

A TEORIA DA ABSTRAÇÃO REFLEXIONANTE E A HISTÓRIA DA ASTRONOMIA

*Roberta Chiesa Bartelmebs*¹
*João Batista Siqueira Harres*²
*João Alberto da Silva*³

Resumo: Este trabalho configura-se como um ensaio teórico a respeito de alguns fatos da história da astronomia analisados segundo a teoria da abstração reflexionante elaborada por Jean Piaget e seus colaboradores (1970). Trata-se de compreender os motivos que levaram diferentes astrônomos, da mesma época histórica e cultural, a “enxergarem” evidências tão diferentes sobre um mesmo fenômeno. Além disso, pretendemos possibilitar a compreensão das Ciências como construção humana, condicionadas a uma época e às crenças e os modos de compreender de cada cientista.

Palavras-chave: História da Astronomia; Abstração reflexionante; Astronomia.

LA TEORÍA DE LA ABSTRACCIÓN REFLEXIONANTE Y LA HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA

Resumen: Este trabajo se presenta como un ensayo teórico sobre algunos hechos históricos de la astronomía, analizados según la teoría de la abstracción reflexionante de Jean Piaget y sus colaboradores (1970). Se trata de comprender los motivos que llevarán a distintos astrónomos, de una misma época histórica y cultural, a “ver” diferentes evidencias sobre un mismo fenómeno. Además, se intenta posibilitar la comprensión de la ciencia como construcción humana, la cual es condicionada por su momento histórico y por las creencias y las formas de entender de los científicos.

Palabras clave: Historia de la Astronomía; abstracción reflexionante; Astronomía.

THE REFLECTIVE ABSTRACTION THEORY AND THE HISTORY OF ASTRONOMY

Abstract: This work is presented as a theoretical essay on some facts from the history of astronomy analyzed according to the theory of reflective abstraction developed by Jean Piaget and collaborators (1970). Its aim is to understand the reasons that led to different astronomers, at the same historical period and culture, to “see” quite different evidences about the same phenomenon. In addition, we intend to facilitate the understanding of science as a human construction, subject to a time epoch and the ways of understanding of each scientist.

Keywords: History of Astronomy; reflective abstraction; Astronomy.

¹ Universidade Federal do Paraná (UFPR). Email: <roberta.bartelmebs@ufpr.br>.

² Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Email: <joao.harres@pucrs.br>.

³ Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Email: <joaosilva@furg.br>.

1. **Introdução**

As mudanças nas teorias científicas causam grandes transformações na forma como vemos e compreendemos o mundo. Através da história das ciências, podemos conhecer esse processo histórico e social, fazendo com que a forma como a verdade é vista em uma época possa se tornar, de acordo com o paradigma vigente, apenas uma ideia mítica em outra (KUHN, 1997).

Houve um tempo, por exemplo, em que se acreditava que o Sol girava em torno da Terra, o que levava a supor que isso seria causa dos dias e as noites. Tal teoria ficou conhecida como geocentrismo e foi amplamente aceita entre cientistas de diferentes épocas desde os gregos antigos, como Ptolomeu, por exemplo, até a Idade Média. A Terra foi deslocada do centro do Universo, passando a ocupar um lugar periférico no que atualmente chamamos de *Via láctea*. Tal mudança teórica constituiu-se uma verdadeira revolução. Esse processo de mudança não apenas retirou o status central da Terra e da humanidade com relação ao universo conhecido até então, como promoveu rupturas culturais e religiosas em todo o mundo.

Obviamente, podemos nos questionar se tais mudanças não ocorreram por que a natureza das coisas mudou. Em uma época remota, a Terra não ocupava o centro do universo e depois teria se deslocado para a periferia da *Via láctea*? Nota-se que as mudanças não se configuraram, essencialmente, nos objetos em si. O que mudou foi a forma de compreender os mecanismos do universo. É a capacidade cognitiva de compreender os elementos que o compõe e de construir teorias para explicá-lo de uma perspectiva em sintonia com a cultura e sociedade na qual estamos inseridos que vai mudando.

De fato, nossa estrutura mental atribui uma organização à realidade, numa relação de relativa dependência da configuração empírica que as situações e objetos assumam. O real se dobra frente à capacidade humana de pensar ou, em outras palavras, a realidade – ainda que exista em si mesma - depende da possibilidade humana de interpretá-la (PIAGET, 1975a). No entanto, permanece a pergunta: Como isso ocorre? O que possibilita que tenhamos ou não capacidade de compreender o mundo que nos rodeia e do qual fazemos parte? E de modo mais preciso ainda: Como aprendemos?

2. **Discussão da epistemologia genética sobre a origem dos conhecimentos**

A Epistemologia é uma das ciências que faz grandes esforços para possibilitar a compreensão da forma como aprendemos o mundo ao nosso redor. Nesse texto, os subsídios teóricos para interpretação da questão da origem dos conhecimentos serão sustentados na Epistemologia Genética (PIAGET, 1983). A inovação de Jean Piaget e Rolando Garcia na década de 70, no campo dos estudos epistemológicos, está justamente em trazer para o campo de pesquisas epistemológicas o desenvolvimento da inteligência na criança de forma experimental, uma vez que essa temática era campo apenas de especulação filosófica (GARCIA, 2002). Segundo Jean Piaget e Rolando Garcia:

“[...] o fato fundamental para a epistemologia das ciências é que o sujeito, partindo de níveis muito baixos, composto por estruturas pré-lógicas, alcançará normas racionais isomorfas, as das ciências em seus primórdios. Compreender o mecanismo dessa evolução das normas pré-científicas até a sua fusão com as do pensamento científico incoativo é, de fato, um problema incontestavelmente epistemológico” (PIAGET; GARCIA, 2011, p.20).

Portanto, o objetivo de Jean Piaget e Rolando Garcia foi o de compreender os mecanismos de evolução do desenvolvimento das ideias pré-científicas nas crianças. Os conhecimentos (nas crianças e na história das ciências) são construídos na medida em que interagem com os de níveis mais elementares (e não apenas o que o sucedeu), não ocorrendo uma “evolução linear” de um conhecimento para outro. Jacques J. Vonèche e Howard J. Gruber (1976) alertam que Piaget não faz uma psicologia infantil, mas encontra na criança um fóssil vivo do pensamento do adulto e da própria história da humanidade, pois o desenvolvimento cognitivo evidencia no microcosmo do sujeito o macrocosmo da evolução da humanidade.

Segundo Fernando Becker (1994), existem três grandes modelos epistemológicos ligados a modelos pedagógicos que representam diferentes visões sobre o ensino e a aprendizagem escolares. Os modelos pedagógicos refletem modos de ensinar e aprender. Os modelos epistemológicos falam da noção de conhecimento ou os modos de se conceber e interpretar como se conhece alguma coisa. Tais modelos são: empirista, apriorista e construtivista.

Para Jean Piaget (1975a), existem cinco principais maneiras de conceber o funcionamento da inteligência. O primeiro modo é atribuir-se “o progresso intelectual à pressão do meio exterior, cujas características [...] seriam pouco a pouco gravadas no espírito da criança” (PIAGET, 1975a, p.333). Tal concepção refere-se a uma epistemologia de cunho empirista. Nesse modelo, acredita-se que todo conhecimento que o sujeito deve adquirir está fora de si, no mundo que o cerca, bem como nas relações sociais e culturais. O conhecimento vem de “fora para dentro”. De modo radical, esse modelo sustenta-se em fundamentos psicológicos behavioristas que acreditam que recebendo os estímulos corretos, todos são capazes de aprender qualquer coisa.

No segundo modelo apresentado por Jean Piaget (1975a, p.339), “pode-se explicar a inteligência pela própria inteligência, isto é, supor-se uma atividade estruturada desde o começo e que se aplica diretamente a conteúdos cada vez mais ricos e mais complexos”. Tal concepção refere-se ao que Jean Piaget denomina de “intelectualismo vitalista”. Trata-se de uma “inteligência orgânica” que se prolonga para uma inteligência intelectual.

O terceiro modelo se refere às concepções aprioristas, que:

“Consideram que os progressos da inteligência são desenvolvidos não a uma faculdade inata mas à manifestação de uma série de estruturas que se impõe de dentro para fora à percepção e à inteligência, à medida que se manifestarem as necessidades provocadas pelo contato com o meio (PIAGET, 1975a, p.336)”.

Tal ideia surge em contrapartida às ideias empiristas, especialmente com a psicologia da “forma” ou Gestalt. Na pedagogia, a influência da Gestalt é a disseminação da ideia de que aprendemos porque temos estruturas cognitivas *a priori* que nos tornam capazes de compreender o mundo. Tais estruturas fazem parte da nossa bagagem hereditária e, portanto, amadurecem com o passar do tempo. Graças a essas estruturas, temos *insights* que nos permitem entender os mecanismos de funcionamento do mundo. Assim, toda a capacidade de aprender está no sujeito e nas condições *a priori* de seu aprendizado, sejam condicionantes culturais, familiares, genéticos ou sociais.

O quarto modelo apresentado por Jean Piaget (1975a) refere-se à concepção de que a inteligência constitui “uma série de tentativas e explorações empíricas inspiradas pelas necessidades e as implicações delas resultantes, mas selecionadas pelo meio exterior” (idem, p.333). É, segundo Jean Piaget, uma interpretação pragmática da inteligência e se situa entre o empirismo e o apriorismo constituindo o que ele denomina de teoria das tentativas.

Por fim, o último modelo apresentado por Jean Piaget (1975a, p.334):

“Concebe a inteligência como o desenvolvimento de uma atividade assimiladora cujas leis funcionais são dadas a partir da vida orgânica e cujas sucessivas estruturas que lhe servem de órgãos são elaboradas por interação dela própria com o meio exterior”.

Essa concepção refere-se à teoria da assimilação, elaborada por Jean Piaget a partir dos seus primeiros estudos da construção da inteligência na criança. Mais tarde haveria acréscimos na sua obra com a teoria da equilíbrio (1976) e com a teoria da abstração reflexionante (1970/ 1995). A teoria da assimilação é uma das bases do construtivismo, o qual surge a partir das ideias de Jean Piaget, cuja teoria epistemológica refere-se aos processos de gênese do conhecimento do sujeito sobre seu mundo e sobre si mesmo. A Epistemologia Genética compreende o ato de conhecer o mundo de forma distinta dos dois modelos anteriormente apresentadas.

Nessa perspectiva, não recebemos conhecimento do mundo, mas dele retiramos elementos que nos tornam capazes de construir significados. Esse processo não ocorre por “osmose”, mas sim por construção. Em outros termos, o sujeito, o seu meio externo e a sua capacidade cognitiva (biológica, funcional) intervêm no processo de aprendizagem. Nesse sentido, um estímulo não será necessariamente algo que garanta uma aprendizagem, conforme Jean Piaget (1972, s.p.):

“Um estímulo é um estímulo somente na medida em que é significativo e ele se torna significativo somente na medida em que há uma estrutura que permite sua assimilação, uma estrutura que pode acolher este estímulo, mas que ao mesmo tempo produz a resposta”.

A aprendizagem é, portanto, uma construção, resultado de processos de assimilação e acomodação de observáveis⁴ aos esquemas cognitivos do sujeito. Não é

⁴ Segundo Garcia e Fabregat (1998, p.94) um observável se refere a "aquilo que a experiência permite comprovar em uma leitura imediata dos fatos presentes por si mesmos".

um processo unilateral. É a partir da ação, ou da interação, que os sujeitos conhecem o mundo em que vivem, e é para além dela(s) que a teoria piagetiana se desdobra. Os conceitos de equilíbrio, desequilíbrio e acomodação resumem de forma sintética o mecanismo pelo qual nos apropriamos das coisas do mundo. Isso, porém não acontece de forma linear. Há momentos de rupturas, de incertezas, de falsas verdades que constituem nossas teorias e nossos sistemas de compreensão de mundo.

Podemos, para resumir, dizer que para a Epistemologia Genética a aprendizagem ocorre através dos processos de assimilação e acomodação (PIAGET, 1975a). Assimilação como um processo de classificação de novos fatos aos esquemas já construídos pelo sujeito. A acomodação refere-se à modificação de um esquema em função do objeto e suas particularidades. Isso modifica ou cria novos esquemas dentro de uma estrutura maior, que se configura como o estágio no qual o sujeito se encontra.

A assimilação e a acomodação ocorrem desde as primeiras interações do bebê com os objetos que o cercam (incluindo seu próprio corpo), segundo Jean Piaget (1975a, p.386):

“[...] as relações entre o sujeito e o seu meio consistem numa interação radical, de modo tal que a consciência não começa pelo conhecimento dos objetos nem pelo da atividade do sujeito, mas por um estado indiferenciado; e é desse estado que derivam dois movimentos complementares, um de incorporação das coisas ao sujeito, o outro de acomodação às próprias coisas”.

É nesse sentido que o conhecimento progride tanto do exterior para o interior quanto do interior para o exterior. A Figura 1 mostra um esquema elaborado por Jean Piaget (1975b) para representar os processos de assimilação e acomodação que citamos anteriormente.

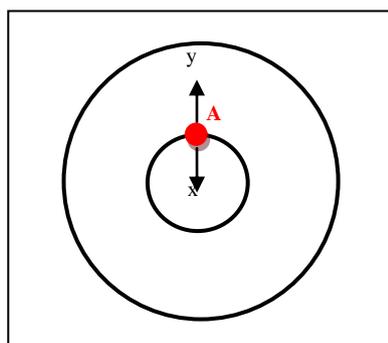


Figura 1 - Esquema Organismo – Meio
Fonte: (Piaget, 1975b, p.330).

O ponto A é o momento de encontro entre o organismo e o meio, representados pelo círculo menor e maior respectivamente. Segundo Jean Piaget (1975b, p.330), “o conhecimento progride segundo duas vias complementares”, representadas pelas setas que vão de A a Y e de A a X, que representam “o domínio da experiência” no primeiro caso (A-Y) e o “próprio funcionamento intelectual” no segundo caso (A – X).

Voltando ao exemplo da posição da Terra no espaço, pode-se perguntar por que alguns gregos antigos e alguns astrônomos da Idade Média não reconheceram que era a Terra e não o Sol que se movia? Uma vez que a Terra e o Sol são os mesmos desde sempre, temos os mesmos estímulos sensoriais vindos da natureza. Podemos dizer, radicalizando o exemplo, que os dados empíricos são os mesmos para um homem das cavernas como para um homem da modernidade. Os estímulos sensoriais que nossos antepassados receberam em suas retinas ao olhar para o céu são os mesmos que hoje recebemos, com algumas variações pontuais como o surgimento de supernovas etc., todavia, enxergaram coisas muito diferentes. Alguns viram animais, outros passaram a acreditar que sua sorte estaria determinada pela posição dos corpos celestes no momento do seu nascimento etc. Serão, portanto, os dados empíricos também interpretações da nossa mente sobre o mundo que nos rodeia, permeados de crenças, valores e culturas?

No entanto, acreditar que o conhecimento é algo dado pela natureza, ou pelo mundo ao nosso redor, tem implicações radicais para o campo de estudos sobre aprendizagem e da Epistemologia. Seria o caso então de acreditar-se que, todos os sujeitos, independente de suas características particulares, têm condições de aprender algo, desde que expostos a materiais adequados, desconsiderando outros fatores envolvidos nos processos de ensino e de aprendizagem, o que pode levar a um tecnicismo radical, no qual se pensa apenas nos modos como ocorrerá a transmissão de um conteúdo. Assim, a aprendizagem se transforma em mera impressão dos estímulos do real na mente do sujeito, não valorizando sua capacidade de processar e interpretar o que se apresenta. Isso nos parece uma concepção bastante limitada sobre as possibilidades infinitas do cérebro humano.

3. A Teoria da Abstração como ponto de partida para compreender a aprendizagem

Como afirmamos anteriormente, a Epistemologia Genética concebe que é pela ação que o sujeito conhece o mundo. É através de um processo interminável de construções e reconstruções que, a cada novo patamar, torna o sujeito ainda mais capaz de compreender e significar a realidade a sua volta.

Para Jean Piaget (1970, p.3):

“O conhecimento não poderia ser concebido como algo predeterminado nas estruturas internas do indivíduo, pois que estas resultam de uma construção efetiva e contínua, nem dos caracteres preexistentes do objeto, pois que estes só são conhecidos graças à mediação necessária dessas estruturas; e estas estruturas os enriquecem e enquadram (pelo menos os situando no conjunto dos possíveis)”.

Na década de 70, Jean Piaget e seus colaboradores da Escola de Genebra lançaram, em forma de livro, a teoria da abstração reflexionante. Segundo Piaget e Inhelder (1975c, p.301):

“[...] a abstração consiste em acrescentar relações ao dado perceptivo e não apenas em extraí-las dele. Reconhecer a existência de qualidades comuns, como quadrado, redondo, grande ou pequeno [...] é construir esquemas relativos às ações do sujeito tanto como às propriedades do objeto”.

Ao agir sobre o mundo, num primeiro momento, recolhemos informações muito superficiais dos objetos. Essa retirada de características dos objetos inicialmente é garantida pela **abstração empírica**. Dizer que o céu é azul, ou que o Sol tem cor amarelada, são exemplos de abstração empírica na qual o sujeito retira os observáveis mais materiais e periféricos dos objetos. Nesse nível de abstração, o sujeito não consegue retirar propriedades formais dos objetos. Por exemplo, dizer que o céu é azul e saber explicar qual o motivo de ele ter essa cor, saber que gases compõem a atmosfera terrestre etc.

Esse processo de retirar observáveis ocorre graças a uma **abstração reflexionante**⁵ anterior, que capacita o sujeito poder ver e significar aquilo que seus olhos transmitem a seu cérebro. A abstração reflexionante não se apoia sobre o real apenas, mas tem um caráter construtivo e de criação que se alicerça nas operações mentais que o sujeito realiza. Por exemplo, para dizer que o céu é azul (característica aparentemente observável) é preciso ter noção do que é essa cor. Se não possuir esse conhecimento prévio, não será capaz de significar ou nomear o que vê. Podemos sintetizar o processo de abstração reflexionante da seguinte maneira:

O sujeito retira propriedades dos objetos (que podem ser físicos ou imateriais), através dos conhecimentos que ele já adquiriu com abstrações reflexionantes anteriores. Nesse sentido, em termos epistemológicos e psicológicos, parte-se sempre daquilo que já se sabe para adquirir novos conhecimentos.

As características retiradas dos objetos pela abstração reflexionante anterior é, através de um processo de **reflexionamento**, projetada sobre novo patamar, no qual o conteúdo é extraído para poder compreender novos fatos ou novos observáveis do meio ou do objeto. Tais dados serão organizados novamente por um processo de **reflexão**, ou seja, um ato mental de reconstrução e reorganização do que foi extraído de um patamar inferior.

Podemos dizer que os diferentes patamares da reflexão formam as estruturas cognitivas do sujeito, na medida em que possibilitam abstrações reflexionantes que tornam possíveis a **tomada de consciência** do mundo que o cerca. Ou seja, na Epistemologia Genética, o patamar máximo de desenvolvimento de uma estrutura é quando ela não apenas permite ao sujeito agir em determinado nível, mas também compreendê-las a ponto de poder explicar o que fez. Nas palavras de Jean Piaget (1978, p. 176):

⁵ Optamos por utilizar o termo “reflexionante”, que foi originalmente traduzido da obra de referência original para a publicação brasileira por Becker e Petronilha (1995), por concordarmos com os tradutores que o termo “*réfléchissante*” ficaria melhor representado utilizando um particípio presente, dando a ideia de uma ação em movimento, o que corrobora com a intenção do termo reflexionante no escopo da teoria da abstração de Piaget. Lembramos também que outro estudioso da obra piagetiana, Dongo-Montoya (2013), também utiliza o termo reflexionante ao referir-se ao termo “*réfléchissante*”.

“[...] fazer é compreender em ação uma dada situação em grau suficiente para atingir fins propostos, e compreender é conseguir dominar, em pensamento, as mesmas situações até poder resolver os problemas por ela levantados, em relação ao porquê e ao como das ligações constatadas e, por outro lado, utilizadas na ação”.

Os processos de ação e compreensão ocorrem por etapas sucessivas, que “reiniciam” a cada nova interação. Nunca se parte do zero quando se pretende conhecer um objeto novo (seja concreto, seja uma situação social), uma vez que cada aprendizagem construída aumenta em qualidade e quantidade a capacidade cognitiva do sujeito. Ao coordenar as próprias ações, não se abstrai apenas as propriedades dos objetos, mas também de sua própria estrutura lógico-matemática. Assim, ao tornar-se cada vez mais inteligente, é capaz de compreender o mundo com mais destreza. É o desenvolvimento de novas capacidades lógicas que aumenta nossas habilidades intelectuais. Para Jean Piaget (1995, p.81-82), a abstração reflexionante

“é fundamental, porque recobre todos os casos de abstração lógico-matemática [...] é retirada, não dos objetos, mas das coordenações das ações (ou de operações), portanto, das atividades do sujeito”.

Para poder efetuar qualquer dessas operações (contar, seriar, classificar), antes é preciso que o sujeito coordene sua própria ação, no caso, poder ver e seguir com os olhos um conjunto de objetos. Inicialmente, a criança muito pequena não é capaz de distinguir entre um objeto maior ou menor, ou ordenar uma série de objetos de diferentes tamanhos. Isso porque ela precisará partir de abstrações empíricas e reflexionantes para chegar a tal nível de construção estrutural.

Para estabelecer a ordem de um grupo de peças de um jogo, por exemplo, a criança precisa estabelecer relações entre elas. Tais relações inicialmente se constroem por meio da abstração empírica, retirando uma propriedade de cada objeto. Por meio da abstração pseudo-empírica, ela poderá construir diferentes relações entre esses objetos e então passará a classificá-los de alguma forma. A classificação exige saber que algo é isto e não é aquilo. Assim, os processos de abstração empírica e reflexiva, em conjunto, possibilitam à criança construir esquemas capazes de efetuarem a leitura e a compreensão de um conjunto de peças de um jogo, por exemplo. Ainda há, também, a comparação, que é um dos patamares do reflexionamento, o qual possibilita relacionar dois ou mais objetos de acordo com suas características visíveis e não visíveis.

Essas capacidades lógicas não são restritas para este ou aquele conteúdo, mas configuram-se como instrumentos de interpretação e ação para quaisquer situações. Elas constituem a base do nosso aparato intelectual e definem nossas capacidades e possibilidades de aprender. O que queremos chamar atenção é de que elas não se desenvolvem por acúmulo de quantidade de conhecimentos, mas a partir da possibilidade e capacidade de estabelecer relações entre os conhecimentos com os quais lidamos. Assim, a história da ciência nos mostra que os humanos não tiveram acesso apenas a um volume maior de dados sobre o universo, mas foram construindo

interpretações cada vez mais sofisticadas sobre como os corpos celestes se organizavam e o que isso implicava.

Segundo Luiz Carlos Gomes (2007, p. 8):

“O conhecimento astronômico, iniciando pela percepção do céu, mediado pelo processo de equilibração e de abstração reflexionante, evolui por sucessivas tomadas de consciência dos fenômenos celestes e, ao mesmo tempo, das compreensões do próprio sujeito”.

Ou seja, inicialmente a observação do céu é feita “somente no plano perceptivo [...] quando o sujeito assimila por abstração empírica o panorama celeste” (GOMES (2007, p. 44). Por exemplo, uma criança pode comparar o tamanho da Lua com o do Sol, porém, precisará de mais informações que apenas as que são perceptíveis pelos observáveis visíveis desses astros (abstração empírica). Ela terá que compreender, por exemplo, que o Sol é maior do que a Lua. Para isso é necessário saber que o tamanho aparente dos astros vistos da Terra não corresponde ao seu tamanho real, pois estão muito distantes e por isso se parecem menores do que realmente o são. No caso de basear sua comparação apenas naquilo que pode ver, se incorrerá no erro perceptivo. Ou seja, os dados empíricos são também fruto da nossa capacidade de lê-los e compreendê-los.

4. A teoria geocêntrica, o movimento retrógrado dos planetas e a abstração reflexionante

O geocentrismo e o heliocentrismo são duas teorias que explicam o lugar da Terra no universo. Segundo o geocentrismo, a Terra ocupa lugar central no universo. Os demais astros orbitam, portanto, ao redor da Terra. Para o heliocentrismo, ao contrário, é o Sol que ocupa posição central, sendo que os demais astros orbitam ao seu redor. Nesta seção vamos fazer referência a dois ícones que representam tais teorias, não ignorando que muitos outros cientistas importantes também optavam entre uma ou outra para fundamentarem, especialmente, suas convicções acerca do universo, da vida e da própria existência.

Cláudio Ptolomeu (168 d. C.) afirmava que a Terra não se movia. Eram os outros astros que se movimentavam ao seu redor. Todas as evidências científicas que a época comportava fazer (e ainda hoje somente pela abstração empírica) levaram-no a pensar exatamente assim, e dessa forma conceber o sistema Terra-Sol-Planetas.

Tal teoria também teve base no antigo universo de suas esferas, no qual:

[...] a Terra era uma pequena esfera suspensa de modo estacionário no centro geométrico de uma muito maior esfera rotativa que transportava as estrelas. O Sol movia-se num vasto espaço entre a Terra e a esfera das estrelas. Fora da esfera exterior não havia absolutamente nada – nem espaço, nem matéria, nada. Na antiguidade, esta não era a única teoria sobre o universo, mas foi a que ganhou mais adeptos, e é uma versão desenvolvida desta teoria que o mundo medieval e moderno herdou dos antigos (KUHN, 2002, p.43).

O fato de existirem duas esferas e de a Terra ser colocada no centro do universo configura-se como uma pseudonecessidade do sistema lógico dos antigos cientistas que nela acreditavam. A pseudonecessidade é descrita por Jean Piaget e Rolando Garcia (2011, p.57) como uma falsa necessidade imposta pela lógica interna do conhecimento de determinada teoria. É, por exemplo, o caso da teoria de Aristóteles sobre a mecânica, quando impõe certas premissas (que não necessitavam de testes experimentais) que irão definir sua Física e, conseqüentemente, a astronomia da Idade Média.

Ou seja, as abstrações reflexionantes realizadas por Aristóteles, e posteriormente por Ptolomeu no seu livro “Almagesto”, publicado em aproximadamente 150 a.C., deram corpo a uma teoria que perdurou por muitos anos na sociedade e entre os cientistas da época. Tal teoria estava ligada a uma imagem do universo; abandoná-la implicava uma mudança radical, que segundo Antoni Baig e Montserrat Agustench (1987, p.12) “não foi possível até que o homem fosse capaz de romper com as mesmas bases conceituais sobre as quais havia fundamentado a imagem anterior, o que, evidentemente não foi fácil” (tradução feita pelos autores).

Outro exemplo de abstração reflexionante baseada em dados que deformam a realidade, ou seja, de uma **assimilação deformante**, é o caso do movimento irregular do planeta Marte, explicado por Ptolomeu.

Os planetas descrevem uma órbita ao redor do Sol, como sabemos hoje. Para Cláudio Ptolomeu, no entanto, eles giravam ao redor da Terra. Além disso, eles se mantinham no céu (ou seja, não caíam sobre nossas cabeças) porque eram suspensos por esferas de cristais, que em um complexo esquema se movimentavam permitindo assim que os planetas também se movessem. Ao se deparar com os dados de observação, que demonstravam que Marte movia-se em determinado período como se retrocedesse na sua órbita e depois retomava o movimento original (Figura 2). Cláudio Ptolomeu precisou acomodar tais dados à sua teoria.

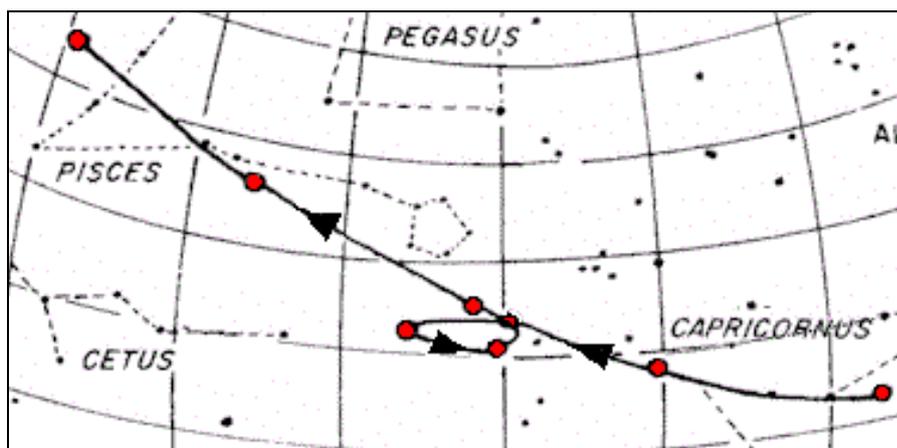


Figura 2 – Ilustração do movimento retrógrado de Marte

Fonte: <http://expansao.blogspot.com.br>

Tal anomalia problematizava a explicação dos círculos perfeitos como condutores das órbitas dos corpos celestes. Foi então que, com os dados da observação

(abstração empírica), e as teorias anteriores (abstração reflexionante), Cláudio Ptolomeu elaborou outra explicação para o fenômeno do movimento retrógrado dos planetas e mantendo-se na sua teoria geocêntrica.

Assim, Cláudio Ptolomeu elaborou uma explicação que se ajustava aos fatos. Para ele, Marte se movia dessa maneira porque, além do círculo que descrevia ao redor da Terra, ele também descrevia, ao mesmo tempo, um movimento circular sobre um ponto da sua órbita, denominado de epiciclo. Assim, era possível explicar porque em determinadas épocas do ano o planeta parecia “voltar” à sua trajetória inicial (como ilustrado na Figura 3).

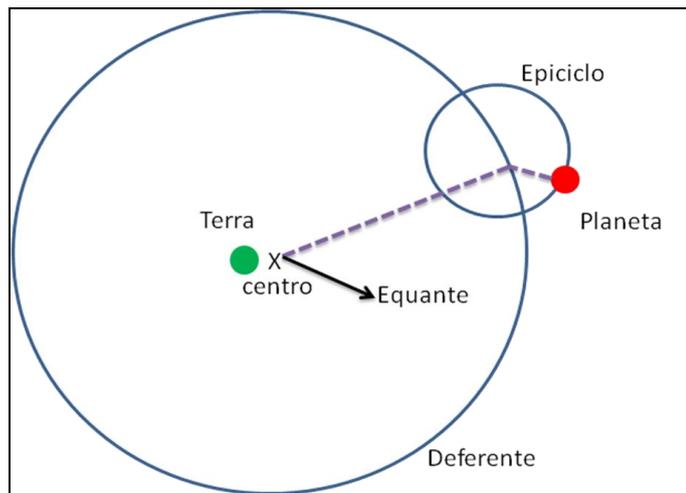


Figura 3 – Ilustração do movimento retrógrado Marte, segundo Ptolomeu

Fonte: Os autores.

Essa mesma explicação foi proposta também para explicar porque outros planetas aparentemente também retrocediam em sua trajetória vistos da Terra. Hoje, sabemos que a percepção do movimento retrógrado de Marte (e de outros planetas) é devida à localização do observador, no caso da Terra, que vê outro planeta com relação ao fundo das estrelas fixas, ficando com a impressão de que o planeta retrocede na sua trajetória ao redor do Sol. Assim, o movimento retrógrado não é mais explicado com a teoria dos epiciclos, mas pela diferença de velocidade dos planetas nas suas trajetórias ao redor do Sol. O período de translação da Terra é menor que a dos planetas exteriores como Marte. Com isso, podemos dizer que Marte é “ultrapassado” pela Terra periodicamente em suas trajetórias, o que causa a impressão ao observador terrestre de que Marte retrocede no céu.

O universo de duas esferas, o geocentrismo e as explicações consequentes para os movimentos retrógrados dos planetas foram colocadas em questão por Copérnico (1473–1543) e, posteriormente, por Johannes Kepler (1571–1630).

Johannes Kepler também teve de confrontar suas teorias e modos de pensar (sólidos perfeitos de Platão), com dados de observação coletados por Tycho Brahe (1546–1601). Temos então, na história da astronomia outro caso de abstração reflexionante. Talvez um dos níveis mais elevados, uma vez que Johannes Kepler passou grande parte de sua vida relutando contra os dados, tentando adaptá-los a cálculos que

condissem com suas explicações pessoais para o universo, o qual, como neoplatônico, acreditava que o Sol era o centro do universo e que as órbitas dos planetas eram circulares.

Portanto, uma das pseudonecessidades do esquema cognitivo de Johannes Kepler para descrever as trajetórias dos planetas ao redor do Sol estava em que estas pudessem ser de tal forma perfeitas, tais como o círculo (retomando a ideia de movimento circular uniforme). Kepler retirava da realidade observáveis (isto é, identificava as propriedades dos objetos) que não eram assimilados por suas estruturas, como por exemplo, o fato de os cálculos das órbitas nunca fecharem um círculo perfeito, e uma vez que não condizia com suas crenças ele continuava tentando desenhar novas formas para as órbitas dos planetas. Jogando esses dados não assimiláveis a patamares superiores, ele precisava reorganizá-los para poder continuar o processo de construção de sua teoria, realizando abstrações reflexionantes cada vez em níveis mais elevados. Assim, em última instância, não foi possível sujeitar os dados às suas teorias, uma vez que a lógica dos fatos observáveis que ele coletara forçava sua estrutura a ampliar-se para poder comportá-los.

Quando Johannes Kepler elabora sua primeira Lei: "O planeta em órbita em torno do Sol descreve uma elipse em que o Sol ocupa um dos focos", temos um exemplo de abstração reflexionante no sentido de que após inúmeras tentativas de adaptar os dados aos círculos perfeitos, Johannes Kepler teve de abandoná-los e passar a fazer tentativas inovadoras para que pudesse chegar a resultados que condissem com os dados de Tycho Brahe. Mas isso só foi possível porque, na época, o conhecimento de Kepler sobre a realidade, diferente do caso de Aristóteles, precisava encontrar fundamentos empíricos e não apenas lógicos ou metafísicos. A exigência de uma comprovação fez com que ele não pudesse permanecer acreditando nas órbitas circulares. É nesse sentido que podemos, dentro da Epistemologia Genética, contestar a noção de fato:

“[...] um fato será sempre o produto de composição de uma parte fornecida pelos objetos e de uma outra construída pelo sujeito. A intervenção deste último é tão importante que pode levar até a uma deformação ou mesmo a um recalque do observável, o que desfigura o fato em função da interpretação” (PIAGET; GARCIA, 2011, p.37).

Como vimos, não são os dados puros em si que nos permitem conhecer o mundo. Sobretudo, nossas elaborações pessoais a respeito deles, as quais são construções de nossa capacidade cognitiva, de nosso modo de pensar, que vão possibilitar as elaborações teóricas a respeito da realidade. Estas, por sua vez, podem ou não, estar corretas.

5. A astronomia e o processo de abstração no dia a dia

A partir do exposto anteriormente, é através do processo de abstração reflexionante que o sujeito vai tornando seu pensamento cada vez mais formal. Ptolomeu tinha pensamento organizado, pensava sobre o movimento dos planetas, sobre

as relações entre esses movimentos e com isso pode elaborar sua teoria. Ele realizava um exercício de metacognição, o qual é uma das características do pensamento formal.

Nesse processo, inicialmente, o sujeito pensa apoiando-se sobre o real, sem poder prescindir dele, isto é, ele se apoia sobre o real para poder movimentar-se nele. Isso aconteceu também no decorrer da história da astronomia quando, por exemplo, inicialmente os homens estavam mais vinculados à materialidade e atribuíam ao céu a causa de acontecimentos do seu dia a dia, justamente por não compreenderem o que lhes acontecia. Nas diferentes culturas, encontramos muitas histórias e mitologias tendo como pano de fundo o céu e seus habitantes (VERDET, 1987). Algo semelhante ocorre também no período pré-navegações, no qual o desconhecimento do mundo gerava medo e ansiedades entre os homens (RANGLES, 1994). Talvez seja por isso que a astronomia é ainda hoje, no imaginário popular, confundida com a astrologia, a qual pretende explicar as características pessoais dos indivíduos e os acontecimentos do dia a dia pela influência direta dos astros. Como a astrologia se encontra num patamar mais próximo do imaginário dos sujeitos, recebe melhor acolhida, uma vez que, para a população em geral, ela trata de previsões cotidianas. Já os conhecimentos astronômicos exigem conhecimentos específicos e abstrações do real cada vez mais elevadas.

Para citar um exemplo, podemos analisar o que veem as pessoas ao olhar o céu, sem conhecimentos de astronomia. As pessoas veem pontos brilhantes espaçados que ficam agrupados em figuras que, em geral, não se consegue identificar à primeira vista. Esses “pontos” culturalmente são denominados de estrelas, no entanto podem ser estrelas, planetas, satélites artificiais, cometas, galáxias, nebulosas etc. O sujeito então observa esses pontos luminosos e constrói em sua mente uma representação desse céu. Ele se apoia sobre o real de uma forma muito pouco elaborada para construir essa representação. Porém, para que seja capaz de identificar alguma constelação, não bastará ter o sentido da visão, precisará, por exemplo, de conhecimentos específicos de localização das estrelas. Tampouco bastará que alguém lhe mostre a constelação, pois sozinho poderá não mais localizar-se no céu. Precisar reconhecer o ponto celeste sul (no caso do hemisfério sul) e a partir dele identificar algumas estrelas representativas de cada constelação. Então, é preciso primeiro ter uma noção de direção dos polos celestes. Para isso ele precisará ir além da impressão sensorial aparente, terá de abstrair informações que não estarão necessariamente nas características visíveis das estrelas, mas nas relações que estabelecerá entre vários conhecimentos e a estrela que observa. Ocorre algo semelhante na leitura de uma carta celeste, que é uma representação do céu. Por ser uma representação, a carta celeste exige mais conhecimentos do sujeito. Ele precisa saber se situar no espaço, conhecer minimamente os pontos cardeais e também reconhecer alguns pontos de referência no céu. Enfim, precisamos abstrair mais informações do céu e da própria carta do que simplesmente olhá-los. E isso tem implicações para o ensino de astronomia, já que não basta aos sujeitos olhar para o céu, é preciso que tenham condições cognitivas de enxergar algo além de pontos brilhantes. E essas condições cognitivas são, como afirmamos anteriormente, construídas quando o sujeito interage com os conhecimentos da astronomia e com as observações que possa fazer do céu noturno.

Temos aqui um jogo de forma e conteúdo que interfere na compreensão do céu e da carta celeste. Os observáveis que é possível retirar dos objetos se referem ao conteúdo, e as estruturas que serão construídas por meio das reflexões constituem a

forma. Quando mais “descolado” da realidade for nosso pensamento, mais formal ele se torna, o que implica maior capacidade de elaboração.

No caso da astronomia, no exemplo da carta celeste em questão, a leitura do céu se torna extremamente formal, pois, está baseada em conhecimentos que estão além das aparências dos objetos que se estuda. No entanto, nem tudo que “vemos” de fato “existe” no céu. Um ótimo exemplo disso são as constelações. A disposição das estrelas nas galáxias não é necessariamente a mesma vista aqui da Terra. Isso porque o espaço é tridimensional, e aqui da Terra representamos, de modo geral, as constelações de modo bidimensional. Tal representação funciona muito bem quando queremos localizar algo no céu, justamente porque é um conjunto de conhecimentos que permite visualizar a passagem de um planeta, por exemplo, sem necessitar de um conhecimento maior das distâncias reais dos astros no Sistema Solar.

Além disso, a configuração das constelações muda, embora a passos muito lentos. Os antigos homens das cavernas provavelmente não enxergavam Órion, porque culturalmente ele não existia. A etnoastronomia tem bons exemplos de constelações que recebem nomes diferentes em cada região e em cada cultura, por exemplo, a constelação indígena da Ema, que segundo Germano Afonso (s/d, p.2):

“A constelação da Ema fica na região do céu limitada pelas constelações ocidentais Crux e Scorpius. Ela é formada utilizando, também, estrelas das constelações Musca, Centaurus, Triangulum Australe, Ara, Telescopium, Lupus e Circinus”.

Em outras palavras, para os indígenas, as constelações representam coisas diferentes, portanto, têm configurações diferentes que incluem estrelas que nós, ocidentais, classificamos como pertencentes a outra constelação.

Enfim, cada representação do céu possui esquemas de significação diferentes para diferentes culturas. Portanto, cada pessoa poderia criar um mapeamento próprio do céu, via abstração **pseudo-empírica**, com imagens que lhe tenham sentido, totalmente diferentes das imagens convencionais.

6. Para encerrar...

A visão de mundo está intimamente ligada à capacidade cognitiva de interpretar a realidade na qual o sujeito está inserido. E esta, por sua vez está ligada ao seu modo particular de pensar, às suas crenças e às suas aprendizagens anteriores. No entanto, trata-se de construções que são elaboradas através da ação no mundo. Um cientista não “descobre” fatos, mas sim constrói teorias que os explicam. Com o passar do tempo elas podem ou não se confirmar. Foi o caso de Cláudio Ptolomeu com os epiciclos, de Johannes Kepler com as órbitas circulares e de muitos outros astrônomos e cientistas de todas as épocas.

É nesse sentido que a teoria piagetiana refuta os modelos de base empirista, nos quais o conhecimento é adquirido do meio externo. Ora, todos veem as estrelas, no entanto poucos compreendem o céu. Todos veem três estrelas enfileiradas, mas nem todos identificam as chamadas “Três Marias” do cinturão de Órion, e nem todos verão a

constelação de Órion. Da mesma forma também acontece de se termos a percepção de que a constelação de Órion realmente se parece com a imagem de um guerreiro, embora ao olhá-la nossos sentidos apenas captam a luz de alguns pontos brilhantes distantes, espalhados aleatoriamente pelo espaço.

Não é aquilo que se vê, mas aquilo que significamos ao ver que define o que sabemos a respeito do mundo. Por isso, na história das ciências, em especial da astronomia, temos grandes exemplos de que o conhecimento científico não é dado pela natureza, mas sim construído. Por ser fruto de uma construção, é passível de erro, ou seja, de deformações causada por assimilações pouco adaptadas à realidade, mas muito bem adaptadas às teorias pessoais.

Agradecimentos:

Os autores agradecem aos avaliadores *ad hoc* da Revista Latino Americana de Educação em Astronomia pela leitura atenta e crítica, bem como pelas sugestões de aprimoramento deste trabalho.

Referências

AFONSO, G. **As constelações indígenas brasileiras**. In: TELESCÓPIOS na escola: Projeto Educacional em Ciências através do uso de telescópios robóticos. [S.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.telescopiosnaescola.pro.br/indigenas.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2013.

BAIG, A.; AGUSTENCH, M. **La revolución científica de los siglos XVI y XVII**. Madrid: Alhambra, 1987.

BECKER, F. Modelos pedagógicos e modelos epistemológicos. **Educação e Realidade**, v.19, n.1, p.89-96, jan./jun. 1994.

GARCIA, A.; FABREGAT, A. A construção humana através da equilibração de estruturas cognitivas: Jean Piaget. In: MINGUET, P. A. (Org.). **A construção do conhecimento na educação**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

GARCIA, R. **O conhecimento em construção**: das formulações de Jean Piaget à teoria de sistemas complexos. Porto Alegre: Artmed, 2002.

GOMES, L. C. **As descobertas da astronomia à luz da teoria da abstração reflexionante de Jean Piaget**. 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado em Educação) -- Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. 5. ed. São Paulo: Perspectiva, 1997.

MONTOYA, A. O. D. Resposta de Piaget a Vygotsky: convergências e divergências teóricas. **Educação e Realidade**, v.38, n.1, Jan./Mar. 2013.

PIAGET, J. **A Equilibração das Estruturas Cognitivas**: Problema Central do Desenvolvimento. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1976.

PIAGET, J. **A construção do real na criança**. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1975b.

PIAGET, J. **A epistemologia genética**. 2ª Ed. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

PIAGET, J. **Abstração reflexionante**: Relações lógico-aritméticas e ordem das relações espaciais. Porto Alegre; Artes Médicas, 1995.

PIAGET, J. **Abstração reflexionante**: relações lógico-aritméticas e ordem das relações espaciais. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995. (Tradução de Fernando Becker e Petronilha B. G. da Silva).

PIAGET, J. Development and learning. In: LAVATTELLY, C. S.; STENDLER, F. **Reading in child behavior and development**. New York: Hartcourt Brace Janovich, 1972.

PIAGET, J. **Fazer e compreender**. São Paulo: Melhoramentos, 1978.

PIAGET, J. **O nascimento da inteligência na criança**. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1975a.

PIAGET, J.; GARCIA, R. **Psicogênese e história das ciências**. Petrópolis: Vozes, 2011.

PIAGET, J.; INHLDER, B. **Gênese das estruturas lógicas elementares**. 2. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1975c.

RANDLES, W. G. L. **Da Terra plana ao Globo Terrestre**: uma mutação epistemológica rápida (1480-1520). Campinas: Papirus, 1994.

VERDET, J. P.. **O Céu, mistério, magia e mito**. [S. l.]: Gallimard, 1987.

VONÈCHE, J. J.; GRUBER, H. E. Reflexions sur les operations formelles de la pensée. **Archives de Psychologie**, v.44, n.171, p.45-55, 1976.