



## ESTUDO EXPLORATÓRIO DAS TECNOLOGIAS DE CONTROLE DA QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, AUTOMATIZADAS E INTEGRADAS AO BIM

<sup>1</sup> Carla dos Santos de Oliveira Passos (SENAI CIMATEC) – carla.o.passos@hotmail.com; <sup>2</sup> Larissa da Silva Paes Cardoso (SENAI CIMATEC) – larissa.paes@fieb.org.br; <sup>3</sup> Herman Augusto Lepikson (SENAI CIMATEC) – herman.lepikson@fieb.org.br;

**Resumo:** Controlar a qualidade das obras com eficiência tem sido uma tarefa desafiadora na Construção Civil. A busca por automação dos processos e o avanço no uso de técnicas do *Building Information Modeling*, mobilizam o segmento para a aplicação de tecnologias integradas para o controle de qualidade das obras. Este trabalho visa explorar estas tecnologias já aplicadas no controle da qualidade, através de pesquisas de artigos científicos e patentes nacionais e internacionais. *Scanners a Laser*, Realidade Aumentada, Sensores 3D, fotogrametria, entre outros, têm sido objeto de pesquisas visando auxiliar nas inspeções automatizadas de elementos e serviços na obra, como também no melhor fluxo das informações de projeto. Ainda se faz necessário maiores aplicações dessas tecnologias em cenários reais para buscar resultados mais precisos, versáteis quanto aplicabilidade e acessíveis financeiramente às construtoras.

**Palavras-Chaves:** Controle de Qualidade; BIM; Automação; Construção Civil

## EXPLORATORY STUDY OF CONTROL TECHNOLOGY OF QUALITY IN CIVIL CONSTRUCTION AUTOMATED AND INTEGRATED TO BIM

**Abstract:** Controlling the quality of work sites efficiently has been a challenge task in Civil construction. Searching for automation of the processes, and the advance in using BIM techniques have boosted the experts to apply integrated technologies for controlling work quality. This study explores the technology already applied in the quality control, by searching scientific papers and national and international patents. Laser Scanners, Augmented Reality, 3D Sensors, Photogrammetry, among others, have been the aim of researchers to assist in the automated inspections of elements and services in the work, as well as in the best flow of design information. Greater applications of these technologies are still necessary in real scenario to seek more precise, versatile applicability and financially accessible results to the builders.

**Keywords:** Control of Quality; BIM; Construction; Automation; Inspection



## 1. INTRODUÇÃO

As empresas construtoras de edificações têm buscado a implantação de sistemas de gestão da qualidade com o objetivo de alcançar o aumento da competitividade no setor, a melhoria da qualidade dos produtos e melhoria da organização interna da própria empresa, através da participação em programas de certificação [1]. Atualmente, o principal programa é o PBQP-H, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat, que estimula o uso eficiente dos recursos existentes, oriundos de diferentes fontes (OGU – Orçamento Geral da União, FGTS – Fundo de Garantia do Tempo de Serviço, Poupança etc.) e aplicados por diferentes entidades (CAIXA, BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento, FINEP – Financiadora e Inovação e Pesquisa, SEBRAE, SENAI, etc.) [2].

Em muitos casos, o Sistema da Qualidade trouxe grande burocracia e poucas melhorias [1]. Os métodos tradicionais de Controle da Qualidade baseados em auditorias e validação do produto acabado comparando com os desenhos de projeto 2D são demorados, trabalhosos e propensos a erros humanos e, portanto, soluções alternativas são necessárias [3]. Isto é evidenciado no custo dos programas dentro do canteiro, onde 75% é referente ao processo de avaliação dos serviços, 2% em ações de prevenção e 23% em retrabalho [1].

Pesquisas foram feitas e sistemas foram introduzidos com relação à automação de captura de imagens da construção, processamento e compartilhamento de dados de projetos entre projetistas e construtores, utilizando tecnologias de câmeras, scanners RFID (*Radio-Frequency Identification*), sensores remotos, Realidade Aumentada e *scanners* a laser. Estes sistemas trouxeram melhorias em vários aspectos de projetos, logística, redução da pegada de carbono, saúde e segurança, aproveitamento de ativos e distribuição eficiente de mão-de-obra. Mas o setor de construção civil, em obras de pequena e média escala, não tem conseguido adotar tais sistemas de monitoramento automatizado, devido à dinamicidade da construção, insegurança e inadequação dos locais de construção para monitoramento através da tecnologia, processo de coleta de dados propensos a falhas e falta de integração entre as equipes. Assim, a maioria das construções ainda mantém seus sistemas de controle de qualidade dependentes de inspeções tradicionais lentas e imprecisas [4].

Em paralelo, o *Building Information Modeling* (BIM) surge como uma fonte de informação e um gerador de dados básicos para apoiar o gerenciamento. A entrada de grandes quantidades de dados ajuda o BIM a ver através de várias complexidades e incertezas, eliminando alguns riscos fundamentais, como os relacionados a desenhos de projeto e construção [5]. Existe um grande potencial em usar o BIM para o Controle da Qualidade na Construção, tendo como obstáculo a dificuldade em comparar os modelos 3D digitais diretamente com o projeto construído no canteiro [3]. No entanto, a maioria dos estudos nesta área tem sido limitada ao planejamento e alocação de recurso em canteiros de obras [6].

Neste contexto, este trabalho se propõe a identificar na literatura artigos de estudo de caso referentes a tecnologias automatizadas e integradas ao BIM aplicadas no Controle da Qualidade da Construção Civil, como também a procura de patentes



nacionais e internacionais para verificar as iniciativas de mercado e realizar a construção do levantamento bibliográfico sobre o tema.

## 2. METODOLOGIA

A primeira etapa desta revisão foi conduzida na base de dados eletrônica *ScienceDirect* com o intuito de identificar artigos que abordassem sobre tecnologias automatizadas e integradas ao BIM com aplicação no controle de qualidade dos serviços da Construção Civil. Assim, foram utilizados os descritores de busca, em idioma inglês: “*Construction; Quality; BIM*” e “*Monitoring; Quality; Scan-vs-BIM*”.

Para auxiliar a análise dos artigos foram definidos os seguintes critérios de inclusão:

- A partir de 2014;
- Tecnologia automatizada com aplicação no Controle de Qualidade da Construção;
- Tecnologia integrada ou em processo de integração com BIM;
- Artigos científicos ou originais.

Uma análise inicial foi realizada com base nos títulos dos artigos, descartando os que não atendiam aos critérios de inclusão. Depois foi feita a leitura dos resumos de todos os artigos que preenchiam os critérios de inclusão ou que não permitiam se ter certeza de que deveriam ser excluídos, sendo realizado novo descarte de artigos. Por fim, foi realizado o filtro final a partir da leitura total dos artigos filtrados e sintetizadas as informações contidas nos artigos incluídos na revisão.

A segunda etapa da revisão foi a pesquisa de Patentes nacionais, no INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) e no WIPO (*World Intellectual Property Organization*), referentes às tecnologias citadas nos artigos da revisão anterior, afim de identificar se já há desenvolvimento patenteado delas no País. A pesquisa foi feita sem limitação de período, a partir dos seguintes descritores, sob a exigência de ter todas as palavras da combinação no título da Patente: “*Inspeção; Qualidade*”; “*Inspeção; Construção*”; “*Qualidade; Construção*”; “*Construção; Automação*”; “*Construção; Realidade Aumentada*”; “*Construção; Scanner*”; “*Construção; Laser*”; “*BIM; Scanner*”; “*BIM; Realidade Aumentada*”; “*BIM; Sensores*”; “*BIM; RFID*”; “*BIM; Automação*”; “*BIM; Inspeção*” e “*BIM; controle da qualidade*”; “*BIM and Quality*”; “*BIM and Inspection*”; “*BIM and Monitoring*”; “*BIM and Laser*” e “*BIM and Augmented Reality*”.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

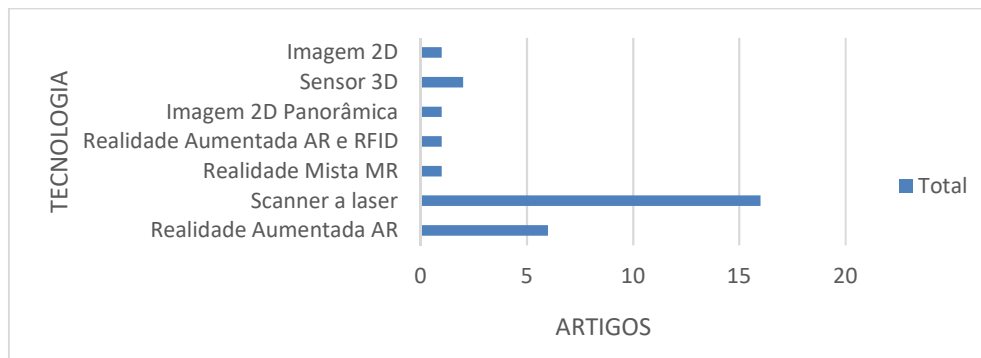
Com a realização da pesquisa de artigos, conforme descrição da metodologia deste trabalho, foram encontrados 1.112 artigos com os descritores informados. Destes artigos, após a filtragem segundo os critérios de inclusão, restaram 28 pertinentes ao tema da pesquisa, havendo uma concentração de pesquisas na China,



(3 artigos), no Canadá, (5 artigos), e nos EUA (7 artigos). Não houve nenhum artigo de autores de instituições brasileiras.

A partir da leitura dos artigos foi possível identificar sete tipos de combinações de Tecnologia aplicada no controle de Qualidade da Construção Civil, sendo o *Scanner* a Laser e a Realidade Aumentada os mais utilizados nos estudos de casos encontrados, conforme gráfico da Figura 1.

Figura 1 - Tecnologia x Artigos



O *scanner* a laser é, atualmente, a ferramenta mais aplicável, devido à sua facilidade de uso, robustez e precisão, para recuperar o *status* de *as-built* em canteiros de obras e captura de dados da construção [7,6,8,9], Entre as aplicações mais comuns de varredura a laser em construção pode-se incluir: controle da conformidade dimensional e de superfície de elementos pré-moldados ou não [8,9,10,11,12], modelagem 3D de estruturas para avaliação de deformações [13,14,15,16], controle de montagem e alinhamento de instalações industriais [6,17,18] e modelagem dos elementos da construção (paredes, tetos, portas e janelas) aplicados no controle de qualidade e progresso [7,19,20,21].

Já a realidade aumentada (AR - *Augmented Reality*) é a superposição de gráficos digitais sobre a visão do mundo real. Os usuários do AR experimentam o mundo real aprimorado com informações digitais, assim podem ser auxiliados em várias tarefas, tais como operações de engenharia e monitoramento do progresso da construção. O uso dessa tecnologia foi identificado em 8 dos 28 artigos pesquisados [4,22,23,24,25,26,27].

O controle da qualidade baseado em AR consiste em subsistemas de rastreamento, aquisição de dados, interação e exibição. A cena no local ao vivo pode ser capturada por câmera de vídeo, a coordenada global e da câmera virtual podem ser adquiridas por um subsistema de rastreamento. Um modelo de referência virtual, em 3D, seria sobreposto a uma imagem no local em tempo real. Então, a cena combinada será transmitida aos usuários finais por um subsistema de exibição. Quanto ao subsistema de interação humano-computador, ele pode ser usado para modificar a localização e o tamanho do modelo virtual. O subsistema de rastreamento em aplicações de AR é considerado a parte mais importante [22].



Foi feita a relação também da tecnologia com o domínio de aplicação. Foi verificado que dos 28 artigos, 20 foram relacionados à automação da Inspeção da Qualidade; 7 ao Fluxo das Informações de Projetos e Disciplinas no canteiro e 1 à identificação automatizada de materiais na construção. A Figura 2, através da tabela, relaciona o domínio com a tecnologia empregada e, conforme as funcionalidades e restrições de cada tecnologia, foi verificado que o Scanner a Laser é mais utilizado na automação da inspeção de Qualidade, enquanto a Realidade Aumentada tem maior aplicabilidade no Fluxos das Informações de Projetos no canteiro.

Figura 2 – Domínio de Aplicação, Tecnologia x Artigos

Aplicação e Tecnologia	Contagem de Tecnologia
<b>Classificação dos Materiais</b>	
Imagem 2D	1
<b>Fluxo das Informações de Projeto</b>	
Realidade Aumentada AR	5
Realidade Aumentada AR e RFID	1
Realidade Mista MR	1
<b>Inspeção Automatizada</b>	
Imagem 2D Panorâmica	1
Realidade Aumentada AR	1
Scanner a laser	16
Sensor 3D	2
<b>Total Geral</b>	<b>28</b>

Diversas abordagens têm sido propostas para resolver os desafios de integrar o BIM com dados em tempo real. Contudo, a maioria delas carece de validação prática ou são altamente dependentes nas especificações do domínio. De fato, várias abordagens estão relacionadas ao desenvolvimento de aplicações relativas a domínios de aplicação específicos, como (i) Gestão de Energia, (ii) Construção Automação, (iii) Controle de Incêndio, (iv) Saúde e Segurança, (v) Risco de segurança e (vi) Realidade aumentada. Nenhum destes é adaptável a uma ampla gama de domínios de aplicação [28].

O resultado da busca por Patentes nacionais, no INPI obteve 30 patentes das quais nenhuma é referente ao tema abordado. Porém, na busca por patentes internacionais, no WIPO, foram obtidas 57 patentes, todas da China, das quais 18 eram referentes a tecnologias automatizadas de controle de Qualidade na Construção integrada ao BIM. As patentes encontradas foram publicadas de 2016 até 2018, o que atesta a atualidade do tema (Figura 3a). A maioria trata de aplicações em domínios específicos da Engenharia (Figura 3b).

Das 18 patentes, 2 se destacam por proporem uma tecnologia com aplicabilidade em todas as etapas e sistemas construtivos da Obra e por abrangerem várias fases necessárias para o controle automatizado da Qualidade, desde a interface com o modelo do projeto em 3D, reconhecimento dos locais no canteiro de obras, captação e processamento das imagens ou pontos de nuvem 3D, comparação com o modelo 3D de projeto até a detecção das inconsistências. A patente de número 2, listada na Tabela 1, ainda possibilita o registro, pelo usuário, de todo o processo de tratamento das inconsistências.



Figura 3 – (a) Patentes X Ano e (b) Patentes x Domínio

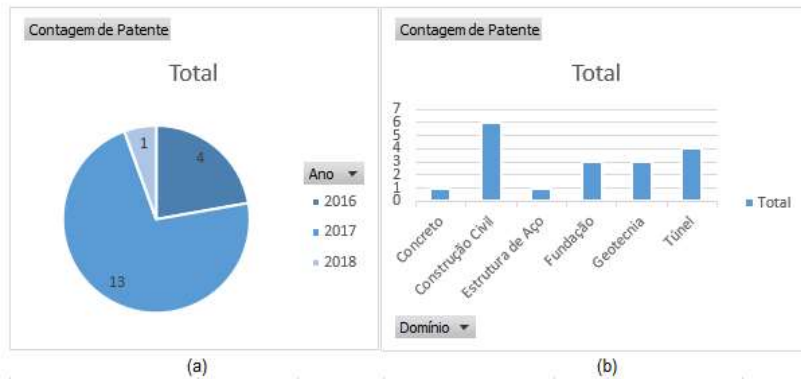


Tabela 1 - Principais Patentes Selecionadas na Pesquisa

Nº	Nº de Publicação	Título da Patente	Data de Publicação
1	106647585	Monitoring method and system based on BIM (building information module) three-dimensional model and intelligent safety helmet	10.05.2017
2	107506907	BIM-cloud-platform-based application of mobile terminal in engineering quality checking	22.12.2017

#### 4. CONCLUSÃO

A aplicação de tecnologias automatizadas e integradas com o BIM no controle da qualidade na Construção Civil têm sido objeto de pesquisa e desenvolvimento relevantes no cenário mundial, sendo identificados tanto publicações científicas quanto patentes, e tendo a China e o EUA como os principais países com atuação na área. No entanto, não foram identificados pesquisas ou patentes no Brasil, mesmo sendo pertinente às necessidades econômicas e setoriais do país, o que atesta a necessidade de se desenvolver soluções no tema e adequadas às condições específicas do Brasil.

Além disso, foi percebido que há uma variedade de tecnologias com possibilidade de interface com o BIM e aplicabilidade no controle de qualidade, como os Sensores 3D, *Scanners* a Laser, Fotogrametria e Realidade Aumentada. Entretanto é necessário mais pesquisas e aplicações em cenários reais para que métodos e tecnologias possam ser desenvolvidos ou criados afim de se tornarem mais precisos, versáteis quanto aplicabilidade e acessíveis financeiramente às construtoras.



## 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> DEPEXE, M. D. **Modelo de análise da prática da Qualidade em Construtoras: foco da Certificação e Custos da Qualidade.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2006.
- <sup>2</sup> CIDADES, M. D. PBQP-H. **Ministério das Cidades.** Disponível em: <[http://pbqp-h.cidades.gov.br/pbqp\\_apresentacao.php](http://pbqp-h.cidades.gov.br/pbqp_apresentacao.php)>. Acesso em: 18 julho 2018.
- <sup>3</sup> KALYAN, T. S. et al. Construction Quality Assessment using 3D as-built Models Generated with Project Tango. **International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction**, n. 145, p. 1416 – 1423, 2016.
- <sup>4</sup> ASGARI, Z.; RAHIMIAN, F. P. Advanced Virtual Reality Applications and Intelligent Agents for Construction Process Optimisation and Defect Prevention. **Procedia Engineering**, n. 196, p. 1130-1137, 2017.
- <sup>5</sup> AHMAD, Z.; THAHEEM, M. J.; MAQSOOM, A. Building information modeling as a risk transformer: An evolutionary. **Automation in Construction**, n. 92, p. 103-119, 2018.
- <sup>6</sup> NAHANGI, M.; HAAS, C. T. Automated 3D compliance checking in pipe spool fabrication. **Advanced Engineering Informatics**, n. 28, p. 360-369, 2014.
- <sup>7</sup> BUENOA, M. et al. 4-Plane congruent sets for automatic registration of as-is 3D point clouds with 3D BIM models. **Automation in Construction**, n. 89, p. 120-134, 2018.
- <sup>8</sup> KALASAPUDIA, V. S. et al. Adaptive 3D Imaging and Tolerance Analysis of Prefabricated Components for Accelerated Construction. **Procedia Engineering**, n. 118, p. 1060-1067, 2015.
- <sup>9</sup> KIM, M.-K. et al. A framework for dimensional and surface quality assessment of precast concrete elements using BIM and 3D laser scanning. **Automation in Construction**, n. 49, p. 225-23, 2015.
- <sup>10</sup> PURIA, N. et al. Assessment of compliance of dimensional tolerances in concrete slabs using TLS data and the 2D continuous wavelet transform. **Automation in Construction**, n. 94, p. 62-72, 2018.
- <sup>11</sup> KIM, M.-K. et al. Automated dimensional quality assurance of full-scale precast concrete elements using laser scanning and BIM. **Automation in Construction**, n. 72, p. 102-114, 2016.
- <sup>12</sup> WANG, Q. et al. Automated quality assessment of precast concrete elements with geometry irregularities using terrestrial laser scanning. **Automation in Construction**, n. 68, p. 170-182, 2016.
- <sup>13</sup> CABALEIRO, M. et al. Algorithm for beam deformation modeling from LiDAR data. **M. Cabaleiro a,†, B. Riveiro a, P. Arias b, J.C. Caamaño**, n. 76, p. 20-31, 2015.
- <sup>14</sup> OSKOUIE, P.; BECERIK-GERBER, B.; SOIBELMAN, L. Automated measurement of highway retaining wall displacements using terrestrial laser scanners. **Automation in Construction**, n. 65, p. 86-101, 2016.



- <sup>15</sup> ERKALA, B. G.; HAJJAR, J. F. Laser-based surface damage detection and quantification using predicted surface properties. **Automation in Construction**, n. 83, p. 285-302, 2017.
- <sup>16</sup> SEDEK, M.; SERWA, A. Development of new system for detection of bridges construction defects using terrestrial laser remote sensing technology. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, n. 19, p. 273-283, 2016.
- <sup>17</sup> NAHANGI, M. et al. Automated assembly discrepancy feedback using 3D imaging and forward kinematics. **Automation in Construction**, n. 56, p. 36-46, 2015.
- <sup>18</sup> NAHANGI, M.; HAAS, C. T. Skeleton-based discrepancy feedback for automated realignment of industrial assemblies. **Automation in Construction**, n. 61, p. 147-161, 2016.
- <sup>19</sup> BOSCHÉ, F.; GUENET, E. Automating surface flatness control using terrestrial laser scanning and building information models. **Automation in Construction**, n. 44, p. 212-226, 2014.
- <sup>20</sup> KIMA, P.; CHENB, J.; CHO, Y. K. SLAM-driven robotic mapping and registration of 3D point clouds. **Automation in Construction**, n. 89, p. 38-48, 2018.
- <sup>21</sup> BOSCHÉ, F. et al. The value of integrating Scan-to-BIM and Scan-vs-BIM techniques for construction monitoring using laser scanning and BIM: The case of cylindrical MEP components. **Automation in Construction**, n. 49, p. 201-213, 2015.
- <sup>22</sup> ZHOU, Y.; LUO, H.; YANG, Y. Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction. **Automation in Construction**, n. 82, p. 112-121, 2017.
- <sup>23</sup> MEŽA, S.; TURK, Ž.; DOLENC, M. Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system. **Automation in Construction**, n. 42, p. 1-12, 2014.
- <sup>24</sup> KALYANA, T. S. et al. Construction Quality Assessment using 3D as-built Models Generated with Project Tango. **Procedia Engineering**, n. 145, p. 1416-1423, 2016.
- <sup>25</sup> WANG, X. et al. Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry, n. 40, p. 96-105, 2014.
- <sup>26</sup> CHUA, M.; MATTHEWSA, J.; LOVE, P. E. D. Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study. **Automation in Construction**, n. 85, p. 305-316, 2018.
- <sup>27</sup> LOU, J.; XU, J.; WANG, K. Study on Construction Quality Control of Urban Complex Project Based on BIM. **Procedia Engineering**, n. 174, p. 668-676, 2017.
- <sup>28</sup> ALVES, M.; CARREIRA, P.; COSTA, A. A. BIMSL: A generic approach to the integration of building information models with real-time sensor data. **Automation in Construction**, n. 84, p. 304-314, 2017.