrelas. Se estivermos nos meses de março ou agosto, em Porto Alegre, em torno de 22h00min, verificamos que, passando por sobre a nossa cabeça, existe uma faixa mais brilhante, com mais estrelas que o resto da paisagem celeste, unindo dois extremos quase opostos do horizonte: é a Via-Láctea. Podem também ser diferenciadas estrelas com maior brilho e com menor brilho, passando de umas muito brilhantes a outras tão fracas que somente com a fixação do olhar será possível notá-las.

3.1.2.1 A FISILOGIA DO OLHO NA OBSERVAÇÃO ASTRONÔMICA

A observação do céu conta com dois fatores limitantes para a percepção astronômica das estrelas com brilho mais fraco: a abertura da pupila ocular e a luminosidade local. O mecanismo dessa acomodação visual à luminosidade é muito complexo em sua totalidade, pois não envolve somente a acomodação da pupila, propriamente dita, mas também uma acomodação da retina à luminosidade. Esta última não corresponde a um

processo mecânico apenas, mas atende a uma fisiologia que foge dos limites de uma análise mais simples.

A abertura da pupila, seja do olho ou a de qualquer outro instrumento óptico, telescópios ou binóculos, é um fator importantíssimo para a observação do céu, pois o número de estrelas que podemos observar obedece a uma proporcionalidade em relação ao diâmetro da sua abertura. À medida que o sujeito avança na idade, a córnea, o cristalino e a musculatura contratora da pupila enrijecem e esta perde sua flexibilidade, não conseguindo abrir o suficiente para uma boa entrada de luz, bem como não mais consegue fechar o suficiente para determinados excessos de luminosidade. A pupila humana pode oscilar seu diâmetro entre 1,5mm (miose) a 8,0mm (midríase), em média, ficando este limite bem menor com o avanço da idade (HENEINE, 1984, pág. 311). Jovens enxergam mais estrelas pouco brilhantes no céu que pessoas mais velhas. Se a pupila estiver contraída, para que ocorra uma midríase completa são necessários de vinte a trinta minutos para a adaptação ao escuro; se a pupila já estiver adaptada ao escuro, no máximo de sua dilatação, e acontecer que uma fonte de luz incida sobre ela, a miose é quase instantânea, sendo necessários outros vinte a trinta minutos para uma nova acomodação visual (FERREIRA, s/d, pag. 203).

A luminosidade local interfere na observação do céu, na medida em que a luz artificial dos ambientes, e mesmo a luz natural (da Lua ou do Sol) são refletidas pelas paredes, objetos e partículas de poeira e umidade, que estão dispersas na atmosfera, incidindo em nosso olho e estimulando a contração da pupila. Por esse motivo, uma boa observação do céu somente ocorre em lugares longe de luminosidades naturais ou artificiais e em noite “sem lua” (Lua Nova, término da Minguante e início da Crescente); na Lua Cheia, quando ela se encontra acima do horizonte, não temos uma noite proveitosa para observação do céu; investigação e medidas acuradas com aparelhos devem ser transferidas para outras fases.

3.1.2.2 MOVIMENTOS DO CÉU

⁴ Dicionário Essencial. Latim/Português – Português/Latim. Portugal: Porto Editora, 2002.

Quando dispomos de condições para uma contemplação mais duradoura do céu, costumamos brincar de “criar” figuras com a disposição das estrelas, conforme elas estejam visualmente mais próximas umas das outras, mais afastadas, aglomeradas, em conformação linear, circular, enfim com o formato que o sujeito “enxergar”; conforme suas crenças, conhecimentos e habilidades, poderá formar vários *insights*, constituir totalidades figurativas segundo as leis formuladas pela teoria da Gestalt: proximidade, pregnância, experiência passada, assimilação e contraste.

Qualquer outra particularidade que possa ser observada no céu, como, por exemplo, a diferenciação de cores entre as estrelas, variações de luminosidade própria, identificação de pares estelares muito próximos e de baixa resolução para o olho humano, dependerá muito da acuidade visual do observador, das condições atmosféricas e das condições de luminosidade do sítio de observação.

Os movimentos dos astros no céu não podem ser acompanhados com uma observação singular, apenas. Para podermos notar as mudanças que acontecem constantemente na paisagem celeste, é necessário que se façam observações sistemáticas que demandem largos intervalos de tempo e se apoiem em significativos referenciais espaciais. O horizonte é um ótimo referencial espacial para uma observação desse tipo. Porém, na ausência de um horizonte bem delineado, outros componentes da paisagem podem assumir o papel de referenciais, tais como árvores, elevações do terreno, prédios, etc. Ao se dar conta que os referenciais naturais não eram eficazes para os registros precisos das posições dos astros no céu, o homem sentiu necessidade de construir aparelhos que garantissem a credibilidade na leitura dos registros, inventando o gnomon, o relógio solar, o quadrante mural, o sextante, o astrolábio, entre outros. Modernamente, equipamentos mais sofisticados, acoplados a telescópios, ou mesmo de uso manual, prescindem totalmente de referenciais paisagísticos para a localização e o registro dos movimentos dos astros.

A dificuldade em se registrar os movimentos do céu reside na sua diversidade e na sua complexidade. Alguns movimentos mais simples, relativos ao movimento de rotação e de translação da Terra, detectáveis pela observação sistemática sem aparelhos, apresentam mudanças no cenário celeste, que se tornam notáveis após uma hora de observação; outras após um dia, outras em não menos de uma semana, e muitas até mesmo após um mês, ou um ano.

Durante uma hora, cada astro descreve no céu arcos de circunferência de aproximadamente 15° . Se não tivermos um bom referencial em relação à paisagem do sítio de observação, se não nos detivermos a comparar as posições das estrelas durante um intervalo de tempo significativamente grande, superior a uma hora, não perceberemos as mudanças, principalmente para as estrelas que se encontram nos pontos mais altos de sua trajetória do céu.

De um dia para outro, é bastante difícil notar o deslocamento de um astro em relação à sua posição do dia anterior, na mesma hora. A cada dia as estrelas nascem 4 minutos mais cedo, aproximadamente, no horizonte. Isto equivale a dizer que no dia seguinte, na mesma hora, todo o céu estará adiantado de 1° em relação à mesma hora do dia anterior. E esta mudança também é completamente imperceptível sem um excelente referencial espacial!

As mudanças horárias e diárias da posição dos astros são cumulativas com o passar dos dias, tornando-se notáveis ao final de uma semana, a ponto de, ao final de quinze dias, numa hora T as estrelas ocupam aproximadamente a mesma posição que ocupavam duas semanas antes, numa hora T+1h.

Num mês, as estrelas ocuparão a mesma posição de um mês antes, na hora T+2h. E assim por diante! Isto é, os deslocamentos de 15° (uma hora) e de 30° (duas horas) começam a ser perceptíveis da mesma forma como o poderiam ser numa noite de observação do céu com bons referenciais.

Após um ano o céu passa a repetir-se, com as estrelas ocupando as mesmas posições que ocupavam um ano antes, quando observadas na mesma hora.

Todas essas mudanças podem ser contempladas à vista desarmada, não sendo necessário, portanto, equipamentos sofisticados ou especializados, tais como telescópios ou, mesmo binóculos, que, a partir deste ponto, denominaremos simplesmente de aparelhos.

Existem ainda outros movimentos do céu que podem ser vistos sem aparelhos, tais como o movimento diário da Lua e o deslocamento mensal dos planetas por entre as constelações. Aliás, o nome “planeta” é de origem grega⁵ (*πλανήτης*) e significa “errante”. São “astros” que não permanecem fixos nas constelações, mudando constantemente

⁵ Dicionários Acadêmicos. **Dicionário Grego/Português – Português/Grego**. Portugal: Porto Ediora, 2004.

de posição. Vale salientar aqui que os “planetas”, assim denominados há séculos, não tinham o significado que hoje temos a seu respeito. Eram compreendidos como sendo estrelas, da mesma forma que um leigo, hoje, ao olhar para o céu, não diferenciará um planeta, apenas pelo seu brilho, de uma estrela qualquer. Somente depois do advento do telescópio e com as observações e registros de Galileu Galilei⁶ é que eles passaram a ter um significado que os inclui na família do nosso sistema solar, com características inicialmente idênticas às da Terra. Visualmente, só podemos enxergar o brilho de cinco planetas no céu: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. Esses, mais o Sol e a Lua, na terminologia antiga, anterior ao advento do telescópio (e ainda hoje na astrologia!), são os “planetas”, os “astros errantes”, que iluminaram nossos antepassados e continuam a brilhar vivamente nos nossos céus. Os outros planetas, Urano, Netuno e Plutão somente puderam ser visualizados, por astrônomos, após o aperfeiçoamento das técnicas de construção dos grandes telescópios.

Uma grande acuracidade nos registros deve se somar aos ótimos referenciais que são necessários para a percepção do movimento dos planetas entre as constelações ao longo de um considerável intervalo de tempo. Não será uma observação apenas, ou várias observações num intervalo de tempo muito pequeno, que nos permitirá perceber os movimentos dos planetas entre as constelações. Isso requer várias observações e registros num intervalo de tempo bastante amplo, principalmente em relação aos planetas exteriores (Marte, Júpiter e Saturno), que têm período orbital maior, parecendo deslocar-se mais lentamente entre as constelações. Os planetas interiores (Mercúrio e Vênus) mostram movimentos mais rápidos entre as constelações, que podem ser feitos dentro de um prazo de uma a três semanas com resultados bastante significativos. Os de maior brilho podem ter suas presenças apreciadas, principalmente quando participarem de constelações com estrelas de pouco brilho.

Júpiter e Vênus se destacam quanto aos seus brilhos. Marte e Mercúrio, pouco brilhantes, somente serão identificados como sendo planetas se tiverem suas posições realmente registradas regularmente, senão podem passar completamente despercebidos no céu.

É fato comum, nas atividades de observação do céu à vista desarmada, os observadores iniciantes não acreditarem que “aqueles pontos luminosos” sejam planetas e não estrelas, no sentido atual. Se não tivermos um telescópio que mostre a redondeza

⁶ Galileu Galilei (1564 – 1642)

dos astros e sua coloração diferenciada, seus satélites, etc, será mesmo inacreditável que se esteja observando planetas, pois seus brilhos realmente são indistinguíveis daqueles das estrelas.

Ocasionalmente, outros movimentos podem ser vistos no céu, tais como a entrada de meteoróides na atmosfera que ao inflamarem são vistos como meteoros, popularmente denominados de estrelas cadentes. Mas nesse caso, com exceção de alguns períodos denominados de chuvas de meteoros, não é possível prever o aparecimento individual dos mesmos, tornando-os, para a observação terrestre descomprometida, astros fortuitos, sem nenhum interesse observacional digno de registro, a menos por seus efeitos maravilhosos relativos a tamanho, cor, rapidez com que aparecem e desaparecem, etc. E nos tempos atuais, outros fenômenos, idênticos aos das estrelas cadentes, se somaram aos movimentos naturais do céu: as estações espaciais orbitais, os satélites artificiais e o lixo espacial que se encontra em órbita da Terra, que apresentam também uma periodicidade no seu movimento.

Os cometas foram considerados, durante muito tempo, fenômenos atmosféricos, pois eles, além de serem raros, aparecem “de repente” e permanecem no céu estáticos exibindo suas belas caudas durante a noite. Seu movimento em relação às estrelas, numa única noite, também é imperceptível. Somente com o passar dos dias é que se nota sua relativa aproximação ou afastamento do Sol e seu deslocamento aparente sobre as constelações de fundo.

Podem ser acrescentados ainda neste rol de movimentos aqueles que consideramos seculares, tais como a precessão dos equinócios, que altera a posição da eclíptica em relação ao nosso planeta, tendo como consequência a mudança das estações climáticas do ano e a variação da posição dos pólos celestes; existe também o afastamento e a aproximação de galáxias; as estrelas têm o que denominamos de movimento próprio. O movimento próprio é caracterizado por velocidades individuais das estrelas, apontando para diferentes direções, que com o passar dos séculos modificam a configuração das constelações. Mas essas alterações seculares não são perceptíveis no intervalo de tempo de uma vida humana. Por isso, não levaremos em conta o refinamento dessas alterações nas nossas discussões. Além do mais a particularização de todos os movimentos existentes no céu, devido a tantos fatores, foge do objetivo proposto no início desse trabalho, o qual deverá ser esclarecido no capítulo a seguir com a formulação do problema a ser estudado e seus consequentes subproblemas.

4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Através da obra de Jean Piaget estudamos o ser humano como um ser simbólico, cujo simbolismo é construído a partir de sua estrutura biológica – sua origem primeira. A partir das ações reflexas, que funcionam pelo menos desde o nascimento, evoluindo para o controle dos reflexos, passando pelas coordenações de ações não conscientes, até as coordenações conscientes de suas ações, as trocas que o ser humano faz com o seu ambiente, com o meio em que vive, com os objetos que o rodeiam, chega à construção de estruturas mentais isomórficas às estruturas biológicas, porém de maior alcance espacial e temporal que as primeiras, a partir das quais foram geradas. Isto é, as estruturas biológicas estão limitadas a um funcionamento regrado, muito bem determinado geneticamente, que tem um desenvolvimento, um amadurecimento e um decaimento bastante previsíveis. Ao contrário, as estruturas mentais, possibilitadas por aquelas, uma vez desenvolvidas, não têm um limite determinado para se multiplicarem e generalizarem-se ao encontrar um ambiente favorável para o seu profícuo desenvolvimento.

Piaget traz da biologia o entendimento da construção das novas estruturas e esquemas de ação a partir do organismo vivo. Um organismo vivo, quando colocado em um ambiente ou um ecossistema favorável, ao qual consegue adaptar-se se mantém vivo assimilando, a partir dos seus esquemas de ação, os elementos desse ambiente a suas estruturas. Frente a qualquer exigência externa que não possa ser assimilada imediatamente, o organismo reorganiza essas estruturas (acomodação) de maneira a conseguir responder às novas exigências, a ponto até de criar novos esquemas de assimilação. De certo modo, a acomodação refina o processo de assimilação pela melhora dos seus esquemas primitivos. Quando isto é conseguido, podemos dizer que o organismo está adaptado às novas exigências do meio. Mas essa adaptação não se dá no sentido do organismo somente. Os organismos além de se adaptarem ao ambiente físico, através da sua ação conjunta nos ecossistemas, também adaptam o ambiente geoquímico a suas necessidades biológicas (ODUM, 1988).

No modelo de aprendizagem de Piaget, sujeito e objeto modificam-se mutuamente, interagindo. A aprendizagem tem uma assimilação e uma acomodação, cujo proces-

so, como foi dito antes, é idêntico na sua ação ao processo biológico, que pode culminar numa adaptação das estruturas mentais às novidades, melhorando essas estruturas (equilíbrio majorante), a ponto de poder criar outras novidades.

Essa troca com o meio é encarada por Piaget num primeiro momento do ponto de vista biológico. Isso acontece quando ele trata do processo de aprender de uma maneira geral, como um mecanismo de retroalimentação, comum a todo ser vivo em interação com o meio ambiente. Segundo Piaget, os mecanismos cognitivos respondem a estados de equilíbrio e desequilíbrio que se retroalimentam e se reestruturam para alcançar novos patamares de equilíbrio. Mas esses patamares de maneira alguma se comparam ao equilíbrio mecânico newtoniano; são, antes, patamares de equilíbrio dinâmicos homeorréticos. O equilíbrio cognitivo pode assemelhar-se a um equilíbrio termodinâmico quase-estático, porém, sem destruição de estruturas. Uma estrutura cognitiva é subsumida numa estrutura posterior, maior, mais evoluída, pois ela sofre uma evolução homeorrética ou homeostática. A homeorresia ou a homeostasia garantem a auto-organização dos sistemas.

A equilibrção é um processo que explica o desenvolvimento e a formação dos conhecimentos, que leva de certos estados de equilíbrio aproximado para outros, qualitativamente diferentes, passando por muitos desequilíbrios e reequilibrções (PIAGET, 1977).

Porém, particularmente para o pensamento humano, simbólico, esse mesmo processo de retroalimentação é enxergado como uma seqüência de etapas de *abstrações**, cujo mecanismo de troca Piaget ensaia na sua teoria da abstração reflexionante (PIAGET, 1995). Abstrair tem sua origem no latim, *abs + trahere*, que significa retirar, arrancar, tirar algo de alguma coisa (BECKER, 2001; p. 47). Enquanto os organismos vivos realizam suas trocas somente com o meio ambiente, mais especificamente, o meio físico, o pensamento realiza trocas simbólicas com objetos virtuais do seu próprio pensamento, de sua própria construção, com objetos equivalentes do meio social, cultural.

Para entender essa dinâmica, Piaget classifica a abstração em empírica e reflexionante. A abstração reflexionante desdobra-se, por sua vez, em pseudo-empírica e refletida. Existem dois mecanismos que organizam a complexidade das abstrações: o reflexionamento, que retira de um patamar inferior características dos objetos, das ações ou coordenações das ações e as joga para um patamar superior de abstração, e a reflexão,

que organiza no patamar superior o que foi colhido por reflexionamento do patamar inferior (PIAGET, Idem).

Piaget escreveu, com muitos colaboradores, uma vasta obra, em que apresenta investigações à exaustão sobre o pensamento da criança, sob muitos pontos de vista, abrangendo o período que vai do nascimento à entrada na vida adulta. Os dois modelos, da equilíbrio das estruturas cognitivas e da abstração reflexionante, constituem sínteses dessas investigações.

Porém, apesar de suas investigações abrangerem quase todas as áreas do conhecimento, a pesquisa sobre a gênese do conhecimento astronômico não aparece em nenhuma de suas obras, salvo em duas situações: primeiro alguns exemplos em que aspectos do conhecimento astronômico são o ponto de chegada para uma conceituação, e, segundo, no estudo do artificialismo infantil (PIAGET, 1973). Isso pode dever-se ao fato de que a astronomia seja realmente uma ciência multidisciplinar. Até podemos fazer uma leitura totalmente pessoal, de senso comum, dos fenômenos do céu, porém a astronomia, como ciência exata, só pode ser entendida em sua totalidade inferencialmente. Isto é, a novidade no conhecimento astronômico somente pode ser obtida a partir de reflexões que tomam por forma a totalidade dos conhecimentos previamente construídos pelas ações coordenadas pelo pensamento matemático ou pelo pensamento físico. Isso faz com que as conceituações astronômicas, que dizem respeito a um mundo físico distante, portanto, sejam de origem mais tardia que as demais conceituações do mundo físico próximo, imediato.

Como Piaget argumenta (BRINGUIER, 1993), o problema de toda sua investigação epistemológica está centrado na explicação de como se chega ao conhecimento novo nas diferentes fases de desenvolvimento do ser humano. Para entender isso, ele teria que investigar a história do pensamento humano, até chegar aos períodos pré-históricos e reconstruir essa história até a humanidade atual. Mas isso é impossível a partir da entrevista com o homem-adulto, uma vez que cada palavra, cada ação do adulto está impregnada de ações e estruturas já formadas, cuja história é desconhecida na sua totalidade pelo próprio sujeito. O estado atual de um adulto não pode fornecer o caminho de como ele chegou ali, uma vez que o seu estado atual é um resultado de tudo que fez antes. Por isso, a criança é o indivíduo que parte do zero cultural e pode ser acompanhada em sua evolução. Nesse sentido, a criança é o pai do adulto.

No caso da astronomia, quando o sujeito começa a olhar para o alto para perscrutar intencionalmente o céu e estabelecer as conexões entre os fenômenos celestes e as leituras de sua realidade, ele já coordena com maestria praticamente quase todas as ações visuais, motoras e mentais que lhe possibilitam agir e obter informações sobre o mundo.

Portanto, o problema central do meu trabalho será o seguinte: descrever e analisar, ao longo da história, o processo de aquisição, individual e coletivo, em diferentes níveis lógico-operatórios, do conhecimento científico que possuímos hoje sobre o céu e a aquisição futura de novos conhecimentos, tendo a teoria da abstração reflexionante de Jean Piaget como instância explicativa para entender essas aquisições.

Para fazer essa descrição terei que investigar as relações lógico-operatórias necessárias para se fazer uma leitura científica do céu e os patamares de coordenação dessas relações.

Como ficam os modelos do senso-comum? São válidos? Como podem ser fundamentadas as diferenças, em termos lógicos e do processo de abstração reflexionante, entre os modelos formais de compreensão do céu e os modelos do senso-comum? Serão os modelos antigos do universo realmente modelos de senso-comum?

Por fim, todo esse entendimento deve conduzir a uma análise crítica da forma como está disponibilizado e organizado pedagogicamente o conhecimento que atualmente temos sobre o céu, principalmente na literatura. Essa análise deve determinar também se essa organização favorece a compreensão dos fenômenos celestes e o surgimento de novos patamares de abstrações refletidas (abstrações reflexionantes com tomadas de consciência). Afinal, aprender as “coisas do céu”, ao contrário do que possa acontecer em uma sala-de-aula ou em um laboratório, implica construir esse conhecimento por interação entre o sujeito “daqui” e os objetos que pertençam a um ambiente físico completamente impalpável, intangível.

4.1 MÉTODO DE ANÁLISE E JUSTIFICATIVAS

A análise será feita pelos recursos da revisão bibliográfica específica da história antiga e atual da astronomia, e da teoria do desenvolvimento cognitivo de Jean Piaget. Todos os exemplos, resultados, etc. advirão dessas fontes, bem como de minha experiência como professor de física e astronomia.

Como professor de física, atuo em sala-de-aula há pouco mais de trinta e dois anos, com algumas incursões nas áreas de matemática e ciências, quando se fez necessário. Desde o início das minhas atividades como professor tenho utilizado em aula fartos exemplos de aplicações da física e da matemática utilizando eventos astronômicos. Tentei iniciar atividades extraclasse com alunos voluntários em todas as escolas em que já trabalhei; em algumas obtive relativo sucesso e noutras nenhuma repercussão. Mesmo tendo me dedicado diletantemente ao estudo da astronomia, o trabalho realmente ativo, envolvendo significativamente uma comunidade escolar, teve seu início e reconhecimento há sete anos, quando da criação do Clube de Astronomia, do Colégio Militar de Porto Alegre. Nesse clube tenho desenvolvido atividades de ensino de astronomia com crianças desde quinta série do ensino fundamental até alunos do terceiro ano do ensino médio. A atividade sistemática do trabalho nesse clube fez-me acompanhar, todos os anos desde sua fundação, alunos de ensino médio e fundamental na participação de provas seletivas nacionais da Olimpíada Brasileira de Astronomia, sediada em São Paulo; e, por duas vezes, em dois anos distintos, dois alunos à Olimpíada Internacional de Astronomia, na Ásia. Somando-se a essa atividade, também há mais de quatro anos, leciono a disciplina “*Introdução à Astronomia*”, no curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Luterana do Brasil, ULBRA, no campus de Canoas, Rio Grande do Sul, onde estou escrevendo uma didática para o ensino da astronomia com o intuito de trabalhar esse conteúdo na formação de professores.

Foi o enfrentamento com essa diversidade de dificuldades e facilidades que me levou a procurar entender como se constrói o conhecimento astronômico, uma vez que as questões, dúvidas, entendimentos, insucessos e acertos mostraram nuances idênticas nos alunos, embora as diferenças existentes nas idades e no nível de instrução acadêmica.

O material humano que tenho à disposição poderia constituir-se em fonte de uma amostragem representativa para uma pesquisa de campo sobre o conhecimento, a aprendizagem e o ensino de astronomia para indivíduos de diferentes idades, interesses e nível de conhecimento. Porém, minha preocupação neste momento é o de fundamentar o

conhecimento astronômico com uma teoria de aprendizagem que possa servir de sustentáculo científico para toda pesquisa posterior.

Portanto, na medida do possível, a partir de agora, procurarei deter-me somente na redação dos fundamentos teóricos em pauta e no seu aspecto histórico. Procurarei não adentrar nas particularidades filosóficas dos resultados das análises, embora possa vir a formulá-las.

5 A CONSTRUÇÃO DO MUNDO

Longe de acontecerem ao relento, as primeiras relações de troca com o mundo, para o homem moderno, acontecem dentro de um ambiente fechado, entre seus semelhantes, e normalmente no seio familiar. Mas as relações do homem com esse ambiente têm início muito antes de vir à luz, ainda na fase fetal. Bem cedo seu organismo reage por instinto à influência dos sons externos, aos sons internos do próprio organismo da mãe, aos seus movimentos, variações de temperatura, mudanças hormonais, etc. A partir de nove semanas o feto já exercita seus reflexos, movimentos de braços e mãos, não sendo raras as imagens de fetos com o dedo polegar na boca; isso sugere já um mecanismo de sucção em ação, a partir da 13^a semana de gestação (CERNACH, 2006, pág.8).

Ao nascer o pequeno ser humano já traz possibilidades reflexas, neuroniais, hereditárias, próprias da espécie. Isso permite que ele dê respostas imediatas às manifestações do meio, tais como reagir aos primeiros puxões e empurrões do médico, sentir a repentina mudança de umidade do meio circundante, reagir às novas e desconhecidas variações de temperatura, sentir os contatos da pele com texturas antes inexistentes, manifestar sentimentos de privação alimentar, entre tantas.

Os primeiros enfrentamentos com que o ser humano se depara diante do mundo social, que vai acompanhá-lo para o resto da vida, seus primeiros contatos, as primeiras adaptações e as trocas que faz com o meio foram fartamente estudados por Piaget. Em diferentes obras, que se tornaram marco referencial para a compreensão da gênese do conhecimento, Piaget relata o que pôde observar a respeito das trocas entre a criança e o

meio a partir das atividades reflexas sensório-motoras, passando pela aquisição da representação simbólica e atingindo o pensamento operatório-formal.

O ser humano ao aportar no mundo deve adaptar-se a ele para sobreviver. A adaptação ocorre na vida cognitiva isomorficamente à vida biológica. Essa adaptação, tanto biológica quanto cognitiva, se dá pela procura constante do equilíbrio entre o ser e o meio ambiente através da acomodação na medida em que responde aos desafios trazidos pela assimilação.

Quando falamos em equilíbrio, imediatamente pensamos no equilíbrio mecânico. Entretanto, Piaget faz questão de ressaltar, em diferentes momentos, a diferença entre *equilíbrio mecânico*, *equilíbrio termodinâmico* e *equilíbrio cognitivo*. Seu intuito é deixar claro que a atividade de aprender se dá pela sucessão de diferentes etapas de desequilíbrios e equilíbrios, mediada por um processo de constantes reequilibrações.

Vale a pena discorrer um pouco sobre a questão do equilíbrio, pois o autor constitui a busca do equilíbrio cognitivo como fulcro de sua tese da equilibração, cujo processo estende-se além do nível biológico, alcançando o nível das abstrações nas trocas simbólicas próprias do meio social humano.

Discutiremos inicialmente o equilíbrio mecânico. O equilíbrio mecânico é a forma de equilíbrio das quais temos mais controle consciente de nossas ações no dia-a-dia. Isto se dá pelo fato que em muitas situações que exijam equilíbrio mecânico nós participamos ativamente com nosso corpo. Essa participação acontece, seja na regulação dos quadros perceptivos espaciais (ajustando os objetos em diferentes posições), seja na própria ação motora exigida para organizar esses mesmos quadros (o esticar do braço, a torção do pulso, o encolher dos dedos, etc., para poder agir sobre o objeto e modificá-lhes as posições, por exemplo). A seguir, faz-se necessário apresentar algumas noções de equilíbrio termodinâmico, para que se entenda, no contexto da física da termodinâmica, o que sejam as transformações reversíveis e irreversíveis, aplicadas a sistemas abertos e fechados, e porque se criam estruturas cibernéticas para controle dessas transformações. Esses sistemas cibernéticos são réplicas criadas pelo homem na tentativa de prover, por exemplo, uma máquina com a capacidade de regulação que se assemelhe o mais possível a um organismo vivo. A replicação cibernética torna-se possível na medida em que entendemos que o equilíbrio biológico ocorre através de processos que obedecem às leis da termodinâmica, uma vez que os organismos vivos são sistemas abertos que fazem trocas energéticas constantes com o meio ambiente. Advém daí, finalmente,

o equilíbrio dos sistemas cognitivos, com seus desequilíbrios e reequilibrações, e as trocas endógenas e exógenas, que resultarão em conhecimento e criação de novidades.

5.1 EQUILÍBRIO MECÂNICO

Piaget costuma referir-se ao equilíbrio mecânico apenas por um de seus aspectos, aliás, o mais intuitivo deles: o de repouso dos sistemas. O equilíbrio mecânico: “[...] mantém-se sem modificações, ou, no caso de ‘deslocação’, apenas dá origem a uma ‘moderação’ da perturbação, sem proporcionar uma compensação completa.” (PIAGET, 1977, pág. 14).

A rigor, o equilíbrio mecânico acontece quando um sistema ou uma partícula apresenta aceleração nula. Aceleração nula traz uma dualidade, pois garante que a partícula, ou esteja em *repouso*, ou esteja em *movimento retilíneo uniforme*. A idéia formal de força advém da contradição a este postulado, pois a força é o fator responsável por desequilibrar um sistema, por induzir uma aceleração, ou mudar sua velocidade, tanto em valor quanto em sentido. Acreditar que o equilíbrio mecânico acontece somente quando um corpo ou sistema se encontra em repouso, com todas as forças se contrapondo vetorialmente e impedindo a tomada de movimento da partícula, é uma primeira noção intuitiva de equilíbrio. Para garantir um movimento retilíneo e uniforme, cada par de forças que atua numa partícula também deve cancelar-se mutuamente, o que garante que sua velocidade irá permanecer sempre a mesma, sem mudança nem de valor nem de direção (por isso, retilíneo). Se um veículo automotor, por exemplo, se mantém com velocidade constante em uma estrada retilínea, significa que as forças impostas pelo motor que o impulsiona equilibram as forças decorrentes do atrito com o ar, do atrito com a estrada e do atrito entre suas partes mecânicas móveis. Para as concepções de senso comum, é difícil entender que um corpo que se movimenta possa estar em equilíbrio. As leis da mecânica de Newton constituem a formalização de três postulados que garantem a organização do pensamento frente a esse fenômeno do equilíbrio dos corpos, contrapondo-se às concepções intuitivas que conferem às forças somente as propriedades de “puxar” e “empurrar”.

5.2 EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO

Mas o que caracteriza um equilíbrio termodinâmico e por que Piaget o utiliza tão freqüentemente em seus estudos? Piaget admite que a *reversibilidade*, como capacidade cognitiva, tem uma proximidade conceitual com os equilíbrios termodinâmicos:

“[...] os equilíbrios cognitivos estão mais próximos dos estados estacionários, mas dinâmicos, aos quais se refere Prigogine (¹), com trocas que podem ‘construir e manter uma ordem funcional e estrutural num sistema aberto’, e estão, sobretudo, mais próximos dos equilíbrios biológicos, estáticos (homeostases) ou dinâmicos (homeorreses). (PIAGET, Idem).”

Primeiramente, devemos explorar o que seja um estado termodinâmico. Não podemos confundir o estado termodinâmico de uma substância com seus estados *de agregação*, que, antigamente, eram denominados de *estados físicos* da matéria. Didaticamente, classificamos os estados de agregação da matéria como sólido, líquido e gasoso (subentendendo que para determinadas condições, a substância tenha antes que passar pelo estado de vapor). Podemos definir o que seja um *estado termodinâmico* dizendo que:

“[...] existem estados particulares (denominados estados de equilíbrio) de sistemas simples que, macroscopicamente, podem ser caracterizados completamente pela sua energia interna U , o volume V e o número de mols n_1, n_2, \dots, n_r dos seus componentes químicos. (CALLEN, 1960, pág. 12).”

A *energia interna* U de um corpo está associada à sua *temperatura* T . Quanto maior a temperatura de um corpo, maior será sua energia interna. Esta energia interna, na verdade, pode ser interpretada como o somatório de todas as relações energéticas

internas da matéria no nível atômico, sujeitas a um princípio de conservação preciso e claramente bem definido. O *número de mols* n corresponde à grandeza físico-química denominada de *quantidade de matéria*. A quantidade de um mol está associada ao *Número de Avogadro* (N_0), cujo valor mede aproximadamente $6,023 \times 10^{23}$. E quanto ao *volume* V , de maneira mais simples ainda, podemos dizer que é a medida do espaço ocupado pela matéria expressa em metros cúbicos (m^3), no Sistema Internacional (SI).

Em termodinâmica costumamos utilizar como matéria primordial de seus estudos as substâncias na forma agregada de gás. Este gás pode ser encontrado em diferentes estados termodinâmicos, que, para simplificar, podemos denominar somente de *estado do gás*. Por exemplo, podemos colocar uma quantidade N de moléculas do gás em um recipiente com volume V_0 , à temperatura ambiente T_0 . A essa temperatura temos, então, associada uma energia interna U_0 , que podemos considerar como sendo a energia interna inicial, a partir da qual todas as seguintes serão referidas. Com isto, já temos caracterizado o estado termodinâmico deste gás. Se somente uma dessas grandezas for alterada (a temperatura, por exemplo), estaremos alterando o estado termodinâmico deste gás, uma vez que cada grandeza se relaciona com a outra, através da equação de Clapeyron⁷, que, para os gases ideais, pode ser escrita na forma:

$$P.V = n.R.T$$

Implicitamente, no exemplo anterior, aparece regida pela Primeira Lei da Termodinâmica e pela equação de Clapeyron uma outra grandeza, que denominamos pressão P_0 . No exemplo anterior, se o recipiente que contém o gás nunca mudar seu volume durante uma sucessão de processos e sofrer um aumento de temperatura, sua pressão também irá aumentar de maneira que obedeça a uma proporção direta; nesse mesmo recipiente de volume constante, se ocorrer um decréscimo na temperatura, sua pressão terá também uma redução diretamente proporcional.

Com certeza, o estado do gás que está contido no recipiente mudará completamente se acrescentarmos ou retirarmos gás (alteração do número de mols n), se o recipiente alterar seu volume através de paredes móveis (um pistão), etc.

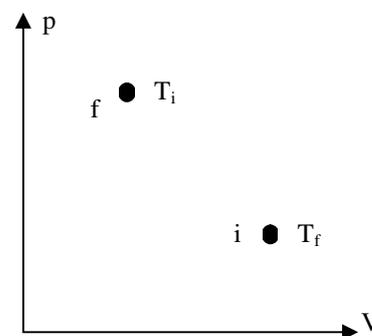
A alteração dos estados termodinâmicos pode evoluir entre dois estados de duas maneiras: através de *processos irreversíveis* e através de *processos reversíveis*.

⁷ Emile Clapeyron (1799 – 1864)

Num processo denominado *irreversível* somente temos acesso ao estado inicial e ao estado final do sistema termodinâmico, sem conhecermos o caminho pelo qual as grandezas deste sistema passaram para mudar de um estado para outro. Podemos ter uma quantidade de gás com N moléculas inicialmente sob uma temperatura T (ou uma energia interna U), uma pressão p e um volume V . Se, por um processo qualquer, esperarmos este gás mudar sua temperatura, sua pressão e seu volume para T' , p' e V' , não poderemos dizer nada sobre os diferentes estados ocupados por este gás ao longo deste processo, de tal forma que se quiser voltar para a situação inicial, T , p e V , não sabermos por qual caminho retornar. Isto é, poderemos voltar a ter o gás com T , p e V iniciais, mas não seguramente pelo mesmo caminho: não houve controle sobre as variações das diferentes grandezas associadas aos estados do gás em cada instante. Será que a temperatura se manteve constante por algum tempo? Entre dois pontos consecutivos, a pressão mudou para mais ou para menos? Essa mudança foi muito grande? Em algum intervalo entre dois pontos a pressão se manteve constante? E o volume, como variou? Em torno de um estado qualquer existem infinitos pontos vizinhos que poderiam ter sido ocupados pelo gás em algum momento antes. Qual deles retomar para um retorno às situações iniciais?

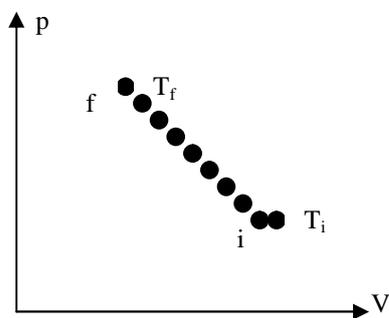
Graficamente, representamos esta mudança de estado do gás por um gráfico cartesiano do tipo pressão X volume, como mostra ao lado.

Para termos um processo *reversível* de mudança de estado de um gás, desde um estado inicial a um estado final, recorremos a um artifício, que é o de fazê-lo mudar suas grandezas muito lentamente, em pequenas porções, de tal modo que possamos ter o controle de cada estado intermediário vizinho ao anterior, e quase imediatamente vizinho ao posterior. Isto é,



teremos um caminho de ida para um estado final que pode ser retomado na volta para o estado inicial, estado por estado, no sentido inverso de como foi feito no processo de ida. As variações, as mudanças nas grandezas T , p e V são feitas de formas tão pequenas que quase nem notamos as diferenças entre as vizinhanças dos estados. A este processo, muito lento, feito estado por estado, denominamos de *quase-estático*. Com isso, teremos graficamente um formato para o caminho entre os estados inicial e final do gás. O gráfico cartesiano ao lado nos mostra este processo. Quanto menores forem as varia-

ções entre as grandezas, mais controle teremos do caminho tomado pelo gás em sua mudança de estado.



A rigor, não existem processos quase-estáticos reversíveis. Um processo reversível, uma idealização, é constituído de infinitos pequenos processos quase-estáticos irreversíveis. Os processos, tanto reversíveis quanto irreversíveis de mudança de estado termodinâmico subentendem esperas para novas acomodações do sistema termodinâmico. Cada estado termodinâmico corresponde a uma estrutura. Quando mudamos de estado, mudamos a estrutura, destruindo a anterior e construindo uma nova estrutura interna da matéria. Sob este aspecto, podemos concordar com Piaget de que o estado posterior pode ser considerado como: “[...] o repouso da destruição das estruturas anteriores” (PIAGET, 1977, pág. 14).

Fica claro que nos processos quase-estáticos de mudança de estado termodinâmico conseguimos manter uma ordem funcional e estrutural do sistema, que podemos considerar aberto, uma vez que existem trocas de energia com a vizinhança do sistema (calor, realização de trabalho externo, realização de trabalho interno, entrada e saída de gás, etc). Se essas trocas se configurarem como “perdas” para a vizinhança (por atrito, por exemplo) mesmo um sistema quase-estático pode ser irreversível, de tal forma que não conseguimos voltar ao estado inicial do processo pelo mesmo caminho que o sistema evoluiu. Ou, até, podemos “perder o caminho de volta”, devido às diferenças energéticas que aparecerão nas trocas com a vizinhança (THOMSEM, 1960).

Os processos irreversíveis eram tidos como processos “irrecuperáveis”, com tendência ao desgaste e à desestruturação total dos sistemas, em relação ao seu formato inicial. Desde cedo, Prigogine⁸ se interessou por estudar os sistemas irreversíveis, na tentativa de entender como sistemas muito bem organizados, como os sistemas biológicos, por exemplo, poderiam desenvolver-se a partir da “desordem”. Tais sistemas são denominados também sistemas não-lineares, uma vez que não seguem estritamente o paradigma do modelo newtoniano de estruturação do universo. O trabalho de Prigogine procura descrever sistemas que seguem as leis de uma cinética não-linear e que, além do mais, estejam em contato com suas vizinhanças trocando energia, o que denominamos de sistemas abertos e que as relações de não-equilíbrio são também fontes de organiza-

ção. Isto é, Prigogine fundamenta a dinâmica das trocas energéticas entre os sistemas segundo o princípio da Segunda Lei da Termodinâmica, ao afirmar que mesmo os processos irreversíveis conduzem a um novo tipo de dinâmica dos estados da matéria que denominou de estruturas dissipativas (PRIGOGINE, 1977).

5.3 EQUILÍBRIO BIOLÓGICO

Os sistemas biológicos são sistemas abertos que trocam energia com suas vizinhanças. As contribuições de Prigogine aparecem numa época em que os processos termodinâmicos irreversíveis tinham somente uma direção temporal, com aumento da entropia dos sistemas, que, em outras palavras, significa um aumento da desordem estrutural desses sistemas, sem retorno espontâneo aos estados iniciais.

A ordem funcional e estrutural no caso termodinâmico não consegue espontaneamente se organizar sem um agente externo, uma vez alterado seu estado. Aspectos cibernéticos deverão ser constituídos, quando quisermos que os sistemas se auto-regulem. Por exemplo, se quiser evitar que a temperatura do gás aumente indefinidamente, podemos instalar um termostato ligado a um sistema de resfriamento, de forma a manter o valor da temperatura sempre constante e, em consequência, as outras grandezas vinculadas às suas variações. Os mecanismos mecânicos de retroalimentação são denominados de servo-mecanismos pela engenharia, enquanto que os biólogos empregam a expressão *mecanismos homeostáticos*. Isto é, nos mecanismos homeostáticos existem regulações internas que mantêm o sistema sempre numa mesma configuração, que podemos chamar de estática ou em equilíbrio (ODUM, 1988, pág.29; 31). No exemplo equivalente ao do termostato que controla a temperatura do gás no recipiente, nos animais de sangue quente existe um centro cerebral que controla a temperatura corporal. A homeostase, no seu aspecto estático, de equilíbrio, ao contrário do equilíbrio mecânico newtoniano, garante que um sistema seja dinâmico na sua manutenção. Nos organismos vivos, a homeostase é conseguida pela participação dos seus componentes na manutenção do ciclo vital que manterá o organismo em atividade para a qual está programado

⁸ Ilya Prigogine (1917 – 2003)

para funcionar. Um fígado encontra-se em homeostasia, desde que suas células trabalhem eficientemente na elaboração dos açúcares que chegam a quantidades diversificadas; um fígado são é um fígado em equilíbrio homeostático, que consegue fazer todas as regulações possíveis para as quais está geneticamente programado. Para atingir a homeostasia, um organismo passa por uma evolução estrutural, dinâmica na sua estrutura, que denominamos de homeorrese. A homeorrese é também um estado de equilíbrio dinâmico, porém com evolução e modificações dentro da própria estrutura.

“Em qualquer caso o controle depende de uma retroalimentação (feedback), que ocorre quando uma parte da saída volta para a entrada. [...] A retroalimentação positiva acelera os desvios e é, naturalmente, necessária para o crescimento e a sobrevivência dos organismos. Contudo, para conseguir o controle – e.g., para evitar o superaquecimento de uma sala ou o super-crescimento de uma população – deve haver também a retroalimentação negativa, ou entrada suprimidora de desvios. A energia envolvida num sinal de retroalimentação negativa é mínima, comparada com o fluxo de energia através do sistema, seja ele um sistema de aquecimento residencial, um organismo ou um ecossistema. Componentes de baixa energia que apresentam, na retroalimentação, efeitos muito amplificados de alta energia estão entre as principais características dos sistemas cibernéticos. (ODUM, Idem, pág. 29).”

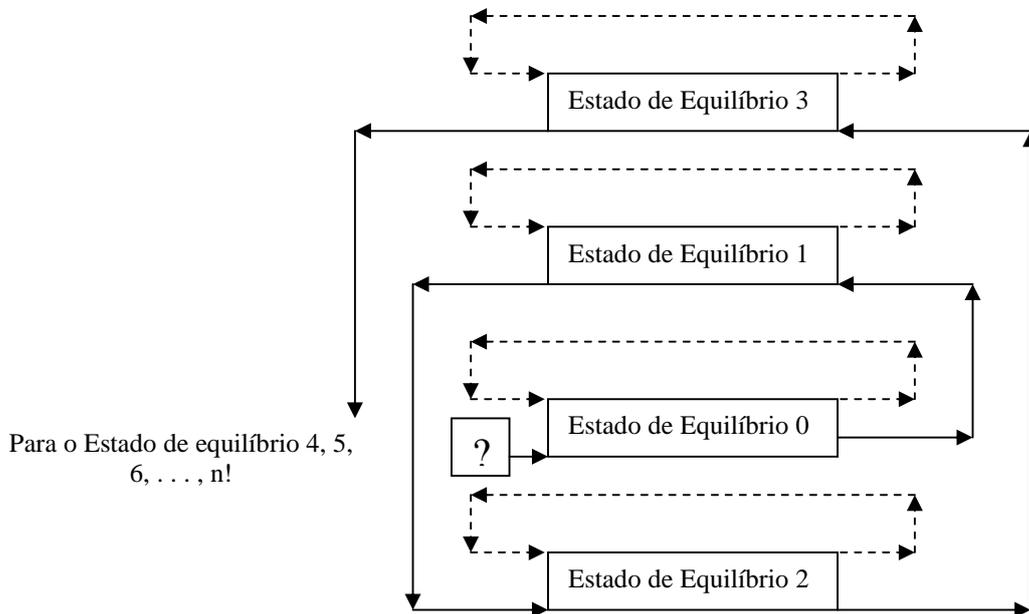
5.4 EQUILÍBRIO COGNITIVO

O equilíbrio cognitivo assemelha-se ao equilíbrio termodinâmico quase-estático. No equilíbrio cognitivo, uma estrutura não desaparece para dar lugar a uma nova estrutura; uma estrutura nasce pela transformação, homeorrésica ou homeostática, da estrutura anterior. Portanto, uma estrutura posterior subsume a anterior; por isso mesmo ela se manifesta como maior, mais evoluída. É por isso que não existe um caminho pelo qual possamos, a partir de um estado de equilíbrio cognitivo, mais evoluído, retroceder no tempo e no processo e recuperar as condições iniciais que fizeram chegar até o atual estado de cognição. Esta impossibilidade é que justifica Piaget a buscar, a partir da observação e da entrevista com a criança, em pleno processo de evolução biológica, psicológica e cognitiva, a forma como o conhecimento evolui, ao invés de partir do adulto “construído” e “finalizado”.

O desenvolvimento e a formação dos conhecimentos obedecem a uma dinâmica de reequilibração semelhante à auto-regulação que visa sua constante reorganização. Desse modo, não podemos dissociar a adaptação da organização, pois o organismo como um todo se adapta, reorganizando-se frente às pressões do meio, uma vez que está aberto a este. Um conjunto de conhecimentos pode facilmente ser desequilibrado por um fato novo; um mesmo esquema de ação precisa ser reorganizado para ser aplicado a diferentes situações que desequilibram a forma anterior de atuar.

Algumas reequilibrações fazem retornar ao equilíbrio anterior, outras, que podemos considerar como sendo as reequilibrações mais importantes para o desenvolvimento cognitivo constituem um equilíbrio novo e melhor, garantindo a auto-organização do sistema: são as *equilibrações majorantes*. Porém, onde se situa o início de um ciclo de equilibrações e de reequilibrações? É muito difícil determinarmos este ponto de partida. Somos obrigados a escolher um estado que consideramos como sendo fiducial, de referência, e a partir dali estabelecer as relações de desenvolvimento, pois, como afirmamos anteriormente, a vida não começa no estágio sensório-motor. Onde é o início: no estado fetal ou no embrionário? Ou, ainda, anterior ao embrionário? Uma criança no estágio sensório-motor ainda não faz uso da fala, de tal maneira que não podemos trabalhar com a entrevista clínica, mas apenas com a observação clínica, para acompanhar sua organização cognitiva, a construção de sua realidade. A aplicação de um método qualquer de análise do desenvolvimento de um sujeito parte da leitura de condições e manifestações que ele externa e que compõem o estado fiducial, seu estado inicial. É, pois, a partir dessas externalizações do sujeito que podemos acompanhar os futuros desenvolvimentos, sem esquecer que antes desse “zero” existe uma história à qual não tivemos acesso anteriormente. O acesso que teremos a todo seu desenvolvimento posterior se dará somente por indícios, a partir de ações ou verbalizações, que poderão indicar uma ou outra organização, conforme a interpretação do observador.

Essa sucessão de estados de equilíbrio, de desequilíbrios e de reequilbrações majorantes, comporta-se de forma cíclica e ascensional, que pode ser esquematizada pelo seguinte diagrama:



Os sistemas biológicos são alimentados por elementos exógenos, ao passo que a alimentação dos sistemas cognitivos é tanto exógena quanto endógena, com origem nas abstrações. Admitir, porém, que os sistemas cognitivos se realimentam da mesma maneira que os organismos biológicos seria admitir que todo conhecimento vem de uma realidade externa, sem possibilidades para a criação, para a novidade, concebendo estas (a criação e a novidade) como sendo apenas uma justaposição de quadros perceptivos. Por isso, a isomorfia dos dois sistemas não significa a redução de um sistema a outro. Eles são isomorfos apenas nos aspectos da dinâmica funcional.

E essa dinâmica funcional, sua organização, pode ser entendida num primeiro momento a partir do ciclo de adaptação (PIAGET, 1990), caracterizado pelas diferentes interações $A X A'$, \dots , formado pelos elementos que pertençam ao organismo (A, B, C, \dots) e os elementos proporcionados pelo meio (A', B', C', \dots). Se o organismo estiver em um ambiente, legitimamente adaptado, o processo todo ocorre de tal maneira que a assimilação se dá pelo atendimento de suas necessidades, com o organismo mantendo suas características funcionais homeostaticamente:

$$(A X A') \rightarrow (B X B') \rightarrow (C X C') \rightarrow \dots \rightarrow (Z X Z') \rightarrow (A X A').$$

Se, “porém, ocorrer uma modificação no ambiente, de tal forma que o elemento B’ seja transformado em B”, ou o ciclo é interrompido e a organização é destruída por falta de adaptação com a morte do organismo, ou este se adapta por uma modificação compensadora que substitui C por C_2 dando continuidade à forma:

$$(A X A') \rightarrow (B X B') \rightarrow (C_2 X C') \rightarrow \dots \rightarrow (Z X Z') \rightarrow (A X A').$$

O equilíbrio entre a acomodação e a assimilação acontece na medida em que a acomodação se compatibilize com o ciclo, promovendo modificações que aperfeiçoem a capacidade de assimilação.

Porém, as modificações por auto-regulação dos organismos vivos estão limitadas à capacidade de ação da bagagem genotípica dos indivíduos. Por mais que haja mudanças fenotípicas para atender às pressões do meio, estas mudanças visam somente a reorganização do organismo para aquele meio diferenciado. Poderá haver uma melhoria no funcionamento do organismo para assimilar esta ou aquela substância com maior ou menor eficácia, acontecer alterações em sua forma, mas nunca esse organismo deixará de executar as funções para as quais foi programado. Num exemplo extremo, podemos garantir que um rim, dotado com um subsistema de funções extremamente complexas⁹, jamais poderá funcionar como um cérebro, apesar das inúmeras modificações adaptativas realizadas pelo organismo.

As funções cognitivas alimentadas a partir das abstrações, como será visto a seguir, ao contrário das funções biológicas, devem ultrapassar, e ultrapassam, suas funções primitivas, constituindo os desequilíbrios apenas pontos de partida. A eficácia de uma função cognitiva é estimada pela possibilidade de ultrapassar os desequilíbrios e constituir novos estados de equilíbrio, criando funções superiores, mais aperfeiçoadas do que aquelas que sofreram o desequilíbrio (por isso, reequilibrações majorantes).

5.5 AS ABSTRAÇÕES

⁹ Não é interessante nesse ponto adentrarmos nas discussões das funções de uma única célula, visto as potencialidades que qualquer célula tenha de poder funcionar como célula-tronco.

A noção comum que se tem de abstração é a de algo que somente pode acontecer no nível das idéias, do pensamento, no sentido de ser o oposto de concreto, contrário à realidade sensível. O dicionário Houaiss apresenta “abstrato” e “concreto” como antônimos (HOUAISS, 2004).

Como foi dito antes, os sistemas cognitivos são alimentados pelas abstrações, tanto exógena quanto endogenamente. A alimentação endógena dos sistemas cognitivos pelas abstrações dá-se como produto do próprio pensamento, da coordenação interna de ações, dos não observáveis, o que não fere de modo algum a concepção usual do que seja uma abstração, como já apontamos no parágrafo anterior. Porém, o que parece nos colocar em contradição é o fato de afirmarmos que as abstrações também podem se valer de informações exteriores ao pensamento, isso é, de informações provenientes dos objetos ou dos aspectos materiais das ações, isso é, dos observáveis. Piaget chama a isso de abstração empírica.

5.5.1 Abstração empírica

A abstração empírica, no sentido que lhe dá Piaget, é a leitura das informações fornecidas pelos objetos, ou pelas ações materiais do sujeito sobre os objetos, e está presente em qualquer idade ou nível de desenvolvimento cognitivo, predominando, porém, no nível sensorio-motor. Quando falamos em “leitura”, implica que o sujeito que lê deve possuir uma estrutura que permita fazer essa leitura. Isto é, precisa de alguma estrutura que assimile o dado lido.

Ao olharmos uma fotografia de um cenário celeste, por abstração empírica retiramos dados que nossa sensação visual apreende como pontos claros, com cores diferentes num fundo preto; manchas de diferentes tonalidades também podem estar distribuídas pelo cenário. Independentemente de quem olhe esta foto, a impressão sensorial será a mesma: fundo escuro, pontos claros e manchas. Porém, a leitura que se faz do dado sensorial, o significado que a ele é dado, é resultado da percepção, pois os pontos claros

podem tanto ser estrelas, quanto luzes de uma cidade à noite, quanto defeitos na gravura.

Como ao longo de toda a vida do sujeito, a leitura do dado empírico é feita utilizando-se seus sentidos e suas atividades proprioceptivas, como mediadoras entre o sujeito e os objetos, o que o sujeito poderá ler empiricamente do ambiente não estará limitado somente à sua fisiologia, mas principalmente à sua imaginação (seja ela reprodutora ou criadora), aos pré-conceitos, à intuição e às operações de nível mais elevado que estará capacitado a realizar. A esse conjunto de fatores que permitem o acesso a essa leitura denominamos de mecanismos de percepção. Ao ato de perceber os objetos do meio físico implica, portanto, uma atividade organizada pelas coordenações internas do sujeito. Perceber os objetos do meio físico implica atividade perceptiva; implica, portanto, aplicar esquemas.

A observação do céu pode ser feita somente no plano perceptivo, num primeiro contato, quando o sujeito assimila por abstração empírica o panorama celeste. Ao passar a exercer uma atividade perceptiva com os olhos se movimentando e imitando os contornos das figuras formadas pela disposição dos astros, por exemplo, a abstração deixa de ser apenas empírica e se transforma em reflexionante, mais especificamente, pseudo-empírica na medida em que coloca no cenário celeste imagens retiradas de experiências anteriores.

Esse ponto é uma passagem delicada que tem causado muita controvérsia nas discussões entre empiristas e aprioristas: o conhecimento provém do dado empírico ou é apenas fruto do pensamento? Na obra *Les Mécanismes Perceptifs* (1961), Piaget dedica-se a discutir sobre o verdadeiro papel ocupado pela percepção no conhecimento, a partir das pesquisas feitas por sua equipe. É muito tênue o limite da distinção entre o que seja um dado puramente empírico, proveniente, por exemplo, do meio físico, e a sua interpretação, sua leitura, pelas estruturas de assimilação do sujeito. Nas informações retiradas do meio físico colocamos imediatamente significados retirados de nossas experiências anteriores. Tudo “lembra” alguma coisa. Raras situações podem ser consideradas novas, do ponto de vista empírico. As duas galáxias satélites da nossa (visíveis no hemisfério sul, somente, a poucos graus do pólo sul celeste), por exemplo, foram consideradas por muito tempo como sendo “nuvens” no firmamento, por isso os nomes de Pequena e Grande Nuvem de Magalhães (levam este nome por terem sido avistadas oficialmente em 1519 por aquele navegante português). O próprio nome “galáxia” provém

do grego¹⁰ “gala” (γαλα), que significa “leite”, “leitoso” (γαλακτικοζ)! O dado empírico é o fato de serem regiões esbranquiçadas no céu (até o termo esbranquiçado . . .), independente do que chamemos essas regiões. Da mesma forma aconteceu com as nebulosas (do latim¹¹ “nebula”, nevoeiro, nuvem).

5.5.2 Abstração reflexionante

5.5.2.1 A ABSTRAÇÃO PSEUDO EMPÍRICA

A percepção, como entende Piaget, não é, como poderíamos crer, a recepção passiva das informações sensoriais provenientes do ambiente externo ao sujeito, como uma “colagem” de impressões na memória, mas é, na verdade, uma atividade, rica em ações internas e coordenadas. Os dados externos são desprovidos de forma lógico-matemática; a leitura dos dados perceptivos utiliza estruturas, cujas construções são anteriores à percepção atual; é a ação assimiladora do sujeito sobre os objetos que dá significado aos dados acomodando a eles seus esquemas, através de coordenações de ações internas. Isso faz com que se distingam as funções cognitivas em operativas e figurativas. A função operativa caracteriza-se pelo poder de transformar o objeto através de operações superiores, ou de estruturas lógico-matemáticas. A figurativa prende-se à percepção; consiste numa tomada de posse de elementos imediatos e atuais, sem modificação do objeto pela estrutura assimiladora.

No exemplo anterior, de olharmos uma fotografia do céu, se identificarmos os pontos claros como estrelas, passamos a exercer uma abstração pseudo-empírica, pois colocamos a característica “estrela” para aqueles pontos; e somente sabemos que aquela gravura se traduz em um retrato do céu, pela imagem que temos dele retirada de nossa memória construída através de experiências anteriores.

¹⁰ Dicionário Essencial, op. Cit.

¹¹ Dicionários Acadêmicos, op. Cit.

As imagens das constelações não estão no céu, como pensamos. Uma mesma atividade perceptiva (a perscrutação do céu) pode invocar diferentes nomes e representações das constelações para diferentes culturas e pessoas. Dentre tantos exemplos, podemos citar a constelação Scorpius (Escorpião). Essa constelação tem esse nome e essa representação proveniente da mitologia grega. Conta que escorpião foi o animal enviado por Ártemis, deusa da caça, para matar o caçador Órion, porque ela se sentia prejudicada em suas atividades por aquele gigante. Mas o escorpião nunca chegou a matar Órion e até hoje continua a persegui-lo! Por esse fato as constelações de Órion e Scorpius são antipódicas, pois quando uma está nascendo no leste a outra está se pondo no oeste, e vice-versa. Scorpius é a constelação das noites de inverno e Órion é a constelação das noites de verão. Essa mesma constelação nada tem a ver com a figura de um escorpião para os nativos neozelandeses. Para eles, ela é a constelação que lembra um anzol, em homenagem ao semideus e pescador Maui¹² que, segundo a lenda Maori, retirou a Nova Zelândia do fundo do mar, na origem dos tempos, e jogou o anzol para o céu! O nome da Nova Zelândia, “Te ika Maui”, em maori, significa “peixe de Maui”¹³.

Existe um estudo da “astronomia” dos índios brasileiros que mostra uma descrição do céu totalmente diferente daquela que estamos acostumados a ler, onde, por exemplo, encontramos a constelação da Ema (Guira Nhandu), que abrange toda a região onde se localizam as constelações Crux, Scorpius, Musca, Circinus, Centaurus, Triangulum Australe, Ara e Telescopium. A Via Láctea é conhecida como o Caminho da Anta (Tapi’i rape), pois numa das extremidades da “Via Láctea” pode ser localizada a constelação da Anta (Tapi’i). Logicamente, a descrição do céu dos índios brasileiros é muito diferente da descrição do nosso céu de origem européia, uma vez que as imagens que os nativos lá colocam representam seu universo conhecido, que nada tinha a ver com a mitologia greco-romana ou com a mitologia neozelandeza. O pioneiro nessas pesquisas e grande referência no tema é o professor da Universidade Federal do Paraná, Germano Bruno Afonso¹⁴.

Quando levamos, pela primeira vez, pessoas de diferentes idades para olhar o céu, em atividades de observação orientada, propomos um exercício muito divertido e

¹² Astronomy Magazine. July 2000. Celestial portraits: Scorpius, pág. 86. Milwaukee, USA: Kalmbach Publishing Co.

¹³ WHITMORE, Robbie. **The history of New Zealand : a brief overview of the pre-historic, colonial and modern periods**. Disponível em <http://www.history-nz.org/maori9.html>, agosto 2007.

¹⁴ AFONSO, Bruno Germano. **Mitos e Estações no Céu Tupi-Guarani**. Revista Scientific American Brasil. Edição Especial: Etnoastronomia. N° 14. Pág. 46 a 55

bastante motivador, antes de passar para a atividade propriamente dita: cada um deve procurar “enxergar” formas no céu, ligando os diferentes grupos de estrelas. Em muitos casos, as formas oficiais (peixes, libra, sagitário, balança, aquário, corvo, entre tantas) não são mais aceitas por “parecerem menos significativas” que aquelas que os sujeitos identificaram anteriormente, nessa atividade preliminar.

Estrelas novas ou supernovas destacam-se no cenário celeste pelo seu brilho “repentino”, desconfigurando uma imagem anterior guardada na memória. Quem nunca olha para o céu e, por isso, não tem o cenário memorizado, nunca enxergará uma nova ou supernova. Isso acontece porque o cenário só será novo para o observador que tiver referenciais anteriores; caso contrário, não ocorrerão diferenciações no nível perceptivo. Nos dias de hoje a procura por supernovas passou a ser intencional, motivo de pesquisa, quando imagens (constituídas por gravuras, imagens fotográficas, imagens feitas a partir de telescópios robotizados¹⁵) de uma mesma região do céu são justapostas ou comparadas. Os nomes “nova” e “supernova” advêm do fato dessas estrelas surgirem em regiões do céu onde, antes, ou não havia estrela alguma, ou uma estrela de brilho muito fraco passou a brilhar com muita intensidade. Dentre as estrelas “novas” havia algumas que brilhavam mesmo durante o dia claro, por isso chamadas de “supernovas”.

Além das formas que colocamos nas constelações, até mesmo a dinâmica do céu pode ser lida a partir da percepção (percepção como atividade perceptiva, com caráter diferenciador do cenário). São perceptíveis, nesse sentido, as diferentes intensidades dos brilhos das estrelas, suas posições, movimentos, proximidade, posições aparentes em relação a um cenário terrestre, entre tantos.

Neste ponto, é necessário definir, nesse trabalho, quem é o sujeito que observa o céu. Com certeza não é a criança do estágio sensorio-motor, nem do pré-operatório, por razões já apontadas anteriormente. Nosso sujeito que observa o céu com intencionalidade é um sujeito que opera concretamente as estruturas imagéticas (PIAGET, 1993) e espaciais (PIAGET, 1977). A mais simples observação do céu, no sentido de uma verdadeira observação, requer que, no mínimo, operações de seriação, de ordenação, de classificação, transitividade, noção de objeto, noção de espaço, noção de proximidade e profundidade, já sejam conscientes pelo sujeito.

¹⁵ NAPOLEÃO, T. A. et all. **Um Programa Brasileiro Para Busca de Supernovas: Conceção e Primeiras Descobertas**. Disponível em <http://telescopiosnaescola.pro.br/napoleao.pdf>, agosto, 2007.

A atividade perceptiva por si só não gera novidade. A astronomia utiliza como dado principal a imagem, originária da percepção. Todas as informações que podemos obter dos astros celestes provêm de inferências matemáticas sobre essas imagens. Porém, como vimos, para que exista a percepção, é necessária uma estrutura que tenha capacidade de “perceber”, de ler e dar significado ao dado empírico. Isso não é feito pela percepção, apenas; mas pela atividade perceptiva, lógico-matemática, que remonta à atividade estrutural do sujeito. Como se constróem essas estruturas? Como lemos o dado empírico em forma de imagens astronômicas? Essa leitura apoia-se em que modelos de estruturas?

5.5.2.2 REFLEXIONAMENTOS E REFLEXÕES

O mecanismo (é assim que Piaget o denomina) da abstração reflexionante é constituído de reflexionamentos que extraem informações de um patamar inferior de abstração e projetam-nas para um patamar superior:

“[...] O reflexionamento mais elementar que consideramos aqui é o que conduz das ações sucessivas à sua representação atual, portanto, de um movimento sensório-motor a um início de conceituação que o engloba, assim como seus predecessores próximos. [...] O segundo patamar é o da reconstituição (com ou sem narrativa) da seqüência das ações, do ponto de partida ao seu término, e que consiste, portanto, em reunir as representações em um todo coordenado. O terceiro patamar é o das comparações, em que a ação total, assim reconstituída, é comparada a outras, análogas ou diferentes (PIAGET, 1995, pág. 275).”

Seja, por exemplo, o exercício do jogo, executado pelas crianças. Nessa atividade predominantemente assimiladora, se dermos uma coleção de objetos de formatos diferentes para uma criança brincar, verificamos que ela brinca aparentemente sem objetivo algum, mexendo apenas os objetos, visivelmente exercitando os esquemas já construídos tornando o jogo em si nada mais que o próprio exercício de suas condutas sensório-motoras. Com o passar do tempo (e se esse passar do tempo for acompanhado por um número muito grande de experimentações, aparentemente repetindo a mesma atividade)

a criança começa espontaneamente a classificar e a ordenar esses mesmos objetos. Quando isso acontece a criança já consegue coordenar as semelhanças (classificações) e distinguir as diferenças (seriações).

Até esse ponto, podemos abarcar os três patamares de reflexionamentos citados anteriormente. Um quarto patamar pode aparecer no momento em que as “reflexões” passam a reorganizar as seriações e as classificações sintetizando-as e dando origem à noção de número.

O número, então, passa a ser o objeto de novos reflexionamentos e novas reflexões, transformando-se em novo objeto de pensamento para novas reflexões, o que pode atingir diferentes graus de “meta-reflexão”. Isto é, a idéia de número que resultou de coordenações, em um patamar superior, a partir do que foi projetado de patamares inferiores, passa a se tornar também o patamar inferior de novos reflexionamentos para novos patamares superiores, e assim sucessivamente. A esta reorganização, no patamar superior, do que foi projetado do patamar inferior, Piaget denomina de reflexão:

“Esta “reflexão”, segundo aspecto da abstração reflexionante, é, então, necessariamente generalizadora, pelo fato de que ela se apóia sobre uma totalidade mais ampla. Não se trata, portanto, de relações indissociáveis da abstração e da generalização que determinam os dois pólos do processo da equilibração, mas, de modo mais geral, dos pólos da diferenciação e da integração. Quanto a este último, implica ele uma ação do sistema total sobre os subsistemas e não se reduz, portanto, sem mais, a um equilíbrio ou assimilação recíproca entre os subsistemas: com efeito, a integração em um todo conduz à formação de leis gerais de composição, podendo diferir das leis dos subsistemas . (PIAGET, 1977, pág. 28).”

Quando Galileu Galilei apontou seu telescópio para os planetas, estes não passavam, visual e conceitualmente, de estrelas como quaisquer outras, porém errantes, por não pertencerem a uma constelação fixa ao longo do ano. As primeiras observações que ele fez de Júpiter mostraram que em torno daquela “estrela” existiam quatro pontos luminosos alinhados (abstração empírica). De observações sistemáticas (intencionais!) foram coletados dados (se não numéricos, pelo menos imagéticos) que mostraram que os quatro pontos luminosos não somente estavam alinhados em torno, mas giravam ao redor de Júpiter com períodos aparentemente regulares individualmente, mas com diferentes períodos de translação entre si (abstração pseudo-empírica). Galileu chamou a

esses quatro pontos luminosos de “Estrelas Mediceanas”, em homenagem ao seu patrocinador florentino, o Gran Duque Cosimo II de Médici. A observação sistemática posterior mostrou, ainda, que Vênus e Mercúrio apresentavam fases, a exemplo da Lua, fazendo crer que a luz dos planetas que percebemos aqui da Terra seria a luz do Sol refletida das suas superfícies. Com isso, ele tematiza a hipótese segundo a qual os planetas que vemos no céu, incluindo a própria Terra (que não vemos), estariam orbitando em torno do Sol, o que concordaria com as hipóteses de Copérnico¹⁶ e faria o próprio Galileu entrar em confronto com a Igreja (WATSON, 2005). Na época, a mecânica celeste adotada pela Igreja tinha como base uma cosmologia aristotélica, na qual todo o universo (sol, planetas e estrelas) girava em órbitas perfeitamente circulares, tendo a Terra como centro desses giros. Esse modelo aristotélico do universo era congruente com a Bíblia, em particular o livro do Gênesis. Some-se a isso que o modelo de universo de Ptolomeu, imaginado a partir de medidas herdadas de observadores mais antigos, contribuía para essa visão (PANNEKOEK, 1960).

O que se deve levar em conta é que o modelo de sistema solar, proposto por Ptolomeu¹⁷, não é um modelo de senso comum; muito ao contrário, é um modelo inferido a partir do registro sistemático das medições das posições dos astros feitas por ele mesmo e por seus antecessores. Lembremos que, à época de Ptolomeu, o telescópio ainda não tinha sido inventado e que os registros eram feitos através de réguas, goniômetros, comprimentos de sombras, deslocamentos relativos dos astros, etc. Pelos registros, notava-se que Saturno era o planeta que mais demorava para retornar à mesma constelação, seguido por Júpiter e depois Marte, respectivamente. Ora, o retorno à mesma posição significava que os planetas descreviam curvas fechadas, que, para o paradigma da época, deveriam ser circunferências perfeitas. À maior circunferência correspondia o maior caminho percorrido; portanto, tal caminho logicamente deveria pertencer a Saturno. E assim sucessivamente. Desse modo, a ordem de afastamento dos planetas em relação à Terra não poderia ser outra senão a que conhecemos: Marte, Júpiter e Saturno. O Sol, por sua vez, nunca passou pela frente do disco lunar, mas o contrário, o disco lunar frequentemente cruzava o disco solar, escurecendo-o nos eclipses. Não estaria a Lua, então, mais próxima da Terra que o Sol e este além da órbita da Lua? A Terra não poderia, por este ponto de vista, deixar de ser o centro das observações. A passagem dos planetas pelas constelações era outra garantia que as outras estrelas “imóveis”, nas suas constela-

¹⁶ Nicolau Copérnico (1473 – 1543)

ções, deveriam se encontrar mais longe ainda. A mudança das constelações ao longo do ano é outra evidência de que existe um movimento do céu que arrasta todos os astros.

As hipóteses de Copérnico contrariavam quase completamente o sistema de Ptolomeu na medida em que seu modelo afirmava que: 1) não haveria um centro para todas as órbitas ou esferas celestes; 2) o centro da Terra não é o centro do mundo, mas somente da gravidade e da órbita lunar; 3) todas as órbitas planetárias são feitas em torno do Sol, como se ele estivesse no centro, de modo que o centro do sistema planetário como um todo se encontra no Sol; 4) a relação da distância entre o Sol e a Terra com a altura do firmamento é muito menor que a existente entre o semidiâmetro da Terra em relação à distância ao Sol, de tal modo que a sua razão em relação à altitude do firmamento é imperceptível; 5) o que aparece como movimento no firmamento não é devido a ele mesmo, mas à Terra; 6) o que nos parece em movimento em relação ao Sol não é devido a ele mesmo, mas devido à Terra, que se encontra em revolução tal como acontece com qualquer outro planeta; 7) o movimento retrógrado dos planetas no céu não são devidos aos movimentos dos planetas como tais, mas são decorrentes dos movimentos da Terra também (PANNECKOEK, idem).

Copérnico reconhecia o caráter herético do seu trabalho e, embora o conteúdo já fosse de conhecimento público, manteve seus manuscritos invioláveis e escondidos para evitar uma provável audiência com os inquisidores da Igreja. Não era sua intenção publicá-los, mas em 1541, quando completou a escrita dos seus *De Revolutionibus*, seu discípulo Rheticus¹⁸, o convence a publicá-los na Alemanha, país predominantemente protestante, na época (DANIELSON, 2006).

Se o processo diferenciador fosse válido por si só, Galileu chegaria à conclusão de que existem estrelas com fases e estrelas sem fases e, ainda, estrelas que orbitam estrelas, pluralizando a rede de classificações das estrelas feitas, até aquela época, somente com recursos visuais, sem aparelhos. Mas ele foi além, construindo uma totalidade nova, a partir do conhecimento da época, por uma generalização integradora, relacionando as fases de Vênus e Mercúrio com as fases da Lua. Será que Galileu buscava essa evidência, ou a observação desses planetas foi uma ação fortuita para aplicar a utilidade do telescópio em outros cenários? Se foi fortuita, podemos dizer que essas “novidades” aconteceram primeiramente por uma atividade perceptiva, pela organização de quadros

¹⁷ Claudius Ptolomeu (90 – 147)

¹⁸ Joachim Rheticus (1514 – 1574)

estáticos perceptivos, por abstração empírica. A partir daí, as investigações do céu deixaram de ser fortuitas; tornaram-se intencionais. Qualidades e propriedades que antes não apresentavam foram neles colocadas, por abstração pseudo-empírica: períodos orbitais, distâncias relativas, etc.

Mas de onde a abstração pseudo-empírica retira qualidades ou propriedades que não se encontram no dado empírico? A assimilação do dado empírico não é agente de criação de novidade. Ao contrário, a riqueza do dado empírico será cada vez mais refinada na medida em que mais e mais propriedades possam ser atribuídas ao objeto por abstração reflexionante, no caso, pseudo empírica. Para que aconteçam novidades, é necessário que o sujeito, através de ações coordenadas, num patamar superior de reflexão, reorganize conscientemente as ações, os fatos, as informações e outros dados que forem retirados (abstraídos) de patamares inferiores.

5.5.2.3 ABSTRAÇÕES REFLETIDAS

Retomemos o exemplo do exercício do jogo executado pelas crianças. Após um longo percurso de experimentação ativa a criança descobre que ter dois bonecos, duas esferas, dois feijões, duas calças, etc. significa colocar neles uma propriedade comum (ser dois) que independe dos objetos. Essa descoberta nada mais é do que a síntese da seriação e da classificação ou da idéia do que seja o número, nesse caso, o número dois. Antes dessa descoberta, “ser dois” era uma qualidade “colada” nos objetos, como se fosse alguma característica individual imposta aos objetos por alguém, tal como um nome – embora um nome, como João, por exemplo, também possa ser atribuído a muitas pessoas. Por abstração refletida, a propriedade de ser dois deixa de ser um atributo de alguns objetos físicos imediatos com os quais brincava e passa a ser uma propriedade que pode ser aplicada a infinitos conteúdos: dois anos, dois dedos, duas galáxias, dois planetas, duas árvores, e assim por diante. É uma propriedade obtida como resultado da interação sujeito-objeto por abstração reflexionante.

Reflexões feitas em diferentes patamares de abstração a respeito do que as informações sobre os planetas confirmavam ou não, acabaram conduzindo a uma abstração refletida ressignificando o conceito de planeta, que se sobrepôs ao conceito anterior. Essa sobreposição do conceito novo sobre o conceito antigo de planeta não exclui aquelas noções primitivas do primeiro. Para quem observa o céu, mesmo sistematicamente, sem a utilização de aparelhos, sem se apossar dos conceitos impostos pela cultura, não consegue diferenciar o que é planeta e o que é estrela. Indo mais longe, podemos afirmar que, mesmo de posse dos conceitos impostos pela cultura através da escola, principalmente, é muito difícil diferenciarmos entre um e outro, se não tivermos uma carta celeste e se não fizermos um acompanhamento sistemático do céu num largo intervalo de tempo ou, ainda, se não tivermos alguma informação que permita diferenciar um e outro.

Na abstração empírica, os reflexionamentos transferem qualidades dos objetos ou das ações em suas características materiais, isso é, dos observáveis. A abstração reflexionante, entretanto, não se faz sobre observáveis, mas sobre as coordenações das ações. Para cada nova coordenação de ações num patamar de reflexão superior, novas formas poderão ser constituídas. A tomada de consciência dessas novas formas, que caracteriza uma abstração refletida, pode ser lida como um novo conteúdo que emerge da reflexão, nesse patamar superior. Essas novas formas enriquecem cada vez mais o objeto original com novas propriedades, a ponto de se tornar um objeto virtual ou de pensamento. Cada nova reelaboração, realizada pela reflexão, produz formas cada vez mais ricas. Essas formas constituem o sujeito epistêmico, aumentando cada vez mais sua capacidade, de diferenciação e de integração, e, por isso mesmo, de generalização. Isto é, quanto mais diferenciador for o sistema assimilador do sujeito, mais ele conseguirá aperfeiçoar a ação da abstração pseudo-empírica, o que permitirá um maior refinamento das abstrações reflexionantes e melhor leitura das abstrações empíricas. Em vista disso, dizemos que a abstração empírica e a abstração reflexionante são solidárias pelo fato de uma colaborar com a outra. Não existe reciprocidade total entre elas porque a abstração reflexionante desenvolve-se em níveis cada vez mais elevados, o que não acontece com a abstração empírica que só melhora com a abstração reflexionante. A abstração empírica depende da abstração reflexionante para se enriquecer e a abstração reflexionante vai às coordenações das ações (ao empírico buscar fatos, conteúdos, objetos, observar ações materiais – isso é âmbito da abstração empírica), para avançar na reflexão, levantar no-

vas questões, organizar novos patamares de reflexão. É esse refinamento da abstração reflexionante que faz com que um objeto observável (mirado pela abstração pseudo-empírica) nunca se esgote.

Retomando a linguagem da equilibração, vemos que um conceito, como o de planeta, firmado, adotado como certo e perene pelas instituições da época, foi abalado, perturbado através das observações e reflexões de Galileu, que geraram contradições. Os novos conteúdos, advindos de suas observações, não mais se enquadravam às suas estruturas assimiladoras, desequilibrando por isso seu sistema cognitivo, uma vez que o equilíbrio entre a assimilação desses e a respectiva acomodação às estruturas pré-existentes fora abalado.

As observações de Galileu poderiam ter simplesmente constatado um aumento no número de estrelas invisíveis à vista desarmada. Bem antes de Galileu, outros observadores já haviam desenhado esboços de crateras da Lua utilizando o telescópio; haviam detectado a presença de um número muito maior de estrelas do que habitualmente se via e, no entanto, esses dados não modificaram em nada o conhecimento da época (WATSON, idem). Por que, então, esses outros observadores não tiveram a mesma curiosidade de Galileu e avançaram no conhecimento como ele o fez? O que gera um desequilíbrio cognitivo? Em que estruturas se apoia um novo equilíbrio?

Para respondermos a essas questões, é importante agora esmiuçarmos um pouco mais a dinâmica do pensamento procurando entender as estruturas produzidas pelas abstrações e ver como se dá o desenvolvimento cognitivo.

6 A ESTRUTURA DO PENSAMENTO E O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO

A organização do pensamento apóia-se em dois aspectos complementares: as condições de equilíbrio, a exemplo do que acontece com as estruturas biológicas, e a construção de estruturas para a manutenção desse equilíbrio. As condições de equilíbrio envolvem auto-regulações: reequilibrações, ao sair de estados de menor equilíbrio para os

de maior equilíbrio, sobrepondo-se estes últimos aos anteriores. As estruturas constituem sistemas em equilíbrio – dinâmico não estático. A fim de conservar o equilíbrio, utilizando mecanismos reguladores, as ações próprias dessas estruturas são capazes de compensar as perturbações causadas, por exemplo, por uma contradição (PIAGET, 1976).

Existem três formas de equilíbrio (PIAGET, 1977). A equilíbrio: 1) entre a assimilação dos esquemas de ação e a acomodação destes esquemas aos objetos; 2) entre os subsistemas de esquemas; 3) entre a diferenciação e a integração (das relações que unem subsistemas cognitivos a uma totalidade que os engloba).

A primeira forma corresponde ao que anteriormente denominamos de equilíbrio homeostático dos sistemas cognitivos, da implicação mútua da assimilação e da acomodação, com aquela conferindo significado ao objeto, sem modificação da estrutura (por exemplo, a estrutura já vista constituída pelo ciclo de adaptação dos organismos vivos), mas admitindo modificações internas acomodadoras.

Retomando Galileu, fica visível que o instrumento utilizado por ele não apenas ajudou a ampliar as imagens que ele formou a partir da observação das estrelas, mas também a acomodar-se às “novas” estrelas não visíveis com a vista desarmada. O que era invisível passou a ser visível; a mesma estrutura assimiladora das coisas visíveis adapta-se para ver as coisas “invisíveis”; pelo processo de acomodação modificam-se os esquemas anteriores.

A segunda forma não é tão imediata, uma vez que os subsistemas são relativamente independentes e nem todos eles fazem elaborações ao mesmo tempo, com a mesma velocidade. A conservação ou equilíbrio mútuo de dois ou mais subsistemas pode ser conseguida mais cedo ou mais tarde por assimilação recíproca. Essa organização dos diferentes esquemas ocorre com a assimilação e a acomodação, agora internas, de um sistema de ação a outro. O telescópio passou a ser um prolongamento da ação visual humana. A exemplo do bastão, que a criança utiliza para puxar objetos que estão longe, coordenando os esquemas de puxar, pegar, apreender, etc., olhar ao telescópio requer coordenações de esquemas diferentes para executar um ato simples como o de enxergar.

A última forma de equilíbrio acrescenta uma hierarquia às simples relações entre subsistemas colaterais, originando um sistema mais geral, com a integração de ambos, mas mantendo a diferenciação entre os esquemas. O novo conceito de planeta,

construído por Galileu, requer que ao mesmo tempo se diferenciem duas situações que acontecem simultaneamente: embora se retire, por abstração empírica, as informações visuais dos planetas, ainda concebidos como estrelas, corre paralela a esses dados a compreensão de que suas naturezas são muito diferentes.

De outro modo, para que os objetos exteriores A' sejam assimilados pela estrutura, ou esquema A , é necessário que o sujeito distinga os caracteres a' desse esquema A , diferentes de todos os outros, que podemos considerar como $não-a'$, retendo uns (operação positiva) e descartando os outros (operação negativa). Da mesma forma, para os ajuizamentos dos caracteres é necessário distinguir entre os esquemas A e os $não-A$. Esses ajuizamentos, essas distinções, na maioria das vezes não são conscientes na sua forma, mas existem situações em que a explicitação das diferenciações deve tomar a forma de uma sistematização. Nem sempre um esquema A encontrará seu alimento A' , mas pode encontrar uma acomodação em outros termos A'' , com caracteres a'' . Se acontecer esta acomodação, o esquema A será modificado para A_2 , coexistindo com A na sua antiga forma, que passa a ser A_1 . O esquema A será então a síntese $A = A_1 + A_2$. A necessidade funcional das negações faz-se, então, presente para que o equilíbrio desta nova forma aconteça com A_1 a utilizar unicamente os A_1' e A_2 a utilizar A'' . E isso somente se consegue quando reconhecemos as negações parciais $A_2 = A \bullet não-A_1$ e $A_1 = A \bullet não-A_2$.

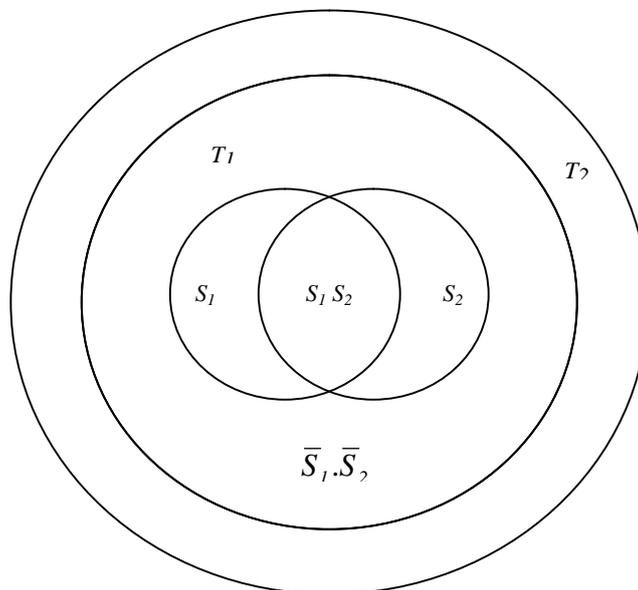
Da mesma forma, a coordenação de dois subsistemas cognitivos, S_1 e S_2 , consiste em descobrir-lhes uma parte operativa comum, $S_1.S_2$, que se opõe a $S_1 \bullet não-S_2$ e a $S_2 \bullet não-S_1$. Essa parte operativa comum $S_1.S_2$ corresponde a uma estrutura de intersecção, característica da equilibração por assimilação e acomodação recíprocas (PIAGET. *Idem*, pág. 22), que pode ser visualizada utilizando os círculos de Venn¹⁹-Euler²⁰, e compreendidos da seguinte maneira:

“[...] diferenciar uma totalidade T em subsistemas S é afirmar que cada um destes tem de seu, e, além disso, e em igual medida, excluir o que quer dizer, negar, as propriedades que não compreende e pertencem a outros. Em segundo lugar, constituir um sistema total T é destacar positivamente as propriedades comuns a todos os S , mas é também distinguir, agora negativamente as propriedades comuns dos caracteres particulares que não pertencem a T . Em suma, a diferenciação assenta em

¹⁹ John Venn (1834 – 1923)

²⁰ Leonhard Euler (1707 – 1783)

negações e a integração, por sua vez, implica-as, enquanto a própria totalidade T é ultrapassada e transformada num subsistema T1 de categoria superior aos S, ao lado de uma segunda estrutura T2 e no interior de uma nova totalidade ampliada. (IDEM, pág. 22-23).”



A forma como se coordenam e organizam todas essas ações diferenciadoras e totalizadoras, representadas simbolicamente pelos círculos de Venn-Euler, construídos a partir da sintaxe das negações e afirmações, constitui uma estrutura que lhes dá significado. O pensamento estruturado é pensamento organizado. Qualquer dificuldade que possa advir na incorporação de um objeto a um esquema de ação ou na assimilação recíproca de dois esquemas de ação, denomina-se perturbação.

No nível das abstrações, as diferenciações se estendem para além da operação paritária de exclusão. Isto é, as negações e afirmações na sua forma mais simples irão conduzir à organização do pensamento, passando pela estrutura mais elementar de classificação que é o agrupamento até atingir potencialmente o pensamento formal, hipotético-dedutivo. Dizemos potencialmente, porque a construção de estruturas depende da maturação do sistema nervoso, das experiências adquiridas em função do meio físico e das pressões do meio social; enfim, das perturbações e contradições a partir das quais se reorganiza o universo pessoal. A essas primeiras formas de negações denominamos de negações parciais, visto que elas se fundamentam sobre a complementaridade relativa das classes imbricantes mais próximas (PIAGET, 1977), impossibilitando a reversibilidade operatória pela sua extensão. Dizer, por exemplo, que a totalidade do céu se com-

põe de estrelas e *não-estrelas* implica afirmar que tudo o que não for estrela compõe uma sub-classe; desse modo, os meteoróides, cometas e planetas constituem uma sub-classe ou classe complementar ao conceito estrela. Isso traz um problema lógico de classificação sucessiva que consiste em transformar a sub-classe das não-estrelas em outras subclasses que englobariam por sua vez as classes menores dos cometas, dos planetas, etc. E o pensamento não se reduz a uma diferenciação, apenas, do universo perceptivo, através de classificações e seriações. E não se executam operações de classificações e seriações a partir das justaposições de quadros perceptivos provenientes da abstração empírica.

Considerando que “[...] uma operação é uma ação que pode ser interiorizada e revertida e que, com outras de mesma espécie, constitui uma estrutura caracterizada por leis de totalidade que incorporam uma ou outra forma de reversibilidade.” (PIAGET, 1969, pág. 356), o pensamento pré-operatório (ou intuitivo) não executa operações nesse sentido. É um pensamento que não produz transformações do porte das transformações no nível concreto. São transformações que evoluem de uma situação mais simples, particular, para outras mais complexas que as iniciais, porém também particulares. As transformações que se observam são atribuídas à própria ação pessoal do sujeito ou terão origens causais externas – criam-se assim os mitos, os artificialismos e os animismos. As contradições, que porventura aparecerem nesse período, não podem ser ainda consideradas como tais no sentido lógico; são inconstâncias do real que desconfiguram a percepção. Essas inconstâncias perceptivas também são reequilibradas por regulações executadas pelas abstrações, acomodando as estruturas às diferentes realidades, tanto no nível visual quanto no nível das correções e dos ajustamentos intrínsecos à ação pessoal (regulações perceptivas). Nessa etapa, os cenários perceptivos não seguem uma trajetória de filiação que atenda a uma sucessão temporal ou seqüencial de acontecimentos organizados e estruturados com leis gerais de funcionamento.

O pensamento operatório concreto, que começa a se mostrar evidente a partir dos 7 anos, em média, ordena, por outro lado, suas operações a partir de estruturas muito bem organizadas e apoiadas em leis gerais de funcionamento, colocando nos observáveis físicos (ações ou objetos) mais imediatos as regularidades das quais o sujeito tem consciência (no sentido mesmo de tomadas de consciência ou de abstrações refletidas anteriores). Essa busca das propriedades imediatas das regularidades limita ainda o esforço da ação combinatória que possa existir para diferentes elementos e suas diferentes

propriedades, não permitindo que o sujeito consiga raciocinar sobre todas as possibilidades reais e, principalmente, sobre possibilidades que não sejam reais ou não-observáveis. As abstrações refletidas desse período, portanto, acontecem principalmente a partir das reflexões sobre elementos colhidos pelos reflexionamentos, predominantemente por abstração pseudo-empírica. Essas reflexões, que se traduzem pelas coordenações internas das ações do sujeito nos diferentes patamares de abstração, porém, estão mais voltadas para as sucessivas tomadas de consciência de propriedades comuns passíveis de leitura pelo sujeito, tais como classificação, seriação, correspondências, transitividades, propriedades dos objetos. O sujeito ainda não realiza a síntese de conceitos mais complexos, mais abrangentes, a partir das propriedades retiradas das coordenações dessas ações mais imediatas. Quando o sujeito conseguir realizar essa síntese de conceitos mais complexos, podendo incluir na combinatória das possibilidades de ações imediatas também a combinatória de ações não observáveis, não imediatas, podemos dizer que seu pensamento é operatório formal.

6.1 DO OPERATÓRIO CONCRETO AO OPERATÓRIO FORMAL

As duas formas de reversibilidade próprias do pensamento concreto (reversibilidade por inversão e reversibilidade por reciprocidade) não se encontram, nesse estágio, fundidas em uma estrutura única. Mas, apesar de não constituir um sistema integrado, cada forma de reversibilidade expressa um sistema em equilíbrio, porque as formas de reversibilidade são compensações para as possíveis perturbações que podem se apresentar para o sistema cognitivo.

A reversibilidade, do ponto de vista lógico e estrutural, pode se apresentar por duas formas distintas que se complementam: a) pela negação ou inversão, onde o produto de uma relação direta com seu inverso resulta numa operação nula, ou retorno à identidade; b) pela reciprocidade, onde o produto de duas operações recíprocas nos dá uma equivalência. Podemos entender essas duas formas tanto pelas ações do sujeito, quanto pela sua estrutura proposicional.

Proposicionalmente, a inversa de uma operação é a complementar com referência à afirmação completa ($p \bullet q$), que pode ser considerada como sua negação no seio da afirmação completa (PIAGET, 1976, Definição 32). Por exemplo, seja o trilema, ou disjunção não exclusiva:

$$p \vee q = (p \bullet q) \vee (p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q)$$

a sua inversa será

$$N(p \vee q) = \sim p \bullet \sim q = \sim [(p \bullet q) \vee (p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q)],$$

cujos resultados mais gerais podem ser expressos por

$$N(a \ b \ c \ d) = (a' \ b' \ c' \ d')$$

Isto é, no nível das ações, existindo duas maneiras p e q dessas ações serem executadas, existirão também duas maneiras das mesmas serem executadas inversamente, $\sim p$ e $\sim q$ (não- p e não- q). Essas quatro ações podem ser combinadas proposicionalmente sob quatro formas distintas de conjunção: $(p \bullet q)$, $(p \bullet \sim q)$, $(\sim p \bullet q)$ e $(\sim p \bullet \sim q)$. Para caracterizar uma disjunção, porém, essas quatro maneiras podem se combinar de três modos distintos: $(p \bullet q) \vee (p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q)$. Se tivermos uma balança em equilíbrio, com duas massas colocadas simetricamente em cada um dos seus braços (PIAGET, 1976, Cap. 11), podemos tirar essa balança do equilíbrio e fazê-la pender para a direita, por exemplo, ou aumentando a massa (p) no braço direito, ou aumentando a distância da massa ali colocada (q), em relação ao centro de equilíbrio, afastando-a para a extremidade. Isso se expressa pela relação geral $p \vee q$, que pode ser realizada através da combinação de suas possibilidades: $p \bullet q$, aumentar o valor da massa e aumentar a distância do centro; $p \bullet \sim q$, aumentar a massa se trouxermos sua posição mais para perto do centro; $\sim p \bullet q$, diminuir a massa se a afastarmos do centro. A quarta possibilidade de combinação, $\sim p \bullet \sim q$ consiste em diminuir a massa e aproximá-la do centro; essa última sequência de ações não é possível de se fazer, porque se o resultado da operação é o de tirar a balança do equilíbrio e fazê-la pender para a direita, essa última possibilidade vai fazê-la pender para a esquerda fazendo subir o lado direito – o que redundaria num resultado não desejado. A operação inversa, para fazer voltar o equilíbrio da balança, para a horizontalidade, uma vez que esta esteja inclinada para a direita, consiste em inverter as proposições p e q , diminuindo o valor da massa ($\sim p$) e trazendo a massa mais para perto

do centro ($\sim q$) de equilíbrio; ou, de outro modo, resolvendo a expressão lógica através de suas propriedades, temos:

$$\begin{aligned} N(p \vee q) &= \sim p \bullet \sim q = \sim [(p \bullet q) \vee (p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q)] \\ &= \sim (p \bullet q) \bullet \sim (p \bullet \sim q) \bullet (\sim p \bullet q) \\ &= (\sim p \vee \sim q) \bullet (\sim p \vee q) \bullet (p \vee \sim q) \end{aligned}$$

Isto é, para a balança voltar à posição horizontal, depois de ser inclinada para a direita, temos as seguintes possibilidades: $\sim p \vee \sim q$, diminuir a massa ou aproximá-la do centro de equilíbrio; $\sim p \vee q$, diminuir a massa ou afastá-la do centro; $p \vee \sim q$, aumentar a massa, ou aproximá-la do centro. Uma quarta possibilidade de combinação, $p \vee q$, aumentar a massa ou afastá-la do centro, também não é admitida, porque esse procedimento não a fará retornar à horizontalidade.

A reciprocidade é a mesma operação, mas referindo-se à proposição de sinais inversos (PIAGET, 1976, Definição 33). Retomando o mesmo trilema anterior, escrever sua recíproca é ter

$$R(p \vee q) = \sim p \vee \sim q = (p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q) \vee (\sim p \bullet \sim q),$$

ou

$$R(a b c d) = (d c b a)$$

Retomando novamente a balança podemos fazê-la inclinar para o lado direito de outras maneiras, porém manipulando as variáveis massa e distância, no outro braço, ou diminuindo a massa ($\sim p$) que se encontra no braço esquerdo ou diminuindo ($\sim q$) a distância da massa que ali está colocada em relação ao centro de equilíbrio. Isso se expressa claramente pela relação geral $\sim p \vee \sim q$, que pode ser realizada através da combinatória de suas possibilidades: $p \bullet \sim q$, aumentando o valor da massa e diminuindo a distância ao centro; $\sim p \bullet q$, diminuindo a massa e afastando-a para a extremidade; $\sim p \bullet \sim q$, diminuindo a massa e aproximando-a do centro. A possibilidade de combinação $p \bullet q$, aumentar a massa e afastá-la do centro, não é possível porque se o resultado da operação é o de fazer a balança se desequilibrar, inclinando o lado direito, essa última possibilidade vai fazê-la inclinar o lado esquerdo, levantando o lado direito.

O retorno ao equilíbrio pode ser feito alterando as variáveis do lado esquerdo da balança também. A essa operação, que corresponde ao inverso da recíproca, denomina-

mos de correlativa. A correlativa de uma operação é a operação que se obtém, substituindo, na forma normal correspondente, os (\bullet) por (\vee) e reciprocamente, mas sem mudar os sinais (PIAGET, 1976, Definição 34):

$$C(p \vee q) = p \bullet q = \sim[(p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q) \vee (\sim p \bullet \sim q)],$$

ou

$$R(a \ b \ c \ d) = (d \ c \ b \ a)$$

Resolvendo a operação lógica, temos:

$$\begin{aligned} C(p \vee q) &= \sim[(p \bullet \sim q) \vee (\sim p \bullet q) \vee (\sim p \bullet \sim q)] \\ &= \sim(p \bullet \sim q) \bullet \sim(\sim p \bullet q) \bullet \sim(\sim p \bullet \sim q) \\ &= (\sim p \vee q) \bullet (p \vee \sim q) \bullet (p \vee q) \end{aligned}$$

A inversa, a recíproca e a correlativa, embora sejam formalmente definidas através dessa complexidade operatória, é comum interpretá-las somente pelo seu aspecto perceptivo apenas, quando as operações inversas são tomadas como adjunções ou supressões de elementos e as reciprocidades como simetrias ou semelhanças (PIAGET, 1976, pág. 205). Por exemplo, não são operações inversas vestir e retirar uma roupa, afastar e aproximar um objeto; trata-se de ações inversas, mas não caracterizam uma operação porque uma não desfaz a outra – na verdade trata-se de duas ações diferentes, enquanto que na operação trata-se da mesma ação com dois sentidos, direto e inverso.

Embora o pensamento operatório concreto também comporte combinações de ações ou combinações operatórias frente a propriedades que colocamos nos objetos, esta combinatória não se estende a uma totalidade, permanecendo ligado ao dado real, com as possibilidades restritas às relações de vizinhança. As operações concretas não são mais que estruturações diretas dos dados reais, estruturações estas que são decorrentes, ainda, do nível anterior, pré-operatório, quando as regulações perceptivas se organizavam em estruturas definidas de classificação, seriação, correspondências, etc. Elas não passam de prolongamentos virtuais das ações ou operações aplicadas a diferentes conteúdos, domínio por domínio, não generalizáveis a todos os conteúdos. As hipóteses desse período são apenas projetos de ações possíveis (PIAGET, 1976).

Mas mesmo que os sistemas cognitivos se estruturam isoladamente um do outro, a partir de diferentes níveis de reequilibrações realizadas pelas abstrações reflexionantes, determinadas situações impostas pela realidade exigem que vários desses domínios interfiram-se de múltiplas maneiras, com as propriedades de uns atuando nas características dos outros. Um exemplo notável é a relação entre espaço e tempo, dois campos independentes um do outro na organização estrutural própria do conhecimento: as ações que se coordenam no primeiro, relativamente às suas propriedades métricas são idênticas às coordenações das ações para o registro das medidas do segundo. Em vista disso, o sujeito é obrigado a servir-se de instrumentos operatórios novos. No caso do espaço e do tempo, podem traduzir-se no conceito de velocidade e de suas propriedades físicas, que é um dado não-observável. A velocidade é lida somente pela inferência matemática a partir das medidas observáveis do espaço e do tempo. Por sua vez, o instrumento de medida de tempo, o relógio, o cronômetro, já é uma construção apoiada na métrica espacial para poder permitir uma leitura de eventos não observáveis, tais como os eventos temporais. Essas situações podem advir de contradições frente a regras já estabelecidas pela organização prévia do seu mundo. Sendo assim, ou o sujeito rejeita a contradição, que o perturba e desequilibra, ou reformula o mundo na tentativa de dissociar, por negação, reciprocidade ou neutralização, e reorganizar fatores a partir de novas intervenções experimentais que, com o tempo, se generalizem e conduzam à combinatória completa das possibilidades de ação sobre os observáveis, submetendo a partir disso o real às suas hipóteses.

Sabemos que a ação assimiladora do ser humano é muito limitada por natureza devido aos limites dos seus sentidos físicos (insensibilidade às pequenas variações de temperatura, visão pouco diferenciadora numa pequena faixa do espectro eletromagnético, audição pouco diferenciadora, também dentro de uma faixa de frequência muito pequena e um olfato e um paladar que se confundem), bem como pelo número de ações organizadas e de tomadas de consciência sobre as mesmas (ambiente pouco rico em atividades experimentais, ou diminuta qualidade da reflexão sobre as atividades experimentais). Porém, devido principalmente às características limitadoras da percepção humana, exige-se que, diante das incoerências e das contradições conceituais frente à realidade, esses mecanismos perceptivos devam se estender para além de seus limites. A construção de aparelhos cada vez mais sofisticados para medir e ler o mundo físico permite o refinamento dessas leituras por abstração pseudo-empírica ampliando o con-

teúdo retirado por abstração empírica. O que fazem as sondas espaciais nos diferentes recônditos do nosso sistema solar nada mais é do que isso: estender a capacidade humana para além de seus limites – ampliar seu poder assimilador!

O reflexionamento, de um patamar inferior para um superior, não é algo que acontece automaticamente. Na realidade, cada patamar seguinte, ao receber, por reflexionamento, conteúdos de um patamar inferior precisa assimilar este conteúdo e essa assimilação não acontece sem um desequilíbrio e, por consequência, novas acomodações. Isto é, para cada reflexionamento é buscado o equilíbrio entre as diferenciações que separam as características que deverão ser transferidas para outro patamar, e as integrações dessas características em novas totalidades; estas conduzirão a generalizações construtivas, repetindo, para cada reflexão, o ciclo epistêmico, que conduzirá à construção de novidades. Todas essas novidades estão ligadas logicamente e não simplesmente justapostas. Passa a existir um estabelecimento de conexões entre as extensões e as compreensões, fazendo com que o sujeito se aproprie das coordenações de suas ações em todos os níveis possíveis, levando a uma tomada de consciência dessas ações, sejam físicas ou inferenciais. O mecanismo da tomada de consciência, no interior das abstrações refletidas, aparece como um processo de conceituação que reconstrói e depois ultrapassa, num patamar superior, o que fora adquirido num patamar inferior. O conceito é o resultado de n operações reversíveis realizadas ciclicamente pelo sujeito, produto das coordenações inferenciais entre n operações (PIAGET, 1977).

Portanto, o conhecimento astronômico não se dá pela percepção apenas. Dá-se por abstração reflexionante que, através da abstração pseudo-empírica ressignifica continuamente a percepção do céu. É assim que o sujeito alcança níveis inimagináveis de conhecimento na medida em que constrói coordenações cada vez mais complexas (lógica) as quais projeta no céu, retirando dele novas coordenações que podem ser objeto de tomadas de consciência.

6.2 CONHECIMENTO ASTRONÔMICO

Monumentos e inscrições encontrados em diversos sítios arqueológicos, espalhados pelo planeta nos mostram que o ser humano tem registrado os movimentos dos céus, no mínimo, desde há quatro mil anos. Tabuletas de argila da Mesopotâmia trazem registros dos movimentos dos planetas e dos períodos lunares, que constituem um dos primeiros calendários baseados nos fenômenos celestes.

Não podemos precisar os primórdios do conhecimento astronômico, mas podemos ter certeza que no início o conhecimento matemático a respeito da tomada de medidas era bastante precário, sem comparação alguma com o nível de conhecimento atual, fazendo com que a totalidade do conhecimento, até então disponível para as generalizações, fosse muito limitado. As figuras do mito, do animismo e do artificialismo, predominam nas culturas antigas mostrando que desde cedo o ser humano sente necessidade de entender seu mundo físico e explicar os diferentes fenômenos que o rodeiam. O que pode garantir que as estruturas cognitivas disponíveis eram limitadas é o fato de sabermos que essas figuras foram concebidas a partir do pensamento pré-conceitual, típico de uma organização explicativa do mundo de igual nível.

A percepção das desconfigurações do céu, por diversos motivos, despertou o interesse de indivíduos que recorreram a ações que pudessem registrar, no plano físico, informações sobre os eventos à medida que eles iam acontecendo, passando esses registros, de alguma maneira, através das gerações. Se algum fator, algum indício, de origem paisagística ou outro qualquer, desencadeia a comparação de quadros perceptivos retirados da memória, que as regulações automáticas não possam dar conta, servimo-nos das regulações ativas. A construção de observatórios primitivos, com a justaposição de pedras em lugares estratégicos, a elevação de dólmenes, menires e outras estruturas têm mais o peso da ação espontânea das regulações ativas do que o resultado de um planejamento estruturado a partir de hipóteses lógico-formalizadas. Até certo ponto as regulações ativas podem resolver as nossas pseudocontradições, mas não resolvem as verdadeiras contradições que a complexidade das relações impostas pela realidade obrigam o sujeito, mais cedo ou mais tarde, a buscar a novidade.

Os êxitos dos registros dessas ações são anteriores à compreensão inteligente dos próprios fenômenos a que elas se referiam. As observações sistemáticas desses registros, as reflexões sobre os dados coletados, as sucessivas tomadas de consciência é que foram dando corpo a uma totalidade generalizadora imprescindível para a criação das novidades sobre o céu.

Mesmo em época carente de recursos matemáticos sofisticados, a classificação, a seriação, a correspondência, a comparação, as relações de biunivocidade e as transitividades já constituíam as operações mais elementares, uma vez que essas se originam das organizações do sujeito, quando ainda no estágio pré-operatório, sendo a métrica uma síntese dessas operações. O inconveniente de um sítio de observação construído sobre uma paisagem é o fato de ele não poder ser deslocado. Isto é, todas as medidas feitas num determinado local são exclusivas deste local. Portanto, aprender a medir o céu a partir de referenciais não paisagísticos, através de instrumentos portáteis que tomam o próprio céu como sistema de referência, representou a novidade que permitiu o registro de novas informações, aumentando os limites de observação e registro dos fenômenos e efemérides, independentemente da paisagem em que se encontre o observador.

O entendimento da mecânica celeste avançou na medida em que fatos novos, obtidos por abstrações pseudo-empíricas, passaram a ser integrados na totalidade das operações do sujeito, através de sucessivas reflexões e tomadas de consciência. A cada fato novo, retirado do céu, correspondem novos desequilíbrios e novas reequilibrações. Porém, o que sempre limitou a eficiência da hipótese astronômica foi a (quase) inacessibilidade ao plano empírico. Isto é, as hipóteses somente poderiam ser confirmadas a partir de novos dados, de novas inferências, sem acesso direto ao fenômeno (daí o interesse pela abstração reflexionante, porque ela explica o conhecimento não apenas por abstração empírica, mas como construção a partir da projeção das coordenadas das ações e a retirada do empírico (céu) do que os sujeitos colocaram lá em diferentes tempos). Em vista da dificuldade dos indivíduos fazerem inferências, predominaram os juízos de senso comum sobre o funcionamento da mecânica celeste.

6.3 ASTRONOMIA DO SENSO COMUM

Para Piaget o senso comum é o prolongamento dos hábitos próprios do realismo infantil, que considera os significantes como sendo os próprios objetos e como sendo mais real do que toda construção intelectual (PIAGET, 1978. pág. 184). Explicar que o Sol é constituído de fogo é uma legítima utilização de senso comum na tentativa de ex-

plicar o funcionamento de algo, pela justaposição de dois cenários perceptivos cujo acesso direto só é possível a um deles: a imagem do sol, quente e luminosa que lembra fogo em fogueiras, fogões, incêndios, etc. Chamar o céu de “firmamento” é não reconhecer a dinâmica estelar e fazer inferências a partir apenas de um quadro perceptivo. São dessa natureza também todas as explicações e lendas sobre a origem do mundo ou do universo das civilizações antigas e primitivas: o movimento celeste explicado a partir do movimento de uma tartaruga, o aparecimento do mundo a partir da expiração de uma entidade divina, entre tantos.

Retomando o modelo do sistema solar de Ptolomeu, poderia ser este modelo, dessa forma, resultado apenas de justaposições de quadros perceptivos ou de regulação ativa? Naquele modelo vimos que existe um controle sobre a percepção, controle esse mediado pelos registros e pelos cálculos, impostos pela matemática e pela geometria elementar.

À medida que os instrumentos vão se aperfeiçoando, as reflexões sobre as novas medidas, mais precisas, desequilibram os modelos antigos e fazem ressurgir novos modelos que satisfaçam as novas exigências devidas ao refinamento. O modelo proposto por Copérnico²¹, em face das dificuldades que começaram a aparecer e das contradições que apareciam no modelo de Ptolomeu frente às observações e aos registros mais acurados, conseguia resolver boa parte dos problemas trocando de posições, por hipótese, a Terra e o Sol. Mas aqui, novamente, o paradigma da época, ligado à religião, impedia que se avançasse neste particular, uma vez que estando o Sol no centro do sistema solar contrariaria as Escrituras Sagradas. Como o pensamento, predominantemente intuitivo, não consegue ler as representações do pensamento formal hipotético-dedutivo, as concepções de senso comum apregoadas pelo poder constituído na época, que era da Igreja Católica, conseguem calar Copérnico e sua hipótese de funcionamento do sistema solar se mantém desconhecida, até sua morte.

Satisfaz-se, aqui, o terceiro aspecto das equilibrações, com a coordenação simultânea de diferentes esquemas de ação. Em vista desses aspectos, verificamos novamente como a abstração empírica se encontra empobrecida pela pouca qualidade da restrita totalidade das reflexões, sendo a percepção dos dados retirados por abstração empírica por ela visivelmente perturbada pelas inferências vindo a ocasionar uma assimilação

²¹ Nicolau Copérnico (1473 – 1543)

deformante, com a adequação dos dados perceptivos à estrutura de assimilação pré-existente, que permanece inalterada.

Outro exemplo interessante é o caso da astrologia. A astrologia, anterior a Newton, era considerada como lei universal da natureza. As concepções astrológicas dessa época concordavam com as concepções aristotélicas em vários pontos, a saber: 1) que o céu e os corpos celestes eram inalteráveis e imutáveis; 2) que o movimento do céu era eterno, circular e perfeito; 3) que existia uma “quinta-essência” superior, distinta do “mundo inferior” da terra e seus elementos; 4) que neste mundo inferior prevaleciam os processos de geração, alteração e decomposição como as mudanças de estações, os movimentos geológicos, o nascimento e a morte das plantas e dos animais. A astrologia como ciência procurava fornecer uma visão orgânica e coerente de mundo, e não foi à toa que os alquimistas a consideravam uma ciência de base e estrutural para todo o conhecimento. Newton, Galileu e Kepler, para não citar outros, eram antes de tudo astrólogos, sintonizados com essa visão, e ganhavam algum dinheiro extra, fazendo mapas astrológicos para a nobreza da época (ROSSI, 1992).

O conhecimento matemático e astronômico da época era voltado para a astrologia, uma vez que ainda não existia a astronomia como ciência, da forma como a conhecemos. Toda investigação do céu, todo o aperfeiçoamento do conhecimento da mecânica celeste era deformado pelas concepções de senso comum e pelos paradigmas da época para se obter uma descrição a mais perfeita possível que legitimasse as previsões, e que estas pudessem ser cada vez mais corretas. A mecânica celeste era lida como tendo uma causalidade moral, existencial, sendo o céu uma estrutura viva, onde as estrelas e os planetas: “[...] têm poder evocativo, seduzem e aprisionam a mente, ‘representam o objeto no sentido pleno da palavra, isto é, tornam real sua presença, revelam as qualidades essenciais dos seres que se identificam com as estrelas e nelas se incorporam...’” (ROSSI, Idem).

As leis de Newton para a mecânica e para a gravitação universal, as leis de Kepler para o movimento dos planetas e os resultados das observações de Galileu acabaram dando o golpe mortal que derrotou a astrologia como ciência, separando de vez a astronomia das evocações do senso comum. Fato curioso: o grande argumento de Kepler, para quem o Sol deveria estar no centro do universo, era de origem teológica: o Sol era considerado a fonte de vida, luz e calor para todos os seres vivos; e a fonte da vida, da luz e do calor são características intrínsecas de Deus. Por que seria digno do homem

estar no centro do universo e não Deus, representado, no caso, pelo Sol (CASPAR, 1993)? Isto é, mesmo que a razão tenha organizado a percepção do movimento celeste (em particular o movimento dos planetas do nosso sistema solar) o argumento matemático de Kepler não consegue se dissociar da teologia e do paradigma religioso da época, servindo para comprovar este, e não para diferenciá-lo.

Serão todas as informações retiradas por abstração empírica ou por abstração pseudo-empírica convertidas em conhecimento através de reflexionamentos e reflexões? Podem existir assimilações (assimilações negativas), sem reorganização do pensamento?

6.4 PERCEPÇÃO E RAZÃO

A objetividade de uma experiência consiste na escolha dos observáveis. Nem sempre os observáveis que escolhemos contribuem com informações, com conteúdos significativos para as reflexões e as possíveis tomadas de consciência que possam advir delas. Muitas vezes não interpretamos determinadas informações perceptuais como sendo observáveis significativos para se realizar uma reflexão. Por exemplo, a atividade perceptiva sobre uma estrela pode nos dar duas informações empíricas: sua localização no cenário celeste e seu brilho. Por abstração pseudo-empírica, podemos tomar as medidas exatas da sua altura e do seu azimute. Com essas duas medidas, tomadas sistematicamente durante uma noite, podemos ter, com precisão, a sua velocidade de deslocamento pelo céu; cumulativamente, podemos ter sua velocidade ao longo do ano. Porém, nenhuma dessas medidas pode nos informar alguma coisa sobre a distância da estrela até nós. Que informações podemos obter a partir do seu brilho? Aparentemente, nenhuma!

Um observável para ser significativo deve ser inserido na totalidade das conexões. É essa totalidade que possibilita meta-reflexões, que é a reflexão sobre produtos já refletidos e que temos denominado, até aqui, de totalidade operatória. A partir do conheci-

mento sobre espectroscopia e espectrometria podemos determinar, através do brilho de uma estrela, a distância que ela se encontra de nós, sua temperatura, composição química, idade, etc. E tudo isso é inferencial, não observável diretamente por abstração empírica – mas, também, não sem a cuidadosa descrição do dado empírico. Isto é, a composição química e a distância da estrela até nós não podem ser observadas, como acontece com sua localização e seu brilho, mas podem ser mensuradas por instrumentos que possibilitem a atividade de medida; essa atividade não foi criada por abstração empírica mas por abstração reflexionante.

Portanto, para que um conteúdo empírico se torne significativo, é importante que o sujeito reconheça nesse conteúdo propriedades com as quais possa estabelecer relações lógicas. O reconhecimento de tais relações implica numa interação sujeito-objeto mediada por leituras perceptivas, avaliações dessas leituras e, então, leituras mais complexas e assim sucessivamente.

Em outro exemplo, no final de dezembro de 1612, mais precisamente em 28 de dezembro de 1612 e em 2 de Janeiro de 1613²², quando Galileu Galilei observava a “estrela” Júpiter, com seu telescópio, prendeu sua atenção o fato de que em torno do planeta havia quatro estrelas orbitando com períodos distintos e regulares. Ao fundo apareciam outras estrelas notadamente “fixas” em relação às quatro que orbitavam Júpiter. Porém, dentre tantas estrelas (excluindo as quatro que orbitavam Júpiter), havia uma que se deslocava pelo céu, mais rápida que as outras. Embora Galileu observasse esse movimento, jamais tomou consciência das particularidades dessa estrela. Foi a primeira vez que alguém “observou” o planeta Netuno - e o fez 250 anos antes de ter sido descoberto por Le Verrier²³.

Surge daí a questão: quem, afinal, descobriu Netuno? Quem na realidade descobre, ou inventa algo? É interessante lermos o que comenta Jean-François Robredo em um artigo²⁴ a respeito desse fato (tradução nossa):

“Questão surpreendente, mas significativa. A história mantém Le Verrier como descobridor oficial. Mas na batalha que foi furiosa na época também entre Le Verrier, o inglês Adams, que publicou no observatório de Greenwich os mesmos cálcu-

²² Astronomy Magazine. April 2003. *Ask Astro*, pág. 73. Milwaukee, USA: Kalmbach Publishing Co.

²³ Urbain Le Verrier (1811 –1877)

²⁴ ROBREDO, Jean-François. *Galilée a vu Neptune . . .* Ciel & espace: le magazine de l’astronomie. N° 442. Paris Fr: Association Française d’Astronomie, Mars 2007.

los previsivos antes do francês, e o alemão Galle que fez o primeiro avistamento observacional, somamos agora . . . Galileu.’

‘Pode-se considerar a observação simples, o resultado puro da experiência, como referência em matéria de descoberta? Esta questão revive a análise da relação entre o real e a ciência. Costumamos conceber o ato de conhecer como o fruto do diálogo entre a natureza e o espírito humano. Mas esta metáfora pode ser enganosa, visto que não existe relação simétrica e equilibrada neste diálogo. A natureza, tal como se apresenta a nossos sentidos, não tem discurso próprio, nem mensagem a transmitir: Netuno não falou a Galileu! Não existe ato de conhecimento só pelo ato de contato sensorial, imediato e evidente. Em compensação, o trabalho do entendimento faz emergir uma mensagem, um discurso e finalmente um conhecimento da natureza. Não existe fenômeno natural sem trabalho de reflexão. É o mesmo que dizer que o fenômeno natural não existe. Portanto, não podemos confundir sensação e existência: o planeta Netuno pode muito bem existir depois de 4 milhões de anos sem que o percebamos sensorialmente, embora saibamos de sua existência.’

A invenção da luneta é anterior à utilização dela por Galileu. Antes de chegar a suas mãos, seu inventor, Lipperhey²⁵ já a utilizava para observar as paisagens, sendo que sua primeira aplicação foi náutica. Antes de Galileu, outros já haviam observado os mesmos panoramas celestes que Galileu observou, e com registros. Por que, então, estes primeiros observadores não transformaram suas observações em conhecimento, como o fez Galileu? Por que Galileu sentiu necessidade de entender o que observava? A necessidade é fruto de coordenações lógicas de natureza operatória; ela impõe-se quando do acabamento ou do fechamento de uma estrutura (lógico-matemática). Logo, a necessidade aparece com os resultados das abstrações reflexionantes. As generalizações do pensamento intuitivo podem se constituir a partir das abstrações empíricas; porém, o dado perceptivo é significado pelas abstrações reflexionantes, cujos resultados geram necessidades. A necessidade é a energia da estrutura. No caso de Galileu, o movimento da “estrela” frente a estaticidade das outras aparece apenas como uma descrição de modificações de um cenário perceptual, porém seu interesse estava totalmente voltado para as novas descobertas em relação a Júpiter. De outro modo, a emoção em descobrir as novidades sobre Júpiter superaram uma pequena generalidade proveniente do quadro perceptivo como um todo.

A história da astronomia é rica em exemplos desse tipo, desde a aplicação da geometria, quando se apontaram os compassos para o céu, até a descoberta da possibilidade de se fazer a análise espectral das estrelas, da mesma maneira como se faz com as substâncias aqui na Terra, para descobrir sua composição química; desde a classificação

simples das estrelas pelos seus brilhos, criando uma escala de magnitude, até a medida da intensidade luminosa desses brilhos com um fotômetro, da mesma maneira como se faz para avaliar a potência de iluminação de uma chama; desde a medida das distâncias dos planetas do sistema solar pelas relações angulares entre eles, a Lua e o Sol, até a medida das distâncias estelares e galácticas, cujos valores se tornaram extremamente grandes a ponto de se inventarem novas unidades de medida.

Invariavelmente, o ser humano passa a vida organizando o seu mundo. A função organizadora da inteligência organiza o mundo desde o estágio sensório-motor, em suas relações com o imediato e o atual, até os estádios de meta-reflexão, cujos objetos de ação são virtuais. Quando a contradição aparece, novas reorganizações se fazem necessárias. A abstração reflexionante refina a abstração empírica e esta lhe fornece os dados que confirmam ou não suas hipóteses. Não foi o que aconteceu em agosto de 2006, quando da escolha da nova nomenclatura dos planetas?

Em agosto de 2006, a União Astronômica Internacional resolveu reclassificar os planetas em vista da complexidade e da multiplicidade de corpos celestes que estavam sendo descobertos dentro do próprio sistema solar. Pela classificação antiga, para ser planeta bastava orbitar em torno do Sol. Hoje, devido à qualidade das reflexões e das meta-reflexões sobre os resultados, de observações cada vez mais refinadas, trazidos pelos reflexionamentos, foi necessário uma nova reorganização, não mais do mundo, mas do universo, numa escala que comporta mais características de classificação, com qualidades dos objetos cada vez menos observáveis.

Lembremos também dos primeiros croquis de galáxias feitos a lápis, ainda nos anos 1700, a partir da observação do céu, com os primeiros grandes telescópios. Esses croquis, com seus detalhes limitados não só à capacidade de reprodução do que se via, mas também às ainda não tão boas qualidades ópticas dos instrumentos levaram os pesquisadores a interpretar o que viam sob formas que hoje nada têm a ver com o nome que deram às suas descobertas. Galáxia do Cata-vento, Nebulosa dos Alteres, Galáxia do Esquimó, entre tantas. Hoje nada lembram dos nomes a elas atribuídos, devido à riqueza de detalhes trazidos pelos atuais equipamentos eletrônicos de altíssima resolução de imagens.

²⁵ Hans Lipperhey (1570 – 1619)

Nessa época, os objetos celestes não apresentavam cores! Não por não serem coloridos, mas porque a radiação emitida, devido a grande distância a que se encontram, não ativa as células responsáveis pela percepção da cor, somado ao fato que o olho não armazena impressões luminosas. Com o advento da câmara fotográfica, padrões coloridos puderam ser fixados em um filme que poderia ser exposto por intervalos de tempo bastante longos o suficiente para que diferentes radiações pudessem fixar-se numa imagem. Essa técnica revelou novas formas e novos elementos constituintes do céu dos quais nunca sequer cogitou-se a existência. Essas novas formas, antes invisíveis, alteraram sobremaneira a percepção a ponto de constituírem novas fontes de abstração reflexionante, que por sua vez lançaram novas propriedades aos objetos, ressignificando cada vez mais a abstração empírica e refazendo profundamente as abstrações pseudo-empíricas.

Hoje, devido às contribuições desse refinamento tecnológico dos instrumentos de observação do céu podemos diferenciar, por abstração pseudo-empírica, as diferentes temperaturas associadas às cores das estrelas, suas idades e até mesmo avaliar suas distâncias e inferir suas composições químicas a partir da “leitura” de uma fotografia em livros, revistas, filmes, etc.

À GUIA DE CONCLUSÃO

Retomando o objetivo deste trabalho, podemos verificar que a organização do conhecimento não é algo que se faz de uma hora para outra ou da noite para o dia. O ser humano, na sua individualidade, demora, em média, doze anos para poder dispor de uma estrutura que lhe possibilite organizar o mundo e a si próprio. E isto não garante e não significa que ele disporá de todas as possibilidades dessa estrutura para ler plenamente o mundo pelo resto de sua vida.

Já nos primeiros dias de vida ativa, fica evidente que as ações reflexas não constituem uma totalidade que permita ao sujeito agir com a plenitude de seus movimentos sobre o mundo. Os braços têm alcance limitado, os objetos nem sempre estão na posição adequada para que as mãos se encaixem para apreendê-lo, nem sempre os objetos se encaixam perfeitamente nas mãos, exigindo torções, rotações, distensões e contrações

musculares, além daquelas ações musculares mínimas do exercício próprio do ato reflexo. São essas inadequações que geram os primeiros desequilíbrios das ações motoras. O organismo precisa se reorganizar para se adaptar às novas exigências do meio físico. O corpo precisa levantar, torcer-se, a cabeça precisa virar para olhar, para escutar. Enfim, as pressões do meio solicitam novas acomodações do arcabouço assimilador do sujeito. Sem essas novas acomodações, refazendo o ciclo de adaptação, o organismo pode até não sobreviver.

À medida que se desenvolve, o sujeito, além de aprimorar as ações físicas, aprimora paralelamente outras ações em nível de pensamento. Estas ações, coordenadas internamente, passam a coordenar as ações externas. Os esquemas motores evoluem das ações reflexas às ações pensadas; passará, então, a ocorrer em pensamento antes de ocorrer fisicamente.

Gradualmente, à medida que sujeito e objeto interagem (considerando objeto, tudo que não for o sujeito) as ações do pensamento vão assumindo cada vez mais o controle das regulações sobre os desequilíbrios nos dois planos, mental e físico, a ponto de superarem as ações físicas neste particular. A experiência física tem como instrumentos de regulação dos desequilíbrios físicos o próprio corpo; a ação mental tem como instrumentos de regulação, tanto dos desequilíbrios físicos quanto dos desequilíbrios mentais, as operações, produtos das abstrações.

O conhecimento astronômico, embora sustentado em suas particularidades pelas aquisições em todas as áreas do conhecimento humano, faz-se único pelo fato de ser toda leitura ou informação sobre o assunto de ordem inferencial, sem possibilidade de comprovação empírica direta. E quando falamos de inferências nos referimos a propriedades operatórias das estruturas que estão além do nível proposicional, pois podem ser interproposicionais e transproposicionais. Isto é, a compreensão da mecânica celeste, da astrofísica e de outras áreas da astronomia, não se faz com uma simples leitura perceptiva; ela não constitui um amontoado de quadros perceptivos e de associações passivamente recebidas. Ao contrário, todas suas relações são constituídas por vínculos internos muito fortemente assentados em leis de formação, estruturalmente bem definidas. Os objetos celestes que são trazidos pela percepção na forma de imagem devem ser lidos como realidades intelectuais, pois as imagens deste cenário não podem ter apenas um aspecto figurativo, mas devem ser objetos que têm sua concretude como produto de elaborações geométricas, cinemáticas, causais, etc., enfim, dos atos da inteligência.

Uma leitura do céu não será feita no âmbito do conhecimento científico se o seu cenário como um todo não estiver impregnado de significantes.

Quando dizemos que a abstração pseudo-empírica se encontra apoiada na totalidade das experiências do sujeito e de seus resultados, podemos levantar o fato que um sujeito singular não consegue realizar, numa vida, todas as experiências possíveis que possam permitir-lhe adquirir uma quantidade de conhecimentos tão abrangente que consiga entender todos os fenômenos da natureza. Na realidade, a totalidade do conhecimento humano é construída a partir da síntese das experiências de todos os indivíduos que compõe esta humanidade.

A culminância de um resultado, numa pesquisa científica, por exemplo, não só nos deve apontar os resultados finais, mas também deve vir acompanhada da forma como todas as ações físicas e mentais foram coordenadas para que se conseguisse expressar os resultados ou a elaboração final de um conceito. Normalmente, a expressão dessa elaboração é apresentada através da escrita. O registro da coordenação dessas ações, realizadas no ambiente de um laboratório, permite que outros indivíduos reproduzam a mesma experiência, através de um caminho que traduza uma lógica operacional compreensível e factível, utilizando uma economia de energia considerável, se considerarmos o processo de descoberta individual e das tomadas de consciência que ocorrem nesse processo.

Podemos, numa atitude arbitrária, escolher entre permanecer na compreensão dos fenômenos astronômicos apenas no nível das classificações, como o dispõem os currículos escolares, ou até mesmo optar pelos mitos, pelo folclore, pela magia e pelas crenças com origem nas explicações do senso comum. Nenhuma dessas classificações, entretanto, comporá a totalidade operatória que permite acompanharmos, com senso crítico e espírito verdadeiramente científico, a evolução das pesquisas nas áreas da astronomia, quando divulgadas pela literatura ou pela mídia.

Portanto, aqui vemos muito claro o papel da escola na divulgação e na perpetuação das notícias e dos registros das descobertas. O conhecimento dos processos que levaram outros indivíduos a desvelar segredos da natureza pode, de alguma maneira, incitar, acelerar e ampliar a compreensão dos fenômenos. De posse do conhecimento desses registros não haverá necessidade de se dispender o mesmo tempo que foi necessário para que os mesmos fossem elaborados inicialmente, trazendo para a atualidade as mesmas estranhezas, os mesmos problemas, as mesmas situações desequilibradoras, que

deflagraram todas as coordenações de ações que organizaram as reflexões posteriores conduzindo às diferentes tomadas de consciência.

Por isso, é muito importante reconhecermos o desenvolvimento cognitivo alcançado por diferentes indivíduos, tanto em quantidade quanto em qualidade. A adequação da linguagem e das atividades deve propiciar avanços no entendimento dos mecanismos que regem a estrutura cósmica, a partir da construção contínua de novos patamares de abstração. O conhecimento astronômico não se constituiu por uma única, mas por diversas e sucessivas tomadas de consciência ao longo do tempo. É necessário que introduzamos atividades que façam com que o sujeito consiga se apropriar das próprias ações, apropriando-se, inclusive, de suas primeiras concepções intuitivas. Ao invés de apenas contrariar essas intuições, ou negá-las, é mais construtivo colocá-las, pedagogicamente, em contradição, pois, como vimos, gera-se assim um desequilíbrio cognitivo; do mesmo modo, deve-se propiciar experiências de variadas naturezas para que o sujeito logre ultrapassar os desequilíbrios causados pelas contradições.

Ao falar em variadas experiências, reportamo-nos primeiramente às atividades de sala-de-aula, de um laboratório estrategicamente bem montado, mas não podemos esquecer que qualquer atividade que possa ser desenvolvida em um laboratório escolar, ou qualquer outro ambiente, nunca irá reproduzir a situação do real conhecimento do céu. Toda atividade experimental e os resultados das reflexões sobre as atividades, com tomada de consciência ou não, servirão apenas para ampliar a totalidade operatória do sujeito ampliando sua capacidade inferencial. Tratará, assim, das coisas do céu e terá controle sobre a atividade perceptiva podendo valer-se produtivamente de abstrações empíricas.

Raras (para não dizer nenhuma) escolas promovem atividades de observação do céu para que os alunos familiarizem-se com a mecânica mais simples dos seus movimentos. Mesmo com a impossibilidade de chamar os alunos para uma atividade noturna, os movimentos do céu, durante o dia, protagonizados principalmente pelo Sol, e às vezes pela Lua, trazem para as atividades de sala de aula uma riqueza muito grande de observações que podem ser aplicados a diferentes conteúdos, de diferentes disciplinas. Desde a medida de ângulos de sombras, medida de velocidade de movimentos do Sol, avaliação da taxa de radiação incidente no ambiente, entre muitos outros.

E não é pouco o material escrito por diferentes autores brasileiros em revistas especializadas a respeito do ensino de astronomia e suas relações com outras disciplinas.

Aproveito para lembrar aqui o trabalho desenvolvido pelo professor Rodolpho Caniato, ao longo das décadas de 1980 e 1990, que muito nos inspirou a vincular conteúdos de astronomia aos conteúdos de física do ensino regular. Seus livros didáticos “*A Terra em Que Vivemos*” (Campinas, SP: Papyrus, 1989) e “*O Céu*” (São Paulo, SP: Ática, 1993) são clássicos para esse tipo de atividade. São dignos de mencionar também “*O Que é Astronomia*” (São Paulo, SP: Brasiliense, 1994) e “*Com(ns)ciência na Educação*” (Campinas, SP: Papyrus, 2003). O professor Caniato tem também escrito uma peça teatral em três atos, “*Joãozinho da Maré na Escola*”, cujo tema central também é a divulgação da astronomia.

Num trabalho recente, de defesa de dissertação de mestrado no Instituto de Física da UFRGS, por exemplo, o tema era o estudo da astronomia como motivação para o estudo de física em Oitava Série do Ensino Fundamental (MEES, 2004).

Destaco como referências para consulta a respeito do ensino de astronomia, tanto por especialistas quanto por professores de rede pública e particular, os seguintes periódicos: *Revista de Ensino de Física e Física na Escola*, ambas publicadas pela *Sociedade Brasileira de Física*; *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (antigo *Caderno Catarinense de Ensino de Física*), editado pelo Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina.

Para escolas que podem dispor de acesso direto à rede mundial de computadores, encontram-se disponibilizados hoje uma infinidade de projetos de agendamento para se realizar observação remota do céu. Em todas as atividades propostas, nesses projetos, existem diferentes atividades para serem integradas com os conteúdos escolares regulares, em tempo real. Juntamente com essas atividades, acompanham projetos de aperfeiçoamento de professores para operar, com eficácia, os agendamentos e os acessos remotos. Contamos, no Brasil, com o Projeto Telescópios na Escola²⁶, que vem acompanhado de cinco telescópios que estão distribuídos por cinco estados brasileiros. O Rio Grande do Sul é representado, nesse projeto, pelo Colégio Militar de Porto Alegre, que atua em convênio com a Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Esse projeto tem como modelo outro projeto internacional, o Telescopes In Education²⁷, EUA, administrado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e pelo Jet Propulsion Laboratory (JPL), do California Institute of Technology (Caltech). Mais recentemente-

²⁶ Disponível em <http://www.telescopiosnaescola.pro.br/>, agosto, 2007.

²⁷ Disponível em <http://www.telescopesineducation.com/>, agosto, 2007.

te, o projeto Hands-On Universe²⁸, EUA, do The Lawrence Hall of Science at University of California, Berkeley, oferece atividades astronômicas para a comunidade escolar do Brasil. O único inconveniente desses dois projetos é o idioma.

Além dos projetos de observação remota, existem ainda os simuladores de céu. Alguns são vendidos via rede mundial de computadores e outros são disponibilizados, nessa rede, gratuitamente. A qualidade dos simuladores de céu oscila da representação pictórica dos componentes do céu, com dinâmica limitada, até simuladores que se aproximam do aspecto visual real. A vantagem de se trabalhar em um simulador é a facilidade que se tem de trocar as datas dos eventos, podermos alterar a velocidade de ocorrência do evento, mudar o local de observação, evitar a poluição luminosa (o simulador *Starrynight*²⁹ chega a ponto de ter opção de céu para diferentes intensidades de poluição luminosa para observação), ler um catálogo de informações sobre cada astro, entre tantos. Dissemos, em vários momentos deste trabalho, que os fenômenos do céu não podem ser manipulados. Porém, com os simuladores do céu essas manipulações podem acontecer à vontade.

A mais recente novidade parece ser o Google Sky³⁰, onde se encontram disponibilizados via internet um acervo de imagens contendo 100 milhões de estrelas e 200 milhões de galáxias, com possibilidade de acesso a hipertextos que conduzem o internauta a outros pontos da rede, tais como a Wikipédia e as páginas de observatórios em atividade virtual e em tempo real.

Antes de finalizar, acredito que, ao descrever a forma como se constrói o conhecimento astronômico, tendo como suporte a abstração reflexionante de Jean Piaget, respondi, também, ao desafio³¹ colocado pelo Prof. Dr. Kepler de Oliveira Filho, do Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS. Na XXXI Reunião Anual da Sociedade Astronômica Brasileira, em Águas de Lindóia, São Paulo, em agosto de 2005, perguntou-me ele: “As crianças, com os recursos tecnológicos de hoje, têm condições de aprender fundamentos de astronomia e astrofísica?”.

²⁸ Disponível em <http://www.handsonuniverse.org/>, setembro, 2007.

²⁹ Disponível em www.space.com, setembro, 2007.

³⁰ Disponível em <http://idgnow.uol.com.br/internet/2007/08/22/idgnoticia.2007-08-22.2584123902/>, outubro, 2007

³¹ GOMES, Luiz Carlos. *As Descobertas da Astronomia e da Astrofísica à Luz da Teoria da Abstração Reflexionante de Jean Piaget*. Porto Alegre, UFRGS, Julho de 2006. Proposta de Dissertação de Mestrado. PPGEduc. UFRGS.

Acrescento, ainda, o conhecimento astronômico nunca esteve, em outro momento da nossa história, tão acessível como atualmente. Se falarmos em multimeios, a astronomia é fartamente explorada por documentários televisivos: noticiários, *podcasts* ou, ainda, reportagens especiais. Livrarias e bancas de revistas oferecem, periodicamente, lançamentos de documentários na forma de discos compactos (CDs).

Finalmente, o conhecimento astronômico é tão vasto e complexo quanto vasta e complexa é a epistemologia genética de Jean Piaget. É impossível abordar essas duas áreas de conhecimento em uma dissertação, apenas. Muitos exemplos astronômicos não foram abordados e muitos aspectos da epistemologia genética não foram sequer tocados. Porém, espero que esse trabalho constitua uma referência que gere textos científicos. Textos que explorem, com mais detalhes, o que não pôde ser aqui abordado em função dos limites próprios de uma dissertação.

BIBLIOGRAFIA

ADAS, Melhem. **Geografia**. 5^a Série. 4^a Ed. São Paulo: Moderna. 2001

BECKER, Fernando. **Educação e Construção do Conhecimento**. Porto Alegre: ARTMED, 2001. 125p.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999. 364p.

BRINGUIER, Jean-Claude. **Conversando com Jean Piaget**. Trad. de Maria José Guedes. 2^a Ed. Rio de Janeiro: Bertrnd Brasil, 1993. 210p.

CALLEN, Herbert B. **Thermodynamics, an Introduction to the Physical Theories of Equilibrium Thermostatitics and Irreversible Thermodynamics**. New York: John Wiley & Sons, 1960. 376p.

CASPAR, Max. **Kepler**. MewYork: Dover, 1993. 450p.

CASTORINA, José Antonio; PALAU, Gladys Dora. **Introduccion a la Logica de Piaget: Alcances e Significado para la Psicologia Genetica**. Barcelona: Paidos, 1982. 200p.

CERNACH, Mirlene C. P. **A Gênese da Mente**. Fascículo 1: A mente do bebê. Revista Mente e Cérebro Especial. S.Paulo: Duetto, 2006.

DANIELSON, Dennis. **The First Copernican: Georg Joachim Rheticus and the Rise of the Copernican Revolution**. New York: Walker & Co., 2006. 264p.

DELBONI, Henrique; ROTA, Paulo. **Geografia para todos**. 5^a Série. S. Paulo: Scipione, 2003.

Dicionário HOUAISS da Língua Portuguesa. Rio de Janeiro: Objetiva. 2004.

HENEINE, Ibrahim Felipe. **Biofísica Básica**. Biblioteca Biomédica. Rio de Janeiro: Atheneu, 1984. 385p.

FERREIRA, Máximo; ALMEIDA, Guilherme de. **Introdução à astronomia e às observações astronômicas**. 6ª Edição. Lisboa: Plátano, s/d. 305p.

KRUPP, Edwin. **Echoes of the Ancient Skyes: The Astronomy of Lost Civilizations**. New York: Dover, 1983. 386p.

LUCCI, Elian Alabi; BRANCO, Anselmo Lazaro. **Geografia: Homem & Espaço – A Natureza, o Homem e a Organização do Espaço**. 5ª Série. 17ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

MEES, Alberto Antonio. **ASTRONOMIA; Motivação para o Ensino de Física para a 8ª Série**. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física. UFRGS. Porto Alegre, 2004. Disponível em PDF.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. Trad. Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988. 434p.

PANNEKOEK, Anton. **A History of Astronomy**. New York: Dover, 1960. 530p.

PIAGET, Jean. **The Mecanisms of Perception**. Translated by G. N. Seagram. London: Routledge & Kegan Paul, 1969. 384p.

_____ et all. **Tratado de Psicologia Experimental**. Volume VI. A percepção. Cap. XVIII: O desenvolvimemnto da percepção em função da idade. Rio de Janeiro: Forense, 1969. 230p.

_____; **La Representacion del Mundo em el Niño**. Com la portación de 11 colaboradores. Version espanola de Vicente Valls Y Angles. Madrid: Morata, 1973. 333p.

_____; Inhelder, B. **Da Lógica da Criança à Lógica do Adolescente: Ensaio Sobre a Construção das Estruturas Operatórias Formais**. Trad. Dante Moreira Leite. São Paulo: Pioneira, 1976. 260p.

_____; INHELDER, Barbel. **A Imagem Mental na Criança. Estudo Sobre o Desenvolvimento das Representações Imagéticas**. Trad. Antonio Couto Soares. Porto: Civilização Editora, 1977. 530p.

_____ et al. **A Tomada de Consciência**. Trad. Edson Braga de Souza. São Paulo: Melhoramentos, Ed. da Universidade de São Paulo.,1977. 212p.

_____ . **O Desenvolvimento do Pensamento. Equilíbrio das Estruturas Cognitivas**. Trad. Álvaro de Figueiredo. Lisboa: Dom Quixote, 1977. 230p.

_____ . **A Construção do Real na Criança**. 3^a Edição. Trad. Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: ZAHAR, 1979. 360p.

_____ . **O Nascimento da Inteligência na Criança**. Trad. Álvaro Cabral. Porto Alegre: Globo; São Paulo: EDUSP, 1979. 396p.

_____ . **A Formação do Símbolo na Criança: Imitação, Jogo e Sonho, Imagem e Representação**. 3^a Edição. Trad. Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: ZAHAR, 1990. 370p.

_____ . **Biología y Conocimiento: Ensayo Sobre las Relaciones Entre las Regulaciones Orgánicas y los Procesos Cognitivos**. 10^a Edição. Trad. Francisco González Aramburu. México: sigloveintiuno editores, 1990. 338p.

_____ ; INHELDER, Barbel. **A Representação do Espaço na Criança**. Trad. Bernardina Machado de Albuquerque. Porto Alegre: Artes Médicas, 1993. 505p.

_____ ; **Abstração Reflexionante: Relações Lógico-Aritméticas e Ordem das Relações Espaciais**. Trad.: Fernando Becker e Petronilha B. G. da Silva. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995. 292p.

PRIGOGINE, Ilya. **Time, Structures and Flutuations**. Nobel Lecture. Université Libre de Bruxels, Brussels, Belgium and University of Texas at Austin, Austin Texas, USA. 8 de dezembro, 1977. Em arquivo PDF.

THOMSEN, John S. **Thermodynamics of an Irreversible Quasi-Static Process**. American Journal of Physics, 28, 119, 1960.

WATSON, Fred. **Stargazer: the Life and Times of the Telescope**. Cambridge: Da Capo Press, 2005. 342p.

ÍNDICE

- Abóbada celeste, 18
- Abstrair, 25
- Abstração, 40
- Abstração empírica, 25, 40
- Abstração pseudo-empírica, 15, 42
- Abstração refletida, 25, 49
- Abstração reflexionante, 25
- Acomodação, 38
- Assimilação, 38
- Astronomia, 17-18
- Atividade perceptiva, 41
- Binóculos, 21
- Céu, 18
- Ciclo de adaptação, 38
- Conceito, 60
- Condições de equilíbrio, 51
- Coorrelativa de uma operação, 58
- Criação, 38
- Equilibração, 25, 51
- Equilibração majorante, 37
- Equilíbrio acomodaçãoXassimilação, 39
- Equilíbrio cognitivo, 36
- Equilíbrio dinâmico homeorrético, 36
- Equilíbrio mecânico, 30-31
- Equilíbrio termodinâmico, 31-35
- Equilíbrio termodinâmico quase-estático, 34
- Esquemas de assimilação, 38
- Estado termodinâmico, 32
- Estrelas, 18
- Estrelas Novas, 44
- Estrelas supernovas, 44
- Estruturas, 51
- Força, 31
- Função figurativa, 42
- Função operativa, 42
- Galáxia, 41
- Homeorrese, 36
- Homeostase, 36
- Inferências, 70
- Inversa de uma operação, 56
- Mecanismos de percepção, 41
- Mecanismos homeostáticos, 36
- Midríase, 19
- Miose, 19
- Movimento próprio de uma estrela, 23

Nebulosas, 42

Necessidade, 67

Negações parciais, 54

Novidades, 38, 48

Objetividade de uma experiência, 65

Objeto, 69

Observáveis, 65

Operação, 54

Operações concretas, 58

Patamares de equilíbrio, 38

Pensamento pré-operatório, 54

Pensamento operatório-concreto, 55

Pensamento operatório-formal, 55, 59

Percepção, 42

Perturbação, 53

Planeta, 22

Precessão dos equinócios, 23

Recíproca de uma operação, 57

Reequilibração, 37

Reflexão, 25, 46

Reflexionamento, 25, 45

Regulações, 51

Reversibilidade, 31

Reversibilidade por inversão ou negação, 55

Reversibilidade por reciprocidade, 56

Senso Comum, 62

Servo-mecanismos, 36

Sistemas biológicos, 35

Sujeito, 44

Telescópios, 21

Transformações irreversíveis, 33

Transformações reversíveis, 34

Via-Láctea, 18