2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ESTUDO EXPERIMENTAL DE SENSOR DE VARREDURA 3D DE BAIXO CUSTO PARA USO EM ACOMPANHAMENTO DE OBRAS[1]

SOUZA, Rogério Püten (1); KERN, Andrea Parisi (2); KUNST, Rafael (3); EMMERICH, Ramiro Gomes

(1) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, rputen.ppgec.unisinos@gmail.com
(2) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, apkern@unisinos.br
(3) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, rafaelkunst@unisinos.br
(4) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, ramiroemmerich@gmail.com

RESUMO

O gerenciamento eficaz de uma obra necessita de agilidade, transparência e qualidade das informações oriundas do canteiro. Além disso, a migração de processos analógicos para digitais é cada vez mais requisitada com o advento do uso da plataforma BIM. Neste contexto, este artigo trata da investigação de um sensor de luz estruturada por radiação infravermelha para varredura 3D, comparando seu uso ao de trena laser e de estação total para medição e posterior modelagem 3D BIM em um ambiente construído interno, com o objetivo de analisar a viabilidade de seu uso para acompanhamento de obras. Neste experimento o sensor apresentou desempenho relativamente inferior em relação à precisão, porém quanto ao tempo de duração do levantamento, a complexidade de operação, a logística de transporte e o custo de aquisição, ele apresentou importante vantagem em relação aos demais métodos experimentados.

Palavras-chave: *Acompanhamento de obras. Varredura 3D. BIM. Escaneamento 3D de baixo custo.*

ABSTRACT

The effective management of a work requires agility, transparency and quality of information from the construction site. In addition, the migration of analog to digital processes is increasingly requested with the advent of the use of the BIM platform. In this context, this article deals with the investigation of a light sensor structured by infrared radiation for 3D scanning, comparing its use to that of laser and total station for measuring and subsequent modeling 3D BIM in an internal built environment, with the objective of analyzing the feasibility of its use for monitoring of works. In this experiment, the sensor presented relatively lower performance in relation to accuracy, but regarding the duration of the survey, the complexity of operation, transport logistics and acquisition cost, it presented an important advantage over the other methods experienced.

Keywords*: Monitoring of build. 3D scan. BIM. Low cost 3D scan.*

[1] SOUZA, Rogério Püten; KERN, Andrea Parisi; KUNST, Rafael; EMMERICH, Ramiro Gomes . Estudo experimental de sensor de varredura 3d de baixo custo para uso em acompanhamento de obras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Remondino (et. Al. 2006), a modelagem 3D é um processo que se inicia com a aquisição de dados de uma cena e termina em um modelo virtual 3D, visualmente interativo em um computador ou dispositivo móvel compatível, convertendo pontos 3D em redes trianguladas (malhas) ou superficies texturizadas, que servem como base para a reconstrução virtual de cenas reais.
Groetelaars (2015) apresenta as principais técnicas que são utilizadas para levantamento geométrico de ambientes construídos, como a medição direta, medição por coordenadas, estações totais, fotogrametria, Dense Stereo Matching, fotogrametria esférica, videogrametria, 3D laser scanning, luz estruturada, termografia infravermelho, georadar, radiografia (raios X e Gama), sendo que cada um destes varia quanto à eficiência e a eficácia para uso na plataforma BIM. O produto, oriundo dessas tecnologias e equipamentos, para utilização pelo BIM é a nuvem de pontos 3D (*point cloud*). Wang e Kim (2019) conceituaram que uma nuvem de pontos 3D consiste num vasto conjunto de pontos em um sistema de coordenadas XYZ, utilizados para representar as superfícies externas de um objeto ou de um ambiente.

O uso de BIM (*Building Information Modelling*) aliado à Varredura 3D (captura de realidade), apesar de ainda ser um processo não muito acessível à maioria da comunidade da construção civil, permite que se trabalhe com dados de maior qualidade e confiabilidade, se comparado a processos analógicos ou manuais, gerando informações mais consistentes. Apesar de todo o contexto digital vivenciado na atualidade, incluindo o BIM, no mercado brasileiro da indústria da construção ainda são incipientes os processos de coleta de dados em formatos digitais, ou seja, o projeto é digital, mas a coleta de dados ainda é analógica.

Existem disponíveis no mercado, sensores de luz estruturada por radiação infravermelha, que acoplados a um dispositivo móvel tipo "tablet", conseguem executar varreduras 3D, gerando estruturas gráficas que auxiliam na modelagem 3D. Alguns apresentam baixo custo, se comparados a Laser Scanner Terrestres. Porém, não se tem muitas informações de seu desempenho no canteiro de obras, principalmente, seu uso no acompanhamento de execução "como construído".

Embora não sejam uma novidade, equipamentos de varredura de superfícies através de luz estruturada são considerados como uma boa opção. Seu funcionamento consiste na projeção de luz em um formato conhecido, sobre um determinado cenário. A partir disso, sabendo-se das características da estrutura dessa luz projetada e como ela é deformada pela superfície da cena, através de sensores específicos (sensor de captura de imagem e sensor de projeção de radiação infravermelho), é possível obter informações da superfície varrida (SOLOMON; BRECKON, 2013 apud D´AVILA, 2018). Através de geometria descritiva (relações entre triângulos), se busca em um ponto de luz da superfície, descobrir a distância dele, através da energia registrada pelo sensor infravermelho. (GENG, 2011 apud D´AVILA, 2018).

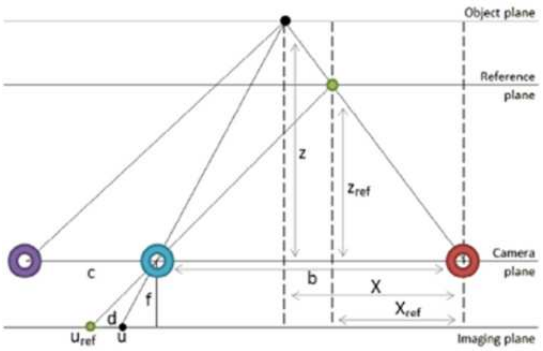
O objetivo desta pesquisa é investigar o uso de sensor de luz estruturada por radiação infravermelha como instrumento de coleta de dados que possam servir para controle e fiscalização da execução de obras e verificação de adequação da mesma ao projeto e/ou ao cronograma (BIM 3D e BIM 4D).

2 METODOLOGIA

Buscando simular um ambiente de obras com informações geométricas que pudessem ser colhidas e posteriormente analisadas, foram realizados levantamentos utilizando três métodos diferentes de coleta de dados: a) uso de sensor de luz estruturada por radiação infravermelha acoplado a um dispositivo móvel tipo "tablet" para realização de varredura 3D; b) trena a laser e croqui para medição direta e c) estação total para levantamento planialtimétrico através de captação digital de pontos 3D. A partir destes, foram colhidos dados através de malhas e pontos 3D, medições convencionais e croquis, que serviram de base para a modelagem 3D BIM do ambiente. Os critérios utilizados para a comparação dos resultados foram: precisão, tempo, complexidade de operação, logística de transporte e custo.

O ambiente interno analisado consiste em um cômodo com base retangular, com aberturas nas quatro paredes já edificado. Com relação ao sensor de projeção de luz infravermelha estruturada - *Structure Sensor Occiptal* (SSO), de acordo com Kalantari & Nechifor (2016), este ele foi desenvolvido pela Occipital Inc. (https://occipital.com) em 2014 para executar varredura 3D quando conectado à dispositivos móveis. Conforme Ravanelli (et. al. 2017), ele foi especificamente projetado para ser um equipamento de entrada, facilmente acessível para um público mais amplo e inexperiente. O equipamento consiste em um chassi de alumínio que abriga basicamente além de placas e componentes eletrônicos, um diodo emissor de laser, um projetor de faixa de radiação infravermelha, um sensor infravermelho e o sensor RGB do dispositivo móvel (no caso, um i-Pad 6 da Apple)que colhe e envia os dados para processamento do sistema. Ainda conforme Kalantari & Nechifor (2016), sua resolução de saída é de 640 x 480 pixels, onde cada um deles registra a distância do sensor ao alvo. O sensor infravermelho registra a intensidade de refletância do padrão de luz infravermelha projetada no alvo enquanto o sistema de processamento triangula a cena em 3D. As micro-lentes no projetor têm diferentes distâncias focais e miram a radiação infravermelha para formar um padrão de pontos que varia com a distância ao sensor. Um padrão de referência contido no sensor estabelece correspondências entre o padrão de "manchas" obtido e calcula o intervalo de dados como uma disparidade para a imagem atual. Por meio do processamento da imagem e triangulação, e com a ajuda dos algoritmos usados pelo aplicativo, são transformados em dados 3D, através das relações entre disparidade e profundidade, conhecidas.

Figura 1 – Geometria da correlação entre disparidade e profundidade



Fonte: Kalantari & Nechifor (2016), adaptado de Koshelham & Elberink (2012)

De acordo com a Figura 1, Kalantari & Nechifor (2016) explicam a geometria da conversão da disparidade à profundidade:

> "o ponto alvo (ponto preto na figura) é projetado a uma profundidade Z de um plano de referência imaginário padrão (ponto verde). O círculo azul mostra a localização da câmera infravermelha a uma distância b=65 mm do projetor infravermelho (círculo vermelho). O círculo roxo representa a câmera RGB do iPad, localizada a uma distância c=6,5 mm da câmera infravermelha. Imagens de profundidade são formadas no plano de imagem através da câmera IR em perspectiva. X ref é a distância horizontal do ponto de referência para o projetor IR e X é a distância horizontal do ponto real sendo medido do projetor IR. Z ref é a profundidade do ponto no padrão de referência, e Z é a profundidade real para o ponto-alvo. A disparidade d no plano de imagem é o deslocamento em pixels entre os dois padrões."

Esta geometria assume que condições de colinearidade são atendidas, possibilitando a formação da imagem envolvendo a projeção de um conjunto de pontos com coordenadas (x, y, z) no espaço 3D, que possam ser projetados em um plano 2D (com coordenadas X,Y), utilizando equações que também levam em consideração os parametros intrísecos e extrísecos da câmera do dispositivo. Maiores detalhes podem ser verificados em Kalantari & Nechifor (2016) e Khoshelham e Elberink (2012).

Esta captura é processada através de aplicativo desenvolvido pelo fabricante e o resultado é uma malha 3D das superfícies varridas. De acordo com recomendação do fabricante, a distância do alvo coletado deve ser de no máximo 3,5 metros em função da possibilidade de erro na leitura da profundidade. Além disso, o excesso de luminosidade (refletância na superfície) inviabiliza a sua utilização.

2.1 Levantamento com sensor de projeção de luz infravermelha estruturada - Structure Sensor Occiptal (SSO)

Uma primeira tentativa foi realizada conforme indicação do fabricante do sensor, com o operador caminhando pelo perímetro do ambiente, fazendo a varredura das paredes, de forma a evitar que se passasse mais de uma vez pelo mesmo local. Após a conclusão da varredura de todo o ambiente, foi verificado que a malha 3D gerada não apresentava fechamento no canto de chegada/partida do levantamento, apresentando evidente distorção da realidade, parecendo que o sensor perdia a referência de localização quando em movimento.

Em uma segunda tentativa, o sensor foi posicionado em um ponto fixo, apenas girando em seu eixo, com o auxilio de um tripé com adaptador para fixação do tablet (de modo que o equipamento sofresse o mínimo movimento possível além dos giros verticais e horizontais em seu próprio eixo), localizado no centro do ambiente (Figura 2), respeitando as distâncias mínimas em relação ao alvo recomendadas pelo fabricante. Utilizando o aplicativo Canvas (produzido pela empresa fabricante do sensor) foi realizada a varredura do ambiente, sendo que a malha 3D gerada, ao ser visualizada no "tablet", apresentava seus cantos devidamente fechados, capacitando seu uso para posterior modelagem.

2.2 Levantamento com trena laser

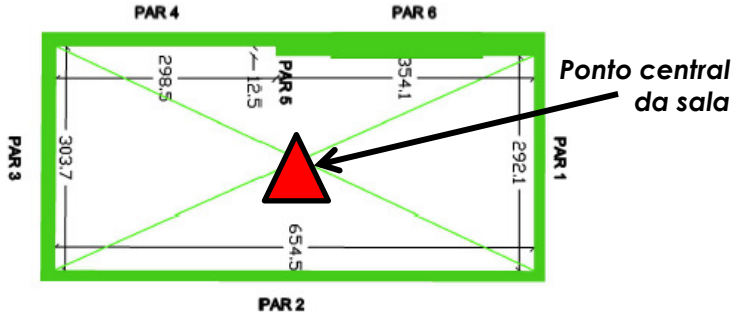
Inicialmente, foi realizado um croqui de forma manual, para anotação das informações que seriam obtidas através das medições, incluindo as informações

complementares (esquadrias e descontinuidades). Foram realizadas medidas longitudinais, transversais, diagonais e verticais do ambiente existente. Além destas, foram realizadas medições das esquadrias e do vão da circulação. Ao todo foram executadas 27 medições.

2.3 Levantamento com Estação Total

O equipamento foi instalado em um ponto central da sala, a fim de garantir a vista de todos os principais locais que deveriam ser levantados. Para executar o levantamento com apenas uma pessoa, o equipamento foi configurado para fazer as medições sem o prisma, utilizando apenas um feixe de luz que indicava o ponto a ser gravado. Foram colhidos 205 pontos 3D no ambiente, que só puderam ser acessados no escritório, onde através de software específico, puderam ser descarregados da estação total para o computador.

Figura 2 – Posição do tripé com o SSO



Fonte: Autor

2.4 Modelagem 3D

Os produtos obtidos nos levantamentos, que serviram de base para a modelagem 3D BIM, foram:

a) Malha 3D: a malha com extensão DXF foi aberta no software de modelagem BIM Autodesk Revit 2019, e criado o modelo 3D parcialmente semântico da sala, onde se utilizou apenas as informações geométricas e volumétricas do perímetro da varredura, identificando paredes, piso e forro. A janela foi identificada, em função de seus vidros que possibilitaram a reflexão da luz externa, marcando a malha com uma ondulação característica. Porém a identificação das portas teve maior dificuldade pois deveriam ter se mantido abertas a fim de que a malha fosse projetada nestes locais, tornando mais fácil sua identificação. Desta forma, a malha gerada não pôde ser utilizada para identificação visual completa das informações de acabamento do ambiente.

b) Croqui manual com medidas: o croqui elaborado indicou as paredes, portas, janela e circulação. O mobiliário da sala não foi considerado. As medidas foram obtidas através das medições com trena laser, e registradas manualmente no croqui logo após cada medição. Posteriormente no computador, através do software Autodesk Revit 2019, foi realizada a modelagem 3D.

c) Pontos com coordenadas XYZ em ambiente CAD: os pontos 3D gerados a partir da estação total foram descarregados no computador, com a utilização do software Geomax Geo Office, gerando arquivos com extensão TXT, DAT e DXF sendo aberto no Autodesk Autocad 2019 para conferência. Após esta etapa, o arquivo exportado novamente, e aberto no Autodesk Revit 2019, onde foi

executada a modelagem 3D BIM.

3 RESULTADOS

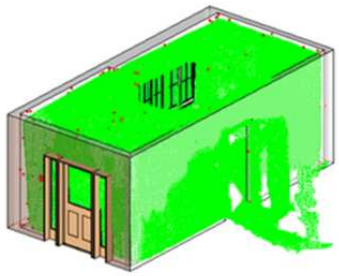
De posse dos três modelos 3D BIM, iniciaram as investigações e as comparações entre os mesmos, tendo como base os critérios definidos.

3.1 Precisão

Inicialmente, se fez a sobreposição da malha 3D (em verde), os pontos 3D (em vermelho) e o modelo principal, executado a partir de croqui e medições com trena a laser (Figura 3). Verificou-se coerência geométrica e dimensional entre as medições com trena laser e a estação total. Porém, em relação à malha gerada pelo sensor, houve distorções afetando a geometria do ambiente e suas dimensões, ao compará-lo com os demais levantamentos.

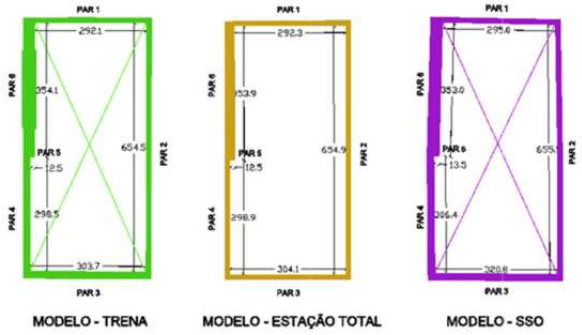
Foi então realizada a comparação dos dados provenientes de "Trena X Estação Total" e "SSO X Estação Total", considerando tolerância de 1mm/m. A verificação da precisão foi realizada aplicando-se a tolerância na média entre as duas medidas, obtendo-se o intervalo admissível (medida mínima e máxima), conferindo se a medida de cada equipamento está no intervalo.

Figura 3 – Comparativo Modelo x Malha x Pontos 3D



Fonte: Autor

Figura 4 – Planta-baixa dos três modelos obtidos



Fonte: Autor

A tolerância de 1mm/m foi atendida na comparação entre "Trena X Estação Total", porém não foi atendida na comparação entre SSO X Estação Total. Foram então realizados novos comparativos, considerando, respectivamente, tolerâncias de 1 cm/m e 3 cm/m. Os dados obtidos são mostrados na Tabela 1

Tabela 1 – Comparativo entre métodos de medição

PAREDE	Medidas (cm)			Comparação Trena Laser e Estação Total Tolerância **1mm/1m** (ou 0,1cm/100cm)						Comparação SSO e Estação Total Tolerância **1cm/1m** (ou 1cm/100cm)						Comparação SSO e Estação Total Tolerância **3cm/1m** (ou 3cm/100cm)					
	TRENA LASER	SSO	ESTAÇÃO TOTAL	MÉDIA	Tolerância (cm)	Medida Mín (cm)	Medida Máx (cm)	Obedece Tolerância? Trena Laser	Obedece Tolerância? Estação Total	MÉDIA	Tolerância (cm)	Medida Mín (cm)	Medida Máx (cm)	Obedece Tolerância? SSO	Obedece Tolerância? Estação Total	MÉDIA	Tolerância (cm)	Medida Mín (cm)	Medida Máx (cm)	Obedece Tolerância? SSO	Obedece Tolerância? Estação Total
1	292,1	295,0	292,3	292,2	0,29	291,9	292,5	OK	OK	293,7	2,94	290,7	296,6	OK	OK	293,7	8,81	284,8	302,5	OK	OK
2	654,5	655,5	654,9	654,7	0,65	654,0	655,4	OK	OK	655,2	6,55	648,6	661,8	OK	OK	655,2	19,66	635,5	674,9	OK	OK
3	303,7	320,8	304,1	303,9	0,30	303,6	304,2	OK	OK	312,5	3,12	309,3	315,6	8,3cm	-8,4cm	312,5	9,37	303,1	321,8	OK	OK
4	298,5	306,4	298,9	298,7	0,30	298,4	299,0	OK	OK	302,7	3,03	299,6	305,7	3,8cm	-3,8cm	302,7	9,08	293,6	311,7	OK	OK
5	12,5	13,5	12,5	12,5	0,01	12,5	12,5	OK	OK	13,0	0,13	12,9	13,1	0,5cm	-0,5cm	13,0	0,39	12,6	13,4	0,5cm	-0,5cm
6	354,1	353,0	353,9	354,0	0,35	353,6	354,4	OK	OK	353,5	3,53	349,9	357,0	OK	OK	353,5	10,60	342,8	364,1	OK	OK

Fonte: Autor

Desta forma, com uma tolerância de 3 cm/m, o SSO conseguiu atender a maioria das paredes, com exceção da Parede 5. Talvez em razão de sua pequena dimensão ou da visão de varredura mais restrita neste local. Problemas semelhantes foram observados em outros levantamentos com este equipamento, apresentando

alguma deformação, junto aos cantos da malha, além de sua falta de refino na detecção de pequenos detalhes. A figura 4 mostra as plantas-baixas com as medidas colhidas em cada método, representadas nas primeiras colunas da Tabela

3.2 Duração da operação (tempo)

O tempo do levantamento utilizando a trena laser e croqui considerou a execução do croqui e as medições com trena laser. O tempo do levantamento utilizando a estação total considerou desde a instalação do equipamento a conclusão da coleta dos pontos. O tempo do levantamento utilizando o SSO foi considerado desde a instalação do equipamento até a conclusão da realização das varreduras (Tabela 2)

Tabela 2 – Informações sobre o tempo de duração dos levantamentos

MÉTODO	LEVANTAMENTO	Atividades consideradas	MODELAGEM	Atividades consideradas	TEMPO TOTAL
TRENA LASER	00:17:04	Croqui manual e 27 medições	00:50:59	Modelagem volumétrica no Autocad (alinhamentos não perfeitos) e modelagem semântica no Revit	01:08:03
ESTAÇÃO TOTAL	01:14:22	Montagem do equipamento e a captura de 205 pontos	00:27:21	A partir do arquivo TXT e convertido em script para uso no Autocad e posteriormente no Revit.	01:41:43
SSO	00:03:24	Montagem do equipamento e varredura do ambiente	00:31:59	Descarga do arquivo no computador, abertura no Meshlab, exportação em DXF e uso no Revit.	00:35:23

Fonte: Autor

Conforme observa-se na Tabela 2, o SSO foi o método mais rápido, levando aproximadamente 52% do tempo comparado ao uso da trena e croqui, e aproximadamente 35% do tempo comparado ao uso de estação total.

3.3 Complexidade de operação

O estudo indicou que, em função da complexidade na instalação e operação do equipamento, a estação total é o mais complexo, além do processo de descarga dos pontos no computador que também depende de conhecimento de software e hardware. Apesar da aparente complexidade, o uso do SSO se mostrou bastante intuitivo. Porém é importante salientar que ele depende de acesso à internet para que os dados possam ser transmitidos do dispositivo móvel a um computador. O uso de croqui e trena é o menos complexo de todos.

3.4 Logística para a realização dos levantamentos

O SSO acoplado ao dispositivo móvel "tablet" pode ser transportado em uma mochila pequena, desde que se evite choques e contato com água. O sistema de croqui e trena é o mais simples pois tudo pode ser transportado em uma mochila. A estação total necessita maiores cuidados no transporte e manuseio.

3.5 Custo de aquisição dos equipamentos

Quanto à aquisição dos equipamentos, em pesquisa realizada, foram levantados os seguintes custos (Tabela 3).

Tabela 3 – Custos de aquisição dos equipamentos (em maio/2020)

TRENA LASER		***ESTAÇÃO TOTAL***		***SSO***	
MEDIDOR DE DISTÂNCIA TIPO TRENA LASER BOSCH GLM 250 VF Fonte: Americanas.com	R$ 2.500,00	ESTAÇÃO TOTAL KOLIDA KTS 442 COMPLETA INCLUINDO ACESSÓRIOS Fonte: Allcomp.com.br	R$ 16.416,00	SENSOR STRUCTURE OCCIPTAL COM TABLET IPAD 7 128 GB Fonte: Sensor Canvas Brasil	R$ 7.500,00

Fonte: Autor

Nesta análise, não são considerados os custos de treinamento de mão de obra, visto que todos os métodos necessitam de pessoal capacitado, principalmente na fase de modelagem 3D BIM. Os custos de softwares também não estão sendo considerados.

4 DISCUSSÃO

A trena laser e a estação total foram os mais precisos. Um aspecto que pode ter prejudicado o SSO foi a distância entre o equipamento e o canto entre as paredes 3 e 4, que acabou sendo superior a 3,50 m recomendado pelo fabricante. Além disso, em função da posição do equipamento (figura 2), a parede 5 pode ter sido prejudicada em sua varredura, não permitindo a visão detalhada do canto entre as paredes 4 e 5.

Quanto ao tempo de operação, o levantamento com SSO teve grande vantagem sobre os demais, além de facilitar a modelagem BIM sobre a malha 3D. Em relação à complexidade de operação, tanto a trena e croqui quanto o SSO são bem mais simples e acessíveis do que a estação total. Analisando o custo de aquisição, uma boa trena a laser nacional, tem um valor inferior à metade do investimento no SSO, que, por conseguinte é também inferior à metade do valor de aquisição de uma estação total.

Portanto, os resultados desta pesquisa indicam que a precisão requerida no levantamento é que irá determinar o melhor equipamento para ser utilizado. Um fato negativo e muito importante é que o SSO não funciona em superficies reflexivas, portanto seu uso para varredura de ambientes externos ou com incidencia direta de luz é inviável.

REFERÊNCIAS

D´AVILA, Edson. (2018). **Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola - Sistema imageador infravermelho para classificação de frutas por volume**. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola.

GROETELAARS, N. J. (2015). **Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo - Criação de modelos BIM a partir de "nuvens de pontos": Estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. Salvador, BA: Universidade Federal da Bahia - Faculdade de Arquitetura.

KALANTARI, M. N. (Outubro de 2016). **Accurancy and utility of the Structure Sensor for collecting 3D indoor information**. Geo-spatial Information Science, 19(3), pp. 202-209.

KHOSHELHAM, K. E. (Fevereiro de 2012). **Accurancy and resolution of Kinect Deph Data for indoor mapping applications**. Sensors, 12, pp. 1437-1454.

RAVANELLI, R. L. (2017). **3D Modelling by low-cost range camera: software evaluation and comparsion**. 5th International Workshop LowCost 3D - Sensors, Algorithms, Applications - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W8. Hamburg, Germany.

REMONDINO, F. E.-H. (Setembro de 2006). **Image-based 3D modelling: A review**. The Photogrammetric Record, 21(115), 269-291.

WANG, Q., & KIM, M. K. (2019). **Applications of 3D point cloud data in the construction industry: A fifteen year review from 2004 to 2018**. Advanced Engineering Informatics, 39, 306–319.

https://canvas.io/. Acesso em 09 de 05 de 2020, disponível em Canvas by Occipital: https://support.canvas.io/article/7-how-does-structure-sensor-work