

TECNOLOGIAS 3D LASER SCANNING E BIM

Aplicações em Arquitetura e Urbanismo

3D LASER SCANNING AND BIM TECHNOLOGIES: Applications in Architecture and Urbanism.

Resumo: O artigo trata das tecnologias *3D Laser Scanning* (em suas diversas categorias) e Modelagem da Informação da Construção (BIM), suas características e aplicações para Arquitetura e Urbanismo. São apresentados alguns exemplos do uso integrado dessas tecnologias, e o potencial de melhorar significativamente o processo de documentação e gerenciamento das edificações e das cidades, em diferentes níveis e aplicações, como: maior controle do processo de construção, suporte para projetos de habitação de interesse social e para urbanização de favelas.

Palavras-chave: Arquitetura e Urbanismo, Documentação arquitetônica, *3D Laser Scanning*, Nuvem de pontos, Tecnologia BIM.

Abstract: This article discusses 3D Laser Scanning (in several categories) and BIM (Building Information Modeling) technologies, their characteristics and applications to Architecture and Urbanism. Some examples of integrated use of these technologies are presented, and the potential to improve significantly the process of documentation and manage of the buildings and cities, in different levels and applications, as: greater control of the building process, base for social housing and for slum urbanization.

Keywords: Architecture and Urbanism, Architectural documentation, 3D Laser Scanning, Point cloud, BIM technology.

Introdução

Nos últimos anos vem-se consolidando um panorama de contínua alteração nos processos de trabalho, de surgimento de novas tecnologias, frente às exigências mundiais de qualidade e sustentabilidade das edificações, como afirma (CHECCUCCI et al., 2011, p. 1):

São vários os desafios para desenvolver uma 'arquitetura sustentável', com melhoria na qualidade da edificação, e entre eles estão: necessidade de simulações no desenvolvimento dos projetos, aprimoramento da especificação de produtos, necessidade de tomar decisões seguras de forma antecipada e controlada, integração da equipe, foco na gestão de obras, redução de desperdício, maior durabilidade das construções e baixos custos com manutenção. No contexto BIM, estes requisitos deverão ser trabalhados para o desenvolvimento de uma nova 'concepção de arquitetura', trazendo vários benefícios para os produtores e usuários de edificações.

Essas novas exigências demandam um conjunto de fatores mais eficientes para a produção e a colaboração, aliando menores custos de construção, operação e manutenção das edificações e, ao mesmo tempo, permitido melhorar a qualidade dos produtos gerados. O uso adequado dos dispositivos tecnológicos deve permitir a integração de

dados de diversas disciplinas, a convergência de saberes e devem ser capazes de responder à complexidade, multiplicidade e instantaneidade das informações do mundo contemporâneo.

As novas tecnologias devem ser usadas não somente para auxiliar o projeto, a construção e o gerenciamento de grandes edificações, geralmente ligadas às empresas/instituições a serviço do poder dominante. Elas podem e devem ser usadas cada vez mais como instrumento para auxiliar o desenvolvimento das políticas públicas, de urbanização de favelas e a construção de moradias populares de melhor qualidade, mais adequadas às características físicas do local, e atendendo às necessidades socioculturais de cada comunidade. Este é um esforço que envolve toda a cadeia produtiva e parte de uma correta compreensão das diversas possibilidades oferecidas pelo estado da arte da tecnologia digital e suas aplicações em Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) (NARDELLI, 2010, p. 404).

É neste contexto que as tecnologias *3D laser scanning* e *Building Information Modeling* (BIM) ganham destaque. A primeira, como forma de adquirir e registrar os dados geométricos e geográficos do mundo real (edificações isoladas, centros urbanos ou mesmo cidades inteiras) de modo mais rápido e preciso. E a tecnologia BIM, como forma de representar e manipular uma gama de informações da edificação, de maneira mais consistente, integrada, permitindo a realização de uma série de estudos e simulações da construção ao longo de seu ciclo de vida, desde o estudo de viabilidade, a concepção do projeto, passando pela construção, operação, manutenção até demolição e/ou reuso.

Este artigo trata do *3D laser scanning* (terrestre e aereotransportado) e da tecnologia BIM, suas características e aplicações em Arquitetura e Urbanismo. São apresentados alguns exemplos do uso integrado dessas tecnologias, e o potencial de melhorar significativamente o processo de criação, documentação e gerenciamento das edificações e das cidades, em diversos níveis e em diferentes aplicações.

Tecnologia 3D Laser Scanning

Nas últimas décadas, foram realizados grandes avanços relacionados a sistemas de aquisição de dados geométricos tridimensionais, ferramentas para processamento, visualização, gerenciamento e análise de dados espaciais.

A variedade dos novos sensores (orbitais, aerotransportados e terrestres) tem contribuído para o desenvolvimento de tecnologias digitais de reconstrução tridimensional, destacando-se o *3D Laser Scanning* e a Fotogrametria Digital (incluindo a técnica de captura de nuvens de pontos por fotografias), que representam o estado da arte em termos de técnicas de levantamento cadastral.

O *3D Laser Scanning*, também conhecido como Sistema de Varredura a *Laser*, Perfilamento a *Laser* ou *High Definition Survey* (HDS), é uma tecnologia que permite obter modelos geométricos tridimensionais – nuvem de pontos (coordenadas x, y, e z) – a partir da varredura do objeto com um feixe de raios *laser*, efetuado por um equipamento específico (*scanner*).

Cada um destes pontos, que formam a nuvem de pontos, é representado por suas coordenadas cartesianas e um ou mais atributos associados ao mesmo. É possível representar a nuvem de pontos:

- em “falsa cor” (Figura 1a), onde a cor pode representar a distância do ponto ao equipamento, ou a outras características, como a refletância do material que constitui a superfície, a temperatura, ou outras propriedades de interesse;
- na cor do objeto (Figura 1b), que corresponde à cor visível no ponto, através do mapeamento dos *pixels* contidos na fotografia sobre a nuvem de pontos.

O modelo “nuvem de pontos” representa o nível mais básico de visualização dos dados e geralmente requer significativo espaço de armazenamento. Para a maioria das aplicações (além de medições e visualização geral), esse modelo precisa ser convertido em outros produtos. Existem no mercado diversos programas para processamento de nuvem de pontos, que permitem obter (a depender do *software* utilizado): desenhos (Figura 1c), modelos geométricos tridimensionais – do tipo superfície, *Non-Uniform Rational B-Splines* (NURBS), sólido ou paramétrico – animações, ou ainda produtos derivados como modelos BIM e modelos físicos, produzidos por tecnologias de fabricação digital. A escolha da técnica ou do *software* para processamento da nuvem de pontos vai depender do objeto e da aplicação desejada.

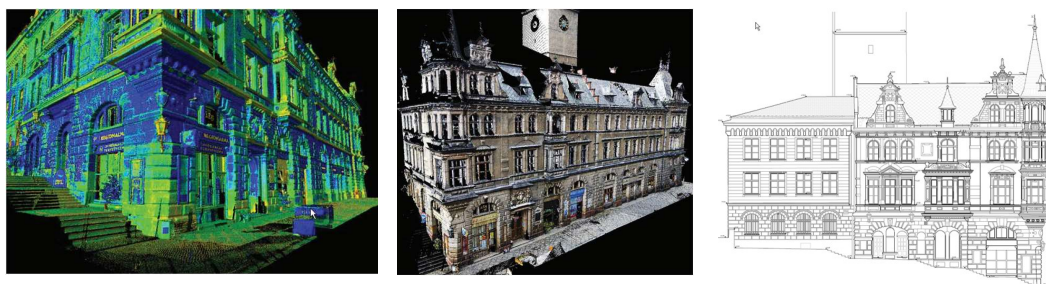


Figura 1: Levantamento da Town Hall Building, na cidade de Klodzko, Polônia: (a) Nuvem de pontos em “falsa cor”; (b) Nuvem de pontos que correspondem à cor do objeto; (c) Desenho da fachada.

Fonte: <http://www.3deling.com/elevations-scanning-klodzko/>

O *3D laser scanning* apresenta uma série de vantagens em relação às técnicas tradicionais de levantamento cadastral, dentre elas pode-se citar:

- grande flexibilidade, uma vez que pode ser usada para o levantamento de objetos de pequenas (detalhes arquitetônicos) ou grandes dimensões (centros urbanos), de formas simples ou extremamente complexas;
- precisão, que pode variar do centímetro em *laser scanner* aerotransportado (no levantamento de cidades) ao submilímetro, dependendo do equipamento, da técnica usada e da distância para o objeto;
- tempo reduzido para o levantamento de grande quantidade de informação e diminuição ou eliminação da necessidade de retorno ao campo para a obtenção de novos dados (muito comum no levantamento tradicional), além da possibilidade de se trabalhar na ausência de luz;
- a “nuvem de pontos” fica armazenada e pode ser utilizada posteriormente para se obter novos produtos ou ainda para se verificar ou refinar (detalhar) modelos criados anteriormente.

Existem três grandes grupos de equipamentos que trabalham com diferentes princípios de funcionamento, a saber: (1) tempo de voo – *Light Detection And Ranging* (LIDAR), (2) diferença de fase e, (3) triangulação. As principais diferenças desses equipamentos estão relacionadas aos seguintes parâmetros: alcance (distância do equipamento ao objeto levantado), precisão e velocidade de varredura. O primeiro (LIDAR), é o sistema que permite os maiores alcances (que pode variar do metro a poucos quilômetros), porém é o menos preciso, sendo usado geralmente para o levantamento de grandes edificações ou de cidades. Os *scanners* baseados em diferença de fase (*phase shift*) apresentam maior precisão (em torno de 2 mm a uma distância de 50 m do objeto) e velocidade de varredura, se comparado ao LIDAR. Os *scanners* baseados no princípio da triangulação são os mais precisos (submilímetro), porém apresentam os menores alcances (poucos centímetros até 25 m, dependendo do equipamento), sendo adequados para a varredura de objetos de pequenas dimensões, como esculturas e detalhes.

O *3D Laser Scanning* pode ser classificado em duas grandes categorias, que variam de acordo com o posicionamento do sistema de varredura (*scanner* e outros equipamentos associados) e que apresentam aplicações diferenciadas:

- Laser scanning terrestre ou Terrestrial Laser Scanning (TLS);
- Laser scanning aerotransportado ou Aerial Laser Scanning (ALS).

3D Laser Scanning terrestre

O *laser scanning* terrestre caracteriza-se por apresentar o equipamento posicionado sobre ou próximo à superfície da Terra, podendo ser fixo (estático) ou em plataforma

móvel (dinâmico). É adequado para levantamento rápido, preciso e detalhado de pequenos objetos (como esculturas e elementos decorativos) a grandes edificações.

O *laser scanner* estático é composto basicamente por três unidades: o próprio *scanner*, geralmente fixado em um tripé, um microcomputador portátil e uma bateria (Figura 2a). O *laser scanner* funciona basicamente da seguinte forma (Figura 2b): os dados coletados pelo sistema são transferidos imediatamente para um computador, o qual possui um *software* específico para o processamento dos sinais emitidos e capturados, de modo a determinar no espaço a posição de cada um dos pontos a partir dos quais os raios são refletidos.

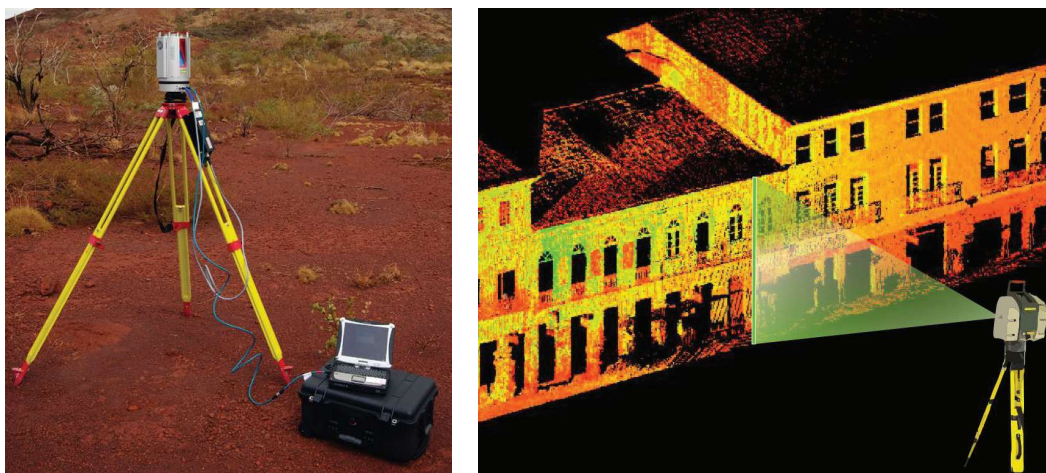


Figura 2: (a) Laser scanner estático RIEGL; (b) representação do scanner em funcionamento, para obtenção da nuvem e pontos.

Fonte: (a) <http://www.riegl.com>, © RIEGL Laser Measurement Systems, Austria; (b) Elaborado por Natalie Groetelaars, 2013

Com relação ao sistema dinâmico, pode-se classificá-los em dois tipos:

- *outdoor mobile scanning* – levantamento de espaços externos;
- *indoor mobile scanning* – levantamento de espaços internos.

O sistema *outdoor mobile scanning* inclui os sensores a *laser*, de navegação, GPS e câmeras de vídeo (Figura 3a), equipamentos geralmente montados em veículos, para o escaneamento de estradas, pontes, túneis, fachadas de edificações e cidades (Figura 3b). Segundo Perry (2010), esse sistema permite capturar 400.000 pontos por segundo, com resolução a partir de 3 mm, e cita um exemplo de levantamento de uma via de 50 km de comprimento, que foi escaneada em um único dia.

O sistema *indoor mobile scanning* (Figura 4a) é ainda mais recente do que o anterior, no qual o *scanner* é montado em uma plataforma móvel, que pode ser operada a distância, ou circular de forma autônoma ao longo de uma edificação. É composto por: *laser scanner* (do tipo LIDAR), unidade de medição inercial, câmera especial (para

captura de imagens georreferenciadas e panoramas esféricos em 360 graus), sistema para armazenamento dos dados e bateria. O modelo de nuvem de pontos é gerado enquanto o sensor se movimenta, através de um método chamado localização e mapeamento simultâneo, realizado por sensores inerciais e outros métodos, que permitem determinar a localização do *scanner* à medida em que se desloca.

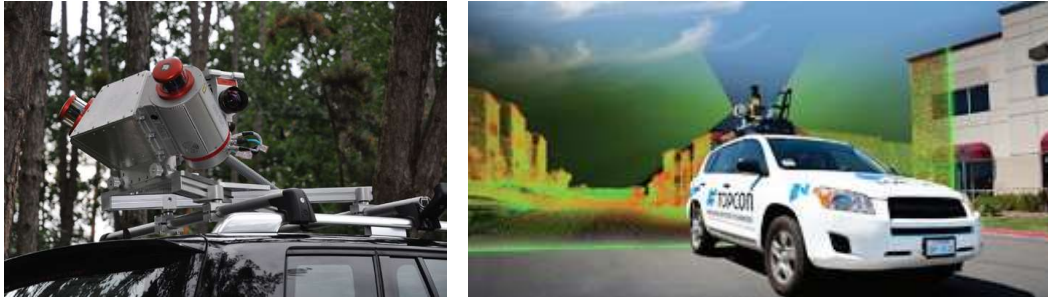


Figura 3: Laser scanning terrestre dinâmico: a) Equipamentos do sistema *outdoor mobile scanning* montados em um veículo; b) Representação do processo de escaneamento de vias e edificações realizado no sistema de varredura móvel da Topcon.

Fonte: (a) <http://www.riegl.com>, © RIEGL Laser Measurement Systems, Austria; (b) <http://www.topconpositioning.com/news-events/news/company-news/topcon-display-mobile-mapping-system-spar>

Trimble (2010) descreve um levantamento realizado em uma escola americana com o sistema – *Trimble Indoor Mobile Mapping Solution* (TIMMS). A escola Northwood-Kensett High School, com aproximadamente 7.000 m² de área, foi escaneada em 5 horas, o que representou uma redução de 80% do tempo de captura em relação ao método *3D laser scanning* estático (Figura 4).



Figura 4: (a) Sistema TIMMS; (b) Vista em planta da nuvem de pontos na escola Northwood-Kensett High School; (c) Foto do exterior da escola; (d) Nuvem de pontos com textura aplicada no interior de uma sala de aula.

Fonte: Trimble, 2010.

Devido à grande velocidade na aquisição das nuvens de pontos de espaços interiores, este sistema é uma importante forma de levantamento para áreas de grandes dimensões, como aeroportos e teatros. No entanto, ainda não permite substituir completamente o *laser scanning* estático, dada a menor precisão do levantamento.

3D Laser Scanning aerotransportado

O *Laser Scanning* Aerotransportado (ALS) caracteriza-se por apresentar o *laser scanner* (tipo LIDAR) posicionado em aeronaves (Figura 5). Segundo Centeno e Mitshita (2007), o sistema é composto por:

- *laser scanner* - que mede a distância entre os objetos na superfície terrestre e o sensor;
- sistema de GPS diferencial - encarregado de obter a posição do sensor no momento da medição de cada ponto;
- unidade de medição inercial - encarregada de calcular a inclinação do sensor nas três direções (ω , φ , κ).

É adequado para o levantamento de grandes áreas, inclusive urbanas. Geralmente a aeronave percorre a região de interesse a uma altura de voo que pode variar de 1.000 a 3.000 m, medindo cerca de 150.000 pontos por segundo, e criando uma nuvem de pontos com densidade de 1 a 5 pontos por metro quadrado, permitindo uma precisão em torno de 10 a 15 cm em relação à altura e na ordem de 50 cm em relação às dimensões horizontais.

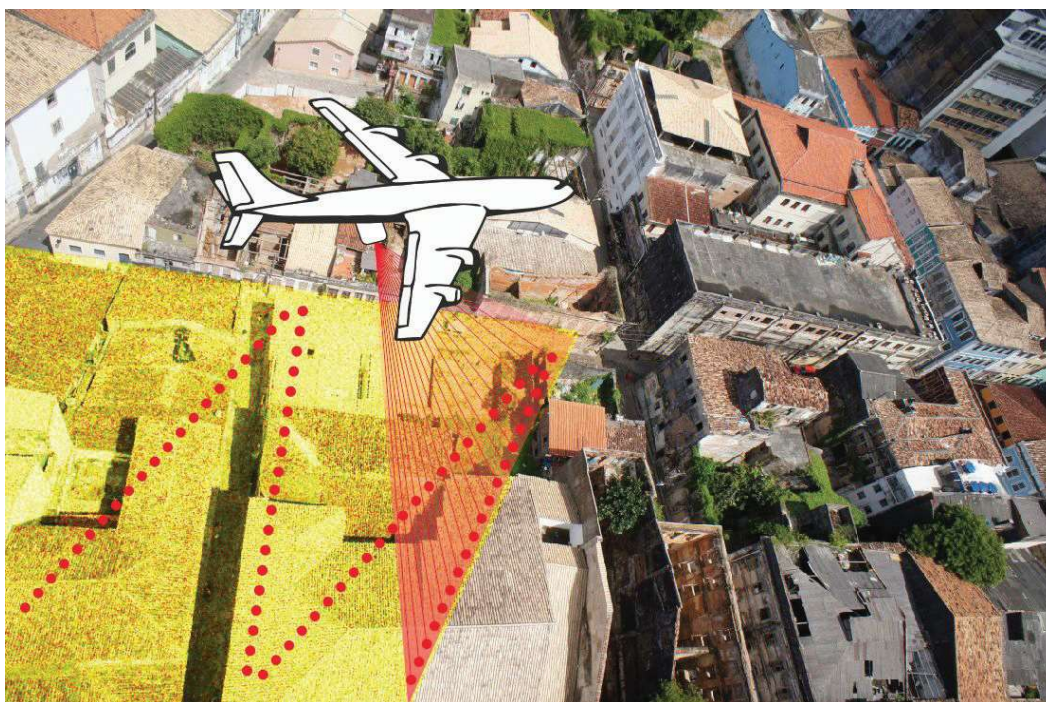


Figura 5: Sistema *laser scanning* aerotransportado.
Fonte: Elaborado por Natalie Groetelaars, 2013.

Aplicações do 3D Laser Scanning em Arquitetura e Urbanismo

O processo de documentação de objetos existentes (desde pequenos objetos, a edificações ou cidades) é necessário para muitas atividades em Arquitetura e Urbanismo. Pode-se citar alguns exemplos de aplicações do 3D laser scanning:

- obtenção rápida e precisa de modelos “as built” (como construído), visando à documentação das edificações existentes para diversas finalidades, como: base para intervenções: restauração, reforma, reabilitação ou requalificação, para operação e manutenção, ou realização de diversas análises e simulações;
- registro do patrimônio arquitetônico necessário para sua preservação e divulgação, permitindo realizar o mapeamento de danos, a análise estrutural e o diagnóstico estado de conservação;
- visualização de uma edificação em fase de projeto num contexto urbano real;
- geração de modelos “as is” (como se encontra) para acompanhamento de obras em tempo real, permitindo verificar o grau de conformidade entre os elementos projetados e construídos;
- possibilidade de melhorar o controle da produção de obras, permitindo, por exemplo, a partir do levantamento a laser em intervalos regulares de tempo, checar a produtividade de trabalhos de movimentação de terra.

As vantagens de utilização do 3D laser scanning como técnica de levantamento crescem à medida em que aumentam as dimensões e a complexidade das edificações, casos nos quais é difícil ou inviável a medição através de métodos diretos.

A técnica de levantamento a partir do sistema dinâmico é promissora, tanto nas aplicações terrestres - *indoor* e *outdoor* (Figura 6a), como aerotransportada (Figura 6b), devido à rapidez ainda maior no levantamento das informações.

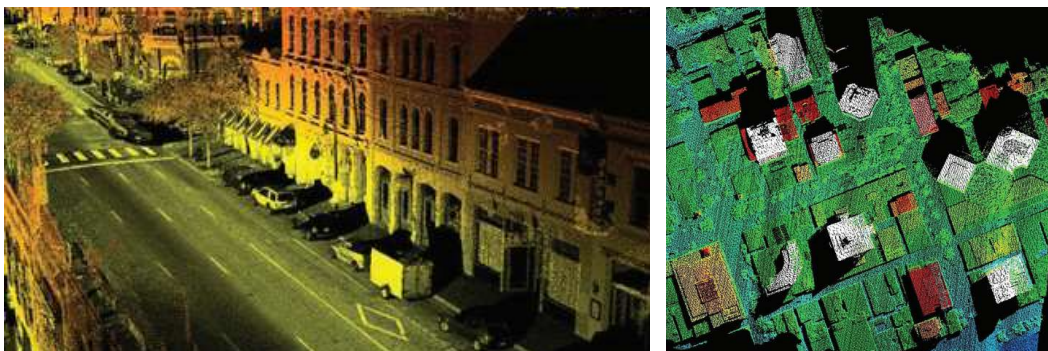


Figura 6: Nuvens de pontos obtidas por sistemas a laser dinâmicos: (a) Trecho de uma avenida, obtido pelo sistema terrestre; (b) Trecho de uma cidade, capturada pelo sistema aerotransportado.

Fonte: (a) <http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=70599>;
(b) <http://www.riegl.com>, © RIEGL Laser Measurement Systems, Austria.

Com relação ao sistema aerotransportado, podemos citar dois exemplos de criação de modelos urbanos digitais. Os modelos tridimensionais das cidades de Karlsruhe e Stuttgart, ambas na Alemanha, são apresentados por Bähr (2001) e Malambo e Hahn (2010), respectivamente.

Ambos os autores tratam das potencialidades da integração de dados obtidos por *laser scanner* e dados obtidos por imagens aéreas ou orbitais. Essa integração permite automatizar e tornar mais precisa a classificação dos diversos elementos da nuvem de pontos da área levantada (edificações, vias, árvores etc.).

O primeiro exemplo é de um levantamento do *campus* da Universidade de Karlsruhe (hoje Karlsruhe Institute of Technology - KIT). A Figura 7a mostra o resultado não satisfatório de classificação de uma imagem multiespectral, realizada por processos automáticos. Percebe-se que há problemas no reconhecimento e separação dos elementos “edificação” e “pavimentação”, devido às propriedades espectrais semelhantes entre o material da cobertura e da pavimentação. A Figura 7b ilustra a classificação feita pelo mesmo algoritmo a partir da inclusão da nuvem de pontos (com dados sobre as alturas dos objetos) sobre a imagem de satélite anterior. Pode-se perceber uma melhora significativa dos resultados, pelo acréscimo das nuvens de pontos obtidas por 3D *laser scanning* aerotransportado (BÄHR et al., 2001).

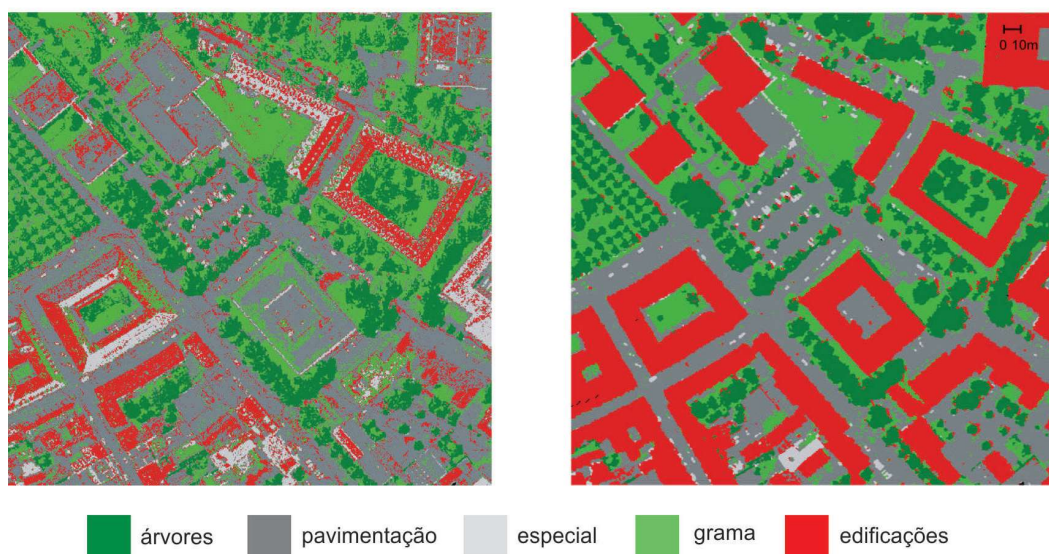


Figura 7: Processo automatizado de classificação de imagens do campus da Universidade de Karlsruhe: (a) Resultado insatisfatório; (b) Resultado mais preciso de classificação da imagem com o acréscimo das informações obtidas pelo escaneamento a laser.

Fonte: Bähr et al., 2001.

O segundo exemplo descreve o processo de criação de um modelo geométrico da Universidade de Ciências Aplicadas de Stuttgart, a partir da combinação de vários tipos de dados (MALAMBO; HAHN, 2010):

- nuvens de pontos obtidas pela tecnologia LIDAR aerotransportada, como fonte de dados para a criação do modelo digital de terreno e do modelo geométrico das edificações (Figura 8a e 8b);
- nuvens de pontos capturadas pelo sistema LIDAR terrestre (sobre plataforma móvel) e fotos terrestres como fonte de informações mais detalhadas das fachadas das edificações;
- imagens de satélite do Google Maps como base para vetorização dos contornos das edificações (Figura 8c);



Figura 8: (a) Nuvem de pontos original - não classificada; (b) Nuvem de pontos classificada: terreno na cor cinza e edificações em vermelho; (c) Modelo Digital de Terreno e contorno das edificações.

Fonte: Malambo; Hahn, 2010.

A partir do processamento desses dados em diversos programas, obteve-se inicialmente o modelo digital de terreno, com o contorno das edificações (Figura 8c). Posteriormente, foram modeladas as edificações do *campus* (Figura 9a) e aplicadas as texturas obtidas por imageamento por satélite e tomadas fotográficas terrestres (Figura 9b).



Figura 9: Modelo geométrico do campus da Universidade de Stuttgart: (a) sem a textura real; (b) com texturas capturadas das coberturas e das fachadas (imageamento por satélite e tomadas terrestres, respectivamente).

Fonte: Malambo; Hahn, 2010.

Segundo Malambo e Hahn (2010), a integração das tecnologias *3D Laser Scanning* Aerotransportado e Fotogrametria Digital tem apresentado resultados promissores para a criação de modelos geométricos de cidades. A primeira permite maior precisão com relação às informações altimétricas, sendo mais adequada para a criação de modelos digitais de terreno e para a determinação das alturas das edificações. Já a Fotogrametria Digital tem sido mais precisa para a obtenção dos dados planimétricos, como os contornos das edificações e das vias.

Verifica-se, portanto, que as nuvens de pontos obtidas principalmente pelos sistemas dinâmicos de varredura permitem gerar uma série de produtos (plantas planialtimétricas, modelos digitais de terreno, modelos tridimensionais de cidades) precisos e atualizados de espaços urbanos, essenciais ao desenvolvimento de projetos urbanísticos e à gestão das cidades, uma vez que possibilita:

- classificar o uso e a ocupação do solo, obtendo dados para planejamento de intervenções em área urbana, e permitir o monitoramento das modificações ao longo do tempo;
- perceber melhor a paisagem urbana, sua configuração geral e suas relações com o sítio;
- compreender as relações entre os diversos elementos construídos e entre os espaços construídos e espaços vazios (áreas verdes, praças etc.);
- simular e avaliar os impactos ambientais;
- dar suporte ao gerenciamento e recuperação das cidades após desastres naturais (furacões, enchentes, incêndios e terremotos);
- dar suporte a intervenções em favelas.

No caso de enchentes, o levantamento de cidades permite a identificação de uma série de aspectos, como: o padrão de drenagem, o fluxo das águas, as áreas de risco baseadas na declividade de encostas e, além disso, possibilita a realização de simulações de áreas inundáveis, prevenindo ou evitando grandes danos (BRANDALIZE, 2010).

Em se tratando de incêndios e terremotos, o levantamento das edificações e dos espaços urbanos permite identificar as modificações da geometria das edificações, tornando mais eficazes e precisas as medidas de salvamento, além de possibilitar a recuperação ou reconstrução das estruturas a partir do registro preciso da área, antes do desastre.

Como exemplo do uso do *3D laser scanning* para gerenciamento e recuperação de cidades após catastrofes ambientais, pode-se citar o levantamento da região de Nova Orleans, realizado antes e após à passagem do furacão Katrina (Figura 10), em 2005, que teve papel crucial no gerenciamento e recuperação da cidade (BRANDALIZE, 2010).



Figura 10: (a) Medições e anotações sobre nuvem de pontos de um trecho de Nova Orleans; (b) Detalhe de uma estrutura abalada (inclinada em 5 graus) pelo furacão.
Fonte: Seed et al., 2006.

Com relação às aplicações em favelas, pode-se fazer algumas considerações. As favelas apresentam características próprias que geralmente dificultam a utilização de métodos tradicionais de levantamento, como: adensamento excessivo, irregularidade das construções, vias de acesso geralmente estreitas e sinuosas, terrenos com declividade acentuada, instabilidade construtiva das moradias, além de serem áreas muito dinâmicas, com intenso processo de transformação, que precisam de atualização constante.

A documentação e o monitoramento de favelas exigem o desenvolvimento de processos automatizados para captura e extração de informações. Bons resultados podem ser obtidos a partir da fusão de dados de *laser scanner* com imagens digitais.

O levantamento preciso e atualizado das favelas permite dar suporte para a realização de uma série de ações, como:

- determinação aproximada das populações residentes ou projeções de crescimento, a partir da estimativa da área construída;
- controle da ocupação, dos crescimentos horizontal e vertical, da área construída;
- monitoramento da deformação ou movimentação do maciço terroso;
- identificação de áreas prioritárias;
- execução de obras de infraestrutura: drenagem, pavimentação, rede pública de esgotamento sanitário, coleta de lixo, abastecimento de água, energia elétrica;
- execução de contenções e equipamentos públicos (postos de saúde, escolas, postos policiais etc.);
- ou seja, possibilita a urbanização e a realização de projetos sociais de forma mais consistente e integrada.

O Paradigma BIM

A tecnologia BIM representa o que há de mais novo em termos de sistema de auxílio à realização de uma série de atividades no setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), como: desenvolvimento de projeto, representação, construção e gerenciamento da edificação (incluindo a possibilidade de demolição e de reuso), permitindo integrar as diversas disciplinas e profissionais envolvidos em cada fase do ciclo de vida da edificação (Figura 11).

A sigla BIM vem do inglês: *Building Information Modeling*, e tem sido traduzida no Brasil como: Modelagem da Informação da Construção. Segundo Amorim (2010), BIM compreende um conceito complexo que encerra pelo menos três dimensões: o conceito em si, o modelo (base de dados única) e as ferramentas.

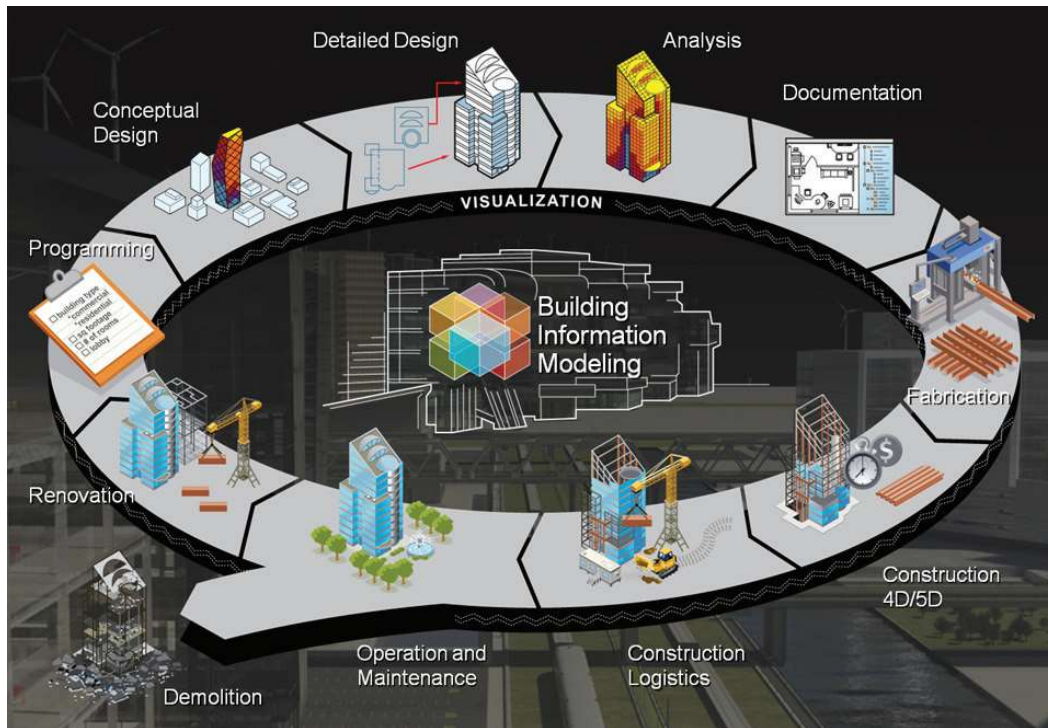


Figura 11: Tecnologia BIM gerenciando o ciclo de vida da edificação.

Fonte: <http://buildipedia.com/in-studio/design-technology/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim>

Enquanto conceito, BIM compreende a ideia de um ambiente computacional complexo, para projeção, representação e gerenciamento do edifício virtual, implementado num sistema gráfico tridimensional, que permite a participação de diversos especialistas que interagem entre si e interferem na edificação durante o seu ciclo de vida de forma colaborativa e integrada.

Como modelo, BIM pode ser entendido como Edifício Virtual, ou seja, uma base de dados digital (numérica) única, integrada, autoconsistente, capaz de representar uma edificação e permitir operações sobre o conjunto de objetos parametrizados e orientados a AECO que a constitui. Os componentes do modelo referem-se a elementos arquitetônicos ou construtivos (e não representações abstratas comumente usadas nas ferramentas CAD), e são definidos por sua geometria tridimensional, seus atributos (materiais, custos etc.), comportamento, e suas relações com os demais componentes da construção.

O BIM, enquanto ferramenta, ou tecnologia propriamente dita, representa uma nova geração de “programas inteligentes” orientados a objetos (AECO) que se propõem a produzir e a gerenciar toda a informação do ciclo de vida da edificação. Portanto, as ferramentas BIM estão envolvidas no projeto, na construção e na operação das edificações. Deste modo, produz, armazena e gerencia documentos de variadas naturezas sobre a construção, no decorrer do seu ciclo de vida.

A partir do modelo BIM criado, é possível gerar uma série de outros produtos, dentre eles podemos citar: desenhos, modelos fotorrealísticos, animações, análises e simulações, e ainda exportar o modelo para ser disponibilizado em um sistema de informações, em bancos de dados, ou aplicações de Realidade Virtual ou Realidade Aumentada, em plataformas *web*. Esses produtos e aplicações podem ser visualizados e manipulados por diversos usuários e podem sofrer atualizações, quando for o caso.

Aplicações da Tecnologia BIM em Arquitetura e Urbanismo

Podemos citar uma série de aplicações da tecnologia BIM na área de Arquitetura e Urbanismo, como aquelas que envolvem as fases de projeto e construção:

- melhora na visualização e representação das informações, onde os documentos gráficos como plantas baixas, cortes, fachadas e perspectivas são geradas automaticamente a partir do modelo único, diferentemente das ferramentas CAD mais tradicionais, que trabalham com representações fragmentadas da edificação. Estas representações demandam elevado tempo para elaboração e atualização de cada prancha e, muitas vezes, contêm ambiguidades e inconsistências;
- possibilidade de uso das informações contidas no modelo BIM para gerar com eficiência e precisão quantitativos, orçamentos, cronogramas, além de permitir exportar modelos derivados para programas específicos, visando a realização de análises e simulações de desempenho estrutural, energético, térmico, acústico e lumínico;
- a facilidade na obtenção de orçamentos permite avaliar rapidamente os custos associados às decisões de projeto, estimulando o estudo de alternativas de solução, mais adequadas técnica e economicamente;
- a base de dados centralizada e autoconsistente permite acumular todas as informações produzidas pelas equipes de trabalho, facilitando a colaboração, visto que todos os profissionais envolvidos têm acesso à mesma informação atualizada;
- eliminação de interferências entre as diversas disciplinas: arquitetura, estrutura, instalações elétricas, hidráulicas, ar condicionado etc.;
- facilidade para realizar revisões ou alterações de projeto, pois as informações são atualizadas automaticamente na base de dados que permite a geração de todos os produtos (documentos de projeto);
- possibilidade de análise semiautomática do projeto, validando-o segundo o código de obras – *code checking* (prática ainda não existente no Brasil), e
- planejamento e gerenciamento da obra, a partir da simulação e do acompanhamento das etapas de construção da edificação, dentre outras possibilidades de uso.

Além dessas aplicações, mais comumente citadas na literatura, e algumas já em prática no Brasil, geralmente associadas ao desenvolvimento de projetos e à construção de grandes edificações, pode-se vislumbrar o uso dessas tecnologias como instrumentos de gestão urbana, e especialmente no auxílio ao desenvolvimento de políticas sociais, a serviço das populações mais carentes. São citados a seguir dois trabalhos que discutem a utilização do BIM na área social, mais especificamente na área de habitação.

Segundo Nardelli (2010), o uso da tecnologia BIM abre uma nova perspectiva de enfrentamento do problema do déficit habitacional no Brasil, principalmente na categoria da população com renda entre 0 a 3 salários mínimos, que se encontra, em sua maioria, em áreas de ocupação irregular dos grandes centros urbanos, onde a terra é mais cara e a relação com entorno é mais complexa e variada.

Esse problema dificilmente pode ser resolvido através de processos tradicionais com tipologias rígidas que desconhecem os aspectos ambientais e socioeconômicos de cada lugar. Segundo Nardelli (2010), a possibilidade de se trabalhar diretamente sobre um modelo BIM das áreas de implantação desses empreendimentos facilita ou viabiliza a adoção de soluções mais complexas e, ao mesmo tempo, viáveis técnica e economicamente. Essa condução deverá considerar as variáveis de cada área, permitindo o estudo detalhado da solução, dialogando diretamente com a comunidade, ao invés da imposição de padrões.

Um dos principais efeitos práticos da utilização correta dos sistemas BIM será a antecipação das principais decisões que interferem no custo e na funcionalidade, permitindo o aproveitamento desse ganho de produtividade, para aumentar o tempo de estudo e de simulação de diversas alternativas de projeto, que, segundo Nardelli (2010, p. 404), “[...] poderão romper com os velhos paradigmas da produção em massa de moradia popular [...]”.

A esta possibilidade, soma-se a técnica de varredura a *laser*, para auxiliar na viabilização da produção de moradias populares a partir do aproveitamento de edifícios existentes (com outros usos). Além disso, é possível aumentar ou facilitar o processo de interação do projetista com futuros usuários, ainda no processo de concepção e desenvolvimento das propostas, a partir da utilização de ambientes imersivos e de maquetes produzidas através de prototipagem rápida (NARDELLI, 2010).

O segundo trabalho que trata do uso do BIM em área social é de Marcos (2009), que apresenta um estudo realizado em dois tipos de modelos de habitação de interesse social. O objetivo da pesquisa era analisar a quantidade de CO₂ emitido ao meio ambiente nas etapas de fabricação e transporte dos materiais e o erguimento da edificação (pré-operacional).

Para isso, os dois tipos de habitação, um modelo tradicional em alvenaria de bloco cerâmico e outro construído com madeira de reflorestamento (Figura 12), foram representados através de um *software* ArchiCAD, para a obtenção do quantitativo dos materiais de construção e do relatório de emissão de CO₂ de cada projeto.

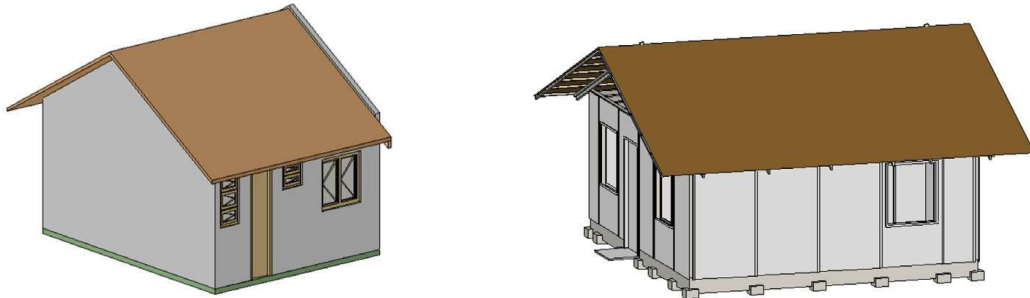


Figura 12: Modelos de casas representados no ArchiCAD: (a) Casa convencional (padrão COHAB-CT) em alvenaria de bloco cerâmico; (b) Casa de madeira de reflorestamento.

Fonte: Marcos (2009).

Observou-se que a quantidade de gás carbônico emitida no modelo de bloco cerâmico na fase pré-operacional é três vezes maior do que a casa de madeira, mesmo apresentando áreas equivalentes de construção (em torno de 35 m²).

Este estudo representa uma pequena amostra das possibilidades do uso do BIM para análise de edificações, em especial as habitações de interesse social, e seus impactos ambientais.

É importante ressaltar que, quanto maior e mais integrado for o uso do BIM, maiores serão as vantagens decorrentes para o desenvolvimento e a execução de projetos mais consistentes, embora isto possa significar mais trabalho (especialmente para os arquitetos) na fase de implantação da tecnologia ou, ainda, nas etapas iniciais do projeto.

Uso integrado do 3D Laser Scanning e BIM: exemplos de aplicações

O uso da tecnologia BIM tem sido visto como uma oportunidade de melhorar consideravelmente a gestão da edificação ao longo de seu ciclo de vida, não se restringindo somente ao processo de projeto e construção.

Uma das aplicações sugeridas para o BIM, segundo Claper e Salgado (2008), é o apoio à gestão de *facilities*, ou seja, a etapa de uso e manutenção da edificação, que requer, necessariamente, o registro preciso e detalhado da edificação (*as built*).

Os *scanners a laser* estão sendo cada vez mais usados no auxílio à modelagem BIM de edificações. Esse processo pode ser dividido em três etapas (TANG et al., 2010):

- aquisição de dados, na qual são obtidas nuvens de pontos de diferentes posições, visando cobrir todo o objeto;
- pré-processamento, na qual as nuvens de pontos são filtradas (remoção de informações indesejadas) e registradas (combinadas em um único arquivo, com um único sistemas de coordenadas), e
- modelagem, na qual as nuvem de pontos são transformadas em um modelo BIM. O processo criação do modelo BIM envolve três tarefas básicas, não necessariamente nesta ordem: (1) modelagem da geometria dos componentes; (2) associação do objeto a uma determinada categoria (ou família), com determinado material; (3) estabelecimento de relações entre os elementos da construção.

A seguir, são listadas algumas aplicações e vantagens de utilização do uso integrado do *laser scanning* e da tecnologia BIM, em Arquitetura e Urbanismo, especialmente no que se refere às edificações existentes:

- os modelos BIM gerados a partir de nuvens de pontos (obtidas pelo laser scanner) tendem a ser mais precisos e detalhados, e obtidos de forma mais rápida do que utilizando processos tradicionais de levantamento;
- os modelos BIM, por possuírem geralmente uma gama de informações bastante rica para todos os sistemas da edificação, podem ser usados como guia para verificá-los e consultá-los, durante a fase de operação da edificação;
- a documentação da edificação em uma base de dados única evita erros, ambiguidades de representação e facilita o armazenamento e o acesso às informações;
- o desenvolvimento de projetos mais consistentes, uma vez que se pode realizar uma série de estudos, simulações, análises de interferências entre instalações existentes e previstas no projeto;
- o registro da edificação na plataforma BIM é uma ótima base para modificações, revisões, e desenvolvimento de propostas de intervenção, inclusive visando o uso sustentável da mesma;
- é possível verificar a precisão de um modelo existente de edificação, comparando-se com o modelo de nuvem de pontos (levantamento atualizado), e visualizar as diferenças com uso de cores. A Figura 13a ilustra em azul a diferença de 3 cm entre os modelos, e em verde a diferença de 0,5 cm. O erro de 3 cm foi devido a um erro de modelagem, que considerava as paredes (térreo e primeiro pavimento) alinhadas, o que não era verdade (HUBER et al., 2010), e
- tende-se a ter um maior controle da obra, tanto em relação ao cronograma como à qualidade de execução dos serviços, evitando-se erros e desperdícios. É possível

monitorar periodicamente a edificação em suas diversas fases da construção, a partir da comparação do modelo de nuvem de pontos (mostrando o estágio atual da edificação sendo construída) com o modelo da edificação na fase de projeto (Figura 13b).

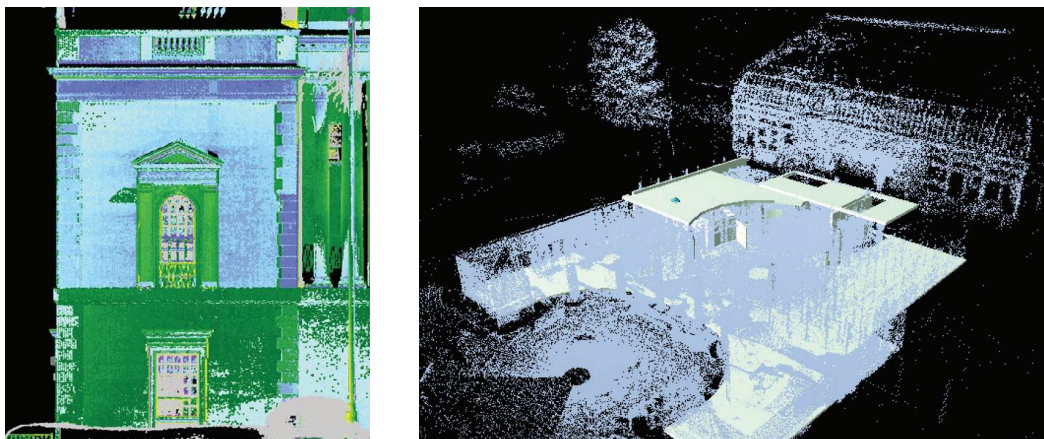


Figura 13: (a) Junção do modelo geométrico da edificação com a nuvem de pontos para verificação da precisão com uso de cores; (b) Comparação do modelo BIM (projeto) com as nuvens de pontos da edificação capturadas durante a construção.

Fonte: Huber et al., 2010.

Conclusões

Foram apresentados neste trabalho exemplos de aplicações das tecnologias *3D laser scanning* e BIM na Arquitetura e no Urbanismo. Verifica-se que é possível utilizar essas tecnologias para diversas finalidades, em diferentes escalas de abrangência e níveis de detalhamento. Não somente em edificações a serviço das grandes empresas/instituições, mas também no auxílio às intervenções em favelas, ao desenvolvimento de projetos e à construção de habitações de interesse social, contribuindo para uma melhor qualidade técnica, viabilizando a consideração de aspectos ambientais e as características socioculturais das comunidades envolvidas.

Assim, pode-se perceber que essas tecnologias são temas de grande relevância e que tem despertando interesse significativo na área de construção civil, da documentação do patrimônio e de avaliação da eficiência energética. No entanto, verifica-se que as tecnologias *3D laser scanning* e BIM geralmente são tratadas de forma isolada, a primeira mais em eventos voltados à documentação do patrimônio e a segunda, mais em eventos ligados à construção civil e à representação e projeção arquitetônica com uso de tecnologias computacionais.

Apesar da grande demanda por levantamentos de edificações e de espaços urbanos, o *3D laser scanning* ainda é pouco utilizado no Brasil. Estes processos são mais usados na área industrial ou desenvolvidos em pesquisas realizadas em universidades

públicas. Um dos grandes entraves para a utilização mais efetiva do *laser scanning* em diversas áreas está associado à questão do custo elevado da tecnologia e à falta de “tradição” ou de cultura técnica do país. Ainda predominam as técnicas tradicionais de levantamento (medição direta e métodos topográficos), a representação através de desenhos feitos em ferramentas CAD e, mais raramente, através de modelos geométricos tridimensionais (CAD 3D).

A maior parte das pesquisas tratam da utilização da tecnologia BIM para o desenvolvimento de novos projetos e para a otimização da construção. Percebe-se o uso subutilizado da tecnologia, uma vez que o foco (principalmente dos arquitetos) passa a ser a obtenção automatizada dos desenhos a partir do modelo único. Estes desconhecem ou não utilizam importantes recursos do BIM, como a possibilidade de colaboração (entre os diversos profissionais), a integração das diversas disciplinas (verificação de interferências e compatibilização de projeto), a simulação das fases de construção, e a simulação do desempenho energético, para obtenção de edificações de melhor qualidade, a menores custos e tempo de construção.

Observa-se que não há no país estudos detalhados sobre a utilização da tecnologia BIM para a documentação de edificações existentes (sendo mais comum o uso em situação de projeto), muito menos sobre o seu uso integrado com os sistemas de varredura para captura de nuvens de pontos. Os poucos artigos publicados na literatura internacional tratam esse assunto de forma especulativa, sem abordagens consistentes, seja em relação aos aspectos conceituais, seja referente às metodologias de trabalho.

Acredita-se que, apesar das dificuldades iniciais de apreensão e utilização dos novos paradigmas impostos ao setor de AECO, enfrenta-se um momento de ruptura, de grandes mudanças na forma de conceber, pensar, representar e materializar a arquitetura. Trata-se de um novo saber, que impõe uma revisão profunda na formação e na prática profissional do arquiteto e urbanista.

Finalmente, esses dispositivos tecnológicos só podem ser usados de forma efetiva, contemplando todo seu potencial na busca de cidades mais sustentáveis, ambiental, econômica e socialmente, após profunda mudança cultural envolvendo concepções e práticas, inclusive gestão.

Natalie Johanna Groetelaars, arquiteta, professora assistente da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA), mestre e doutoranda em Arquitetura e Urbanismo pelo Programa de Pós-Graduação – Arquitetura e Urbanismo (PPG-AU/FAUFBA). Email: natgroet@ufba.br

Arivaldo Leão de Amorim, engenheiro civil e arquiteto, mestre e doutor em Engenharia de Transportes pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), professor titular da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA) e professor colaborador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Paraíba (PPGAU/UFPB). Email: alamorim@ufba.br

Agradecimentos

Agradecemos aos autores, empresas e *websites* que permitiram a publicação das imagens utilizadas neste artigo. As fontes, autorias e créditos estão devidamente identificados junto às respectivas imagens.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, Arivaldo Leão de. **BIM – Building Information Modeling**. Notas de Aula da disciplina Informática e Desenho I. Salvador: Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, 2010.
- BÄHR, Hans-Peter, et al. Aerolevantamento com laserscanning: resultados da cooperação Toposys e Universidade de Karlsruhe / Alemanha. In: **Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia**. Porto Alegre, 2001. Anais do XX CBC. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2001.
- BRANDALIZE, Amauri Alfredo. O laser como ferramenta para prevenir e gerenciar catástrofes de inundação. In: **Mutirão**. [s.l.], v. 24, n. 97, mai. 2010.
- CENTENO, Jorge Antonio Silva; MITISHITA, Edson Aparecido. Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: a experiência da UFPR. In: **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, p. 3645-3652, 2007.
- CLAPER, J. R.; SALGADO, M. S. Gestão do conhecimento nas Instituições Públicas: uma abordagem no projeto de reabilitação de edifícios. In: **Anais do VIII Workshop Brasileiro Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2008.
- CHECCUCCI, Érica, et al. A difusão das tecnologias BIM por pesquisadores do Brasil. In: **Anais do TIC 2011 – V Encontro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção**. Salvador: FAUFBA, 2011.
- HUBER, Daniel, et al. Using Laser Scanners for Modeling and Analysis in Architecture, Engineering, and Construction. In: **Proceedings CISS 2010 – ILIV Annual Conference on Information Sciences and Systems**. Princeton: CISS, 2010.
- MALAMBO, Lonesome; HAHN, Michael LiDAR Assisted CityGML Creation. In: **Anais do AGSE 2010**. Stuttgart: Stuttgart University of Applied Sciences, p. 17-23, 2010.
- MARCOS, Micheline Helen Cot. **Análise da Emissão de CO2 na fase pré-operacional da construção de Habitações de Interesse Social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curitiba: Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, 2009.
- NARDELLI, Eduardo Sampaio. Tecnologia digital avançada na produção de Habitações de Interesse Social – HIS no Brasil. In: **Anais do SIGRADI 2010 – XIV Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital**. Bogotá: Universidad de los Andes, p. 403-406, 2010.
- PERRY, Gordon. 3D Scanning: High-Definition Mobile Mapping. In: **Professional Surveyor Magazine**. Maryland: Flatdog Media, v. 30, fev. 2010. Disponível em: <<http://www.profsurv.com/magazine/article.aspx?i=70599>>. Acesso em: 25 jul. 2011.
- SEED, Raymond B, et al. **Investigation of the Performance of the New Orleans Flood Protection Systems in Hurricane Katrina on August 29, 2005**. Volume II: Appendices. 2006. Disponível em: <<http://walrus.wr.usgs.gov/geotech/katrina/#DATA>>. Acesso em: 25 jul. 2011.
- TANG, Pingbo, et al. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. In: **Automation in Construction**. Oxford: eCAADe, IAARC, C.I.B, v. 19, n. 7, p. 829-843, nov. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2010.06.007>>. Acesso em: 30 dez. 2010.
- TRIMBLE indoor mobile mapping solution (TIMMS): case study. Trimble, 2010a. Disponível em: <www.trimble.com/Indoor-Mobile-Mapping-solution/pdf/TIMMSHighSchool_CaseStudy.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2011.
- TRIMBLE indoor mobile mapping solution (TIMMS): high efficiency, maximum flexibility, all-in-one package. Trimble, 2010b. Disponível em: <<http://www.trimble.com/Indoor-Mobile-Mapping-Solution/pdf/TIMMSOverview.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2011.