

De início, dois flashes das aulas anteriores sobre as duas causas principais do fracasso das propostas de ensino de ciências apresentadas nas décadas de 1960/1970:

1ª - A crença na aprendizagem baseada na capacidade individual do aluno de “redescobrir as ciências” apenas por meio do material didático apresentado a ele apoiado na atividade experimental...

com exceção de algumas causas específicas, brasileiras, como a ineficiente distribuição do material, a qualidade do material experimental e a dificuldade de obtenção dos guias do professor, a nosso ver a causa principal do insucesso do PEF foi a mesma do PSSC, seu precursor no Brasil:

a superestimação da capacidade do material instrucional na promoção da aprendizagem individual do aluno ancorada basicamente na experimentação, enquanto do professor se pedia e se esperava muito pouco.

2ª – A equivocada compreensão da forma como se constrói a ciência, baseada na concepção tradicional do método científico apoiada predominantemente na observação, que pode ser sintetizada nesta crítica de Einstein a um trabalho de Heisenberg...

Conseguir observar uma coisa ou não depende da teoria que se usa. É a teoria que decide o que pode ser observado. [...] observar significa que construímos alguma conexão entre um fenômeno e nossa concepção do fenômeno. [...] Se mudamos a teoria relativa a essa sequência de acontecimentos [refere-se a um exemplo experimental dado anteriormente por Einstein], é óbvio que a observação será alterada.”

A nosso ver, todos os projetos de ensino de Física que apresentamos e pretenderam a reformulação desse processo cometeram o mesmo erro que Einstein atribuiu a Heisenberg – essa foi a causa principal do seu insucesso: se “é a teoria que decide o que pode ser observado”, é impossível que alguém “descubra” uma lei científica que não conhece por meio da simples observação, pois se ele ainda não a conhece não saberá sequer o que deve observar.

A saída para evitar esses equívocos só pode ser encontrada com a compreensão do funcionamento do cérebro humano que surgiu com o advento de duas teorias cognitivas; a primeira delas e suas consequências começamos a conhecer agora

3. A teoria de Jean Piaget e a compreensão do funcionamento genético do cérebro humano



Jean Piaget aos 80 anos

J. Piaget

Jean Piaget (1896-1980) é provavelmente o pedagogo mais conhecido em todo mundo. Nasceu na Suíça, formou-se em Biologia na Universidade de Neuchâtel, sua cidade natal, onde concluiu seu doutorado.

Sua obra ainda é uma fundamentação relevante em pesquisas nas áreas da psicologia, sociologia, educação, epistemologia, economia e direito.



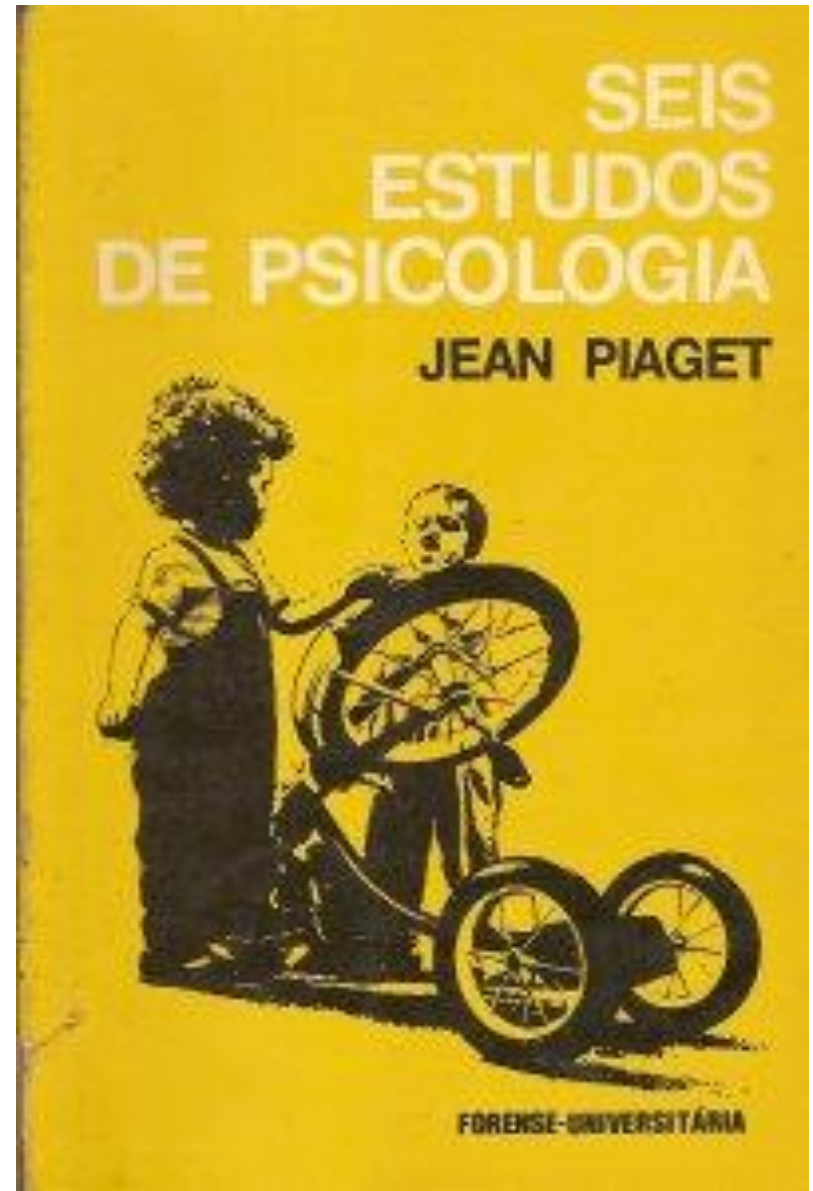
De acordo com a Jean Piaget Society (<http://www.piaget.org>) publicou mais de 50 livros e 500 artigos científicos além de 37 volumes na série "Etudes d'Epistémologie Génétique" (Estudos de Epistemologia Genética).

De início apresentamos uma ideia inicial importante para compreender melhor a teoria de Piaget

“O objetivo da pesquisa de Piaget foi definir, a partir da **perspectiva da biologia**, como o sujeito passaria de um conhecimento menor anterior para um nível de maior conhecimento. O problema que buscou solucionar durante toda a sua vida de pesquisador e que fez dele um teórico e autor conhecido e respeitado mundialmente, foi o da construção do conhecimento pelo sujeito, o que o fez, **partindo da biologia, estudar filosofia, epistemologia, lógica, matemática, física, psicologia, entre outras ciências.**

A formação inicial de Piaget na biologia influenciou todo o desenvolvimento da sua teoria, primeiramente, na perspectiva dos instrumentos científicos utilizados por ele como comprovadores empíricos, sempre baseados em métodos científicos rigorosos, isto é, possíveis de serem replicados. A outra influência da biologia na teoria piagetiana diz respeito à concepção de inteligência enquanto algo ligado à ação e à adaptação ao meio.”

Tendo em vista a grandiosidade da obra de Piaget e a complexidade de sua teoria, optamos por apresentar uma síntese de algumas das ideias, dividida em **três tópicos essenciais** baseada principalmente na obra **SEIS ESTUDOS DE PSICOLOGIA** (publicado em 1968) que, a nosso ver, nos permite entender as principais implicações que essa teoria pode oferecer à prática experimental no ensino das ciências.



I – Evolução genética do desenvolvimento cognitivo humano

Para Piaget o desenvolvimento psíquico do ser humano tem história semelhante a do seu desenvolvimento orgânico e, como esse desenvolvimento, orienta-se para o equilíbrio*:

Da mesma maneira que um corpo está em evolução até atingir um nível relativamente estável – caracterizado pela conclusão do crescimento e pela maturidade dos órgãos –, também a vida mental pode ser concebida como evoluindo na forma de um equilíbrio final, representada pelo espírito adulto.

PIAGET, J. Seis estudos de psicologia. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 24ª ed., 1999, p. 13.

*O termo equilíbrio na teoria de Piaget significa o resultado da transição de estados cognitivos: do inicial para o estado final mais evoluído.

Desse modo ele procurou descrever a evolução cognitiva da criança e do adolescente em termos de equilíbrio.

Deste ponto de vista, o desenvolvimento mental é uma construção contínua comparável à edificação de um grande prédio que, à medida que se lhe acrescenta algo, vai ficando mais sólido.

Op. cit. p. 14

Para Piaget, há uma única e essencial diferença entre o desenvolvimento mental e físico dos seres humanos: imediatamente depois de o desenvolvimento físico completar-se, tem início um processo de regressão que nos leva gradativamente e inexoravelmente à velhice, o que não ocorre com o desenvolvimento mental que se mantém estável no seu nível mais alto de equilíbrio, a menos quando afetado pela regressão do desenvolvimento físico.

Desde o nascimento até a adolescência, situações de **conflito cognitivo** surgem em decorrência de interesses despertados na criança ou no adolescente por **necessidades fisiológicas, afetivas ou intelectuais**. É certo que os interesses variam com a idade ou nível mental, mas há dois mecanismos complementares e invariáveis que possibilitam o processo de equilíbrio ao longo do nosso desenvolvimento cognitivo.

Pode-se dizer que toda necessidade tende: 1º , a incorporar coisas e pessoas à atividade própria do sujeito, isto é, “assimilar” o mundo exterior às estruturas já construídas e, 2º , a reajustar estas últimas em função das transformações ocorridas, ou seja, “acomodá-las” aos objetos externos.

Op. cit., p. 17

Assimilação e **acomodação** são, assim, mecanismos funcionais constantes, por meio dos quais o cérebro humano evolui, passando por sucessivas formas ou níveis de equilíbrio.

Essa transição ou evolução cognitiva entre níveis e subníveis – estágios de desenvolvimento cognitivo – é determinada geneticamente e constitui o segundo mecanismo do processo de equilíbrio.

Estados de desenvolvimento cognitivo são etapas temporais mais longas e de características marcantes, como extensos patamares de uma escada que nos leva ao estado cognitivo adulto.

Há algumas variações na escolha ou divisão do número desses estágios de desenvolvimento cognitivo estabelecidos por Piaget; adotamos quatro, a mais habitual, omitindo os subestágios:

- o primeiro estágio, denominado **sensório-motor**, corresponde aos primeiros 18 ou 24 meses de vida;
- o segundo, chamado estágio **pré-operatório**, compreende aproximadamente o período entre os dois e os sete anos;
- o terceiro estágio, conhecido como **operatório concreto**, ocorre por volta dos sete aos doze anos;
- o quarto estágio, dos doze aos quinze anos, aproximadamente, completa a construção da estrutura genética do cérebro humano durante o estágio designado **operatório formal**.

O estágio sensório-motor inicia-se com o nascimento da criança e se caracteriza pelos reflexos ou mecanismos hereditários:

No recém nascido a vida mental se reduz aos exercícios de aparelhos reflexos, isto é, às coordenações motoras e sensoriais de aparelhos reflexos de fundo hereditário que correspondem à tendências instintivas como a nutrição

Op. cit., p. 18

Em seguida surgem os primeiros hábitos motores, as primeiras percepções organizadas e os primeiros sentimentos diferenciados; posteriormente, aparece a fase da inteligência prática ou sensório-motora.

[...] a consciência [de si mesmo] começa por um egocentrismo inconsciente e integral, até que os progressos da inteligência senso motora levem à construção de um universo objetivo, onde o próprio corpo aparece com um elemento entre outros, ao qual se opõe a vida interior, localizada neste corpo.

Op. cit., p. 20-21

É como se uma espécie de revolução copernicana ocorresse na mente da criança, caracterizada pelas construções mentais das categorias de objeto, espaço, causalidade e tempo.

O estágio **pré-operatório** inicia-se com o aparecimento da linguagem: a criança passa a acrescentar a todas as suas ações concretas do período anterior a capacidade de reconstituir ações passadas e antecipar ações futuras por meio da representação verbal. Resultam daí três consequências para o desenvolvimento mental:

- o início da socialização da ação,

No momento da aparição da linguagem a criança se acha às voltas, não apenas com o universo físico como antes, mas com dois mundos novos e intimamente solidários: o mundo social e o das representações interiores.

Op. cit., p. 24

- o pensamento propriamente dito, baseado na linguagem interior e sua função simbólica;

A linguagem, permitindo ao sujeito contar suas ações, fornece de uma só vez ao sujeito a capacidade de reconstituir o passado, [...], de antecipar as ações futuras não antecipadas, e até substituí-las às vezes pela palavra isolada, mas sem realizá-las. Este é o ponto de partida do pensamento.

Op. cit., p. 27

- o início do pensamento e da socialização

Segundo Piaget, no período do estágio pré-operatório aparecem “todas as transições entre duas formas extremas de pensamento”: a primeira, do pensamento por assimilação pura em que o egocentrismo exclui toda objetividade; a segunda, do pensamento adaptado aos outros ou à realidade, que vai possibilitar o aparecimento do pensamento lógico:

Entre os dois se encontra a grande maioria dos atos do pensamento infantil que oscila entre essas direções contrárias

Op. cit., p. 28

Um exemplo dessas formas extremas do pensamento são as explicações que a criança dá ao movimento da Lua que ocorre enquanto elas também se movimentam. No início desse período, elas são quase unânimes em afirmar que isso acontece porque a Lua as acompanha; o egocentrismo as impede de pensar o que faria a Lua diante de pessoas viajando em sentidos opostos.

Ao final desse período no entanto, mesmo que as crianças deem inicialmente a mesma explicação, elas a reformulam imediatamente...

...e para a tristeza dos pais, deixam de acreditar em Papai Noel.

O estágio **operatório concreto** assinala uma decisiva modificação no desenvolvimento mental da criança. As construções esboçadas nos períodos precedentes se completam, propiciando o aparecimento de um início de pensamento reflexivo.

Em vez das condutas impulsivas da primeira infância, acompanhadas da crença imediata e do egocentrismo intelectual, a criança, a partir de sete ou oito anos, pensa antes de agir, começando assim a conquista desse processo difícil que é a reflexão.

Op. cit., p. 42

É nesse estágio que surgem as primeiras operações que Piaget chama de concretas, pois se referem exclusivamente à realidade, à manipulação de objetos que podem ser submetidos a experiências efetivas. Nesse processo, a criança adquire, por exemplo, a noção de conservação: ela se torna capaz de raciocinar em termos de transformações sem se prender a estados ou configurações (vamos exemplificar esse processo mais adiante).

Embora em nível de complexidade menor do que no estágio das operações formais, não se observam aqui operações isoladas; elas se coordenam em estruturas de conjunto. Em relação aos estágios anteriores, o pensamento operacional concreto representa

[...] um enorme avanço em capacidade, complexidade e abstração. Não somente a criança é capaz de pensar, mas também pode utilizar o seu pensamento para ultrapassar as informações dos sentidos [...]. A criança do estágio operacional concreto está livre da tirania do aqui e agora e de seu comportamento em relação a ela.

NEIMARK, E. D. Intellectual Development during Adolescence. In: *Review of child development research*, v. 4. Chicago: The University of Chicago Press, 1975. p. 547)

Segundo Piaget, nesse estágio ocorre um aprofundamento da estrutura lógica resultante da evolução genética que ele postula ocorrer no cérebro humano – ela começaria a se desenvolver no estágio anterior e se completaria neste.

Considera-se que esse estágio de pensamento habilita o aluno a trabalhar com conceitos básicos de ciência, tais como classe, série, número, comprimento, peso, eixos de referência, construção e interpretação gráfica de dados, área, volume, tempo, temperatura etc.

Embora essa capacidade configure um enorme avanço cognitivo, esse estágio de pensamento ainda é inadequado para que o aluno possa compreender e “lidar com os conceitos mais complexos requeridos pela ciência”.*

*** Lovell K., Compreendendo conceitos científicos In: PIAGET, J. *Psicologia e Educação*. São Paulo: Cultrix, 1980, p. 64.**

Finalmente, o estágio **operatório formal difere do operacional concreto como este difere dos estágios anteriores: em nível de abstração, elementos e estruturas de organização. As operações lógicas passam do plano das manipulações concretas para o das ideias; o pensamento torna-se capaz de deduzir conclusões a partir de hipóteses sem depender da observação.**

Nesse estágio ocorre um aprofundamento da estrutura lógica do cérebro humano, resultante de sua evolução genética – essa estrutura começaria a se desenvolver no estágio anterior e se completaria neste. Ao final do estágio operatório formal, o pensamento do adolescente estaria em condições de adquirir as formas básicas do pensamento científico.

Mas, como daí em diante o cérebro não constrói nenhuma estrutura lógica nova, todo conhecimento científico pode ser adquirido por um processo gradativo e sucessivo de assimilações e acomodações.

Para explicar como as estruturas mentais se desenvolvem e possibilitam a formação dos diferentes estágios por ele previstos, Piaget propôs a existência quatro fatores determinantes :

- **maturação** (“programada” geneticamente);
- **experiência** (influência do meio físico, da vivência ou do exercício);
- **transmissão social** e
- **equilibração**.

A **equilibração** é um fator fundamental porque, com ele, o sujeito pode coordenar ou integrar, de modo ativo, os outros três fatores na resolução de uma situação de **conflito cognitivo**. Para entender esse processo, vamos dar três exemplos que Piaget costuma apresentar em muitos de seus textos: o desenvolvimento do **conceito de conservação** por meio de uma questão prática, que ele apresentava a crianças com idades entre quatro e seis anos.

Vejam os exemplos da figura a seguir

CONSERVAÇÃO	FASE 1	FASE 2	FASE 3
VOLUME			
MASSA			
NÚMERO			

Adaptado de <https://image.slidesharecdn.com/lec3cog-100204041833-phpapp02/95/piagets-theory-18-728.jpg?cb=1265257164>

Em geral, na primeira fase desses experimentos as crianças dão a resposta óbvia: o volume, a massa e o número são iguais.

Na segunda fase, o pesquisador interfere mudando a configuração dos objetos e a criança costuma alterar seu julgamento: há mais água no vaso mais alto, mais massa no objeto mais comprido e o número de bolinhas é maior na fileira de baixo.

Na terceira fase o pesquisador reestabelece a situação inicial e a criança tende também a voltar ao julgamento inicial

Configura-se nesse momento (ou em algum outro momento em que a experiência é repetida) a fase de resolução da situação de conflito cognitivo. Em geral, o julgamento da criança oscila entre as duas conclusões até que, por fim, ela percebe que não houve alteração da situação inicial. A criança, então, recupera o equilíbrio cognitivo, mas agora em um nível mais avançado, alcançando uma nova estrutura de pensamento e dispõe de uma nova estrutura lógica: a *conservação*.

Em síntese, como diz Piaget,

[...] no curso desses desenvolvimentos, sempre se achará um processo de autorregulação que chamo de equilibração e que me parece o fator fundamental na aquisição do conhecimento lógico-matemático.

PIAGET, J. Desenvolvimento e aprendizagem. In: Studying Teacher. Prentice Hall, 1971, 2. ed., tradução mimeografada da Faculdade de Educação da USP, p. 2.

Essa sequência de estágios de desenvolvimento cognitivo do ser humano e os fatores que possibilitam a sua evolução de um para o outro sintetizam as ideias mais importantes da teoria de Piaget para a compreensão do processo de ensino e aprendizagem, em particular da aprendizagem em Ciências.

É essencial que se compreenda, em primeiro lugar, que os estágios de desenvolvimento cognitivo são programados geneticamente, ou seja, desde que as estruturas cognitivas estejam maduras, a aquisição do conhecimento lógico matemático acaba por ocorrer, pois em algum momento da vida de qualquer ser humano, formal ou informalmente, aparece o conflito cognitivo que faz emergir por equilibração a nova estrutura cognitiva correspondente.

Talvez antecipando-se às dificuldades que apareceriam nas pesquisas sobre seu modelo de estágios cognitivos geneticamente programados – ou já as conhecendo – a que vamos nos referir logo adiante, Piaget procurou relativizá-los, postergando seu cronograma de evolução genética e restringindo-o a áreas específicas do cérebro humano:

[...] todos os sujeitos normais atingem o estágio das operações formais, de 11 ou 12 anos a 14 ou 15 anos, ou em qualquer caso, entre 15 ou 20 anos. Entretanto, eles atingem esse estágio em diferentes áreas, de acordo com suas aptidões ou especializações profissionais – a forma pela qual essas estruturas são usadas, no entanto, não é necessariamente a mesma em todos os casos.

PIAGET, J. Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood. Human Development, 15, 1972, p. 5.

Assim, a dependência da aprendizagem em relação ao desenvolvimento cognitivo é ainda a principal implicação pedagógica da teoria piagetiana: o desenvolvimento possibilita e explica a aprendizagem, ou seja:

só é possível a um aluno aprender algum conteúdo se ele já dispuser da estrutura cognitiva que possibilite essa aprendizagem.

Essa condição estabelece um rígido balizamento para a prática didática de qualquer natureza, e há na literatura pedagógica inúmeras propostas nele inspiradas. No entanto, não nos parece válido abordá-las porque, feliz ou infelizmente, esse rígido balizamento mostrou-se equivocado por todas as pesquisas que buscaram avaliar o desenvolvimento dos estágios cognitivos em crianças, adolescentes e adultos, como vamos discutir a seguir.

Antes, abrimos um parêntese para apresentar uma crítica de Piaget ao behaviorismo que, muito sinteticamente, pode ser considerado uma teoria da aprendizagem baseada na implicação estímulo-resposta: a resposta certa seria o reforço que levaria à aprendizagem, o que deu origem à instrução programada. (No Brasil essa teoria foi a fundamentação projeto FAI – Física Auto Instrutivo.)

*Eu penso que o esquema estímulo-resposta, até onde sei, é falso, é completamente incapaz de explicar a aprendizagem cognitiva.[...] geralmente você pensa que antes de tudo há um estímulo e a resposta é desencadeada por esse estímulo. [...] Eu estou convencido que a resposta **já estava lá**, por assim dizer.*

[...]

O estímulo é realmente um estímulo quando é assimilado dentro de uma estrutura e é essa estrutura que dá a resposta.

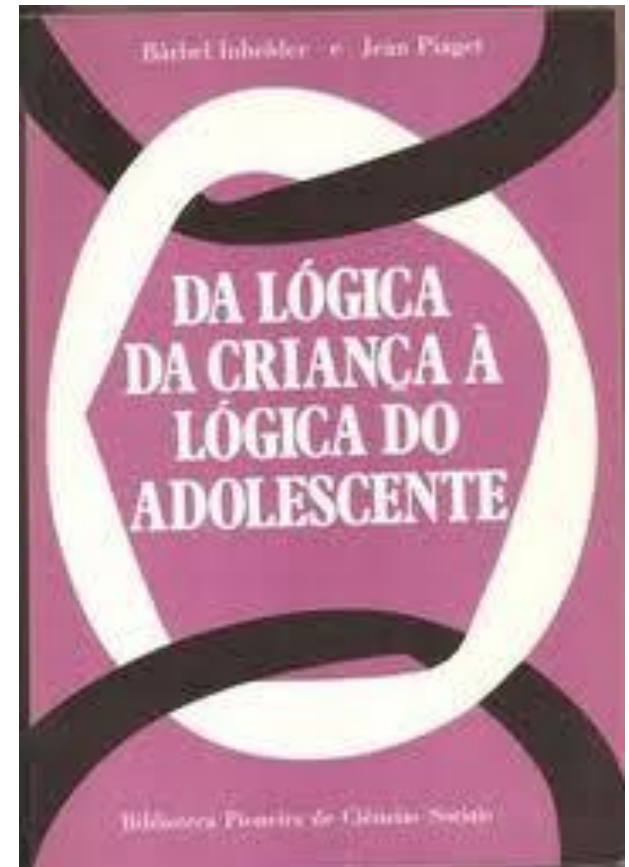


fechamos o parêntese...

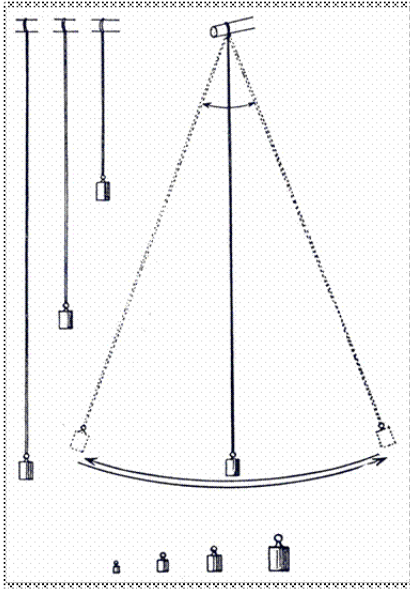
Piaget, J. In Readings on the Development of Children, Second Edition, Mary Galvain, University of California, Riverside, p. 24

A determinação dos estágios de desenvolvimento cognitivo

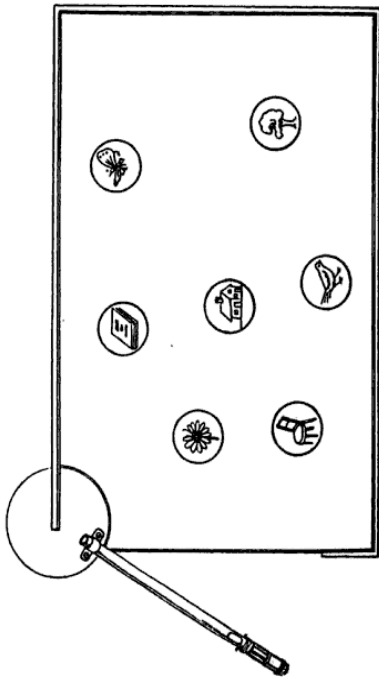
Durante as décadas de 1960 e 1980, principalmente, muitas pesquisas foram realizadas com o objetivo de delimitar com maior precisão essa espécie de “cronograma genético-cognitivo” em diferentes amostras da população de diferentes regiões. Os instrumentos utilizados para essa validação consistiram em algumas tarefas cognitivas escolhidas entre aquelas apresentadas em uma das obras de maior impacto educacional da teoria piagetiana, **Da lógica da criança à lógica do adolescente**, por isso, elas são costumeiramente chamadas de “tarefas piagetianas”. Veja as figuras a seguir:



DUAS TAREFAS PIAGETIANAS



Acima, o pêndulo simples; abaixo a colisão de uma bola de bilhar na tabela de uma mesa de bilhar, montagens construídas para detectar a capacidade de crianças e adolescentes de descobrir, na primeira, que o único fator que importa no período de oscilação de um pêndulo simples é o seu comprimento; na segunda, a relação de igualdade entre os ângulos de incidência e de reflexão por meio da reflexão da bola que, com auxílio de um taco, faziam incidir em uma das tabelas.



Os sujeitos, desde crianças de cinco anos a adolescentes de quinze, deveriam chegar a essas conclusões sozinhos, por meio de tentativas criadas por eles mesmos. Durante as tentativas dos sujeitos, o pesquisador pedia-lhes que justificassem suas escolhas. Essas justificativas deveriam ser coerentes com a estrutura cognitiva genética correspondente à faixa etária de cada um e, principalmente, verificar se a maioria dos sujeitos com idade correspondente ao estágio operatório formal acertaria a resposta

Mas, para surpresa e desconsolo dos pesquisadores, isso não ocorreu. O autor de um artigo que faz uma revisão de grande parte desses trabalhos, apesar de convictamente piagetiano, conclui que a maioria das pessoas, mesmo em idade adulta, não chega a atingir o estágio operatório formal:

A revisão apresentada a seguir [a síntese dos resultados de dez trabalhos realizados nos EUA] permite concluir que a maioria dos adolescentes e jovens adultos (cerca de 85% da população!) nos Estados Unidos não parece estar no nível de pensamento operacional formal. Essa afirmação é baseada em estudos nos quais (a) foram usadas pelo menos três tarefas piagetianas (em geral, mais) e (b) o(s) pesquisador(es) apresentaram essas tarefas por meio de entrevistas com os sujeitos. [...] Os estudos envolveram estudantes do final do ensino fundamental, do ensino médio e de graduação.

CHIAPPETTA, E. L. A Review of Piagetian Studies Relevant to Science Instruction at the Secondary and College Level, Science Education, 60 (2), 1976, p. 254.

Esses resultados levaram a duas consequências imediatas:

I – O ensino de conceitos formais aos adolescentes deveria ser reduzido ao mínimo ou mesmo descartado, pois a maioria deles não tinha a estrutura mental que possibilitaria sua aprendizagem. A Física só lhes poderia ser apresentada por meio de um enfoque experimental, concreto, sem formulações abstratas, privilegiando-se seu aspecto informal ou cultural.

II - Se a maioria da população jovem e adulta pesquisada não apresenta estrutura formal de pensamento, torna-se difícil aceitar a existência de programação genética para a estrutura do cérebro humano, postulado básico dessa teoria. Comparando a suposta formação genética do cérebro com a formação genética de nossa dentição, por exemplo, seria o mesmo que encontrar grande parte da população adulta sem seus dentes molares ou pré-molares simplesmente porque não teriam nascido, o que seria impossível – e, como sabemos, não acontece –, pois há um determinismo genético para isso.

A repercussão dos resultados dessas pesquisas trouxe um sério abalo à validade da teoria de estágios cognitivos de Piaget. É pouco provável que essa teoria tenha sido adotada como fundamentação de alguma pesquisa ou proposta relacionada ao ensino de Ciências nos últimos vinte anos, pelo menos.

Outras ideias da teoria de Piaget, no entanto, estão vivas ainda influenciam direta ou indiretamente grande parte das pesquisas e propostas em ensino de Ciências em todo o mundo. Uma delas, em particular, teve um impacto definitivo em relação a todas as propostas curriculares para o ensino de disciplinas de Ciências: **elas deixaram de priorizar a estrutura lógica da disciplina em favor da estrutura lógica de pensamento do aluno.** Pode-se afirmar que, atualmente, todas as propostas de ensino colocam a provável estrutura lógica de pensamento do aluno como pré-requisito para a escolha dos conteúdos e das estratégias mais adequadas para a sua apresentação.

No entanto, essa estrutura lógica não é mais definida como Piaget fez: não segue o mesmo cronograma de estágios nem se estabelece a rígida exigência ou condição de que determinados níveis devam ser alcançados antes da apresentação de determinados conteúdos.

Esse é o assunto da próxima aula.