



Projeto Erasmus+: BIMVET3 2020-1-ES01-KA203-083262

Este Projeto Erasmus+ foi financiado com o apoio da Comissão Europeia. Esta publicação reflete apenas os pontos de vista dos autores, e a Comissão Europeia e as Agências Nacionais Erasmus+ não podem ser responsabilizadas por qualquer utilização que possa ser feita das informações aí contidas.

BLOCO VII: MODELAÇÃO 3D BIM

Título: Conceitos de modelação 3D

1 – Objetivos

O principal objetivo deste tutorial é abordar uma visão geral baseada em objeto de modelação paramétrica.

2 - Metodologia de aprendizagem

O professor dará uma explicação sobre: (1) história da modelação 3D digital e sua cronologia para explicar o seu início e evolução (2) uma explicação baseada em objeto de modelação paramétrica e suas regras, bem como algumas propriedades e características não-geométricas.

3 - Duração tutorial

Terá duração de 1 hora de ensino.

4 – Recursos de ensino necessários

Sala de informática com Computadores com acesso à internet.

5 - Conteúdo

5.3 Conceitos de Modelação

5.1 Formas geométricas BIM e sua modelação

5.2 Modelação paramétrica

5.3 Objetos e informações em modelos BIM

6 - Entregáveis

Os alunos responderão um questionário.

7- O que aprendemos

Quais são as vantagens da modelação de objetos, modelação paramétrica, o papel da informação no BIM, a relação entre a informação, os objetos individuais e a geometria.



5. Conceitos de modelação 3D

Hoje em dia, tornou-se possível aplicar tecnologias BIM em vários sectores industriais. As tecnologias BIM estão gradualmente a evoluir para um processo em que, para além do projeto tradicional de edifícios, existe uma oportunidade de adaptação a soluções de tecnologias de informação, análise de dados, automação e espaço virtual ou mesmo soluções de inteligência artificial.

A modelação orientada para objetos é o elemento-chave mais importante em termos de BIM.

O objetivo deste capítulo é fornecer conhecimento não só sobre a modelação de objetos, mas também as suas diferenças fundamentais em relação aos sistemas CAD. Os alunos conhecerão as vantagens da modelação de objetos, modelação paramétrica, o papel da informação no BIM, a relação entre a informação, os objetos individuais e a geometria.

5.1. Formas geométricas BIM e sua modelação

Conceitos de modelação 3D desenvolveram-se inicialmente a partir de representações CAD 2D e 3D que eram compostas principalmente por linhas 2D ou 3D. Os primeiros modelos de arame 3D foram uma extensão do desenho 2D onde as linhas 3D foram desenhadas manualmente para criar um modelo de arame 3D. Isto poderia ser usado para visualização e para criar visões ortogonais. Estes primeiros modelos de arame 3D não tinham propriedades em massa e não era possível adicionar funcionalidades como aberturas (Figura 1) .

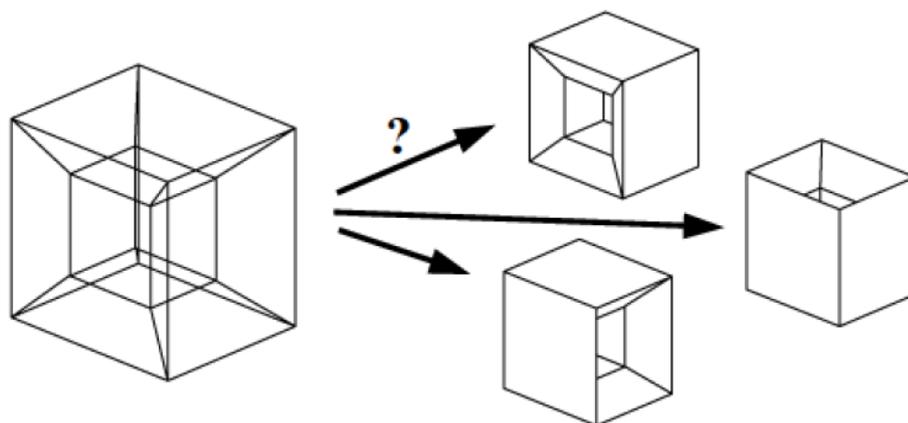
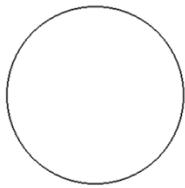


Figura 1 - Exemplo de modelos de arame 3D

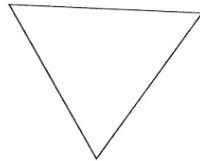
As formas de geometria espacial são parte integrante do BIM. Para passar do desenho nas plataformas CAD tradicionais para a modelação de objetos de construção específicos, é natural que os objetos possam ser desenhados da forma mais realista possível. Se o desenho não fornecer qualquer informação sobre o layout da forma geométrica, pode não ser possível

obtê-lo em desenhos CAD 2D. Especialmente quando se trata da altura dos edifícios. Quando se trabalha num ambiente CAD 3D, estas complexidades são amplamente resolvidas. É importante que o praticante compreenda como são construídas as relações entre formas geométricas, partes internas do software e informação em aplicações de modelação 3D CAD e BIM. A Figura 2 mostra um exemplo das principais formas geométricas espaciais e das suas formas de processamento.

Formas geométricas: círculo, triângulo, quadrado, retângulo, hexágono, losango, pentágono, entre outros.



Círculo



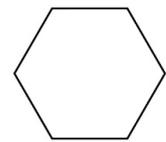
Triângulo



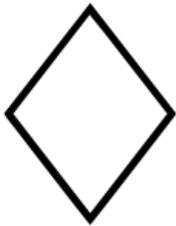
Quadrado



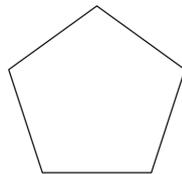
Retângulo



Hexágono

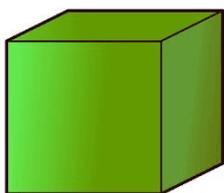


Losango

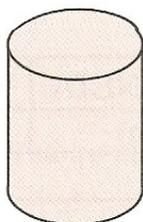


Pentágono

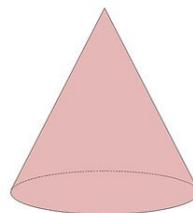
Formas espaciais: cubo, cone, paralelepípedo retangular, pirâmide quadrada, prisma triangular, bola, cilindro, pirâmide triangular, esfera, torá.



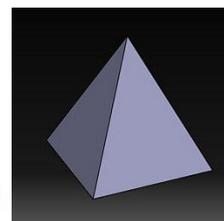
Cubo



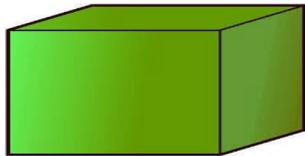
Cilindro



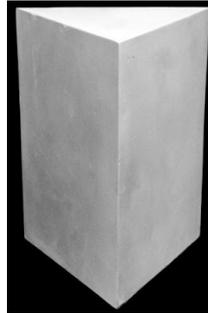
Cone



Pirâmide Quadrada



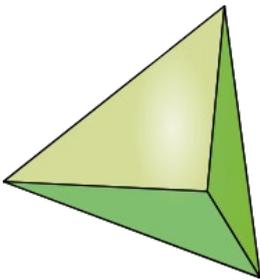
Paralelepípedo Retangular



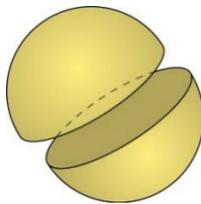
Prisma Triangular



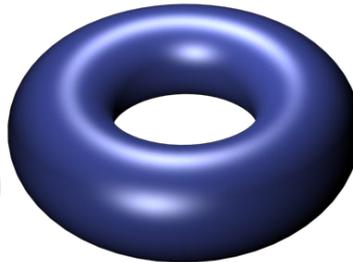
Bola



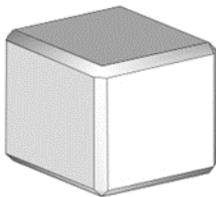
Pirâmide triangular



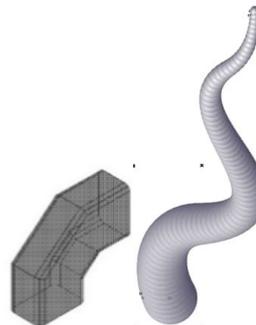
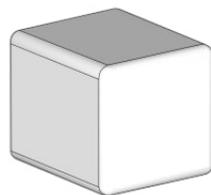
Esfera



Torá



Extrusão Oblíqua Arredondada



Extrusão da curva

Figura 2 - Formas geométricas espaciais e suas formas de processamento.

No que diz respeito à qualidade do modelo, a precisão geométrica dos elementos é um aspeto muito importante, pelo que é necessário ter cuidado para evitar intersecções e erros nos modelos geométricos.

Mesmo o software especializado não consegue compreender e decidir por si próprio quais as quantidades de elementos geométricos que precisam de ser estimados num orçamento automatizado do projeto. Por exemplo, se os elementos das colunas de betão armado sobrepõem-se ou cruzam-se com estruturas de parede, o custo de implementação do projeto será calculado mais alto do que o previsto.

Assim, os Gestores BIM ou os Coordenadores BIM devem garantir a qualidade do desenho das formas geométricas. Isto evita que as soluções descoordenadas mudem durante o processo de construção e permite um cálculo preciso das quantidades de itens.

Dois avanços importantes na modelação CAD 3D introduzidas nas décadas de 1970 e 1980 foram os conceitos de Geometria Sólida Construtiva (CSG) e Representação de Fronteiras (B-rep). O CSG utiliza formas primitivas sólidas para representar objetos (Figura 3). Esta abordagem é mais poderosa do que as abordagens anteriores de estrutura de arame, uma vez que objetos sólidos podem ser usados para calcular várias propriedades físicas tais como volume, densidade, peso e massa. O CSG também permite combinar formas primitivas sólidas usando operações de Boolean como união, subtração e intersecção para criar formas mais complicadas (Dore e Murphy, 2017).

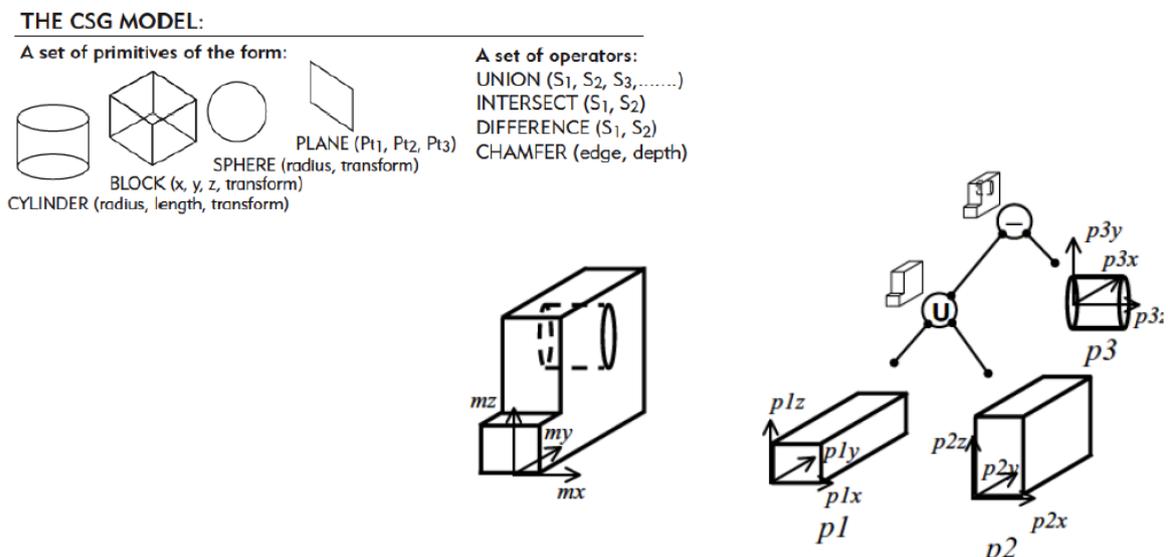
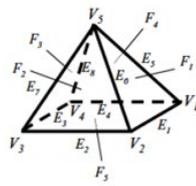


Figura 3 - Geometria Sólida Construtiva (CSG)

Alternativamente, a Representação de Fronteiras (B-rep) representa objetos descrevendo as suas faces, bordas, vértices e topologia. O B-rep também inclui operações como extrusão, varredura e rotação que podem ser usadas para criar formas 3D a partir de contornos 2D (Figura 4). Muitas plataformas de software CAD incorporam conceitos de modelação B-rep e CSG para proporcionar uma maior flexibilidade para modelar objetos complexos (Dore e Murphy, 2017).

O método B-rep transmite formas fechadas, formadas a partir de superfícies individuais em contacto entre si. A forma em si foi definida por um conjunto de regras para garantir que as superfícies de contacto fechassem completamente o volume no interior. Este conjunto de regras determinou como essas superfícies devem fundir-se e ligar-se, como navegar, a sua orientação no ambiente e como deve ser assegurada a sua continuidade. Além destas funções de criação de volume espacial, foram também desenvolvidas funções para extrusão de formas ao longo de um eixo ou curva.



Face Table

Face: Edges

- $F_1: E_{15}, E_{35}, E_6$
- $F_2: E_{25}, E_{69}, E_7$
- $F_3: E_{35}, E_{75}, E_8$
- $F_4: E_{45}, E_{85}, E_5$
- $F_5: E_{15}, E_{25}, E_3, E_4$

Edge Table

Edge: Vertices

- $E_1: V_{15}, V_2$
- $E_2: V_{25}, V_3$
- $E_3: V_{35}, V_4$
- $E_4: V_{45}, V_1$
- $E_5: V_{15}, V_5$
- $E_6: V_{25}, V_5$
- $E_7: V_{35}, V_5$
- $E_8: V_{45}, V_5$

Vertex Table

Vertex: Coord.

- $V_1: x_1, y_1, z_1$
- $V_2: x_2, y_2, z_2$
- $V_3: x_3, y_3, z_3$
- $V_4: x_4, y_4, z_4$
- $V_5: x_5, y_5, z_5$

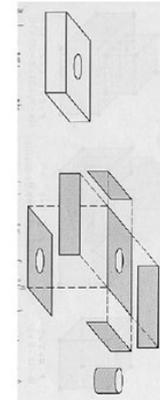


Figura 4 - Representação de fronteiras (B-rep)

O método de representação da borda B-rep para descrever modelos de geometria é dominante nos softwares CAD e BIM.

Um dos primeiros e atualizados formatos para armazenar geometria B-rep é o formato STEP. O número de possíveis transações de modificação de geometria é maior do que nos modelos. O modelo B-rep deve ser armazenado apenas como resultado final e o curso do projeto geométrico não deve ser mantido. Os modernos sistemas CAD 3D permitem modelação paramétrica detalhada com modelos B-rep através da descrição matemática de curvas ou mesmo uma descrição típica de B-splines do NURBS (Non uniform rational B-Splines). O modelo B-rep tem dois tipos de informação: geometria e topologia. A informação geométrica é a definição matemática das curvas, superfícies necessárias para formar um corpo geoespacial.

A informação topológica permite ligar elementos geométricos uns aos outros. Existem também dois tipos de entidades em modelos B-rep:

- **Objetos geométricos - Volume, Superfície, Curva, Ponto;**
- **Objetos topológicos - Sólido, Face, Borda, Vértice.**

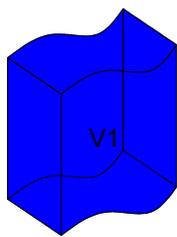
As diferenças entre estes conceitos são apresentadas na Tabela 1 e ilustradas na Figura 5.

Tabela 1. Diferença entre objetos geométricos e topológicos.

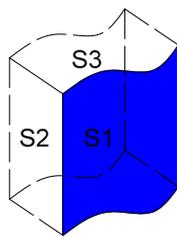
Objeto geométrico	Objeto topológico	Diferença
Volume	Sólido	O Volume é geralmente considerado um objeto criado não a partir de primitivos, isto é, extrudido de acordo com uma curva, superfície, etc., e um corpo Sólido é geralmente composto por formas geométricas.
Superfície	Face	A Superfície pode ser definida por curvas que variam em forma no espaço e a Face refere-se a uma superfície plana composta apenas por lados retos, por exemplo, a parte superior do cilindro não é considerada como uma Face, mas sim uma superfície, a menos que seja segmentada como um polígono.

Curva	Borda	Uma curva é definida por pontos e uma função que controla a sua posição no espaço. A borda é considerada um segmento de linha entre dois vértices.
Ponto	Vértice	Um Ponto descreve um ponto específico no espaço com a sua coordenada específica de acordo com o sistema de coordenadas aplicável. Um Vértice é apenas uma referência a este ponto. Por exemplo, múltiplos polígonos tangentes que têm vértices individuais, mas podem identificar o mesmo ponto.

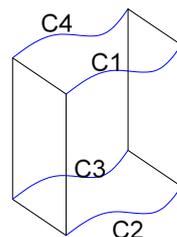
A aplicação e alternância destas operações permite a criação de vários volumes geométricos espaciais. Ao mesmo tempo, surgiram funções que permitiram fundir volumes individuais ou cortar um volume espacial de outro. Estas ações são definidas como operações de Boolean. Uma das primeiras aplicações para tal modelação é a modelação de peças de máquina, que muitas vezes consistiam em primitivos de volume típicos e operações de junção/corte.



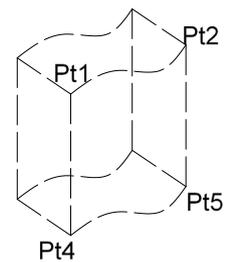
Volume



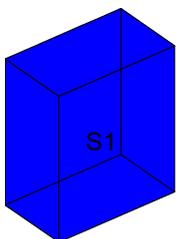
Superfície



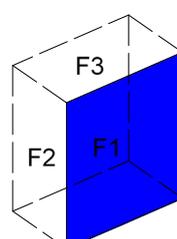
Curva



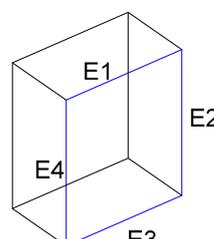
Ponto



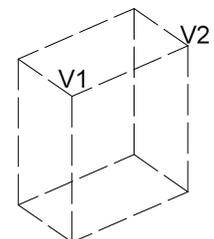
Sólido



Face



Borda



Vértice

Figura 5 - Entidades que formam geometria e seus equivalentes topológicos.



Como estes dois métodos tinham propriedades diferentes, mas muito importantes, a solução para combinar os dois emergiu. Isto permitiu a criação de modelos geométricos espaciais pelo método CSG, deixando a B-rep para lidar com a avaliação dos modelos primitivos e da representação visual. Este princípio de funcionamento sobreviveu até aos dias de hoje, o que dá aos sistemas CAD e BIM o seu poder de criar geometria rápida e precisa, editá-la e exibi-la em ecrãs de computador. Por outras palavras, o CSG aplica-se à modelação e ao trabalho, e o B-rep aplica-se à renderização, verificação de intersecções e outras operações de não-edição. Nota-se também que foi esta combinação que abriu caminho à modelação paramétrica.

A modelação de volume espacial e os sistemas CAD correspondentes sempre foram caracterizados por uma procura muito elevada de poder de computação informática. Mesmo os sistemas existentes atuais nem sempre são capazes de lidar com modelos 3D complexos. Com o desenvolvimento de computadores e o progresso crescente do sector da construção, começou a era da modelação espacial.

As formas 3D representadas com métodos CSG e B-rep existem apenas como entidades gráficas e não têm inteligência (Ibrahim e Krawczyk, 2004). A próxima etapa evolutiva na modelação 3D foi a introdução de modelagem paramétrica baseada em funcionalidades que introduziu uma certa quantidade de inteligência em elementos-modelo.

A modelação baseada em funcionalidades é uma abordagem orientada para objetos onde, além da geometria, os objetos contêm informações sobre o papel dos objetos (por exemplo, porta, parede, janela, etc.) e como um objeto se relaciona com outros objetos. A modelação baseada em funcionalidades permite que operações como a criação de aberturas, filetes e chanfros sejam associadas a objetos. Isto pode incluir uma janela cortando automaticamente uma abertura quando colocado numa parede ou cruzando paredes conectando e unindo-as corretamente. A modelação baseada em funcionalidades permite que os objetos interajam com outros objetos de forma correta e automática num ambiente espacial (Leeuwen e Wagter, 1997).

1.2. Modelação paramétrica

Do modelo de geometria sólida construtiva (CSG), o conceito de parâmetros surgiu bastante cedo com modelação 3D. No entanto, a funcionalidade e as capacidades iniciais eram muito limitadas. Uma necessidade mais clara de modelação paramétrica surgiu apenas com propriedades. Uma das primeiras propriedades que podemos detetar em sistemas CAD de modelação espacial é a materialidade (Sacos, R. *et al.* 2018). Surgiu naturalmente desde o início, porque para combinar as formas geométricas individuais num novo volume pelas operações booleanas, tornou-se evidente que a forma como as duas formas geométricas estavam ligadas também dependia da materialidade dos elementos da sua representação. Não é difícil combinar duas formas geométricas do mesmo material. O desafio surge quando se trata de decidir qual a forma ou primitiva a priorizar em caso de materialidade.

Esta perceção mais tarde desenvolveu operações booleanas e os próprios conceitos de modelação espacial e BIM, que a modelação ocorre combinando características e geometria em um volume ou elemento básico inicial.



Um exemplo disso no campo de construção são painéis de parede pré-fabricados de betão armado ou outros elementos pré-fabricados de betão armado. Eles consistem em muitos componentes distintos, tais como acessórios, reforço, camadas separadas de isolamento e outros elementos, todos os quais se limitam a ligar-se ao elemento principal de betão armado (Figure 6). A materialidade destes componentes difere do elemento básico.

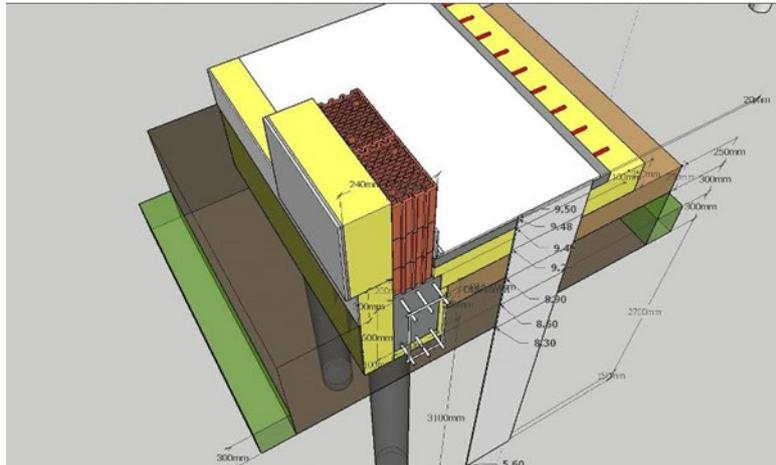


Figure 6 - Exemplo de modelação paramétrica.

Este exemplo ilustra vários aspetos importantes relacionados com o BIM e a modelação espacial. No mundo real, tudo está interligado não só geometricamente, mas também pelas suas propriedades, que dependem dos outros componentes à sua volta.

Os primeiros princípios da modelação paramétrica surgiram, com a perceção de que os volumes individuais podem partilhar um parâmetro comum, como no caso do exemplo mencionado - as dimensões da camada de isolamento e placas de betão armado. Hoje em dia, nas plataformas BIM, é bastante natural que tudo esteja interligado - a altura das colunas com as lajes do chão, a altura das paredes para o chão, o fundo da porta para o chão, e assim por diante. A perceção e emergência destas relações no conceito de modelação paramétrica, abriu caminho para uma representação mais realista do espaço construído em programas de computador, um trabalho mais conveniente e mais rápido. Deu também origem ao surgimento de estruturas para objetos de construção e todas as estruturas, de acordo com a norma. Esta modelação paramétrica não se limitou à geometria para representar objetos físicos reais, mas também tocou em vários elementos auxiliares e anotações, tais como redes de eixos, notas de rodapé, etc. Assim, a modelação paramétrica permitiu controlar e realizar alterações geométricas em modelos estáticos, controlando apenas alguns parâmetros individuais.

É possível editar dinamicamente os modelos BIM em diferentes softwares BIM dependendo da fase de projeto.

Em vez de controlar os números ordinários, ao criar geometria, tornou-se possível ligar dois elementos geométricos e objetos posteriores, descrevendo os seus pontos, linhas ou



superfícies individuais como sendo paralelos, perpendiculares a outros primitivos geométricos, respetivamente.

O software moderno CAD 3D e BIM expandiu consideravelmente o conceito de modelação paramétrica, onde as relações paramétricas são agora usadas para gerar secções de modelos completas, elementos de anotação, tais como dimensões, coordenadas, etc.

No entanto, a modelação paramétrica difere da modelação padrão CAD 3D, uma vez que objetos como formas primitivas estão associados a parâmetros ou variáveis que podem alterar instantaneamente a geometria ou outras propriedades de um objeto. Parâmetros simples de um objeto podem incluir o comprimento, largura, altura ou raio. Outros objetos paramétricos mais complexos podem ter parâmetros que podem alterar toda a estrutura ou geometria dependendo de diferentes condições. Os parâmetros de um objeto também podem controlar a localização de um objeto dentro de um modelo maior. Os objetos da biblioteca paramétrica (como portas ou janelas) permitem que os objetos sejam reutilizados várias vezes num modelo ou em muitos modelos diferentes com parâmetros variados. Esta abordagem é muito eficiente para elementos de modelação que são repetidos, mas podem conter variação geométrica entre diferentes instâncias.

A modelação paramétrica permite ao utilizador fazer as alterações necessárias de forma rápida e automatize totalmente todo o processo de modelação digital. Isto é o funcionamento de muitas plataformas BIM modernas, uma vez que sequências automaticamente as várias interfaces entre elementos, geometria e componentes de anotação sem envolver ativamente o utilizador.

Apesar das diferenças, um moderno sistema CAD ou BIM paramétrico tem as seguintes características:

- A modelação volumétrica paramétrica é uma funcionalidade paramétrica onde formas geométricas complexas podem ser obtidas usando vários parâmetros. A geometria é regenerada assim que os parâmetros são alterados ou iniciados pelo utilizador. A sequência de operações em muitos casos é consistente e trocando certas operações em lugares, geometrias completamente diferentes podem ser obtidas.
- A modelação paramétrica dos conjuntos de objetos permite ao utilizador criar objetos mais complexos que sejam compostos por uma variedade de outros componentes, permitindo-lhes controlar a sua posição, geometria e interações entre objetos.
- A modelação paramétrica topológica proporciona a capacidade de controlar as interações entre objetos e os seus conjuntos com conjuntos completos de instruções, com código de software separado. Ferramentas de ambiente de programação visual como o Dynamo, Grasshopper e outros operam nesta base. Muitas estruturas arquitetónicas modernas devido às suas formas complexas, especialmente fachadas, são geradas usando este princípio de modelação paramétrica.

O desenvolvimento mais recente do conceito Building Information Modelling (BIM) incorpora os principais desenvolvimentos na modelação 3D, incluindo modelação paramétrica e baseada em funcionalidades, combinada com uma base de dados dinâmica 3D para armazenar informações relativas a edifícios. A adição de uma base de dados relacional



dinâmica para elementos de construção (semelhante a um Sistema de Informação Geográfica) permite muitas novas aplicações para gerir e analisar elementos de construção. O BIM permite que os elementos de construção sejam documentados com objetos reutilizáveis paramétricos inteligentes que contenham informações ricas sobre o uso de objetos, semântica, topologia, relações com outros objetos e informações adicionais armazenadas como atributos. O BIM pode ser definido como a montagem de objetos paramétricos que representam componentes de construção dentro de um ambiente virtual e que são usados para criar ou representar um edifício inteiro.

1.3. Objetos e informações em modelos BIM

Num ambiente CAD, seja em 2D ou 3D, todo o ponto está focado na geometria e na sua definição em pontos, curvas, superfícies e volumes sólidos, e só então são feitas tentativas para associar diferentes representações físicas. Por exemplo, quando atribuímos em notas de rodapé que uma determinada área, definida por linhas e cheia de alguma textura, representa algo da vida real. Fornecer informação torna-se secundário. Na modelação orientada para objetos, isto é virado de cabeça para baixo. Em primeiro lugar é o objeto em si, que é primeiro associado com a informação que o descreve. Isto define quem é o objeto, que função desempenha, define a sua dependência, as suas propriedades como materialidade, ligadas a CO₂, descreve a sua posição no espaço e no tempo (planeamento de construção 4D BIM) e inúmeros outros aspetos importantes sobre o objeto. A Geometria, pode dizer-se, é apenas outra propriedade que descreve um objeto. O seu detalhe não tem necessariamente de ser representativo de um objeto físico real, mas depende da necessidade, da fase do ciclo de vida estático em que o modelo BIM é desenvolvido, e outros aspetos.

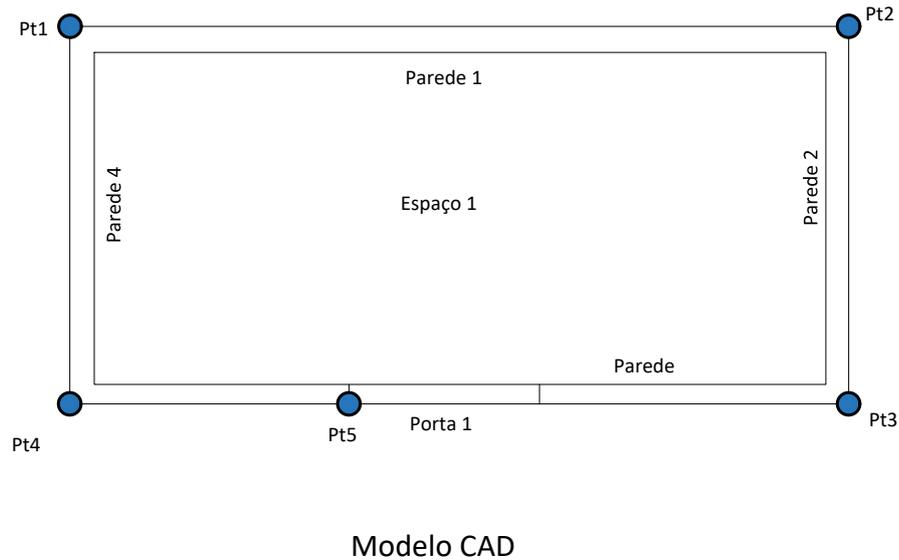


Figura 4 - Diagrama composto de um objeto ao lado de um diagrama composto de um modelo geométrico 3D

A informação geométrica por si só não é suficiente para transmitir todas as informações necessárias do projeto BIM.

Os objetos são descritos de acordo com parâmetros, alguns dos quais são definidos pelo utilizador e outros que se relacionam com a sua posição num ambiente 3D em relação a outros objetos de forma. A visualização de objetos é conseguida através da visualização de funcionalidades 2D e 3D, planos, secções, elevações e vistas 3D. O BIM pode automaticamente criar secções de corte, elevações, detalhes e tabelas para além de projeções ortográficas e modelos 3D (de arame ou texturizado e animado). Todas estas vistas estão ligadas ao modelo 3D e atualizam-se automaticamente em tempo real, pelo que, se uma alteração for feita numa só vista, todas as outras vistas também são atualizadas. Isto permite uma geração rápida de documentação detalhada necessária nas indústrias AEC/FM e património.

Cada vez mais tecnologias são escolhidas para representar e transmitir informação como



objetos que cumprem os requisitos de partes específicas do projeto. A modelação orientada para objetos pode ser entendida como um conceito separado que se adapta a uma disciplina específica. Não só as disciplinas individuais emergem no conceito BIM, como é especialmente importante, como se reúnem num todo o que é chamado de projeto de construção. Portanto, no ambiente BIM, existem requisitos adicionais para objetos que garantem interligações e troca de dados.

A maioria dos pacotes de software BIM têm extensas bibliotecas de objetos paramétricos predefinidos que são usados para criar modelos de informação de construção 3D. Isto facilita uma modelação eficiente, uma vez que a geometria 3D não tem de ser criada de raiz. Em vez disso, os objetos de biblioteca melhorados de informação existentes podem ser usados para modelar os elementos principais de construção, tais como paredes, portas, janelas, colunas, vigas, lajes, telhados, etc. Os parâmetros destes objetos da biblioteca são editados de forma a corresponder às dimensões e configurações necessárias de um projeto. Estes objetos da biblioteca são então combinados para criar um modelo completo. Um grande problema para o BIM construído é a falta de objetos paramétricos pré-definidos adequados para edifícios existentes e históricos. A maioria das bibliotecas BIM nativas e de terceiros concentram-se apenas em edifícios modernos. Como resultado, a modelação de edifícios existentes e históricos muitas vezes requerem que muitos componentes sob medida sejam criados de raiz, o que pode ser um processo muito demorado (Dore e Murphy, 2017).

Referências

Dore C., M Murphy (2017). Current State of the Art Historic Building Information Modelling. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W5, 2017 26th International CIPA Symposium 2017, 28 August–01 September 2017, Ottawa, Canada

van Leeuwen, J.P. and H. Wagter (1997). Architectural Design-by-Features. Junge, Richard (ed.) 1997. CAAD futures 1997. Proceedings of the 7th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures held in Munich, Germany, 4-6 August 1997. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 97-115

Sacks R, Eastman CM, Lee G and Teicholz P (2018) BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility Managers, 3rd Edn. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ, USA.