
RELAÇÕES ENTRE O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO E O ESPAÇO REPRESENTATIVO ARQUITETÔNICO SOB A ÓTICA PIAGETIANA

Luciana Sandrini Rocha¹
Márcia Rodrigues Notare²

Resumo

A formação em Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) requer que os profissionais consigam planejar, representar e interpretar informações representadas de forma gráfica e/ou textual em projetos de arquitetura e, portanto, de sua habilidade de raciocinar espacialmente. No entanto, os estudantes têm apresentado dificuldades com este tipo de raciocínio e, aliado a isso, o desenvolvimento do sistema BIM (*Building Information Modeling*) e sua necessidade de inserção curricular rompe com práticas docentes tradicionais e exige novas formas de ensinar. A ampla pesquisa que Piaget desenvolveu, em especial junto da psicóloga e pedagoga suíça Bärbel Inhelder, traz importantes contribuições para a compreensão do processo de representação do espaço na criança e no adolescente. Assim, este estudo tem como objetivo compreender, sob a ótica piagetiana, as relações entre o desenvolvimento cognitivo e o espaço representativo em ambientes BIM. Para tal, propõe-se um diálogo entre obras de diferentes fases do autor. Os resultados fornecem subsídios teóricos que podem auxiliar pesquisadores e docentes no apoio a processos de ensino e aprendizagem, sobretudo os que trabalham na formação de profissionais que atuam diretamente sobre o espaço, tais como arquitetos, engenheiros civis e técnicos em edificações.

Palavras Chave: raciocínio espacial; espaço representativo; abstrações reflexionantes; Piaget; BIM.

¹ Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul); Doutoranda PPGIE / UFRGS.

² Professora do Programa de Pós-graduação em Informática na Educação (PPGIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

RELATIONSHIPS BETWEEN COGNITIVE DEVELOPMENT AND ARCHITECTURAL REPRESENTATIVE SPACE FROM THE PIAGETIAN PERSPECTIVE

Abstract

Training in Architecture, Engineering and Construction (AEC) requires professionals to be able to plan, represent and interpret information represented graphically and textually in architectural projects and, therefore, their ability to reason spatially. However, students have had difficulties with this type of reasoning and allied to this, BIM (Building Information Modeling) system development and its need for curricular insertion breaks with traditional teaching practices and demands new ways of teaching. The extensive research that Piaget developed, especially with the Swiss psychologist and pedagogue Bärbel Inhelder, helps to understanding space representation process in children and adolescents. Thus, this study aims to understand, from a Piagetian perspective, the relationship between cognitive development and representative space in BIM environments. To this end, a conversation is suggested between different stages encompassed within the author's body of work. The results provide theoretical support that can support teaching and learning processes, helping researchers and teachers, especially those who work in qualification of professionals who work directly in the space, such as architects, civil engineers and building technicians.

Keywords: spatial reasoning; representative space; reflective abstractions; Piaget; BIM.

1 Considerações iniciais

A formação de profissionais que atuam na área AEC, tais como arquitetos, engenheiros civis, técnicos em edificações, entre outros, requer que os estudantes consigam planejar e interpretar informações representadas de forma gráfica e/ou textual em projetos de arquitetura e, portanto, de suas habilidades de raciocinar espacialmente. No entanto, é notório que muitos estudantes chegam ao Ensino Médio, e mesmo ao Superior, sem uma compreensão sólida dos conceitos matemático-geométricos essenciais para entender esses princípios.

O desenho técnico, principal linguagem adotada ao longo do processo construtivo, fundamenta-se no sistema de projeção paralelo ortogonal e é sistematizado a partir da Geometria Descritiva (GD). A representação de projetos de arquitetura por meio de plantas, cortes e fachadas tem caráter representativo e preditivo, e envolve a capacidade de imaginar objetos tridimensionais e decodificá-los graficamente mediante sistemas de projeção bidimensionais.

Essas dificuldades se explicam por diversas razões, a iniciar pelo fato de que esse raciocínio envolve níveis elevados de abstração, constituindo-se como um desenvolvimento cognitivo tardio (Piaget; Inhelder, 1993). Sem conseguir representar ou interpretar os desenhos técnicos, os estudantes não avançam satisfatoriamente nos fundamentos necessários à prática profissional.

A formação dos educadores também parece impactar o processo, e o tema será abordado na 26ª conferência do ICMI (International Commission on Mathematical Instruction), a realizar-se em abril de 2024. Os organizadores afirmam que, em geral, alguns professores do ensino fundamental têm pouco domínio sobre os fundamentos geométricos, concentrando-se mais na matemática geral, com pouca atenção à geometria em sala de aula. “Há evidências de que os professores se concentram mais na precisão dos desenhos geométricos do que na

validade das construções geométricas” (The 26th ICMI Study [...], s.d.). Isso parece acontecer também em programas voltados à formação profissional, nos quais o ensino de conceitos geométricos básicos constitui desafio aos docentes, configurando um panorama geral da área.

No caso brasileiro, alterações na legislação modificaram a estrutura da Educação Básica, e o desenho como meio de comunicação, investigação, criação e reflexão tem recebido pouca atenção nos percursos formativos do Ensino Fundamental. Kopke (2009) relata que, a partir da 2^a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDB (Brasil, 1996), a Educação Artística passou a ser disciplina obrigatória e o desenho ficou compreendido pelos estudos de Artes e Matemática o que, em sua opinião, diminuiu a associação do desenho ao raciocínio lógico-matemático, que está intrinsicamente relacionado ao desenvolvimento cognitivo espacial. Por outro lado, os Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1997), que complementam a LDB/96, apontam para a importância do ensino de Geometria e desenvolvimento da visualização espacial.

De um lado, a experimentação permite agir, antecipar, ver, explicar o que se passa no espaço sensível, e, de outro, possibilita o trabalho sobre as representações dos objetos do espaço geométrico e, assim, desprender-se da manipulação dos objetos reais para raciocinar sobre representações mentais (Brasil, 1997, p. 81-82).

Há tempos estes problemas vêm atraindo o interesse de pesquisadores brasileiros: Pavanelllo (1993) e Clemente *et al.* (2015) investigaram questões relacionadas à deficiência na formação em Geometria dos professores que atuam nos Ensinos Fundamental e Médio. Bueno (2015) observa que raramente um estudante solucionará um problema de Geometria por meio de representação gráfica, pois os cursos de licenciatura em Matemática vêm abdicando do uso da representação gráfica para a solução de problemas, optando pela resolução algébrica. O docente não encontra, em sua própria formação, o respaldo para promover o

desenvolvimento dessa habilidade. Outrossim, muitos professores que atuam na área de representação gráfica nos cursos técnicos e superiores são oriundos de bacharelados em engenharia ou arquitetura, sem formação acadêmica específica para a docência.

O desenvolvimento do sistema BIM, cuja sigla significa Modelagem da Informação da Construção, vem completar o contexto de formação profissional no campo AEC, representando um impacto significativo na forma como as equipes interagem e compartilham informações. Trata-se de um “conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo [...] em qualquer etapa do ciclo de vida da construção” (BIM Dictionary, 2021).

A título de comparação, a adoção do CAD (*Computer Aided Design*, ou desenho auxiliado por computador) em substituição ao desenho a mão com instrumentos pode ser comparada à implementação de uma prancheta digital, pois o método de representação permaneceu inalterado: continuou sendo feita prioritariamente em representações bidimensionais, com informações textuais desconectadas e a necessidade de compatibilização manual de projetos. Em contrapartida, a passagem CAD ao BIM representa uma quebra de paradigma, pois este último associa em um modelo tridimensional único informações geométricas e não geométricas da construção.

Ainda que o BIM represente avanços importantes em relação à produção e difusão de informações ao longo de toda a vida útil das construções, permitindo a colaboração efetiva entre equipes, ele rompe com práticas tradicionalmente estabelecidas também no meio acadêmico, de modo que a exploração do potencial pedagógico do BIM representa ao mesmo tempo oportunidades e desafios aos professores envolvidos.

Possibilita-se, com isso, a aproximação do aluno com os processos de projeto, processos usados no canteiro de obras, processos de operação e manutenção, o que passa a ser um conhecimento fundamental para a elaboração do modelo do edifício, no BIM. Nesse contexto, é inegável o salto na compreensão de todo o processo, fazendo com que se repense mais intensivamente na integração entre as disciplinas [...] (RUSCHEL *et al.*, 2013, p. 152).

Este contexto se estende à formação profissionalizante de nível médio, mais especificamente aos cursos técnicos em edificações, cuja implementação curricular é um processo recente (Benedetto *et al.*, 2017; Silva, 2021). Este foi o cenário que inicialmente motivou esta pesquisa: de um lado estudantes com dificuldades na compreensão de conceitos lógico-matemáticos espaciais e de outro a necessidade de implementação curricular de uma tecnologia que, por meio de modelagem tridimensional e recursos aprimorados de visualização, pode auxiliar no desenvolvimento do raciocínio espacial desses estudantes. Para balizar o estudo pedagogicamente, fornecendo subsídios teóricos a docentes e pesquisadores da área AEC, buscou-se a teoria piagetiana por sua reconhecida relevância no campo de investigação da construção de habilidades espaciais.

Desse modo, a seção 2 apresenta uma síntese que engloba os principais conceitos piagetianos relativos ao desenvolvimento cognitivo espacial, com ênfase para o papel da imagem como resultado de processos de assimilação e a importância de seu significado na representação gráfica de arquitetura. A seção 3 faz uma análise da apropriação do espaço digital BIM à luz da teoria piagetiana e a seção 4 apresenta as considerações finais.

2 Contribuições piagetianas sobre o desenvolvimento cognitivo espacial

A ampla pesquisa que Piaget desenvolveu com diversos parceiros, em especial junto da psicóloga e pedagoga suíça Bärbel Inhelder, traz importantes contribuições para a compreensão do processo de representação do espaço na

criança e no adolescente³. Neste contexto, destaca-se a obra “A representação do espaço na criança” (Piaget; Inhelder, 1993). Em sua fase mais recente, Piaget publicou a obra “Abstração reflexionante: Relações lógico-matemáticas e ordem das relações espaciais” (Piaget, 1977/1995), que também trata de conceitos importantes para a compreensão desse tema. Os livros “A tomada de consciência” (Piaget, 1974/1977), “Fazer e compreender” (1974/1978) e “A equilibração das estruturas cognitivas” (Piaget, 1975/1976) complementam o referencial teórico adotado neste estudo (Figura 1).

Figura 1: Cronologia das principais obras referenciadas na pesquisa.



Fonte: elaborada pelas autoras.

Optou-se por não respeitar a ordem cronológica de publicação, apresentando inicialmente as obras publicadas entre 1974 e 1977, que tratam do desenvolvimento cognitivo de forma mais ampla e aprimorada, e posteriormente os conceitos relativos especificamente ao desenvolvimento cognitivo espacial.

2.1 Equilibração das estruturas cognitivas

Compreender como o ser humano constrói conhecimento, ou como as pessoas passam de um estado de compreensão do mundo a outro, mais complexo, foi o objetivo que guiou Jean Piaget ao longo de sua longa jornada como

³ Ainda que os estudos de Piaget tenham se concentrado em analisar crianças e adolescentes, entende-se que suas pesquisas contribuíram significativamente para a compreensão de como jovens e adultos constroem conhecimento.

pesquisador. Para explicar este processo, Piaget (1976) propôs a teoria da equilibração das estruturas cognitivas. Segundo ele, a equilibração ocorre por meio de assimilações, acomodações e adaptações em função da constante exposição do sujeito a desequilíbrios cognitivos que provocam reconstruções e reorganizações das estruturas cognitivas individuais, passando a integrar-se às estruturas existentes em um novo patamar. É importante destacar a diferença entre “equilíbrio” e “equilibração”, pois a última remete a um equilíbrio dinâmico. Trata-se de um processo ativo e inconcluso, cuja dinâmica é motivada pela busca de melhores formas de equilíbrio, isto é, de uma “equilibração majorante”, que ocorre indefinidamente, de modo sequencial e cíclico, “passando por múltiplos desequilíbrios e reequilibrações” (Piaget, 1976, p.11), caracterizando nossa capacidade de construir conhecimento ao longo da vida.

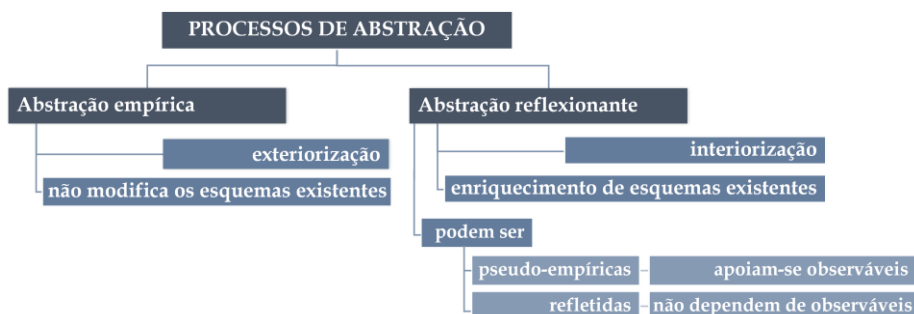
A assimilação é o fator que suscita todo o processo de equilibração. Ela advém da interpretação de uma novidade do meio, de algo singular que gera instabilidade ou desequilíbrio nas estruturas existentes e que engendra a necessidade de uma reação do indivíduo. Esta conduta leva à geração de um novo patamar de equilíbrio, superior ao anterior, identificado como uma acomodação. A adaptação, por sua vez, consiste na recuperação do equilíbrio perdido neste novo patamar superior e em sua integração às estruturas preexistentes. Becker (2012, p. 39) ressalta que “uma ação humana sempre tem duas dimensões: de transformação do objeto (assimilação) e de transformação do próprio sujeito (acomodação)”. Novas assimilações ocorrerão, portanto, a partir de novos patamares de equilibração gerados por assimilações anteriores, num processo retroalimentado.

O conceito de abstração explicita o modo pelo qual ocorre a dinâmica da equilibração das estruturas cognitivas. Observadas em todos os estádios do

desenvolvimento humano, as abstrações podem ser empíricas ou reflexionantes, e estas últimas desdobram-se em pseudo-empíricas ou refletidas.

Apoiada sobre o conhecimento sensorial, “a abstração empírica (*empirique*) tira suas informações dos objetos como tais, ou das ações do sujeito sobre suas características materiais; de modo geral, pois, dos observáveis” (Piaget, 1995, p. 274). Não há conhecimento engendrado sobre as abstrações empíricas, elas se limitam a apreender e verificar os aspectos e qualidades observáveis dos objetos, por meio de movimentos ou empurrões, por exemplo. Apesar de ainda não se tratar de um processo endógeno, uma vez que as ações não são coordenadas, também não podemos considerá-las como simples leituras. Uma abstração, por mais elementar que seja, deve se apoiar sobre o resultado de assimilações anteriores (como relações e significações) que se originam a partir de esquemas já internalizados pelo sujeito e que não são fornecidos pelo objeto (Piaget, 1995). O que diferencia a abstração empírica da reflexionante é que a primeira se utiliza dos esquemas disponíveis limitando-os à função de captar um conteúdo que lhe é externo (como por exemplo o peso ou a cor de um objeto) e assim permanecerá, não enriquecendo os esquemas existentes. Em contrapartida, uma abstração reflexionante se caracteriza pela interiorização e pelo enriquecimento de esquemas existentes (Piaget, 1995) (Figura 2).

Figura 2: Abstrações empíricas e reflexionantes.



Fonte: elaborada pelas autoras.

Portanto, quando uma abstração se alicerça sobre a coordenação de ações, retira qualidades do objeto, capacita o indivíduo a utilizá-las em outras situações ou finalidades e promover generalizações, dizemos que se trata de uma abstração reflexionante. Dois aspectos são indissociáveis desse conceito: os reflexionamentos e as reflexões. Os reflexionamentos constituem a transposição, num patamar superior, daquilo que foi extraído de um patamar inferior, enquanto as reflexões são operações sobre operações, ou uma reorganização, de acordo com os esquemas existentes, das novas estruturas num patamar superior.

Abstrações reflexionantes podem ser classificadas como pseudo-empíricas ou refletidas. Uma abstração é dita pseudo-empírica quando o sujeito ainda depende dos observáveis para coordenar suas ações, porém não se limita a isto, mostrando-se capaz de retirar qualidades dessas coordenações e generalizá-las em novas formas. Não se trata de uma abstração empírica, pois se distingue desta como um processo de internalização e construção de novas estruturas cognitivas, porém ainda depende dos observáveis para verificar a validade de suas constatações. Por outro lado, quando o resultado de uma abstração reflexionante se torna consciente, constituindo uma reflexão sobre a reflexão, ela é chamada “abstração refletida” (“*réfléchié*”), ou pensamento reflexivo (“*réflexive*”) (Piaget, 1995). Podemos afirmar que o processo de tomada de consciência é engendrado a partir do momento em que uma abstração reflexionante torna-se refletida.

Buscando uma contextualização voltada para a área AEC, pode-se caracterizar a leitura de uma projeção ortogonal, como uma planta baixa ou corte, por exemplo, como uma abstração empírica. A compreensão dos códigos representados configura-se como uma abstração pois depende de conhecimentos e generalizações engendrados anteriormente, sem os quais ela fica sem sentido, como seria o caso de apresentá-la a uma criança em idade pré-escolar, por exemplo. No

entanto, não há construção de conhecimento inerente associada à ação de interpretar os códigos contidos em uma planta baixa. Contudo, se ao interpretar uma planta ou corte de edificação, o indivíduo for capaz de fazer uma leitura crítica, identificar um eventual problema construtivo e formular hipóteses para solucioná-lo, caracteriza-se um processo de abstração reflexionante.

O interesse de Piaget em aprofundar sua compreensão a respeito dos mecanismos pelos quais ocorre o processo de tomada de consciência levaram-no a conduzir diversas pesquisas que resultaram em duas obras que serão apresentadas na próxima seção: “A tomada de consciência” (Piaget, 1977) e “Fazer e compreender” (Piaget, 1978), publicadas originalmente no ano de 1974.

2.2 Tomada de consciência e fazer e compreender

Desde o período sensório-motor, muitas atividades complexas são desempenhadas com êxito pelos indivíduos, mesmo sem que se compreenda ‘o porquê’ ou ‘como’ o esquema de ação adotado resultou em sucesso. Nestes casos a ação se apresenta mais adiantada do que a conceituação, o que ocorre quando os mecanismos internos das ações ainda não são conscientes, sendo orientados por regulações automáticas, ligadas às percepções sensório-motoras.

O processo de tomada de consciência, por sua vez, ocorre pela transformação de um esquema de ação em um conceito. Daí sua relação direta ao processo de abstração reflexionante de tipo refletida. Ele é desencadeado quando as regulações automáticas não são mais suficientes, em geral quando uma determinada ação deixa de apresentar o resultado esperado. Isso pode ocorrer por diversos motivos: como o resultado de um novo processo assimilador; por inaptações, quando um elemento novo não se integra a um esquema de generalizações existente; ou ainda quando o sujeito se dispõe a alcançar um novo objetivo. Neste

contexto fazem-se necessárias regulações mais ativas, deliberadamente escolhidas, para reformular os esquemas de ação.

Portanto, muito além de um processo de revelação de um conhecimento existente no inconsciente que se exibe no plano consciente, a tomada de consciência é caracterizada pela construção de uma conceituação no plano consciente, podendo ser comparada ao processo descrito pelos psicanalistas como *ca-tarse*. Assim como ela, a tomada de consciência é uma reorganização, de um plano inconsciente, a um plano superior, consciente (abstração refletida), e não apenas uma tradução ou evocação do passado (Piaget, 1973). Trata-se da transformação de um esquema de ação, que se relaciona a uma estrutura, em um conceito, constituindo assim a passagem de uma assimilação prática, relacionada ao inconsciente cognitivo, a uma assimilação conceituada, relacionada ao plano consciente.

Partindo do princípio de que a construção do conhecimento não procede nem do sujeito, nem do objeto, mas sim da interação entre os dois, Piaget concluiu que, pelo movimento recíproco entre ação-objeto e objeto-ação, decorrem regulações ativas que impulsionam coordenações inferenciais, definidas como conexões deduzidas por operações e que ultrapassam os dados de observação, permitindo compreender causalmente os efeitos observados. Uma coordenação inferencial sempre se apoia na lógica do sujeito (Piaget, 1977).

Piaget elencou três níveis de tomada de consciência. No primeiro nível observa-se a ação material sem conceituação, mas que não pode ser menosprezada pois trata-se de um sistema de esquemas que constitui um saber bastante estruturado. O segundo nível se caracteriza pela conceituação, pois o sujeito “tira seus elementos da ação em virtude de suas tomadas de consciência, mas a eles

acrescenta tudo o que comporta de novo o conceito em relação ao esquema” (Piaget, 1977, p. 208). O terceiro nível, por sua vez, é o das “abstrações refletidas”, que são operações sobre operações “compostas e enriquecidas segundo combinações não efetuadas até aquele momento” (Piaget, 1977, p. 208).

Na obra “Fazer e compreender”, além de complementar os estudos já iniciados a respeito dos processos de tomada de consciência, Piaget concentra seu interesse em “esclarecer a questão epistemológica fundamental das relações entre a técnica e a ciência” (Piaget, 1978, p.11). Neste sentido, ele pretendia entender a diferença entre conseguir (*savoir-faire*) e compreender (conceituar), ou seja, as relações existentes entre o sucesso prático e o entendimento, a partir da seguinte questão: é a ação que provoca a conceituação ou, contrariamente, a conceituação quem comanda a ação?

Assim como o conceito de tomada de consciência, as experiências relatadas no livro “Fazer e Compreender” identificam três níveis de desenvolvimento. De modo geral, pode-se afirmar que em ambos o nível I está mais relacionado ao nível sensório-motor e pré-operatório, o nível II ao nível operatório concreto (quando o conceito de reversibilidade é conquistado), e o nível III ao nível operatório formal. Estes níveis foram estabelecidos a partir dos resultados dos testes realizados em alguns encontros com crianças de várias idades. Foi empregado o método clínico piagetiano, que envolve a observação e acompanhamento da execução das atividades, entrevistas e análise, não apenas do discurso e dos registros de memória das crianças, como também de desenhos produzidos, no intuito de explicar suas ações. No contexto desta pesquisa, entende-se a importância da análise das significações das produções gráficas dos estudantes como registros capazes de indicar o grau de tomada de consciência relacionado à compreensão dos elementos representados.

O presente estudo identificou relações entre os três níveis dos conceitos de abstrações reflexionantes, tomada de consciência, e fazer e compreender. No primeiro nível observa-se a execução de ações bem adaptadas, reguladas automaticamente por esquemas sensório-motores e ausência de conceituação ou representação. No segundo nível ocorre um avanço nas coordenações inferenciais das ações, porém ainda existem lacunas e falhas na execução e na compreensão causal. Ainda não se desenvolveu a noção de conjunto: as ações são particionadas e analisadas separadamente, no intuito de compreendê-las. Somente no terceiro nível são verificadas as noções de conjunto e de transitividade nas operações, que distinguem a ocorrência do pensamento formal, ou de regulações sobre regulações.

Os conceitos apresentados até o momento são importantes para a compreensão do modo como as noções espaciais são construídas por crianças e adolescentes, tema da próxima seção.

2.3 A construção do espaço na criança e no adolescente

Publicada em 1948, a pesquisa de Piaget e Inhelder (1993) explica o desenvolvimento do raciocínio lógico-matemático a partir das relações e representações que crianças e adolescentes constroem interagindo *no* e *sobre* o espaço. Metodologicamente, os estudos desta obra estruturam-se da mesma forma que suas investigações anteriores, e a partir das produções infantis e de entrevistas Piaget e Inhelder identificaram e classificaram patamares de desenvolvimento cognitivo espacial. Em geral foram considerados quatro níveis de evolução em cada atividade, sendo que o conjunto de experimentos teve como objetivo delinear o processo de constituição do raciocínio como um todo.

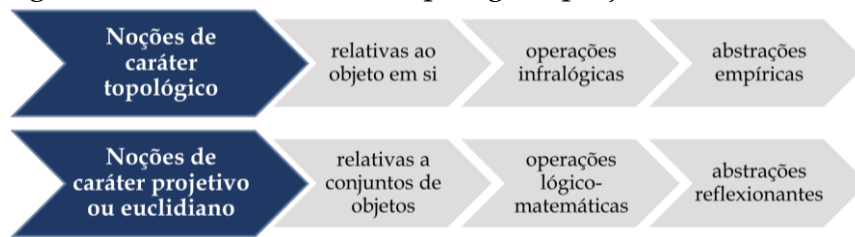
Piaget e Inhelder (1993) iniciam sua arguição a respeito da construção e representação do espaço pelas crianças afirmando que, ao contrário do que

pressupõe o senso comum, a construção do raciocínio espacial não se inicia a partir de noções projetivas ou euclidianas, mas sim a partir de noções topológicas que se estabelecem desde as primeiras percepções sensório-motoras do bebê. Para eles, “a grande dificuldade da análise psicogenética do espaço refere-se ao fato de a construção progressiva das relações espaciais prosseguir em dois planos bem distintos: o plano perceptivo ou sensório-motor e o plano representativo ou intelectual” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 17). A complexidade da natureza desse raciocínio explica, em parte, as dificuldades apresentadas por estudantes na aprendizagem dos conceitos geométricos.

A crença de que a construção do raciocínio espacial ocorre a partir de noções projetivas e euclidianas também pode ter origem na comparação equivocada entre o desenvolvimento da ciência geométrica e a genética das noções do espaço. “Os elementos de Euclides apoiam-se na geometria métrica e nas semelhanças, a geometria projetiva só tomou corpo nos séculos XVII (Desargues), XVIII (Monge) e XIX (Poncelet), ao passo que a [...] topologia é uma concepção moderna” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 60).

Os autores argumentam, portanto, que a construção do espaço se inicia a partir de ‘percepções simples’ que evoluem para ‘atividades perceptivas’ e depois a ‘atividades operatórias’. Desse modo, inicialmente desenvolvem-se as noções de caráter topológico (relativas ao objeto em si e operações infralógicas), e depois, solidariamente, as relações de caráter projetivo e euclidiano (que se referem a conjuntos de objetos e às operações lógico-matemáticas) (Figura 3).

Figura 3: Noções de caráter topológico, projetivo e euclidiano.



Fonte: elaborada pelas autoras.

Portanto, as operações infralógicas são operações relativas à construção e compreensão de objetos em si mesmos e aos processos de abstração empírica. Por sua vez, as operações lógico-matemáticas são constitutivas de conjuntos descontínuos de objetos e estão relacionadas com os processos de abstrações reflexionantes. Não se deve, no entanto, desprezar o papel das operações infralógicas e das noções de caráter topológico, considerando-as num patamar inferior em relação às operações lógico-matemáticas, pois são elas que possibilitarão o desenvolvimento das noções de caráter projetivo e euclidiano.

Na sequência serão abordadas as características intrínsecas aos espaços topológico, projetivo e euclidiano como forma de ilustrar o processo de construção do espaço pela criança, bem como suas relações com a geometria. A primeira parte, apresentada a seguir, é dedicada às questões relativas à topologia e ao modo como a percepção e, posteriormente, a atividade perceptiva, atuam na intuição do espaço e na constituição da geometria do objeto.

2.3.1 As relações topológicas elementares.

Na geometria a topologia diz respeito às relações elementares de uma mesma figura considerada em si mesma e da analogia entre uma figura e outra, distinguindo-se, portanto, das noções de formas rígidas, de distâncias, retas, ângulos, medidas e relações projetivas. O espaço do período sensório-motor também é designado como espaço topológico. Piaget e Inhelder observam:

Se adotamos a hipótese segundo a qual as constâncias da forma da grandeza não são fornecidas desde a percepção inicial, reconduzimos *ipso facto* o espaço perceptivamente primitivo ao que a topologia considera justamente como os dados primeiros da construção geométrica (Piaget; Inhelder, 1993, p. 23).

A construção do espaço topológico baseia-se na percepção e na motricidade, constituindo um campo de grandes conquistas desde o nascimento até o aparecimento da função simbólica (linguagem e representação figurada), que ocorre aproximadamente aos dois anos de idade⁴. Ele pode ser categorizado em três períodos: o primeiro período se constitui como sendo o dos reflexos puros e o dos primeiros hábitos; o segundo período, que ocorre aproximadamente entre quatro e cinco meses a um ano, se caracteriza pelas relações circulares secundárias e pelas primeiras condutas inteligentes. O terceiro período, que se estende entre 12 e 24 meses aproximadamente, se caracteriza pelas reações circulares terciárias e pelas primeiras coordenações interiorizadas.

No primeiro período a criança ainda não compreende nem a constância das formas nem a das grandezas, mas inicia a construção de esquemas perceptivos primários por meio do estabelecimento de relações elementares, conforme segue: a) **relação de vizinhança**: percepção de proximidade entre elementos que se encontram num mesmo campo de observação; b) **relação de separação**: separa e distingue elementos vizinhos, evitando-se que se confundam; c) **relação de ordem ou de sucessão espacial**: ocorre entre elementos que se encontram ao mesmo tempo vizinhos e separados, formando uma sequência; d) **relação de circunscrição ou envoltório**: este tipo de percepção apresenta singularidades con-

⁴ Destaca-se que as idades identificadas por Piaget e Inhelder aparecem neste artigo para ilustrar os conceitos apresentados e como referência ao grupo que fez parte de seus estudos, não devendo ser transpostas para outros casos.

forme a situação se tratar de uma, duas ou três dimensões; e) **relação de continuidade**: representada pela percepção ou não, no caso de linhas ou superfícies, de um campo espacial contínuo.

Estas relações se modificam ao longo do avanço cognitivo da criança, sendo incorporadas a novos esquemas: as relações de ordem irão constituir o conceito de simetria e as de continuidade progridem conforme a complexidade dos conjuntos percebidos pela criança e a evolução das relações de vizinhança e separação.

O segundo período caracteriza-se pela coordenação da visão e da preensão, bem como pela coordenação das ações de ver e segurar, que introduzem a possibilidade de deslocar o objeto e explorá-lo ativamente.

A manipulação dos objetos visíveis conduz, com efeito, à análise das figuras ou das formas. Um objeto passado de uma mão para a outra, girado ativamente em todos os sentidos, apalpado, ao mesmo tempo em que é visto é, do ponto de vista espacial, diferente do mesmo objeto visto à distância ou tocado sem ser visto; ele adquire a consistência de um sólido, em oposição às figuras elásticas e deformáveis do primeiro período (Piaget; Inhelder, 1993, p. 24).

A partir dessa coordenação é elaborada a permanência do objeto, assim como a percepção das constâncias das figuras (ou formas) e da grandeza (ou dimensões) dos objetos. Estas são as conquistas mais importantes desse período, porque introduzem noções projetivas e euclidianas que não apareciam no período anterior, constituindo-se anteriormente como relações egocêntricas em que a criança não era capaz de dissociar as relações percebidas de suas ações. Esta capacidade de dissociação só é conquistada a partir das coordenações entre os movimentos de preensão e de visão, e pela coordenação dos deslocamentos.

O terceiro período, por sua vez, se caracteriza por um avanço na experimentação tátil e pela coordenação interna das relações dos objetos entre si. Seu

final culmina com o aparecimento da “imagem mental em prolongamento da imitação diferenciada e, pelo mesmo fato, os primeiros esboços de representação. A função simbólica assim constituída torna possível a aquisição da linguagem ou do sistema dos signos coletivos” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 24). Neste momento o espaço passa a agregar propriedades de caráter representativo, e tem início o desenvolvimento da habilidade de representar, ou seja, a gênese do raciocínio envolvido na representação do espaço em geral e na representação gráfica de arquitetura em particular, principal interesse deste estudo.

As construções deste período suplantam percepções ou movimentos isolados, e passam a constituir o desenvolvimento de esquemas sensório-motores, resultantes de coordenações das ações do indivíduo sobre o meio. “Todo movimento pode ser concebido como uma transformação do campo perceptivo e todo campo perceptivo como um conjunto de relações determinadas por movimentos” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 29). As noções do espaço são construídas progressiva e operativamente, e tanto a atividade perceptiva quanto o movimento são fundamentais. Importante observar o caráter dinâmico e ativo de todo processo de construção do espaço e sua relação direta com o conceito de abstração, que neste momento ainda se configura como abstração empírica, mas sendo ela quem vai possibilitar a construção de novos esquemas cognitivos e, a partir deles, abstrações reflexionantes do tipo pseudo-empíricas e refletidas.

No estágio pré-operatório, entre dois e sete anos aproximadamente, a criança conquista gradativamente a capacidade de representar de modo figurado aquilo que antes se limitava ao plano perceptivo. Trata-se não somente de uma reconstrução de capacidades construídas anteriormente no plano perceptivo como também de uma continuidade funcional entre as duas, “uma vez que as

duas utilizam a matéria sensível a título de significantes [...] e que as duas recorrem ao movimento e à assimilação sensório-motriz para a construção das relações significadas, isto é, das “formas” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 60).

O estudo dessa etapa se iniciou pela investigação da percepção tátil-cinestésica, feita com objetos ocultados da visão, e as relações constatadas entre esta e a representação imagética, que é essencialmente visual. Busca traduzir percepções em representações. Eles observaram que inicialmente os indivíduos reconheceram objetos familiares, como um lápis, por exemplo, depois formas topológicas (objetos elásticos, deformáveis e contínuos, onde retas, distâncias e ângulos são ignorados), e por fim formas euclidianas, como um quadrado ou um triângulo, que dependem da compreensão relativa a ângulos e retas.

Devemos entender que a abstração das formas ultrapassa a simples extração das qualidades dos objetos, pois esta abstração depende da coordenação das ações do indivíduo. Se a coordenação motora ou a interpretação dos observáveis falhar, isso conseqüentemente se refletirá na abstração das formas e em sua representação. Desse modo,

A construção da forma se diferencia, pois, claramente de sua percepção e de sua figuração imitativa e figurada: ela precede-os [...], isto é, reúne virtualmente [...] os dados de acordo com um esquema antecipador constituído pelas diferentes possibilidades de agrupamento, segundo as retas e curvas, os ângulos e os paralelismos, a ordem e as distâncias iguais ou diferentes (Piaget; Inhelder, 1993, p. 53).

Assim, a evolução da abstração das formas se apoia no progresso da atividade perceptiva da exploração sensório-motriz, caracterizada gradualmente como uma regulação ativa. No início é insuficiente, progredindo até tornar-se sistemática de modo que, ao final deste estágio, prenúncio das operações concretas, a criança seja capaz de investigar as propriedades dos objetos metodicamente, por meio da coordenação de suas ações. Disso resulta a assimilação do

objeto pelo sujeito, que o capacita a reconstruir graficamente sua forma física, por analogia a formas geométricas conhecidas. Esta evolução acompanha o progresso da representação infantil, desde o desenho espontâneo, ou garatuja, até o desenho das formas geométricas euclidianas.

Piaget apoia-se sobre os estudos de Georges-Henri Luquet (1927/1977) para classificar o desenho espontâneo, que se divide em três estádios. O primeiro deles é o da incapacidade sintética, no qual a criança tem dificuldade de executar uma representação coerente com sua percepção. As relações topológicas são ainda incipientes no caso de figuras complexas, e não são observadas relações euclidianas ou projetivas. O segundo estádio, do realismo intelectual, se caracteriza pelo início da representação de relações euclidianas e projetivas, mas ainda sem coordenação entre elas. As relações topológicas estão mais consolidadas e, no caso de conflitos, prevalecem sobre as demais, que estão em fase germinal. Exemplo disso são os desenhos onde há divergência entre pontos de vista, e uma face representa o objeto ao mesmo tempo de frente e de perfil. Apesar de aparecerem formas geométricas simples, como quadrados, círculos e triângulos, ainda predomina o caráter elástico e deformável das representações topológicas e não se verificam medidas e proporções adequadas. No terceiro estádio, do realismo visual, o desenho demonstra a intenção de registrar simultaneamente perspectivas, proporções e medidas (Piaget; Inhelder, 1993).

Importante lembrar, neste momento, que as relações topológicas se referem ao objeto em si, enquanto as relações projetivas e euclidianas dizem respeito a sistemas de conjunto. O fato de que, no realismo visual, estas últimas aparecerem simultaneamente, remete à conclusão de um desenvolvimento solidário e concomitante entre elas, ainda que embasado nas relações topológicas.

Antes de adentrar nas análises dos espaços projetivos e euclidianos, os autores se detêm na compreensão de relações topológicas importantes para o desenvolvimento subsequente. São elas: a) a ordem linear e a ordem cíclica, que se alicerçam-se sobre “a percepção das vizinhanças, a separação dos elementos vizinhos e um sentido de percurso na centração sucessiva dos elementos assim separados” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 118); b) os nós e as relações de envolvimento e c) as noções do ponto e do contínuo. As noções de ordem se constituem por meio de abstrações reflexionantes pseudo-empíricas, pois

a ordem é, assim, o produto de uma reconstrução do objeto por meio das ações ordenadas e não uma qualidade diretamente extraída do objeto como tal, cuja ordem física é simplesmente reconstituída graças a uma acomodação dessas ações que são a fonte da ordem geométrica. (Piaget; INHELDER, 1993, p. 119)

Em relação à intuição dos nós, ela se constitui sobre operações de homeomorfia (ou correspondência biunívoca e bicontínua), um dos fundamentos da topologia. Essas noções são constituídas paralelamente às de ordem, como uma particularidade das relações de envolvimento ou circunscrição, que podem referir-se a uma dimensão (definindo uma linha), duas dimensões (definindo uma superfície) ou três dimensões (definindo o espaço). A importância desta conquista reside no fato de que “são essas relações que engendram as três dimensões do espaço antes que essa construção topológica seja completada pelas construções projetivas e euclidianas” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 127).

A terceira relação topológica analisada permitirá ao sujeito construir as noções de ponto, reta e plano a partir das relações topológicas de continuidade e seriação. Convém ressaltar que estas noções só se constituem completamente no estágio das operações formais, por volta de 11 ou 12 anos, quando a criança suplanta o raciocínio fundamentado em operações aditivas ou subtrativas sobre objetos concretos, tomando consciência do dinamismo que caracteriza as séries

ilimitadas e indefinidas, possíveis graças à capacidade de efetuar operações sobre operações no domínio do raciocínio hipotético-dedutivo.

Desse modo, a noção de continuidade constitui a síntese de todas as outras relações topológicas e por isso apresenta desenvolvimento mais tardio, concluindo as noções topológicas que compõem a representação do espaço pelas crianças. O interesse em compreendê-las também está no papel decisivo que desempenham na constituição dos espaços projetivos e euclidianos, os quais são analisados a seguir.

2.3.2 O espaço projetivo

Enquanto a topologia refere-se às propriedades intrínsecas a cada figura, sendo a única relação topológica possível entre elas a da correspondência biunívoca e bicontínua (homeomorfia), os espaços projetivo e euclidiano constituem sistemas de objetos coordenados entre si formando um todo estruturado.

A construção do espaço projetivo é possibilitada pela superação do egocentrismo infantil, pois antes disso a criança tende a admitir seu ponto de vista como o único factível e, a partir desta conquista, toma consciência da possibilidade de existência de múltiplos pontos de vista dependendo de sua posição no espaço. Esta compreensão supõe a coordenação de pontos de vista, constituindo o esquema necessário, inicialmente, à representação das retas e depois das perspectivas (Piaget e Inhelder, 1993). Salienta-se que, ainda que a percepção de uma reta seja precoce, sua representação operatória, não figurativa, é tardia pois está atrelada ao processo de descentração infantil.

Existem duas espécies de representações espaciais: uma simplesmente intuitiva, que não passa de uma imitação interior (imagem mental) dos dados anteriormente percebidos e encontra-se, pois, favorecida ou inibida pelas configurações perceptivas atuais, ao passo que a outra (...) funda-se sobre as operações e libera-se, em consequência, de toda con-

figuração perceptiva. É preciso acrescentar, naturalmente, que entre esses dois extremos encontram-se todos os intermediários, constituídos por interiorização das ações que modificam a percepção e cuja organização progressiva conduz, precisamente, à formação das operações (Piaget; Inhelder, 1993, p. 179).

Portanto, representar um objeto em perspectiva implica compreender a um só tempo o ponto de vista próprio do sujeito, abdicando-se do egocentrismo inicial, e as transformações visuais sofridas pelo objeto em função deste ponto de vista, bem como entender que ambos estão situados num mesmo sistema de conjunto (Piaget; Inhelder, 1993).

Piaget e Inhelder coordenaram diversos experimentos para tentar compreender como as ações tornam-se operações constitutivas do espaço projetivo. Uma delas baseou-se na projeção das sombras: para a criança conseguir representar ou identificar em cartões com imagens a sombra projetada por um determinado objeto, ela deveria ser capaz de desvincular-se de seu próprio ponto de vista e raciocinar a partir da posição da fonte luminosa. Este processo é similar ao da construção das perspectivas, porém apresenta o diferencial de que a sombra equivale ao negativo da luz e, para tal, faz-se necessária a reversibilidade de pensamento. Outra questão apontada no estudo é uma maior dificuldade em representar objetos cujas seções transversais são díspares (como os cones) em relação a objetos com seções uniformes (como cilindros).

Um experimento que tem especial importância neste estudo buscou compreender de que modo se processa o entendimento das estruturas de conjunto no espaço projetivo, como por exemplo o caso das múltiplas perspectivas possíveis de um grupo de montanhas. Isso pois, além da coordenação dos diversos pontos de vista viáveis, imaginando perspectivas referentes a outros observadores, é necessário que a criança compreenda as transformações visuais do conjunto dos objetos entre si, o que é diferente de compreender essas mesmas

transformações quando se trata de um único objeto. Importante salientar que no espaço projetivo, ou seja, representativo, as operações intelectuais sobrepõem as perceptivas, que passam a integrar seu esquema constitutivo. “Não existem relações projetivas isoladas, já que a essência mesma do espaço projetivo é a procura na coordenação sensório-motriz, depois operatória, dos pontos de vista” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 260).

O estudo das operações com seções de objetos apresenta elementos que integram tanto a geometria projetiva, ou a “geometria dos pontos de vista” quanto a euclidiana, ou a “geometria dos objetos”. Viu-se que a topologia, ou a “geometria do objeto”, ignora o movimento e o estuda como uma coextensão do observador, o que lhe permitiria, por exemplo, ver simultaneamente todas as suas partes. A geometria projetiva, por sua vez, trata o objeto a partir de seus múltiplos pontos de vista, sejam eles próprios do observador ou projetados sobre um plano diferente deste. Já a geometria euclidiana abrange o movimento dos próprios objetos em relação a um sistema de pontos de referência, considerando o observador como parte integrante destes objetos.

Em particular, a construção de um sistema de eixos de coordenadas, que constitui a sistematização fundamental da geometria dos objetos, supõe um relacionamento de cada objeto em relação a todos os outros e em relação a um sistema de pontos de referência ordenados segundo as diversas dimensões (Piaget; Inhelder, 1993, pp. 261-262).

A representação de seções implica, pois, na associação de sistemas projetivos e euclidianos: a representação de um volume depende de raciocínios construídos na geometria projetiva e a seção de um objeto constitui uma operação euclidiana. Assim como um sistema fixo de referências, necessário ao ato de “cortar” o objeto, a coordenação de pontos de vista é igualmente necessária para que o indivíduo consiga imaginar o plano de corte resultante de tal operação.

Um volume euclidiano não poderia dar lugar a uma representação outra que projetiva (...) [e] inversamente os pontos de vista inerentes ao espaço projetivo são sempre relativos a posições ou a deslocamentos efetuados no espaço euclidiano (Piaget; Inhelder, 1993, p. 282).

As crianças pequenas (entre quatro e seis anos aproximadamente) ainda não diferenciam pontos de vista e tendem a representar as seções por uma mistura entre a forma do conjunto do volume e a forma da seção imaginada, demonstrando a existência de um domínio das relações topológicas (realismo intelectual). A seção será corretamente representada somente quando as noções projetivas finalmente traduzirem-se em representações, pois dependem da coordenação entre operações que se referem aos objetos e aos pontos de vista (Piaget; Inhelder, 1993).

Assim como o estudo das representações das seções, as operações com rebatimentos e desenvolvimentos de superfícies também são importantes para a compreensão de como as geometrias projetiva e euclidiana se relacionam. Enquanto as noções projetivas já são observadas desde a percepção infantil, sua representação só aparece entre sete e dez anos, pois ela depende de uma modificação motriz da percepção, que ocorre em função de transformações ocorridas no grupo dos deslocamentos. Antes dos 4 anos não é possível indagar as crianças a respeito da planificação. Depois disso, a capacidade de representar corretamente o desdobramento do cilindro e do cone (que são superfícies regradas, desenvolvíveis sem rupturas) aparece antes da representação do cubo e do tetraedro, quando a criança domina a capacidade de coordenar operações. Nos níveis precedentes demonstraram apenas uma intuição perceptiva, resultante de ações simples. Inicialmente o cubo tende a ser representado como um quadrado. Aos poucos a criança compreende que ele é composto por seis lados, mas ainda a partir de pontos de vista sucessivos, e não coordenados. Somente no último nível de desenvolvimento ela conquista a capacidade de

coordenar os pontos de vista de modo a representar corretamente o desenvolvimento do cubo.

Importante enfatizar o caráter operatório das imagens, que ultrapassa o aspecto figurativo ou imitativo, incorporando significados e significações por meio de ações coordenadas. “A imagem é uma imitação interiorizada (...), não do objeto, mas das acomodações próprias da ação que se apoiam no objeto.” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 310). Elas passam a ser independentes do objeto em si, podendo ser reproduzidas ou antecipadas, enquanto a reprodução das primeiras depende do objeto e não passa de intuições das operações projetivas em geral.

Uma ação simples pode ser executada independentemente de toda coordenação com as outras e, uma vez efetivada, pode ser reproduzida em pensamento sob a forma de uma representação imitativa ou intuição figurada. Mas, antes de ter sido efetuada em realidade, ela não pode ser imaginada (...). **A operação, ao contrário, (...) supõe, em realidade, uma coordenação de conjunto dos múltiplos pontos de vista projetivos possíveis sobre esse objeto e, correlativamente, uma estruturação euclidiana do espaço segundo um sistema de coordenadas. Em outras palavras, as operações supõem um sistema de conjunto, ao passo que a ação simples o precede; mas ela conduz a isso e, para passar da ação à operação, é suficiente uma coordenação progressiva das ações** (Piaget; Inhelder, 1993, p. 307 – grifo nosso).

Trata-se, portanto, de coordenar movimentos executados pelo objeto ou pelo observador, que supõem um sistema fixo de coordenadas e, ao mesmo tempo, pontos de vista relativos à posição do objeto ou às posições do observador, sendo que essa coordenação num sistema de conjunto constitui as operações projetivas. Comprova-se, pois, uma estrita relação entre a geometria projetiva e euclidiana, cuja gênese na topologia é comum.

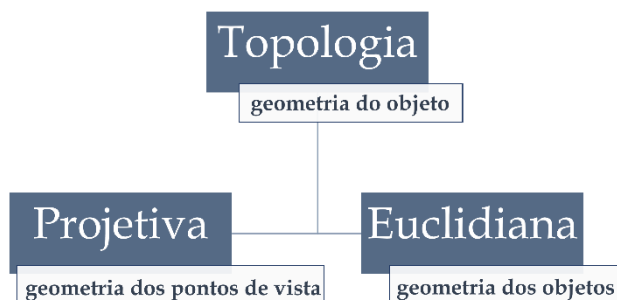
O longo período que compreende a passagem da percepção à representação se explica pela necessidade progressiva de coordenação, desde as atividades perceptivas características das relações topológicas, relativas ao objeto em si, até a coordenação dos pontos de vista das relações projetivas que, por sua vez,

dependem da coordenação dos movimentos próprios das operações euclidianas, que se referem a sistemas de coordenadas.

2.3.3 A passagem do espaço projetivo ao euclidiano.

Enquanto a topologia constitui a geometria ‘do objeto’ e seus elementos, considerando um ponto de vista fixo, e o espaço projetivo se configura como a geometria ‘dos pontos de vista’, que remete a uma coordenação de conjunto referente a sistemas de pontos de vista, o espaço euclidiano configura-se como a geometria ‘dos objetos’ em relação a um sistema de referência exterior a eles (Figura 4).

Figura 4: Relações geométricas.



Fonte: elaborada pelas autoras.

Além das relações intrínsecas ao objeto e da coordenação de pontos de vista, a passagem do espaço projetivo ao euclidiano requer a compreensão de conceitos como afinidades e semelhanças, já que a geometria euclidiana se caracteriza pela conservação de paralelismos, ângulos e distâncias. Isso ocorre por meio da coordenação dos objetos em sistemas de referências (coordenadas) que implicam na conservação de distâncias e noções de deslocamento. Dependem da construção anterior de retas, paralelismos e ângulos, constituindo relações de ordem que se estendem nas três dimensões. Em contraposição às noções topológicas, as relações projetivas e euclidianas pressupõem movimento.

Mas um sistema de coordenadas não é simplesmente uma rede de relações de ordem entre os objetos: ele se aplica tanto às colocações quanto aos objetos colocados, e permite conservar invariantes as relações entre essas colocações independentemente dos deslocamentos de que os objetos são suscetíveis (Piaget; Inhelder, 1993, p. 394).

Um sistema de referências fixo representa a possibilidade de coordenação indefinida de posições e de distâncias entre objetos. Sua constituição passa pela construção dos conceitos de horizontalidade e verticalidade, que emergem inicialmente de conceitos físicos e não matemáticos. Os testes com as crianças envolveram a conservação de nível em líquidos dentro de uma garrafa (horizontal) e a posição do mastro em uma miniatura de embarcação (vertical).

A construção do conceito de sistema de coordenadas constitui o nível mais elevado de construção psicológica do espaço euclidiano, e implica na conservação de paralelismos, ângulos e distâncias. Primeiramente, ele supõe a existência de noções topológicas de ordem (homeomorfia) e dimensões, porém considerando a distância entre os elementos ordenados, uma vez que “a correspondência entre duas ou n ordens segundo um sistema a dois ou n eixos de coordenadas [...] mantém iguais as distâncias [...] e introduz, por outro lado, uma igualdade métrica entre unidades sucessivas de distâncias” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 435).

A partir de sua arguição, e com base nos experimentos relatados, Piaget e Inhelder comprovaram a tese de que a construção do raciocínio espacial se fundamenta a partir das noções topológicas (no plano perceptivo ou sensório-motor) e, a partir delas, evolui até as noções projetivas e euclidianas (no plano representativo ou intelectual), contradizendo o senso comum de que a geometria euclidiana constituísse a genética das noções espaciais.

A representação do espaço, foco central desta pesquisa, constitui-se tardiamente em relação ao espaço perceptivo. “Como a percepção é constituída

em contato direto com o objeto, ao passo que a imagem intervém na sua ausência, o espaço perceptivo é construído muito mais rapidamente do que o espaço representativo” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 471). A representação espacial desenvolve-se a partir do aparecimento da função simbólica, como uma ação interiorizada reproduzida graças à diferenciação entre significantes (símbolos - imagens - e signos - palavras) e significados (relações pré-conceituais ou conceituais), quando é incorporada à atividade sensório-motriz. A próxima seção aprofunda-se nas questões imagéticas da representação do espaço, em especial à representação gráfica de arquitetura.

2.4 Imagem e representação arquitetônica.

A contribuição de Piaget e Inhelder para a compreensão do desenvolvimento cognitivo espacial é inegável. Eles demonstraram o modo pelo qual as noções espaciais se constituem, desde as atividades sensório-motrizes até o pensamento formal, na ação assimiladora que abstrai qualidades dos objetos e incorpora-as aos seus próprios esquemas. As imagens resultantes deste processo, portanto, não constituem simples cópias da realidade, mas reconstruções cada vez mais ricas em complexidade, pois a novidade passa a integrar novos processos de abstração e, conseqüentemente, novos esquemas cognitivos (reflexionamentos). Estas conquistas vão complementando e enriquecendo os esquemas prévios dando origem a outros, cada vez mais complexos (reflexões). A representação é ativa e opera “sobre os objetos simbolizados [assim] como a ação opera sobre os objetos reais, ao invés de limitar-se a evocá-los” (Piaget; Inhelder, 1993, p. 475). A geometria, portanto, é inicialmente experimental e depois dedutiva. Desde o início do período representativo até o formal a ação engendra, gradativamente, significações associadas às imagens.

Por mais indispensável que seja a título de suporte ou significante, não é a imagem que determina as significações: é a ação assimiladora que

constrói as relações, cuja imagem não é senão o símbolo. Nada, portanto, é mais inexato do que reduzir a intuição do espaço a um sistema de imagens, pois as realidades institucionais são essencialmente ações, “significadas” e não substituídas pela imagem (Piaget; Inhelder, 1993, p. 476 – grifo nosso).

A compreensão de que um sistema de imagens por si só não provoca assimilações é primordial aos docentes que trabalham com conceitos cuja aprendizagem depende do desenvolvimento cognitivo espacial, tais como as que envolvem a modelagem e representação gráfica em arquitetura. Isso porque os estudantes podem produzir imagens de caráter figurativo, ou seja, que imitam padrões conhecidos, sem compreender significantes e significados associados a elas. É a diferença entre conseguir (*savoir-faire*) e compreender (conceituar) (Piaget, 1978). Desse modo, é importante que as atividades sejam planejadas com o objetivo de oportunizar processos de equilíbrio das estruturas cognitivas (assimilação, acomodação e adaptação).

A próxima seção apresenta uma análise das interfaces entre a teoria apresentada e o funcionamento geral de dois *software BIM*, com o intuito de discutir a aplicabilidade dos conceitos piagetianos ao espaço digital.

3 Conexões entre Piaget e o espaço digital BIM

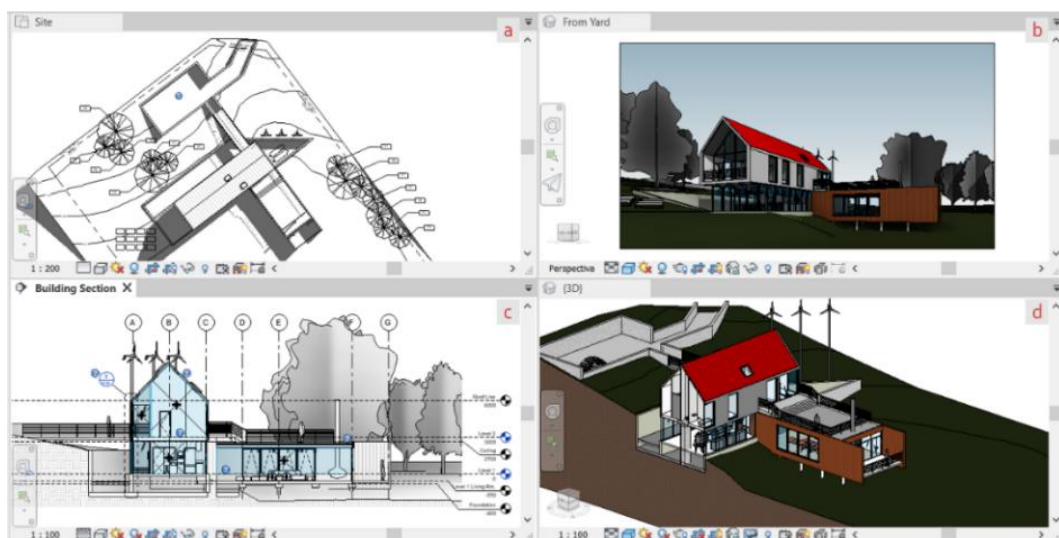
Software de modelagem do sistema BIM constituem espaços representativos em ambientes virtuais, apresentando características singulares em comparação a outros meios de representação, como o papel ou o CAD. É importante esclarecer o entendimento de que o espaço virtual, nesta conjuntura, não se constitui em oposição ao espaço físico, mas sim como seu complemento ou extensão. Giorda (2000, p. 22) explica que “a produção da realidade está ligada à dialética contínua entre o real e o virtual”, de modo que o espaço real é constituído pelo espaço material (espaço físico, artefatos humanos, realidade atômica e energé-

tica) e o virtual (o espaço da criação de sentidos: metáforas, símbolos, representações e mapas). A RV, assim entendida, expande o domínio da experiência natural integrando novas experiências sensoriais, nas quais os ambientes virtuais passam a constituir-se como espaços perceptivos.

A realidade virtual, ao fornecer novas experiências que não podem acontecer em um ambiente físico, **amplia seu domínio** de experiência natural e **aprimora a qualidade da experiência ao integrar as experiências sensoriais limitadas anteriormente** [...] por regras físicas. Se a nossa noção de mundo se forma através da experiência, então a introdução da realidade virtual implica a **expansão do mundo** e o aparecimento de uma **nova realidade** (Yoh, 2001, p. 4 – grifo nosso).

O BIM *faz* parte deste contexto, e a partir de um objeto único é possível gerar inúmeras simulações, em representações bi ou tridimensionais (plantas de piso, seções, elevações e perspectivas cônicas ou cilíndricas). A criação e edição de objetos, por sua vez, podem ser executadas a partir de qualquer vista, e os resultados são atualizados automaticamente em todas as demais (Figura 5).

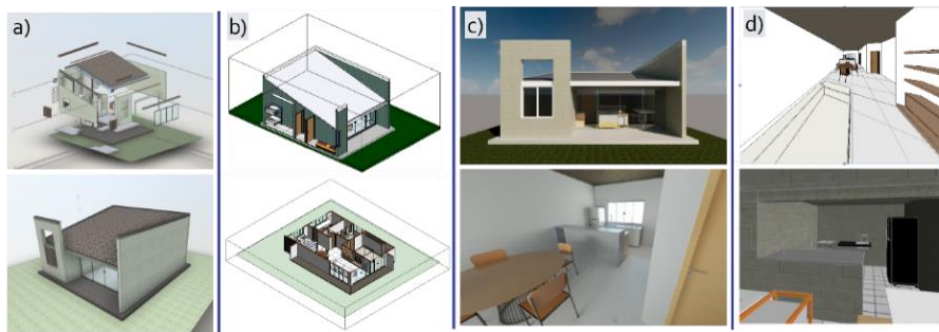
Figura 5: Vistas no *software* Revit da Autodesk- a) planta de piso; b) vista 3D (câmera); c) corte e d) vista 3D com caixa de corte.



Fonte: adaptada de Autodesk (2022).

Além destas visualizações dinâmicas, também é possível criar vistas explodidas, passeios virtuais e imagens renderizadas, estáticas ou panorâmicas. A renderização aproxima a imagem de uma fotografia realista do ambiente, sendo que as imagens panorâmicas (360 graus) fornecem a visualização de todo o entorno como se o usuário, a partir de um giro completo ao redor de sua posição inicial, pudesse olhar para todas as direções (ver Figura 6).

Figura 6: Vistas criadas no Revit e Autodesk Drive: a) vista explodida e primeira pessoa; b) caixa de corte; c) imagens renderizadas; d) percurso virtual.



Fonte: imagens elaboradas pelos estudantes.

Alguns *software* BIM, como o Augin (2022), configuram-se como plataformas colaborativas. Com versões para *desktop* (Hub) ou dispositivos móveis (DM) (App), o Augin permite a realização de reuniões virtuais com até dez participantes simultâneos. Assim como o Revit, as interfaces do Augin (Figura 7) apresentam a possibilidade de aplicação de filtros por níveis e famílias de elementos, bem como a criação de planos de corte, utilização de ferramentas de medição e acesso às propriedades dos objetos selecionados (Figura 7b1). O Augin também permite a navegação pelo modelo com visão de drone ou adotando um avatar personalizável (Figura 7b2). Neste caso o usuário tem a visão em primeira pessoa, caminhando próximo de seu personagem e podendo comunicar-se com outros participantes por áudio, *chat*, *emojis* e reações, o que amplia o senso de presença.

Figura 7: interfaces do Augin App e Augin Hub em reunião virtual.



Fonte: acervo da autora.

A versão para DM também conta com recurso de realidade aumentada (RA), na qual os modelos de arquitetura são sobrepostos a ambientes reais permitindo projeções em escala real (1:1), que podem ser realizadas no terreno para o qual o projeto foi idealizado e, assim, percorrê-lo com o próprio corpo. Neste caso, além da geometria proposta e da escala humana, o entorno é incorporado na exploração do ambiente virtual. Em uma única experiência reúnem-se os componentes constituintes do espaço real apontados por Giorda (2000), que são o espaço material e o virtual.

A análise do funcionamento destes *software* subsidia a compreensão de que existem similaridades entre a apropriação infantil do espaço material e a apropriação dos ambientes virtuais pelos estudantes que passam a utilizar o BIM. Como um elemento novo que não se integra aos esquemas de generalizações existentes, seu uso demanda o desenvolvimento de habilidades específicas, provocando desconfortos que podem engendrar processos de tomada de consciência. Neste contexto, a teoria piagetiana auxilia na compreensão sobre como os estudantes se apropriam destes espaços virtuais.

Exemplificando, as relações topológicas elementares de vizinhança, separação, ordem, circunscrição e continuidade participam do processo de apropriação do espaço digital, possibilitando a compreensão de conceitos como ponto, reta, plano, linha, superfície e espaço tridimensional, que são pré-requisitos para a modelagem digital. Além disso, se a coordenação da visão, da apreensão e dos deslocamentos possibilitam que a criança explore ativamente os objetos, no ambiente digital isso pode ser comparado à seleção de objetos e aplicação de comandos de visualização.

O espaço euclidiano introduz movimento aos objetos em relação a sistemas fixos de referência, ou seja, os sistemas de coordenadas. De acordo com Piaget e Inhelder (1993), a constituição de um sistema de coordenadas é uma construção tardia pois supõe o domínio sobre as noções topológicas de ordem e dimensões, o que possibilita a coordenação ilimitada entre posições e distâncias entre objetos. No Revit a criação de vistas é feita a partir das ferramentas nível e corte, que criam planos de referência horizontais e verticais, e plano de trabalho, que cria planos genéricos conforme a necessidade da modelagem. Está claro que um *software* gráfico de arquitetura deve necessariamente se apoiar sobre sistemas de coordenadas, mas, por ser tridimensional, no Revit os conceitos de horizontalidade e verticalidade, assim como a necessidade de controle sobre os planos de trabalho, fica mais evidente, e por isso a importância de coordená-los como sistemas de referência no espaço digital. Noções dos espaços projetivo e euclidiano também são identificadas quando o estudante apoia suas ações de modelagem a partir da navegação entre visualizações bi e tridimensionais, quando cria planos de corte, move ou reverte seus sentidos, operando sobre pontos de vista e em relação a planos de referência para poder recriar, editar e explorar o objeto a partir de recursos fornecidos pelos *software*.

Observa-se que o BIM, se comparado com os sistemas de representação anteriores a ele, representa um grande enriquecimento em termos de experimentação do espaço virtual pelo usuário, pois trabalha a partir de modelo único, tem a possibilidade de criação de vários tipos de visualizações com atualizações automáticas, passeios virtuais em primeira pessoa, personificação por meio de avatar e recursos em RA que permitem a projeção do objeto em escala real, entre outras funcionalidades. Argumenta-se, portanto, que assim como no espaço concreto, as experiências próprias do meio digital podem provocar abstrações reflexionantes e, apoiando-se sobre estruturas cognitivas existentes, contribuir para o desenvolvimento do raciocínio espacial em sua totalidade.

Piaget e Inhelder (1993) demonstraram que as noções espaciais se constituem a partir de processos de assimilação e que a geometria é inicialmente experimental e, depois, dedutiva. Compreende-se, a partir disso, que a simples utilização de *software* BIM não garante a ocorrência de processos de abstrações reflexionantes. Tome-se como exemplo o caso de tutoriais passo-a-passo, nos quais o estudante repete ações descritas em um roteiro sem a necessidade de raciocinar a seu respeito. Em geral, nestes casos, configuram-se processos de abstrações empíricas que, sem caráter endógeno, não engendram novos conhecimentos, pois as atividades se apoiam em ações materiais sem conceituação.

Assim, partindo do princípio de que a construção do conhecimento procede da interação entre sujeito e objeto, entende-se a importância de que atividades didáticas no âmbito da modelagem e representação gráfica em arquitetura sejam concebidas de modo a provocarem um movimento recíproco entre ação-objeto e objeto-ação. Esta dinâmica é suscitada pela necessidade de interação com o modelo no ambiente virtual e possibilitada pelo dinamismo dos *software* BIM. Presume-se, assim, que as regulações ativas decorrentes deste processo devem impulsionar coordenações inferenciais que, a partir de estruturas

cognitivas prévias, apoiam-se sobre os observáveis fornecidos pelos *software* (abstrações pseudo-empíricas) e, gradativamente, irão colaborar para que os efeitos observados sejam compreendidos causalmente (abstrações reflexionantes refletidas).

Este estudo identificou relações entre os três níveis de desenvolvimento cognitivo presentes nos conceitos de abstrações reflexionantes, tomada de consciência e fazer e compreender. Observou-se que no primeiro nível há um predomínio das regulações automáticas, sem conceituação ou representação; no segundo nível, há avanços nas coordenações inferenciais, mas a compreensão ainda é parcial, com lacunas. Apenas no terceiro nível surgem noções abrangentes, incluindo regulações sobre regulações. Estes conceitos podem, no decorrer da concepção e aplicação de atividades didáticas, auxiliar docentes a acompanhar e avaliar os estádios de desenvolvimento cognitivo espacial dos estudantes, de modo a identificar aqueles que necessitem de suporte pedagógico.

A partir do exposto, entende-se a importância de que sejam oportunizadas atividades interativas por meio da modelagem e interpretação de objetos arquitetônicos no meio digital e que o docente compreenda os processos cognitivos envolvidos nessas interações ao concebê-las.

4 Considerações finais

Fundamentado em conceitos piagetianos este estudo demonstrou que existe um longo processo entre a percepção do espaço e o início das representações figuradas. Neste sentido, o desenvolvimento das operações infralógicas embasam a constituição das operações lógico-matemáticas, e a construção do espaço configura-se como um processo de equilíbrio das estruturas cognitivas que ocorre de modo gradual e interrelacionado, no qual as habilidades vão complementando-se e integrando-se em estruturas cada vez mais complexas. Também

foram identificadas relações entre os três níveis de desenvolvimento cognitivo presentes nos conceitos de abstrações reflexionantes, tomada de consciência e fazer e compreender.

O desenho, e por extensão a representação gráfica em arquitetura, tem caráter de comunicação e antecipação, constituindo-se como a linguagem predominante ao longo do processo construtivo. *Software* BIM associam informações geométricas e não geométricas, bem como recursos de visualização avançados em modelos únicos. Neste contexto, entende-se que a apropriação dos espaços virtuais BIM se assemelha à apropriação infantil do espaço concreto, e por isso a teoria piagetiana pode auxiliar docentes que trabalham com modelagem e representação gráfica arquitetônica.

Salienta-se a importância de que os modelos pedagógicos se apoiem sobre atividades cujo propósito seja desencadear processos de equilíbrio das estruturas cognitivas, de modo que, nesse contexto, as imagens sejam produzidas como resultado dessa interação, com caráter assimilador e não figurativo.

Os resultados forneceram subsídios teóricos capazes de apoiar processos de ensino e aprendizagem, auxiliando pesquisadores e docentes, em especial os que trabalham na formação de profissionais que atuam diretamente sobre o espaço, tais como técnicos em edificações, arquitetos e engenheiros civis.

Referências

AUGIN, 2022. Site do desenvolvedor. Disponível em: <https://augin.app>. Acesso em: 21 de agosto de 2021.

AUTODESK, 2022. Site do desenvolvedor. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br>. Acesso em: 21 de agosto de 2021.

BECKER, Fernando. **Educação e construção do conhecimento** [recurso eletrônico] / Fernando Becker. – 2. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: Penso, 2012.

BENEDETTO, Henrique; BERNARDES, Maurício Moreira e Silva; PIRES, Roberto Wanner. Ensino de BIM no Brasil: Análise do Cenário Acadêmico. *Informática na Educação: teoria & prática*, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 70-84, jan./jul. 2017.

BIM DICTIONARY. Building Information Modeling, 2023. Disponível em: <https://bimdictionary.com/pt/building-information-modelling/1>. Acesso em: 28 set. 2023.

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Brasília-DF: 20 de dezembro de 1996.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais: Matemática** / Secretaria de Educação Fundamental. – Brasília: MEC/SEF, 1997. 142p.

BUENO, M. S. Quem, afinal, nas escolas brasileiras, promove o desenvolvimento das competências gráficas? **III APROGED'S International Conference** [e] XVI International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design. 1, pp. 477-487. Porto: APROGED, 2015.

CLEMENTE, J. C., BEDIM, A. A. P., RODRIGUES, A. C. D., FERREIRA, H. L., SOUZA, J. M. S. S., SANTOS, L. G., Cohn, M. A. F., DIAS, M. F. M. D., TOMÉ, N. M. A. T. e CARNEIRO, R. F. Ensino e aprendizagem da Geometria: um estudo a partir dos periódicos em Educação Matemática. **Encontro Mineiro de Educação Matemática**. Anais eletrônicos. São João del Rei-MG: UFSJ, 2015. Não paginado.

KOPKE, R. C. Objetos esculpidos e a visão espacial. **VIII International Conference on Graphics Engineering for Arts and Design** e XIX Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico. (pp. 869-881). Bauru: UNESP, 2009.

LUQUET, Georges-Henri. (1927) *Le dessin enfantin*. Laussane, Paris: Dalachaux

& Niestlé Éditeurs, 3a ed, 1977.

PAVANELLO, R. M. O abandono do ensino da Geometria no Brasil: causas e consequências. *Zetetiké*. v. 1, n. 1, p. 7-17, 1993.

PIAGET, J. **Epistemologia genética**. 3ª ed. São Paulo, SP: Martins Fontes, 2007.

PIAGET, J., INHELDER, B. (1948) **A representação do espaço na criança**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1993.

PIAGET, Jean. (1974) **Fazer e Compreender**. Trad. Cristina L. de P. Leite. São Paulo: Melhoramentos; EDUSP, 1978. 186p.

PIAGET, Jean. (1975) **A Equilibração das Estruturas Cognitivas: problema central do desenvolvimento**. Tradução de Marion Merlone dos Santos Penna. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

PIAGET, Jean. (1977) **Abstração Reflexionante: Relações lógico-aritméticas e ordem das relações espaciais**. Trad. Fernando Becker e Petronilha G. da Silva. Porto Alegre: Artes Médicas, 1995.

PIAGET, Jean. (1974) **A Tomada da Consciência**. Trad. Edson B. de Souza. São Paulo: Melhoramentos e EDUSP, 1977. 211p.

SILVA, L. P. O uso do BIM no ensino-aprendizagem nos Institutos Federais na Região Nordeste do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE O ENSINO DE BIM, 3, 2021. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. p. 1. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/enebim/article/view/280>. Acesso em: 17 dez. 2021.

THE 26th ICMI STUDY: **Advances in geometry education** (no date) Sciencesconf.org. Available at: <https://icmistudy26.sciencesconf.org/> (Accessed: 12 June 2023).

YOH, Myeung-Sook. The reality of virtual reality. In: Proceedings seventh international conference on virtual systems and multimedia. IEEE, 2001. p. 666-674.

Recebido 01/09/2023

Aprovado 17/12/2023