



## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# BIM E LASER SCANNING NA GERAÇÃO DE PROJETO “AS BUILT” DE SISTEMAS PREDIAIS HIDRÁULICOS E SANITÁRIOS<sup>1</sup>

ARAÚJO, Leticia Santos Machado de Araújo (1); ILHA, Marina Sangoi de Oliveira (2);

(1) IFSP – UNICAMP, e-mail: leticial@ifsp.edu.br; (2) UNICAMP, e-mail:  
milha@fec.unicamp.br

### RESUMO

Durante a vida útil de uma edificação, uma grande porcentagem das manifestações patológicas ocorre nos sistemas prediais hidráulicos e sanitários (SPHS). Nas manutenções desses sistemas, a tarefa de localização e verificação das condições dos seus componentes é normalmente dificultada, devido à superficialidade ou insuficiência de projetos “como construído” (“as built”). Este artigo tem como objetivo levantar os principais avanços e as lacunas das pesquisas da associação das tecnologias de escaneamento a laser e modelagem da informação na construção (BIM) para facilitar a geração de projetos “as built” de SPHS. O escaneamento a laser possibilita a medição e digitalização tridimensional da edificação e de seus sistemas, criando uma “nuvem de pontos”. Já o modelo BIM consiste na representação tridimensional e também no repositório de informações de toda a edificação, possibilitando a gestão automática de dados para a manutenção e operação da edificação e suas instalações. Adotou-se como estratégia de pesquisa o mapeamento sistemático da literatura. Como principal avanço da associação de tecnologias pesquisada, destaca-se a possibilidade de extração automática de tubos e conexões. Por sua vez, o aprimoramento das ferramentas de detecção automática de tubos e conexões sem limitação de direções, contemplando diferentes tipos de materiais consiste na principal lacuna de pesquisa.

**Palavras-chave:** BIM. projeto como construído. escaneamento a laser.

### ABSTRACT

*During the building lifecycle, a big percentage of the pathologic manifestations occur in plumbing systems. In the maintenance of these systems, searching and checking the conditions of components is usually difficult due to the shallowness or lack of as-built projects. This article's objective is to raise the main advancements and the gaps in the researches on association of laser-scanning technologies and Building Information Modeling (BIM) to facilitate the plumbing systems as-built project generation. Laser scanning allows the measurement and tridimensional digitization of the building and its systems creating a cloud of points. On the other hand, the BIM model consists on the tridimensional representation and, also, the information repository of the whole building making the automatic data management possible for the maintenance and operation of the building and its systems. The research strategy that was applied was the systematic bibliography mapping. As the main advancement of the association of the researched technologies, the possibility of the automatic extraction of pipes and connections stands out. In turn, the enhancement of tools*

---

<sup>1</sup> ARAÚJO, Leticia Santos Machado de; ILHA, Marina Sangoi de Oliveira. BIM e laser scan na geração de projeto “as built” de sistemas hidráulicos e sanitários. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

*of automatic detection of pipes and connections without direction constraints, contemplating different types of materials, consists the main gap in the research.*

**Keywords:** BIM. as built. laser scanning.

## 1 INTRODUÇÃO

Modificações no projeto executivo invariavelmente são necessárias, em maior ou menor intensidade, devido às particularidades da fase de execução, sendo de suma importância o fiel registro das mesmas, para possibilitar a operação e a manutenção futura. Contudo, são frequentes as alterações sem o devido registro (AHMED, HAAS e HAAS, 2004), ou seja, sem o projeto "as built". Projetos "as built" tem especial importância para os sistemas prediais pois, na maioria das vezes, as tubulações estão embutidas, (DICKINSON et al, 2009).

Quando existentes, os projetos "as built" muitas vezes são elaborados por profissionais com pouca experiência ou são por diversos sub-empreiteiros, sem a compatibilização das informações, o que pode comprometer a qualidade final dos documentos (DICKINSON et al, 2009).

Bosché et al 2013 ressaltam que os projetos "as built" tradicionalmente demandam operações manuais que exigem inspeções visuais, as quais dependem de julgamento pessoal, e por este motivo, implicam em resultados incompletos e imprecisos.

Os sistemas prediais mecânicos, elétricos e hidráulicos constituem parte significativa dos custos de construção e operação de um edifício e, portanto, precisam ser adequadamente monitorados e gerenciados. Assim, o conhecimento de seu estado "como construído" (ou instalado) é fundamental (BOSCHÉ et al, 2014).

Desde o início dos anos 2000, a indústria de construção civil reconheceu a necessidade de um processo mais rápido e preciso para a geração de projetos "as built" (BOSCHÉ et al, 2013). Com o avanço das tecnologias e os preços mais acessíveis tem se tornado prática comum a utilização da tecnologia *laser-scanning* na geração destes projetos, inclusive de tubos e conexões (LEE et al, 2013; AHMED, HAAS e HAAS, 2014; SON, KIM e KIM, 2015).

O escaneamento a laser (3D), com uso crescente a partir de 1990, consiste em tecnologia de imagem que fornece de forma rápida, precisa e detalhada os dados 3D sobre cenas digitalizadas por meio de uma nuvem de pontos 3D. Estas nuvens podem ser utilizadas para a criação de modelos "as-built" 3D em BIM (BOSCHÉ et al, 2014).

O modelo BIM consiste na representação tridimensional e também no repositório de informações de toda a edificação, possibilitando a gestão automática de dados para a manutenção e operação da edificação e seus sistemas.

A associação dessas tecnologias pode ser utilizada para facilitar a geração de projetos "as built" de sistemas prediais e pretende-se, com o desenvolvimento desse trabalho, identificar quais as necessidades para a

sua viabilização.

## 2 MÉTODO

As perguntas que nortearam o desenvolvimento desse estudo são:

- qual estágio de desenvolvimento das pesquisas que envolvem o uso de BIM e escaneamento de imagens para a confecção de projetos “as built”?
- quais os principais enfoques das pesquisas desenvolvidas sobre este tema?
- quais os principais avanços e obstáculos à disseminação dessa tecnologia aplicada aos sistemas prediais hidráulicos e sanitários?

Esta pesquisa consiste em um mapeamento sistemático da literatura, o qual contemplou as seguintes etapas: a) seleção das bases de dados e de expressões-chave para a busca sistemática; b) definição do tipo de documento a ser contemplado na busca; c) compilação dos documentos contidos em todas as bases de dados; d) exclusão de artigos repetidos; e) seleção com filtro de palavras chaves e leitura dos títulos e resumos, f) seleção e leitura do texto completo, g) busca adicional a partir da lista de referências dos documentos selecionados (sistemática “bola de neve”); e, g) categorização do escopo das pesquisas desenvolvidas.

Inicialmente, foram empregadas as palavras-chave: BIM ou “*Building Information Modeling*” e “as built” e “scan\*”. Não se restringiu o tipo de documento procurado, foi estabelecido apenas que seriam texto na língua inglesa.

Após a exclusão dos documentos repetidos aplicou-se um filtro com palavras chaves que caracterizam os sistemas prediais hidráulicos e sanitários, são elas: MEP, pip\*, plum\*, water, sewer, drainage system e gas. Utilizou-se a ferramenta de filtro em uma planilha do Microsoft Excel, sendo selecionados apenas os artigos que contivessem pelo menos uma das palavras-chave escolhidas no título ou no resumo.

Após a aplicação do filtro, foi realizada a leitura dos títulos e resumos, pré-selecionando alguns documentos. Estes documentos foram lidos na íntegra, sendo excluídos os não aderentes ao tema de pesquisa. Para a seleção final de trabalhos, foi realizada a sistemática da “bola de neve”, conforme Melo, Granja e Ballard (2013).

Os documentos selecionados a partir das etapas anteriores foram classificados segundo a área de aplicação (Quadro 1) e o tema central ou questão de pesquisa (Quadro 2).

Quadro 1- Classificação dos documentos selecionados em função da área de aplicação

| <b>Categoria</b>                           | <b>Artigos que contemplam...</b>  |
|--|---|
| Edifício                                   | projeto " <i>as built</i> " do edifício como todo, interior e/ou exterior. Os SPHS, apesar de não constituírem o foco principal, são contemplados, como parte do edifício |
| Sistemas prediais hidráulicos e sanitários | projeto " <i>as built</i> " de sistemas prediais hidráulicos e sanitários (SPHS)  |
| Indústria                                  | projeto " <i>as built</i> " de gasodutos em ambiente industrial, destacando as indústrias químicas e petroquímicas  |
| Subestação                                 | Projeto " <i>as built</i> " de subestação elétrica  |

Fonte: Os autores

Quadro 2 - Classificação dos documentos selecionados segundo o tema central ou questão de pesquisa

| <b>Categoria</b>          | <b>Artigos que contemplam...</b>  |
|---------------------------|---|
| Deteção de defeitos       | Identificação de defeitos nos SPHS (tubos, conexões) já executados, com a combinação das tecnologias de escaneamento, sensores térmicos e BIM   |
| Deteção de modificações   | Identificação de diferenças entre o construído (projeto " <i>as built</i> " real) e o planejado (projeto modelado utilizando BIM)   |
| Estado da arte            | Estado da arte das tecnologias utilizadas para geração de modelos " <i>as built</i> " 3D em BIM   |
| Extração automática       | Extração automática de projeto " <i>as built</i> " de sistemas prediais, tubos, conexões e equipamentos, a partir de nuvem de pontos gerados pelo escaneamento  |
| Gestão de facilidades     | Utilização de projeto " <i>as built</i> " gerado com o uso das tecnologias BIM e <i>laser scan</i> , combinado com outras tecnologias para facilitar a gestão e operação das edificações e/ou sistemas prediais |
| Posicionamento do scanner | Variação do posicionamento do <i>scanner</i> e análise comparativa dos projetos " <i>as built</i> " obtidos   |
| Orientações               | Orientações para o escaneamento de edificações e sistemas prediais para a obtenção de projeto " <i>as built</i> "   |

Fonte: Os autores

Os documentos selecionados foram também classificados em função da data de publicação e do país da instituição do primeiro autor.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

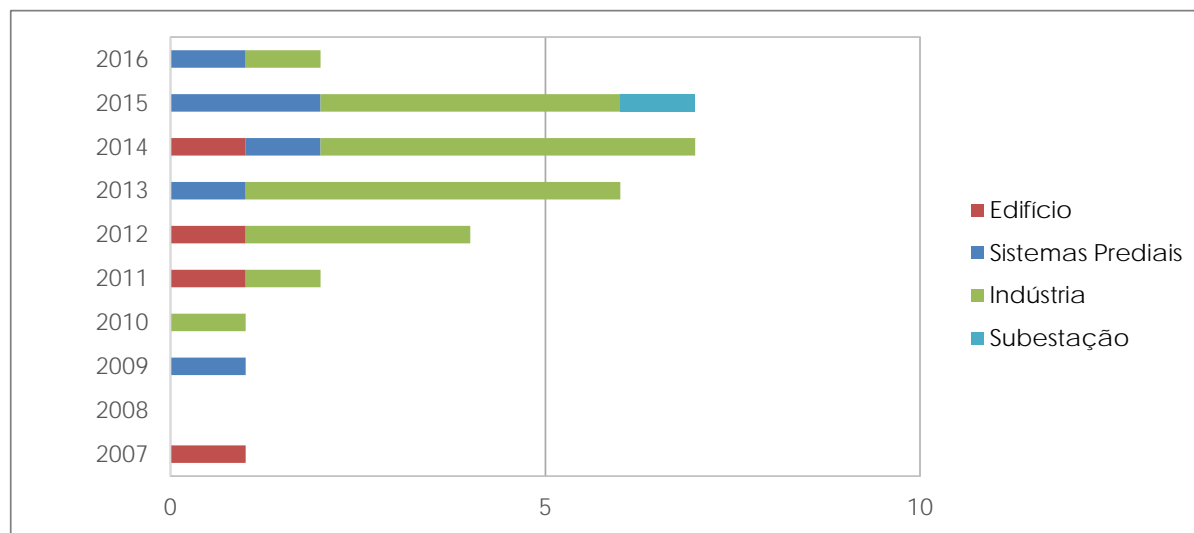
As bases selecionadas foram *Scopus*, *Web of Science* e *Engineering Village*. Excluindo-se as repetições, foram encontrados 368 documentos nessas bases. A partir da aplicação do filtro descrito no método, foram selecionados 61 documentos.

A leitura dos títulos e resumos, em uma primeira etapa e, posteriormente, dos documentos como um todo, resultou em 29 artigos aderentes ao tema do trabalho. A sistemática da "bola de neve" agregou mais 2 documentos, resultando em 31 artigos para a sequência das análises, os quais estão divididos em: artigos de congresso ou simpósio (61%), artigos de periódicos

(35%) e capítulos de livros (3%).

A Figura 1 apresenta a classificação desses documentos nas áreas de aplicação consideradas nesse trabalho e a data de publicação. Trata-se de um tema recente, com um maior número de publicações a partir de 2012. Trabalhos que abordam sistemas industriais têm sido o maior foco das pesquisas, com aproximadamente 65% dos documentos. Os SPHS estão presentes em 19% dos documentos.

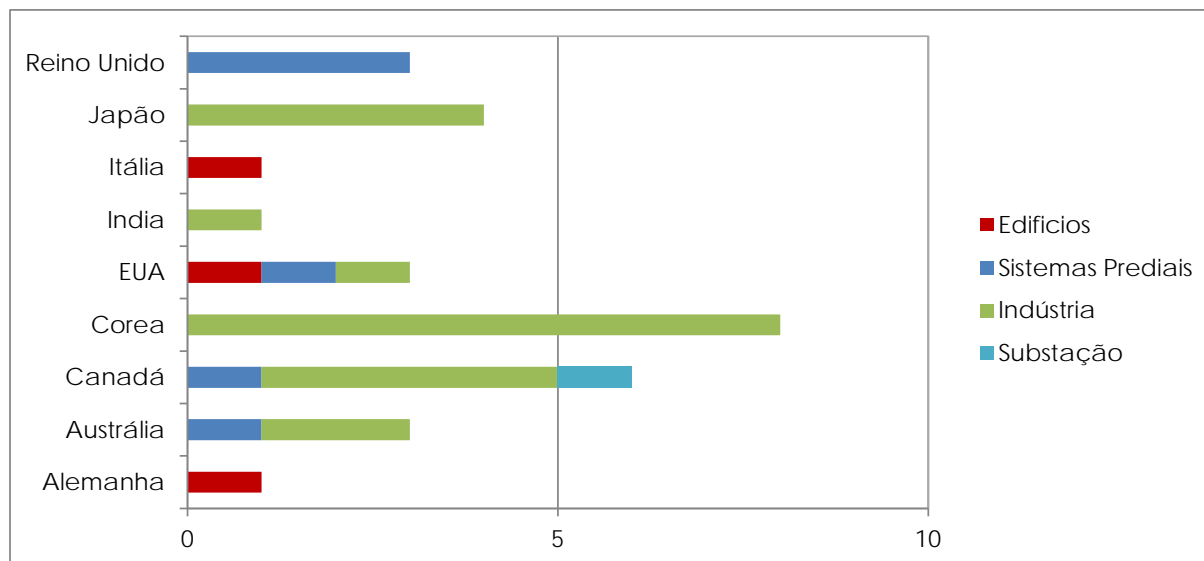
Figura 1- Distribuição cronológica dos documentos selecionados em função da área de aplicação



Fonte: Os autores

A Coreia do Sul e o Canadá concentram a maior parte dos documentos publicados, cerca de 26% e 23% respectivamente (Figura 2). Todas as publicações sul coreanas levantadas são da Universidade Chung-Ang. Já no Canadá, a Universidade de Waterloo se destaca, com 5 dos 7 documentos levantados. A universidade de Heriot-Watt, do Reino Unido, destaca-se com a maior produção na área de sistemas prediais, com cerca de 50% dos documentos.

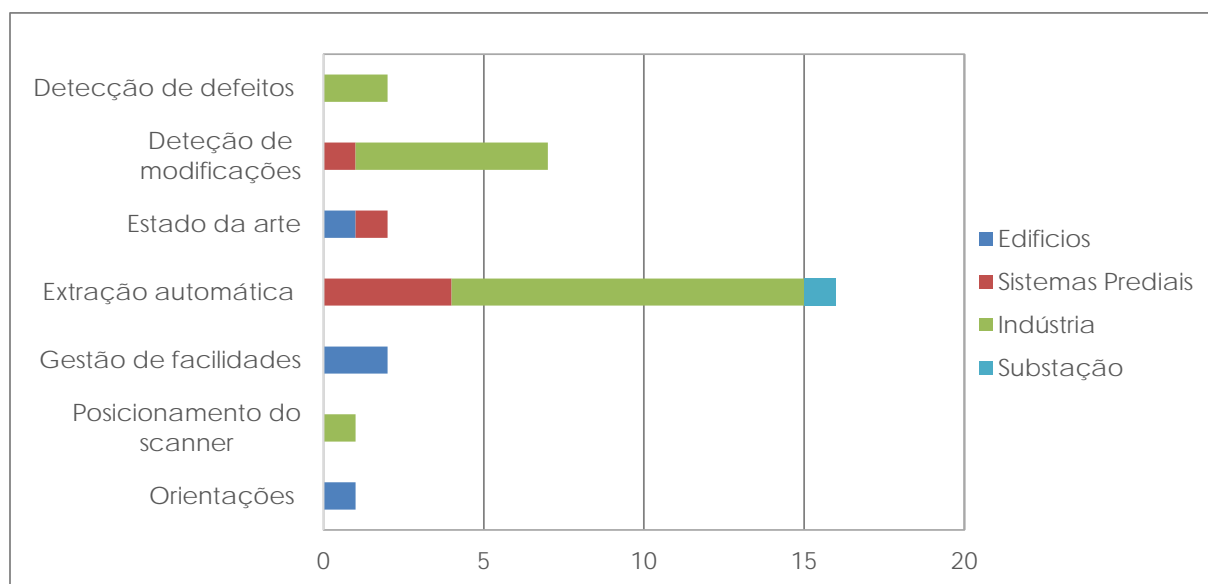
Figura 2 - Distribuição dos documentos selecionados nas bases de dados internacionais em função dos países da instituição do primeiro autor e da área de aplicação



Fonte: Os autores

A extração automática do projeto "as built" de tubos, conexões e equipamentos a partir de nuvem de pontos gerados pelo escaneamento é o principal tema abordado nos documentos selecionados. A identificação de modificações entre os SPHS executados (projeto "as built" real) e o planejado (projeto 3D modelado), utilizando escaneamento e BIM, aparece em segundo lugar, com 19% dos documentos selecionados (Figura 3).

Figura 3 - Distribuição dos documentos selecionados em função do tema central abordado e da área de aplicação



Fonte: Os autores

Independentemente da área de aplicação, o tema em estudo teve avanços nos últimos anos. Estes avanços ocorreram principalmente no

desenvolvimento de ferramentas de extração automática de tubos e conexões instalados em eixos ortogonais.

Embora a combinação das tecnologias de *laser-scanning* e BIM venha gerando modelos "*as built*" de tubos e conexões de modo eficiente, a extração automática de plantas industriais completas e de trechos com múltiplos cruzamentos de tubulações ainda representa um desafio (SON, KIM e KIM, 2015).

Assim, ainda há um caminho a ser percorrido para a efetiva disseminação dessa tecnologia para a geração de projetos "*as built*" em escala comercial.

O Quadro 3 apresenta as principais avanços e lacunas de pesquisa identificadas nos artigos classificados na área de aplicação "indústria". Vale destacar que todos os artigos classificados na área de aplicação "indústria" abordam tubos e conexões de gás combustível (gasodutos), o que os aproximam dos SPHS.

Quadro 3- Avanços e lacunas de pesquisas apontadas nos documentos da área de aplicação "indústria"

| Categoria                | Avanços  | Lacunas de pesquisas   | Referências  |
|--------------------------|--|--|--|
| Detecção de defeitos     | Desenvolvimento de ferramenta para detecção de defeitos no interior das tubulações e gerenciamento dos testes de estanqueidade   | Automatização do processo (melhorar eficiência e a rapidez)  | Rajeev et al (2014); Kim, Son, Kim (2014)  |
| Detecção de modificações | Desenvolvimento de ferramenta para a detecção de modificações entre o planejado.   | Melhorar ferramenta (aumentar a eficiência e rapidez) e aplicar em plantas industriais completas e em cruzamentos de tubulações. | Wang et al (2013); Chi et al(2014); Nahang et al (2014); Nahangi e Haas (2015); Nahang et al (2015); Nahangi et al.(2016)  |
| Extração automática      | Desenvolvimento de ferramenta de extração automática de tubos e conexões instalados em eixos ortogonais. Validação em estudo de caso em trecho de planta industrial, contemplando (tubos e conexões) | Aprimorar a ferramenta de detecção automática de tubos e conexões sem limitação das direções (considerando os eixos x, y, e z).  | Franaszek (2012); Lee et al (2012); Kawashima, Kana, Date (2013a); Kawashima, Kana, Date (2013b); Ahmed, Haas, Haas (2014) |
|                          |  | Aplicar a ferramenta em tubulações com características diferentes (material e diâmetro)  | Kim et al (2012); Son, Kim, Kim (2013); Son, Kim, Kim (2015)   |

Fonte: Os autores

Quadro 3- Avanços e lacunas de pesquisas apontadas nos documentos da área de aplicação "indústria" (continuação)

| Categoria                 | Avanços  | Lacunas de pesquisas  | Referências   |
|---------------------------|--|---|---|
| Extração automática       | Desenvolvimento de ferramenta de extração automática de tubos e conexões instalados em eixos ortogonais. Validação em estudo de caso em trecho de planta industrial, contemplando (tubos e conexões) | Aplicar ferramenta em plantas industriais completas e em cruzamentos de tubulações. | Kawashima, Kana, Date (2011); Son, Kim, Kim (2015); Lee <i>et al</i> (2013); Son, Kim, Kim (2014) |
|                           |  | Interoperabilidade entre o planejado e o instalado (detecção de modificações)       | Lee <i>et al</i> (2013); Son, Kim, Kim (2014)   |
|                           | Desenvolvimento de ferramenta para identificação de conexões e equipamentos já modelados   | Aplicar ferramenta em plantas industriais completas e em cruzamentos de tubulações. | Kim, Son, Kim (2013)  |
| Posicionamento do scanner | Desenvolvimento de ferramenta para otimizar o posicionamento do scanner  | Aplicar ferramenta em plantas industriais completas e em cruzamentos de tubulações. | Kawashima <i>et al</i> (2014)   |

Fonte: Os autores

Considerando-se exclusivamente os documentos classificados na área de aplicação "Sistemas prediais hidráulicos e sanitários", a extração automática também é o tema mais abordado. O Quadro 4 apresenta as principais lacunas de pesquisa apontadas nos documentos classificados dentro dessa área de aplicação.

Quadro 4 - Avanços e lacunas de pesquisas apontadas nos documentos da área de aplicação "sistemas prediais.

| Categoria                | Avanços   | Lacunas de pesquisas  | Referências                     |
|--------------------------|---|---|---------------------------------|
| Detecção de modificações | Desenvolvimento de ferramenta para detecção de modificações entre o planejado e o instalado | Automatização do processo (melhorar eficiência e a rapidez)   | Wang <i>et al</i> (2016)        |
| Estado da arte           | Descrição das tecnologias existentes para geração de projetos "as built"                    | Automatização do processo (melhorar eficiência e a rapidez) d | Dickinson <i>et al</i> , (2009) |

Fonte: Os autores



Quadro 4 - Avanços e lacunas de pesquisas apontadas nos documentos da área de aplicação "sistemas prediais. (continuação)

| Categoria           | Avanços  | Lacunas de pesquisas  | Referências   |
|---------------------|--|---|---|
| Extração automática | Desenvolvimento de ferramenta de extração automática de tubos e conexões utilizando o método multi-escala (caracterização da geometria). Validação em estudo de caso em sistemas prediais localizado em corredor técnico.                    | Melhorar e aplicar a ferramenta em tubulações e conexões com características diferentes (material e diâmetro)                   | Dimitrov, Golparvar-Fard (2015)                               |
|                     | Aplicação da técnica de "Transformada de Hough" no desenvolvimento de ferramenta de extração automática de tubos e conexões instalados em eixos ortogonais. Validação em estudo de caso em sistemas prediais localizado em corredor técnico. | Aprimorar a ferramenta de detecção automática de tubos e conexões sem limitação das direções (considerando os eixos x, y, e z). | Bosché et al (2015)   |
|                     |  | Interoperabilidade entre o planejado e o instalado (detecção de modificações e objetos já moldados).                            | Bosché et al (2013); Bosché et al (2014); Bosché et al (2015) |

Fonte: Os autores

#### 4 CONCLUSÕES

A maior parte das pesquisas encontradas na literatura aborda a área industrial; apenas seis documentos são da área de sistemas prediais hidráulicos e sanitários.

A associação das tecnologias BIM e *laser scanning* para a elaboração de projetos "*as-built*" teve avanços principalmente no desenvolvimento de ferramentas de extração automática de tubos e conexões instalados em eixos ortogonais. Contudo, as validações destas ferramentas ficaram restritas a trechos dos sistemas. A extração automática de sistemas completos e trechos com múltiplos cruzamentos de tubulações ainda representam um desafio.

Para a disseminação desta tecnologia nos sistemas prediais hidráulicos sanitários, devem ser desenvolvidas ferramentas de detecção automática de tubos e conexões sem limitação das direções (considerando os eixos x, y e z), possibilitando a identificação eficiente de junções e de tubulações com declividade (condutos livres). Além disso, as ferramentas devem contemplar os diferentes tipos de materiais.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do IFSP – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo para o desenvolvimento dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, M.F.; HAAS C.T.; HAAS, R. Automatic detection of cylindrical objects in built facilities. **Journal of Computing in Civil Engineering**, Reston, v.28, nº3, 11 p., May. 2014.
- BOSCHÉ, F. *et al.* Tracking MEP installation works. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION AND MINING, 30, 2013, Montreal. **Proceedings...** Montreal: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2013. p. 229-239.
- \_\_\_\_\_. Tracking the built status of MEP works: assessing the value of a scan-vs-BIM system. **Journal of Computing in Civil Engineering**, Reston, v.28, nº4, 13 p., July. 2014.
- \_\_\_\_\_. 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**, v.49, p. 201-213, Jan. 2015.
- Chi, H-L *et al.* A conceptual framework of quality-assured fabrication, delivery and installation processes for liquefied natural gas (LNG) plant construction. **Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications**, Dordrecht, v.79, no 3-4, p. 433-448, Aug. 2015.
- DICKINSON, J. *et al.* A survey of automation technology for realizing as-built models of services. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN IMPROVING CONSTRUCTION AND USE THROUGH INTEGRATED DESIGN SOLUTION, 1, 2009, Espoo. **Proceedings...** Espoo: Technical Research Center of Finland, 2009. p. 365-381
- DIMITROV, A.; GOLPARVAR-FARD, M. Segmentation of building point cloud models including detailed architectural/structural features and MEP systems. **Automation in Construction**, v.51 C, p. 32-45, Jan. 2015.
- FRANASZEK, M. Variances of Cylinder Parameters Fitted to Range Data. **Journal of Research of The National Institute of Standards and Technology**, v.117, p. 257-267, Sep.2012.
- KAWASHIMA, K.; KANA, S.; DATE, H. Automatic recognition of a piping system from large-scale terrestrial laser scan data. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 38, 2011, Calgary. **Annals...** Calgary: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2011. p.283-288.
- \_\_\_\_\_. Automatic recognition of piping system from laser scanned point clouds using normal-based region growing. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 39, 2013, Antalya. **Annals...** Antalya: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2013a. p. 121-126.
- \_\_\_\_\_. As-built modeling of piping system from terrestrial laser-scanned point clouds using normal-based region growing. **Journal of Computational Design and Engineering**, Tampa, v. 1, nº1, p.13-23, Nov. 2013b.

KAWASHIMA, K. *et al.* Finding the next-best scanner position for as-built modeling of piping systems. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 40, 2014, Riva del Garda. **Annals...** Riva del Garda: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2014. p. 313-320

KIM, C. *et al.* Automated pipeline extraction for modeling from laser scanned data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION, 29, 2012, Eindhoven. **Proceedings...** Chennai: IIT Madras, 2012. 11p.

KIM, C.; SON H.; KIM C. Knowledge-based approach for 3D reconstruction of as-built industrial plant models from laser-scan data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION AND MINING, HELD IN CONJUNCTION, 30, 2013, Montreal **Proceedings...** Montreal: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, 2013. p. 853-893.

\_\_\_\_\_. Detection of internal defects in as-built pipelines for structural health monitoring: A sensor fusion approach using infrared thermography and 3D Laser-scanned data. . In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION AND MINING, HELD IN CONJUNCTION, 31, 2014, Sydney. **Proceedings...** Sydney: University of Technology Sydney, 2014 p.640-645

LEE, J. *et al.* Skeleton-based 3D reconstruction of as-built pipelines from laser-scanned data In: CONGRESS ON COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING, 2012, Clearwater Beach. **Proceedings...** Reston: American Society of Civil Engineers, 2012. p.254-252.

\_\_\_\_\_. Skeleton-based 3D reconstruction of as-built pipelines from laser-scan data. **Automation in Construction**, v. 35, p.199-207, Jun. 2013.

MELO, R. S. S.; GRANJA, A. D.; BALLARD, G. Collaboration to extend target costing to non-multiparty contracted projects: evidence from literature. In: THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21, 2013, Fortaleza. **Proceedings...**, 2013. p. 1-10.

NAHANG, M. *et al.* Automated deviation analysis for as-built status assessment of steel assemblies and pipe spools. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2014, Orlando. **Proceedings...** Reston: American Society of Civil Engineers, 2014. p. 2063-2070.

\_\_\_\_\_. Skeleton-based registration of 3D laser scans for automated quality assurance of industrial facilities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2015, Austin. **Proceedings...** Reston: American Society of Civil Engineers, 2014. p. 33-40.

\_\_\_\_\_. Automatic Realignment of Defective Assemblies Using an Inverse Kinematics Analogy. **Journal of Computing in Civil Engineering**, Reston, v.30, nº2, 12 p., March. 2016

NAHANGI, M.; HAAS, C.T. Automated 3D compliance checking in pipe spool fabrication. **Advanced Engineering Informatics**, v.28, nº 4, p. 360-369, May. 2015.

RAJEEV, C.B. *et al.* Optimization of integrity testing of piping system in a nuclear fuel cycle facility. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL INTEGRITY, 1, 2014, Kalpakkam. **Proceedings...** Elsevier, 2014. v. 846 p. 539-545

SON, H.; KIM, C.; KIM, C. Fully automated as-built 3D pipeline segmentation based on curvature computation from laser-scanned data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING, 2013, Los Angeles. **Proceedings...** Reston: American Society of Civil Engineers, 2013. p. 765-772.

\_\_\_\_\_. Automatic 3D reconstruction of as-built pipeline based on curvature computations from laser-scanned data. In: Construction Research Congress, 2014 Atlanta. **Proceedings...** Reston: American Society of Civil Engineers, 2014. p.925-934.

\_\_\_\_\_. Fully automated as-built 3D pipeline extraction method from laser-scanned data based on curvature computation. **Journal of Computing in Civil Engineering**, Reston, v.29, nº4, 9 p., July. 2015.

WANG, X. *et al.* Application of collaborative mobile system in AR-based visualization, data storage and manipulation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COOPERATIVE DESIGN, VISUALIZATION, AND ENGINEERING, 10, 2013, Alcudia. **Proceedings...** Heidelberg: Springer Verlag, 2013. p. 221-226.

WANG, J. *et al.* Building information modeling-based integration of MEP layout designs and constructability. **Automation in Construction**, v.61, p. 134-146, Jan. 2016.