

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO - CTC**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ALEXANDRE VICTOR MÜLLER FILHO**

**CAPTURA DA REALIDADE POR LASER SCANNER E FOTOGRAMETRIA PARA A GERAÇÃO  
DE BIMs**

**FLORIANÓPOLIS**

**2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO - CTC**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ALEXANDRE VICTOR MÜLLER FILHO**

**CAPTURA DA REALIDADE POR LASER SCANNER E FOTOGRAMETRIA PARA A GERAÇÃO  
DE BIMs**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pelo acadêmico Alexandre Victor Müller Filho à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil.



Orientadora: Patrícia de Oliveria Faria

Orientador: Lucio Soibelman

FLORIANÓPOLIS

2015

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, preciso agradecer a duas pessoas que não mediram esforços para me proporcionar oportunidades excepcionais: meus pai Alexandre Victor Müller e minha mãe Andrea Campos Lamego Müller. Faltam palavras para descrever minha gratidão por todo esforço e carinho dedicado por vocês. Agradeço também minha irmã Flávia Lamego Müller que tem torcido para que meus projetos pudessem tomar forma.

A toda a minha família pelo suporte e carinho. Agradeço especialmente meu tio e mentor André Luiz Müller, que desde que me recordo, me inspira, motiva e ensina.

Aos meus amigos que conheci durante esses seis anos na faculdade, Cristiano Cuchi, Felipe Carbonari Pereira, Humberto Assis de Oliveira Sobrinho, Jean Ricardo Sacenti, Jonathan Dallagnol, Leonel Werlich Caus, Marcos Felipe Nuemberg, Matheus Korbes Bracth, Renan Luiz Lecheta e Ivan Alberti. Muito obrigado pela parceria nas noites estudando para as desafiadoras e intermináveis provas e pelos sonhos que realizamos juntos. Dizem que um homem não tem mais que meia dúzia de fiéis amigos, mas vocês tem me provado o contrário.

A todos os amigos e colegas que conheci ao longo do período de empresa Junior e graduação, que foram importantes para todo o meu desenvolvimento e aprendizado mas que, por falta de espaço, não puderam ser citados nominalmente aqui. Também, aos amigos que fiz na USC: Danilo Palomares, Felipe da Paz, José Pimenta e Juan Ignacio.

Ao meu mentor Lúcio Soibelman, por não ter medido esforços e energia para transmitir seus conhecimentos, por ter me acolhido na *University of Southern California* e por ter aceitado me auxiliar nesse desafio. A professora Eloisa Dezen-Kempter, por ter me auxiliado durante a execução desse trabalho. Ao Professor Marcos Noronha, por ter aberto portas para realizar meus sonhos e a professora Patricia Faria, por ter cedido seu tempo e esforço na orientação desse trabalho. Ao engenheiro Rafael Fernandes Teixeira por ter apoiado a execução desse trabalho.

Aos meus amigos da Integra Construção Inteligente, Danilo Lopes, Guilherme Pelizza, Raphael Matsumoto e, mais uma vez, Matheus Bracth, pelos aprendizados que levo comigo obtidos durante nossa jornada na empresa.

A todos vocês, minha sincera gratidão e agradecimento.



"Como um homem pensa, assim ele é; como ele continua a pensar, assim ele permanece." - **James Alle**

"Sucesso é fazer o que você quer, quando você quer, aonde você quer, com quem você quer, tanto quanto você quiser." – **Tony Robbins**

## RESUMO

Os Modelos de Informação da Construção, traduzindo do termo em inglês *Building Information Model* – BIM – estão se tornando cada vez mais populares em escritórios de engenharia e arquitetura ao redor do mundo e canteiros de obra. Esses modelos que contem informações a respeito de diferentes etapas do ciclo “Projeto-Construção-Operação” auxiliam o *stakeholders* a realizarem tomadas de decisão mais assertivas (SILVEIRA, 2013) e, conseqüentemente, reduzem os desperdícios de recursos envolvidos em um projeto.

Muitas tecnologias estão sendo desenvolvidas para nutrir com informação o banco de dados de um modelo BIM (TWOMEI, 2013). A captura de realidade é um desses recursos que aprimora-se constantemente através de novos softwares e equipamentos que são desenvolvidos. Esse recurso permite o levantamento de geometrias do meio externo para a geração de uma nuvem de pontos. Esta tecnologia está sendo utilizada para diferentes fins, desde a criação de modelos *as-built* de edifícios, até para a verificação de estruturas de obras de infra-estrutura, como pontes e viadutos.

Nesse Trabalho de Conclusão de Curso será apresentado uma revisão bibliográfica de publicações a respeito do uso de fotogrametria e laser scanners para captura de realidade. Além disso, esse trabalho contempla um estudo de caso em que duas edificações foram capturadas com o uso de um *laser scanner*. Ele também apresenta um segundo estudo de caso em que testes utilizando fotogrametria para captura de realidade e geração de modelo *BIM* foram realizados. Finalmente, um estudo de caso em que parte de uma edificação foi modelada baseada a partir de uma nuvem de pontos é apresentado.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão típica de uma "point cloud".....	17
Figura 2 - BIM ao longo do ciclo de vida da edificação. ....	19
Figura 3 - Drone com câmera acoplada.....	22
Figura 4 - Ilustração do processo de "space resection". ....	24
Figura 5 - Método correto de captura das imagens.....	26
Figura 6 - Leica ScanStation P40 .....	36
Figura 7 - Visão geral do site que disponibiliza a visualização do levantamento. ....	37
Figura 8 - Vista de uma das posições de escaneamento do IEE.....	37
Figura 9 - Medição de distâncias através da nuvem de pontos.....	38
Figura 10 - Vista do pátio interno do IEE.....	38
Figura 11 - Patologia no IEE.....	39
Figura 12 - Levantamento da área do desastre com Laser Scanner. ....	40
Figura 13 - Levantamento da área do desastre com Laser Scanner. ....	41
Figura 14 - Levantamento da área do desastre com Laser Scanner. ....	41
Figura 15 - Levantamento da área do desastre com Laser Scanner. ....	42
Figura 16 - Levantamento volumétrico realizado automaticamente. ....	42
Figura 17 - Seções transversais do rio. ....	43
Figura 18 - Riegl Laser Scanner VZ-400. ....	46
Figura 19 - Riegl VZ400 armazenado no case de proteção. ....	47
Figura 20 - Modelo Invetório Completo .....	48
Figura 21- Vista da Torre do Relógio do Mudd Hall. ....	49
Figura 22 - Corredores externos do Mudd Hall.....	50
Figura 23 - Detalhes dos adornos esculturais existentes na edificação.....	50
Figura 24 - Croqui de um levantamento modelo com targets.....	52
Figura 25 - Refletores circulares planos branco e vermelho.....	53
Figura 26 - Refletores circulares planos biaxiais bireflexíveis. ....	53
Figura 27 - Refletores cilíndricos .....	54
Figura 28 - Pátio externo Mudd Hall .....	55
Figura 29 - Plano de escaneamento do primeiro teste.....	56
Figura 30 - Visor e teclas de controle do Riegl VZ400. ....	56
Figura 31 - Cabo de alimentação de energia.....	57

Figura 32 - Ajuste do ângulo de varredura, sendo que theta representa o eixo horizontal e phi representa o ângulo vertical. ....	58
Figura 33 - Imagem que representa a nuvem de pontos parcialmente coletada.....	58
Figura 34 - Imagem que representa pontos com alta reflexão, destacados em vermelho.....	59
Figura 35 - Processo de finescan. ....	59
Figura 36 - Reflexão do raio laser sobre o refletor.....	60
Figura 37 - Biblioteca do Mudd Hall. ....	61
Figura 38 - Registration no pátio externo do Mudd Hall.....	62
Figura 39 - Exemplo do método de registration utilizando o Software Autodesk Recap. ....	62
Figura 40 - Gráficos de qualidade da registration no Software Autodesk Recap. ....	64
Figura 41 - Nuvem de pontos do jardim interno do Mudd Hall.....	65
Figura 42 - Nuvem de pontos do jardim interno do Mudd Hall.....	65
Figura 43 - Nuvem de pontos das colunas adornadas do Mudd Hall. ....	66
Figura 44 - Planta Baixa do térreo do Mudd Hall. ....	68
Figura 45 - Plano de levantamento das etapas 1 e 2 do Mudd Hall. ....	68
Figura 46- Nuvem de pontos da fachada leste do Mudd Hall.....	70
Figura 47 - Nuvem de pontos da fachada norte do Mudd Hall.....	70
Figura 48 - Nuvem de pontos da fachada oeste do Mudd Hall.....	72
Figura 49 - Nuvem de pontos da fachada sul do Mudd Hall. ....	72
Figura 50 - Nuvem de pontos do acesso principal do Mudd Hall. ....	74
Figura 51 -Nuvem de pontos do corredor interno do Mudd Hall. ....	74
Figura 52 - Nuvem de pontos da sala localizada na área norte do Mudd Hall. ....	75
Figura 53 - Nuvem de pontos do corredor interno do Mudd Hall. ....	75
Figura 54 - Nuvem de pontos da biblioteca do Mudd Hall. ....	76
Figura 55 - Vista da Fachada do URC.....	77
Figura 56 - Localização do URC no campus da USC.....	77
Figura 57 - Planejamento do levantamento do URC.....	78
Figura 58 - Nuvem de pontos da fachada leste do URC.....	79
Figura 59 - Nuvem de pontos da fachada norte do URC.....	79
Figura 60 - Nuvem de pontos da fachada sul do URC. ....	80

Figura 61 - Nuvem de pontos da fachada sul do URC. ....	80
Figura 62 - Nuvem de pontos do jardim interno do URC. ....	81
Figura 63 - Nuvem de pontos do jardim interno do URC. ....	81
Figura 64 - Nuvem de pontos do jardim interno do URC. ....	82
Figura 65 - Nuvem de pontos do corredor interno do URC. ....	82
Figura 66 - Processo de geração da malha tridimensional a partir do Recap 360. ....	83
Figura 67 - Mensagem de erro devido ao baixo número de fotografias. ....	84
Figura 68 - Opções de configuração adotadas para o teste 1. ....	85
Figura 69 - Imagem da malha gerada pelo Recap 360 em modo de visualização com textura. ....	86
Figura 70 - Nuvem de pontos criada pelo Recap 360 do pilar em modo de visualização que mostra apenas a malha com textura. ....	87
Figura 71 - Nuvem de pontos criada pelo Recap 360 do pilar em modo de visualização que mostra apenas a malha sem textura e com sombra. ....	87
Figura 72 - Configurações adotadas no Autodesk Memento para processamento do teste com pilares. ....	88
Figura 73 - Imagem da malha gerada pelo Memento em modo de visualização com textura. ....	89
Figura 74 - Malha criada pelo Memento do pilar em modo de visualização que mostra apenas a superfície sólida sem textura e com sombra. ....	89
Figura 75 - Malha criada pelo Memento do pilar em modo de visualização que mostra a malha sem textura e com sombra. ....	90
Figura 76 - Deformações devido a sombras formadas por coqueiros. ....	91
Figura 77 - Deformações encontradas em pontos no telhado da edificação. ....	92
Figura 78 - Deformações encontradas na malha em pontos no telhado da edificação. ....	92
Figura 79 - Visão geral da geometria da edificação utilizada no segundo teste gerada pelo Recap 360. ....	93
Figura 80 - Nuvem de pontos criada pelo Recap 360 da recepção do hotel em modo de visualização que mostra apenas a malha com textura. ....	93
Figura 81 - Nuvem de pontos criada pelo Recap 360 da recepção do hotel em modo de visualização que mostra apenas a malha sem textura. ....	94

Figura 82 - Visão geral da geometria da edificação utilizada no segundo teste gerada pelo Memento. ....	94
Figura 83 - Nuvem de pontos criada pelo Memento da recepção do hotel em modo de visualização que mostra apenas a malha sem textura.....	95
Figura 84 - Vista da nuvem de pontos geradas pelas fotos da cobertura do URC.....	97
Figura 85 - Visão da nuvem de pontos do Laser Scanner e das fotos. ....	97
Figura 86 - Vista de topo da nuvem de pontos importada no Archicad 19. ....	98
Figura 87 - Vista frontal da nuvem de pontos importada no Archicad 19.....	99
Figura 88 - Corte da nuvem de pontos do URC.....	99
Figura 89 -Nuvem de pontos e aberturas modeladas no Archicad destacadas por contorno laranja. ....	100
Figura 90 - Elementos modelados no Archicad 19.....	100

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos Gerais.....	14
1.2	Objetivos Específicos .....	14
1.3	Justificativa.....	14
1.4	Estrutura do trabalho.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1	O que é captura de realidade? .....	16
2.2	Nuvem de pontos.....	16
2.3	O que é BIM .....	17
2.4	Por que gerar modelos de informação através de laser scanner e fotogrametria?.....	20
2.5	Fotogrametria .....	22
2.6	Laser Scanner .....	27
	• <i>Pulse Time of Flight (PTOF)</i> .....	28
	• <i>Amplitude Modulated Continuous Waveform (AMCW)</i> .....	29
2.7	Comparação entre Fotogrametria e Laser Scanner.....	30
2.7.1	Vantagens do laser scanner.....	30
2.7.2	Desvantagens do laser scanner .....	31
2.7.3	Vantagem da fotogrametria .....	31
2.7.4	Desvantagens da fotogrametria.....	31
2.7.5	Exemplo de aplicação: Monitoramento de canteiros de obra.....	34
2.7.6	Exemplo de aplicação: Reconstrução virtual do IEE em Florianópolis-SC	35
2.7.7	Exemplo de aplicação: Reconstrução virtual de desastres naturais .....	39
2.7.8	Exemplo de aplicação: Captura de realidade para remodelagem e reformas .....	43

3	ESTUDO DE CASO - <i>LASER SCANNER</i> .....	45
3.1	Levantamento com Laser Scanning do Mudd Hall .....	49
3.2	<i>Registration</i> .....	51
3.3	Testes .....	55
3.4	Levantamento Mudd Hall .....	67
3.5	Levantamento com Laser Scanning do URC .....	77
4	ESTUDO DE CASO COM FOTOGRAMETRIA.....	83
4.1	Teste 1 - Elemento isolado: pilar de edificação.....	84
4.2	Teste 2 - Fachada do Hotel Marriot Inn Residence .....	90
4.3	Teste 3 - Mudd Hall e URC .....	95
5	ESTUDO DE CASO DE GERAÇÃO DE BIM A PARTIR DA NUVEM DE PONTOS .....	98
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	101
7	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	103
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
9	ANEXOS.....	107



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Objetivos Gerais

Apresentar métodos de captura de realidade para a criação de modelos de informações da construção através de nuvens de pontos geradas por fotografia ou levantamento com Laser Scanner e apresentar aplicações práticas da nuvem de pontos para a geração de BIM.

## 1.2 Objetivos Específicos

1 - Identificar possibilidades de softwares e hardwares para geração de nuvens de pontos através de fotografia.

2 - Identificar possibilidades de softwares e hardwares para geração de nuvens de pontos através de *Laser Scanner*.

3 - Apresentar estudos de casos de nuvens de pontos geradas utilizando os dois métodos: *Laser Scanning e fotogrametria*.

4 - Apresentar uma aplicação em que parte de um modelo BIM foi criado a partir de uma nuvem de pontos.

## 1.3 Justificativa

Em 2013, o autor começou a ter contato com a tecnologia *BIM*. Motivado a estudar mais sobre o assunto, através de uma oportunidade gerada pelo Programa Ciência Sem Fronteiras, passou por um período de um ano na *University of Southern California* em Los Angeles, em que pode conhecer a tecnologia *laser scanner* para geração de nuvens de pontos. Nessa experiência, nasceu a paixão e a vontade de estudar mais sobre o assunto, o que acabou resultando nesse trabalho de conclusão de curso.

## 1.4 Estrutura do trabalho

Esse trabalho está dividido em sete capítulos, distribuídos da seguinte forma:

O primeiro capítulo apresenta uma introdução ao assunto, contemplando os objetivos gerais e específicos, a justificativa e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo refere-se a revisão bibliográfica sobre o que é captura de realidade, conceitos relacionados a nuvem de pontos, o que é BIM, motivos para a geração de modelos de informação através de *laser scanning* e fotogrametria, conceitos de fotogrametria e *laser scanner*, e, finalmente, vantagens e desvantagens de cada uma das duas tecnologias.

O terceiro capítulo apresenta dois estudos de caso com *Laser Scanner*, em que duas edificações localizadas na *University of Southern California* foram capturadas através de *laser scanning*.

O quarto capítulo aborda três estudos de caso utilizando fotografias para a geração de nuvens de pontos.

No quinto capítulo o autor demonstra um método para a geração de um modelo BIM a partir da nuvem de pontos.

No sexto capítulo, o autor faz considerações finais sobre o estudo.

No sétimo capítulo, sugestões para pesquisas futuras acerca do tema são feitas.

No oitavo capítulo, estão indicadas as referências bibliográficas adotadas nesse trabalho.

Finalmente, no último capítulo, estão expostos os anexos referenciados no presente trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O que é captura de realidade?

Para entender o conceito de captura realidade, é importante introduzir-se um fenômeno chamado estereoscopia. Através desse fenômeno que ocorre a partir das duas imagens obtidas pela visão, cada uma por um dos olhos humanos, extrai-se a profundidade da cena em ambientes habitados ou, por exemplo, as estruturas externas de um edifício (H. Cantzler, 2003).

Desde a invenção da câmera fotográfica em 1988, as intermináveis possibilidades que um dispositivo portátil adaptável a diversas condições, permitiu ao mundo capturar imagens como nunca antes possível (Twomey, 2013). Com a popularização das câmeras digitais e baseado no princípio da estereoscopia, softwares de fotogrametria tornaram possível a reconstrução de objetos 3D em um formato digital (Fei Daí, 2002).

O objetivo da captura de realidade é captar informações do mundo real digitalmente. Essa informação capturada ao longo de um período de tempo através de *Laser Scanning*, fotogrametria ou outros sensores, podem ser comparadas para fornecer importantes entendimentos sobre o progresso, deterioração ou movimentação de estruturas críticas (Autodesk, 2015).

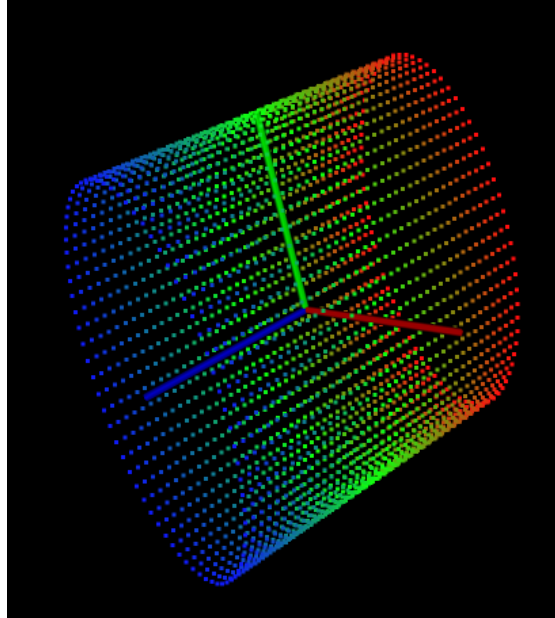
Enquanto a geração de modelos terrestres digitais possui uma longa tradição e eficientes soluções, a modelagem correta de superfícies fechadas ou objetos com formatos complexos, segundo Baltasavias, é de natureza recente, não é um problema completamente resolvido e continua sendo um problema significativo investigado em muitas pesquisas científicas.

### 2.2 Nuvem de pontos

Uma nuvem de pontos é um conjunto de dados de pontos dispostos em um sistema de coordenada tridimensionais que contém um ou mais canais de informações (iluminação, oclusão, área, intensidade, etc) de cada ponto. Em GIS - Sistema de Informações Geográficas - geometria de nuvem de pontos é também conhecido como LiDAR. LiDAR - *Light Detection and Ranging* - é uma técnica de sensoriamento remoto

óptico que utiliza raios laser para mapear uma superfície da terra, produzindo medições x, y e z precisamente (ArcGIS, 2013).

*Figura 1 - Visão típica de uma "point cloud".*



Fonte: Site da *Point Cloud.org*.<sup>1</sup>

Essa nuvem é utilizada para geração de um modelo, através de diferentes métodos, que variam desde a criação de malhas até a modelagem de geometrias usando os pontos como referenciais. As nuvens de pontos suportam o processo de projeto fornecendo contexto do mundo real possibilitando a recriação do objeto referenciado ou a inserção de modelos adicionais. (Autodesk, 2015).

### **2.3 O que é BIM**

Existem diferentes definições para BIM. EASTMAN (2008) define-o como uma tecnologia de modelagem e processos associados para produzir, comunicar e analisar modelos de construções. BECERIK-GERBER (2014) conceitua BIM como um processo focado no desenvolvimento, uso e transferência em um modelo de informação centralizado que facilita a documentação, exploração de concepções de projeto, extração de quantitativos e orçamento, verificação de interferências, coordenação e

---

<sup>1</sup> Disponível em: [http://pointclouds.org/documentation/tutorials/pcl\\_visualizer.php](http://pointclouds.org/documentation/tutorials/pcl_visualizer.php). Acesso em nov. 2015.

sequenciamento de construção, fabricação digital e visualização 3D de informações da construção.

De acordo com Manzione (2013), BIM é um processo baseado em modelos digitais, compartilhados, integrados e interoperáveis. Segundo a AGC (2005), um *BIM* é uma representação digital da edificação rica em dados, orientada a objeto, inteligente e paramétrica, em que vistas e informação apropriada a várias necessidades de usuários podem ser extraídas e analisadas para gerar informações que podem ser utilizadas para a tomada de decisão e otimizar processos da entrega da edificação.

Segundo Bergin (2012), um *software BIM* precisa ser capaz de representar características físicas e propriedades intrínsecas de uma edificação como um modelo orientado ao objeto em uma base de dados.

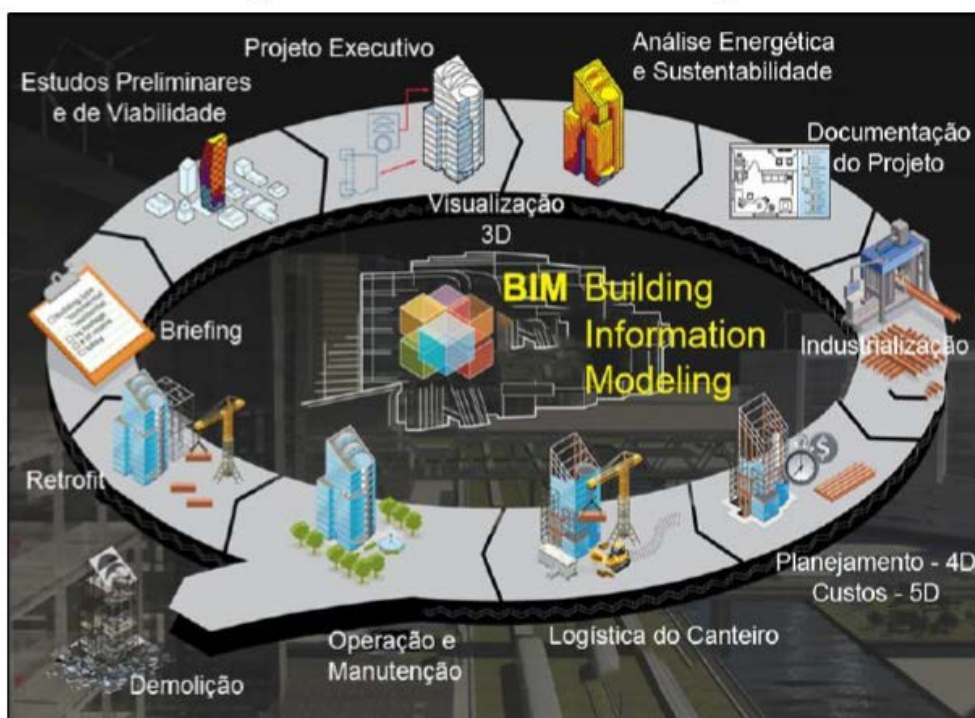
Utilizando os principais *softwares BIM* presentes no mercado, o usuário pode visualizar e interagir com o modelo a partir de vistas tridimensionais, vistas ortográficas, assim como vistas planas de duas dimensões, elevações e cortes do modelo. Uma alteração em qualquer uma das vistas é automaticamente ajustada para as demais vistas.

Softwares de modelagem paramétrica como o Revit da Autodesk, o Archicad da Graphisoft e o MicroStation da Bentley, permitem ao usuário criar restrições para cada objeto representado. Por exemplo, a altura de uma parede pode ser amarrada a um nível referente a um pavimento. Assim, sempre que alterações no nível deste pavimento ocorrerem, essa parede estava amarrada sofrerá modificações em sua altura.

Eastman defende que desenhos para a construção são ineficientes e causam redundâncias de um objeto que é representado em diferentes escalas. Ele também critica cópias impressas de desenhos devido a sua tendência de desatualizar-se ao longo do tempo e falhar ao representar o edifício quando renovações ocorrem e os desenhos não são atualizados. O processo BIM trás consigo melhorias significativas devido ao aumento de produtividade, otimizando e até mesmo eliminando tarefas repetitivas de correção de desenhos.

No *Caderno BIM*, uma iniciativa liderada pela Secretária de Estado da Saúde de Santa Catarina, é feita uma importante distinção entre os dois significados existentes para a sigla BIM. O *Building Information Modeling* pode ser definido como um processo que permite a gestão da informação, por todo o ciclo de da edificação. Por outro lado, *Building Information Models* são o conjunto de modelos compartilhados, digitais, tridimensionais e semanticamente ricos, que formam a espinha dorsal do processo do *Building Information Modeling*.

Figura 2 - BIM ao longo do ciclo de vida da edificação.



Fonte: Caderno BIM Santa Catarina, p. 18.

Underwood e Isikdag (2010) definem as seguintes características dos *Building Information Models* como:

- Orientados a objetos;
- Ricos em dados e abrangentes: os modelos são ricos em dados e abrangentes enquanto cobrem e mantêm as características físicas e funcionais e os estados dos elementos do edifício;
- Tridimensionais: os modelos representam a geometria do edifício em três dimensões;

- Espacialmente relacionados: as relações espaciais entre os elementos do edifício são mantidas nos modelos de maneira hierárquica;
- Semanticamente ricos: os modelos mantêm uma grande quantidade de informação semântica sobre os elementos do edifício e;
- Modelos capazes de suportar vistas: as vistas do modelo são subconjuntos ou instantâneos do modelo que podem ser gerados com base no modelo principal. Essas vistas podem ser automaticamente geradas resguardando as necessidades do usuário.

Bergin defende que a grande variedade de programas usados por arquitetos e engenheiros torna a colaboração difícil. As variações dos formatos de arquivos quando eles são exportados e importados de uma plataforma para outra faz com que eles percam fidelidade, especialmente *BIM*, em que a informação é hierárquica e específica. Para combater essa ineficiência, o formato *IFC - International Foundation Class* - foi desenvolvido em 1995. Ele vem sofrendo renovações constantes, permitindo que, por exemplo, um modelo estrutural gerado com o *software Tekla Structures*, possa ser utilizado por um arquiteto durante a criação do modelo arquitetônico utilizando o *software Revit*.

Os benefícios potenciais do uso de BIM na manutenção de edificações e operações aparentam ser significantes em diferentes áreas, como no aprimoramento do gerenciamento de projetos e fluxo de informações, mitigação de riscos, documentação histórica, gestão energética e espacial, planejamento de reformas, monitoramento, acompanhamento e controle da construção (Becerik-Gerber, 2012).

#### **2.4 Por que gerar modelos de informação através de laser scanner e fotogrametria?**

Com o advento de novos equipamentos de sensoriamento 3D de baixo custo, como a tecnologia Kinect por exemplo, e contínuos esforços no processamento de nuvem de pontos avançadas, a captura de realidade ganhou importância em diversos segmentos (Rusu, 2010). O objeto de estudo agora não é mais como obter a nuvem de pontos, mas sim, como utilizar a grande quantidade de informações capturadas de maneira adequada.

Dependendo da necessidade do usuário, a captura de realidade pode ter diferentes importâncias. Os modelos 3D de prédios que envolvem atividades de alta periculosidade, como usinas nucleares por exemplo, são usados para monitoramento e planejamento de modificações (H. Cantzler, 2003). Em obras de terra, modelos criados por laser scanner são utilizados para verificar a movimentação de estruturas de contenção visando identificar possíveis deformações que podem comprometer a estabilidade da estrutura. O mesmo conceito é utilizado para a verificação de estruturas de pontes, identificando deformações que não são perceptíveis a olho nu, mesmo por um engenheiro especialista treinado.

Muitos projetos de auto-estradas envolvem a reabilitação de rodovias existentes. Nesses casos, métodos tradicionais de levantamento são executados na superfície do pavimento ou nas camadas do substrato. Equipamento de *Terrestrial Laser Scanners* – TLS – podem oferecer informações muito mais detalhadas e precisas em relação aos métodos tradicionais, além de garantir mais segurança ao executor do levantamento (Hong Johnson, 2012).

Segundo Christian Sanz, fundador da *Startup* de *drones Skycatch*, dentro de canteiros de obra nos Estados Unidos, *drones* – um modelo de veículo aéreo não tripulado – estão sendo utilizados para fotografar a obra periodicamente e gerar modelos 3D que permitem, mesmo a distância, o acompanhamento da evolução da construção. A construtora Skanska utiliza *drones* para gerar mapas 3D do canteiro de obras de escavação. Um sistema automatizado implementado nas máquinas permite com que elas funcionem em piloto-automático, sem a necessidade de um operador, baseando sua orientação espacial nos mapas gerados pelas fotografias.



Figura 3 - Drone com câmera acoplada.



Fonte: Página do Correio do Estado.<sup>2</sup>

*Laser Scanner* apresenta seu potencial em ambientes de mineração a céu aberto em que nem mesmo a fotogrametria consegue superar sua utilidade (Ratcliffe, 2006).

Há casos em que *laser scanner* e fotogrametria são utilizadas em conjunto, como no levantamento da geometria 3D do castelo de Haut-Andlau, na França (Landes, 2008). As aplicações das duas tecnologias resultaram em um nível satisfatório de precisão. A grande diferença entre essas duas abordagens é que o *laser scanner* baseia-se na formação de uma grelha de pontos, sem levar em consideração a estrutura do objeto, como faces e arestas. Por outro lado, levantamentos fotogramétricos concentram-se em descontinuidades do objeto e suas estruturas representativas, mesmo sem gerar uma nuvem de pontos densa (Landes, 2008).

## 2.5 Fotogrametria

É importante entender como funciona o processo de criação do modelo a partir da imagem. As técnicas de reconstrução baseadas na fotogrametria usam um conjunto de imagens de uma cena. Essas fotos podem ser obtidas por diferentes modelos e tipos de câmera. Atualmente, câmeras digitais de alta-resolução podem ser

---

<sup>2</sup> Disponível em <<http://www.correiodoestado.com.br/tecnologia/drone-faz-primeira-entrega-autorizada-nos-eua/252816/>> Acesso em setembro de 2015.

encontradas por um baixo preço. Elas são portáteis e leves, o que possibilita retirar facilmente um grande número de fotografias rapidamente e gravar diferentes objetos. Dependendo do grau de automatização do sistema, até mesmo operadores não especialistas conseguem obter informações espaciais do objeto.(Kolecka, 2010).

Com o auxílio de pequenos objetos refletivos, chamados de alvos, espalhados pelo ambiente, correspondências entre as diferentes imagens podem ser identificados facilmente. As imagens podem então ser utilizadas para calcular a estrutura tridimensional da cena e a triangulação é aplicada para obter a representação da cena como uma malha triangular (Cantzler, 2003).

O princípio fundamental da modelagem geométrica é baseada na reconstrução de feixes de raios, definido por cada câmera. Através do centro da perspectiva são mostradas direções espaciais para cada ponto da imagem. Se pelo menos duas imagens separadas espacialmente com coordenadas 3D disponíveis em relação a orientação da câmera estão disponíveis, é possível determinar a coordenada do objeto através dos raios correspondentes (homólogos). Além das informações métricas, fotografias fornecem cores e texturas, necessárias para a criação de um modelo 3D (Kolecka, 2011).

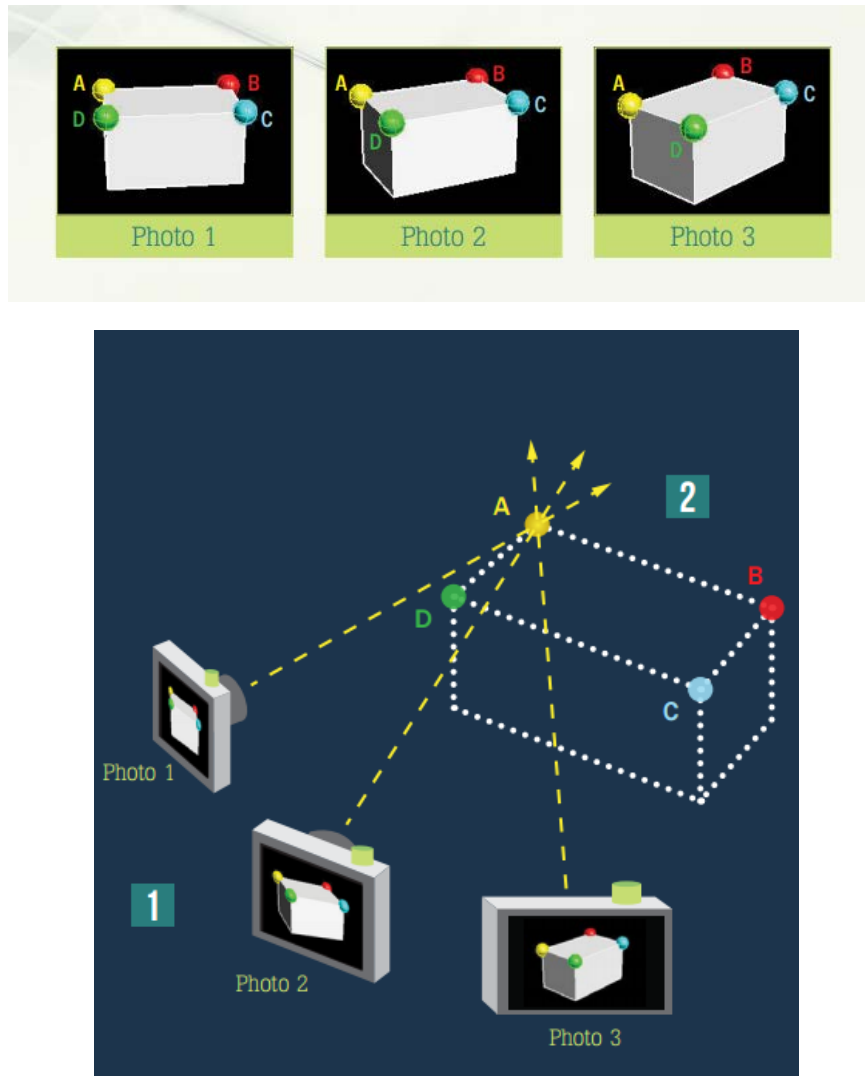
A técnica conceitual de tirar múltiplas fotos do mesmo objeto ou cena de diferentes ângulos para extrair coordenadas 3D a partir da projeção de pontos identificados nas imagens já é feita de forma automatizada devido a avanços nas técnicas de computação na nuvem. O princípio de funcionamento desse processo é baseado na técnica denominada *space resection*. Segundo Moffitt & Mikhail, *space resection* é o nome dado ao processo em que posições espaciais e orientações de fotografias são determinadas a partir de medições fotogramétricas de pontos de controle que aparecem na foto.

Em sua essência, a técnica de *space resection* usa as coordenadas das imagens e as coordenadas espaciais de objetos fixos para determinar a posição e rotação de elementos de uma foto ou de uma câmera (T.Y. Shih and W. Faig, 1988).

A imagem abaixo ilustra como o processo funciona. A geometria mostrada nas três fotos vista de ângulos diferentes possuem quatro pontos em comum (A, B, C e D),

destacados com cores. Esses pontos são utilizados para correlacionar as imagens e formar a geometria no espaço tridimensional através de uma *point cloud*.

Figura 4 - Ilustração do processo de "space resection".



Fonte: A2k Technologies Pty Ltda, 2013.

Desde que as imagens tenham pontos em comum suficientes, foco nítido, profundidade de campo e exposição consistente, a geometria 3D pode ser extraída das fotos. Em um primeiro momento, a posição das câmeras são calculada. Após, a geometria é formada em 3D através da projeção de pontos em comum estabelecidos (A, B, C e D) a partir de diferentes perspectivas. As linhas em amarelo na *Figura 4* ilustram o ponto A sendo calculado (A2K, 2013).

Durante o processo de fotografia para geração de uma nuvem de pontos de um certo elemento é necessário que certos parâmetros da foto permaneçam inalterados.

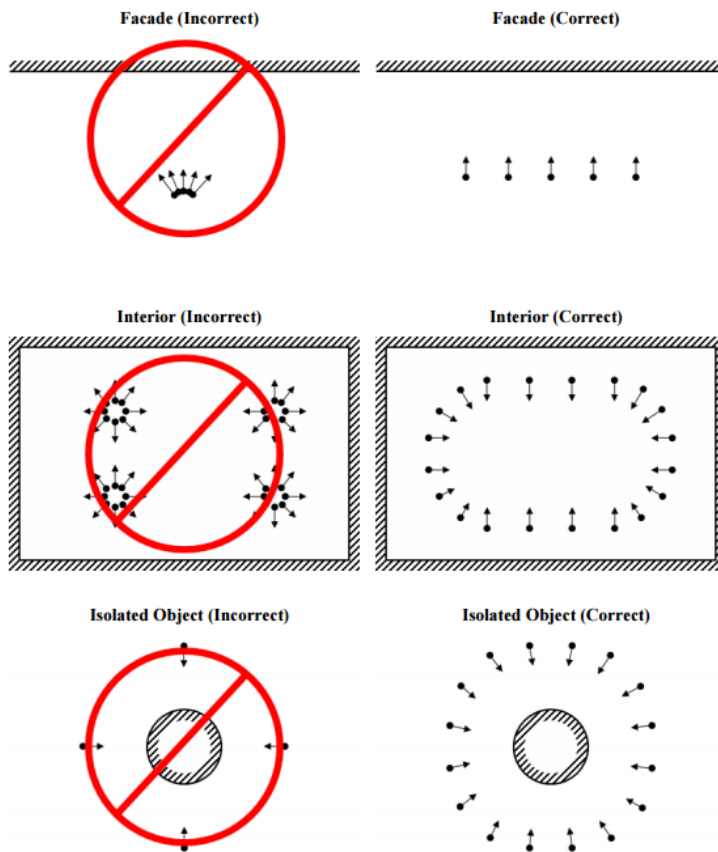
A distância focal precisa ser a mesma em todas as fotos, logo, se for utilizada uma câmera digital, a mesma deve ter a opção de ajuste manual da distância focal ou de travamento da distância focal (Radosevic, 2010).

As fotografias podem ser retiradas por qualquer câmera digital padrão, desde que alguns princípios básicos de captura da foto para que se possa obter a mais apropriada informação para a geração do modelo 3D. A fabricante de softwares *Agisoft* disponibiliza em seu manual de operação para seu software de fotogrametria *Agisoft PhotoScan* as seguintes regras:

- Usar uma câmera digital com resolução mínima de 5 *Mega Pixels*;
- As lentes *Wide Angle* funcionam melhor para a reconstrução de relações espaciais entre objetos do que as lentes *Telephoto*;
- Evitar objetos sem textura ou lisos nas cenas;
- Evitar objetos brilhosos ou transparentes;
- Evitar objetos que não são importantes para a nuvem de pontos que deseja-se construir e objetos em movimento ao máximo que for possível;
- Fotografar objetos brilhosos apenas sob céu nublado;
- Fotografar fotos para as cenas com bastante sobreposição;
- Captura do conteúdo mais importante da cena de diferentes vistas (três ou mais);
- Não cortar ou transformar geometricamente as imagens;
- Tirar mais fotos do que o suficiente é melhor do que ter menos fotos do que o suficiente;
- Investir algum tempo planejando as capturas de fotos é importante;
- Se houver a intenção de inserir um sistema de coordenadas para reconstrução do modelo 3D, identifique ou posicione na imagem uma marcação que será utilizada para referenciar o sistema de coordenadas e sua escala. Meça a distância referência.

Dependendo do objeto em foco no nuvem de pontos, algumas técnicas de posição de captura devem ser seguidas.

Figura 5 - Método correto de captura das imagens.



Fonte: PhotoScan Manual, p. 6, 2012.

A escala global das nuvens de pontos geradas através de fotogrametria é desconhecida e pode ser calculada utilizando pelo menos uma dimensão conhecida na cena. Medindo-se uma ou mais dimensões para esse propósito induz uma intervenção manual no processo de reconstrução tridimensional, o que reduz a eficiência do processo. Rashidi propõe um método utilizando um cubo, para cenas externas, e uma folha de papel, para cenas internas, ambas com dimensões conhecidas, para fins de calibração. Os pontos de quina dos objetos são comparados com as fotografias permitindo a reconstrução da nuvem de pontos com dimensões reais. (Rashidi et. al, 2014).

Afim de facilitar o armazenamento e a troca de informações existentes em uma imagem, um formato chamado EXIF - *Exchangeable Image File* - foi criado para fotografias digitais usando a compressão JPEG. A maioria das novas câmeras digitais usam esse formato, armazenando informações da imagem como *shutter speed*,

*exposure compensation*, *F number*, o sistema de medição que foi utilizado, se foi utilizado flash, *ISO number*, data e tempo em que a imagem foi fotografada, *whitebalance*, lentes auxiliares que foram utilizadas e resolução. Algumas câmeras utilizam até mesmo informação de GPS permitindo que se saiba facilmente aonde as imagens foram feitas. (Technical Standardization Committee, 2002).

Outros parâmetros que não podem variar de uma foto para outra que será utilizada para a geração da mesma nuvem de pontos são: resolução da imagem, *zoom*, distância da câmera ao objeto e exposição. O brilho e as sombras devem preferencialmente serem os mesmos nas fotografias, caso contrário poderá haver problemas na sobreposição de texturas que aparentam serem diferentes quando olhadas de posições diferentes (Cignoni, 2008).

*Flash* também pode ser utilizado, mas recomenda-se o uso de luz natural pois as fotos aparentam ser mais realistas. É recomendado também tirar mais do que uma foto da mesma posição pois não é um processo trabalhoso e pode poupar tempo caso encontre-se fotos que não são satisfatórias (Radosevic, 2010).

Os principais produtos obtidos através da fotogrametria são os DTM – Modelos Digitais de Terreno –, DSM – Modelos Digitais de Superfícies –, ortoimagens, reconstrução e classificação 2D e 3D de objetos para mapeamento ou aplicações temáticas e visualização (mapas, Vistas 3D, animações e simulações) (Baltsavias, 1999).

## **2.6 Laser Scanner**

*Laser Scanner* é uma tecnologia não destrutiva que digitalmente captura o formato de objetos físicos utilizando um feixe de laser. *3D laser scanning* é um método de capturar as exatas dimensões e formatos de um objeto físico em formato digital. *Laser Scanner* foi introduzido para a comunidade pesquisadora no início da década de 1990, sendo que o primeiro *Laser Scanner Terrestre – TLS* foi construído em 1999 (Kolecka, 2011).

*Laser Scanners* vem sendo utilizados para diferentes fins na construção civil. Muitos estudos mostram o potencial do uso dessa tecnologia para a detecção de conflitos, controle de qualidade e monitoramento de progresso da construção. Tang et al. apresentou uma metodologia para identificação de defeitos na superfície do

concerto (Tang, 2009) . Su et al. investigou a aplicação dessa tecnologia para monitoramento do progresso de escavação em um estudo de caso (Sue, 2006). Cheok et al. investigou a precisão da informação provinda de um *laser scanner* para extração de volume de objetos. Um grupo de pesquisa do NIST – *National Institute of Standards Technology* – investigou como utilizar informações do *laser scanner* para localização de objetos no canteiro de obras.

Existem diferentes tipos de *Laser Scanners* que utilizam diferentes princípios de funcionamento. Os dois principais são *pulse time of flight laser scanner (PTOF)* e *amplitude modulated continuous waveform (AMCW)*. As informações capturadas por eles são de diferente precisão e densidade, o que implica em diferentes possibilidades de utilização (Akinci, 2009). Sendo assim, cada *LS* é apropriado para um uso específico.

- ***Pulse Time of Flight (PTOF)***

Esse tipo de *LS* emite pulsos de laser e mensura o intervalo de tempo entre o envio e o recebimento do pulso após ele refletir em uma superfície (Akinci, 2009).

Segundo Akinci, esse modelo de *Laser Scanner* é mais recomendado para controle de qualidade de construções em comparação ao *AMCW*, visto que é mais preciso em termos de localização de pontos e por possuir um alcance maior para a captura de informações.

Para o mapeamento de superfícies topográficas o *Time-of-flight bases scanner* é o modelo mais recomendado (Buckley, 2008). Esse dispositivo mensura o tempo de retorno de cada pulso de laser emitido, que em conjunto com os componentes angulares permite o cálculo das coordenadas 3D, da mesma maneira que um levantamento realizado com uma estação total (Kolecka, 2011).

As principais vantagens do *PTOF* é o seu longo alcance, alta precisão, baixa distorção da informação em descontinuidades espaciais. As principais desvantagem é que a sua coleta de dados é mais devagar do a do *AMCW* (Akinci, 2009).

Ele é mais recomendado para espaços estáticos que requerem alta precisão geométrica de informações, espaços abertos que não requerem alto nível de detalhamento do formato do objeto, grandes edificações que requerem longo alcance

do *laser scanner* e outros propósitos que requerem grande precisão da localização do objeto, como na operação de uma grua (Atasoy, 2009).

- ***Amplitude Modulated Continuous Waveform (AMCW)***

*AMCW laser scanner* emite ondas de laser contínuas e usa a diferença de fase entre a onda emitida e o sinal refletido para estimar as distâncias entre o aparelho e a superfície (Akinci, 2009).

Segundo Atasoy em um estudo de caso realizado na área interna de uma edificação que esse modelo de *scanner* possui uma maior eficiência em comparação ao *PTFO*. Além disso, ele consegue capturar informações com menos distorções do que o *PTFO* no mesmo período de tempo (Atasoy, 2009). Portanto, pode-se afirmar que esse tipo de *Laser Scanner* é mais indicado para distâncias curtas entre o objeto a ser escaneado e o equipamento.

As principais vantagens são a velocidade de coleta de informações, que é em média 10 vezes mais rápida do que o *PTOF* e que ele pode coletar informações densas em um curto espaço de tempo. As principais desvantagens são o seu médio alcance, nível médio de precisão e o fato de que gera mais distorções do que o *PTOF* (Akinci, 2009). Estudos sobre o uso de *Range-based LS*, apontou que está tecnologia possibilita alto nível de aquisição de informação, alta densidade espacial de informação, alto nível de detalhe e uma grande precisão métrica (Arayici et al, 2013).

Esse modelo de *scanner* é recomendado para escaneamentos rápidos de pequenos e médios espaços (com dimensões menores do que 100 metros), aplicações que requerem alto nível de detalhamento do formato do objeto, canteiros de obra movimentados que não podem parar por mais do que poucos minutos, visto que consegue um rápido *scan* (Atasoy, 2009).

Em complemento a comparação já feita entre os dois *LS*, pode-se afirmar que nenhum dos dois funciona corretamente para vidros, alumínio, e aço, requerem um grande tempo de preparação pré-operação e possuem problemas de mobilidade. (Akinci, 2009).



A coordenada X de cada ponto do objeto é calculada pela medição precisa da posição do espelho do scanner dentro da câmera. A coordenada Y é calculada pelo sistema preciso de movimento da câmera. A coordenada Z é calculada através da triangulação do laser com a câmera (Radosevic, 2010).

O custo elevado para a aquisição limita o uso de *Terrestrial Laser Scanners*. Outra limitação é o peso elevado do equipamento, que pode causar sérios problemas de transporte em campo especialmente em áreas remotas ou quando um elemento complexo está sendo analisado e necessita de muitas modificações na posição do *Laser Scanner* para evitar oclusões. (Atasoy, 2009).

Airborne Laser Scanners vem sendo utilizado para a alimentação de dados em mapas. Em conjunto com um algoritmo de detecção automática de prédios e modificações em edificações, o processo de atualização de mapas que antes era feito manualmente, agora pode ser feito de forma automatizada. Essas informações 3D geográficas podem ser utilizadas para planejamento urbano, visualização, estudos de ambiente, simulações, turismo, gerenciamento de facilidades, planejamento de redes de telecomunicação, navegação de pedestre e veículos (Baltsavias, 1999).

## **2.7 Comparação entre Fotogrametria e Laser Scanner**

A principal vantagem de utilizar um *Laser Scanner* é a sua precisão. Em um estudo realizado em que levantou-se o monumento histórico de “DonjaZgosca” utilizando *Laser Scanner* e fotogrametria aliada à técnicas manuais de pós-modelagem utilizando softwares, Radosevic elencou as principais vantagens e desvantagens de cada uma das tecnologias:

### **2.7.1 Vantagens do laser scanner**

O Laser Scanner proporcionou uma precisão milimétrica, o que era mais do que suficiente nessa aplicação estudada. Outra vantagem é que o modelo 3D pode ser automaticamente gerado utilizando o equipamento e, após, otimizado automaticamente utilizando softwares específicos. No caso do uso de uma câmera acoplada ao Laser Scanner, pode ser obtido um modelo com alta precisão geométrica e texturas, que aparentam ser reais (Radosevic, 2010)

### **2.7.2 Desvantagens do laser scanner**

Laser Scanner é uma tecnologia cara. Os modelos escaneados que ainda não receberam tratamento de softwares de otimização possuem pequenos erros que precisam ser removidos manualmente para atingir um alto nível de detalhe do modelo. Nesse caso específico, houve um problema com a intensidade de luz natural, logo os levantamentos precisaram ser realizados no período noturno, o que inviabilizou a utilização de câmeras fotográficas acopladas ao laser para a obtenção de texturas. Outro problema encontrado foi que devido ao grande tamanho do arquivo gerado, não foi possível utilizar aplicações web para o aprimoramento do modelo. (Radosevic, 2010)

### **2.7.3 Vantagem da fotogrametria**

Fotogrametria é bem mais barato do que a técnica de LS - Laser Scanner. Se o orçamento for o principal parâmetro a ser considerado no projeto, a fotogrametria deve ser adotada. Com essa técnica, foi possível atingir um alto nível de realismo no modelo criado, principalmente com o uso de softwares manuais de pós-modelagem. (Radosevic, 2010)

### **2.7.4 Desvantagens da fotogrametria**

Essa técnica demanda bastante tempo. Ela requer um operador com experiência para obter um grande nível de detalhe assim como é possível com o LS.

No fluxo de trabalho da fotogrametria, a calibragem das imagens e suas orientações são necessárias após a aquisição das imagens afim de criar-se um nuvem de pontos densa em um sistema de coordenadas comum. No fluxo de trabalho do Laser Scanner, a nuvem de pontos devem ser registradas em um sistema de coordenadas comuns (Fassi, 2007).

Segundo Kolečka, não é simples de responder a pergunta sobre qual dos dois sistemas é melhor. Ambos os métodos possuem diferenças significativas em termos de características gerais e requerimentos para aquisição de informação. Kolečka realizou um estudo em que um Laser Scanner terrestre e fotogrametria foram utilizados afim de comparar as duas aplicações em um caso de levantamento de encostas íngremes. O autor sugere o uso de fotogrametria pelos seguintes fatores: o custo de equipamentos

de alta qualidade é muito menor; o equipamento é facilmente portátil e as posições da câmera podem ser escolhidas mais convenientemente; o trabalho de campo leva menos tempo, minimizando custos, riscos e permitindo um registro imediato do estado do objeto.

A qualidade da nuvem de pontos gerada pela fotogrametria depende basicamente da qualidade das fotos e sua cobertura e da precisão das medidas de escala utilizadas. No Laser, depende da superfície do objeto e da precisão do equipamento de laser scanner utilizado (Jordá, 2008).

H. Cantzler considera como caros e trabalhosos os métodos que envolvem o aumento do número de imagens ou a combinação de diferentes fontes de nuvem de pontos para a melhoria do resultado final do levantamento. Ele defende um método mais automatizado que busca melhorar a qualidade de reconstrução do modelo através da identificação e exploração de propriedades arquitetônicas da cena.

Segundo Scott, as duas abordagens podem ser utilizadas para o levantamento de monumentos históricos e a adoção da tecnologia apropriada depende de três fatores-chave: precisão, escala e acessibilidade. El-Hakim et al. (2004) listou oito requisitos para criar modelos tridimensionais completos e precisos: precisão da geometria, captura de todos os detalhes, fotorrealismo, nível de automação, custo baixo, portabilidade, flexibilidade da aplicação e a eficiência em relação ao tamanho do modelo.

Tabela 1 - Comparação entre "3D laser scanning" e fotogrametria segundo El-Hakin.

<b>Tecnologia</b>	<b>3d Laser Scanning</b>	<b>Fotogrametria</b>
Precisão	Milímetros	Centímetros
Resolução	Milhões de pontos	Centenas de pontos
Custo do equipamento	Dezenas de milhares	Centenas
Habilidades necessárias	Médio-alta	Baixa
Portabilidade	Baixa	Alta
Geração de informação 3D	Captura automática	Processo manual
Desafios ambientais	Refletividade, textura da superfície, clima, movimentação do alvo, linha de visão.	Textura da superfície e material, ângulo de visão, linha de visão.

Fonte: EL-HAKIM ET. AL, 2004.

Até o ano de 2007, não havia nenhum software que realizasse todo o processos de leitura da informação levantada pelo laser scanner, geração dos Modelos Digitais de Superfície, executar o projeto fotogramétrico e aplicar texturas de alta definição das imagens no DSM (Jordá, 2009). O cenário permaneceu o mesmo até 2010, quando o processo totalmente automatizado de criação de nuvens de pontos a partir de fotografias ainda era objeto de estudo na área da modelagem 3D (Radosevic, 2010). Hoje, softwares como o Recap e o 123D Catch, da Autodesk, permitem que o usuário, mesmo sem conhecimentos avançados em técnicas de fotogrametria, possam criar nuvens de pontos 3D de objetos.

Beraldin (2004) concorda com a abordagem híbrida afirmando que para se modelar ambientes complexos, compostos por múltiplos objetos com características diferentes, é essencial que se combine informações de diferentes sensores e informações de diferentes fontes.

Um experimento realizado no *Georgia Institute of Technology* pelo pesquisador Fei Dai propôs uma comparação entre fotogrametria, videogrametria e *time-of-flight scans* utilizando como critérios precisão, qualidade, tempo, eficiência e custo. Para

análise, foram coletadas informações espaciais de infraestrutura típicas: duas pontes e um prédio. Ao final, comparando-se os resultados obtidos com uma medição realizada por uma estação total, tomada como controle, revelou-se que video/fotogrametria podem produzir resultados de precisão moderada e qualidade, porém a um custo muito mais baixo do que o custo ao utilizar um *laser scanner*. O resultado obtido, segundo defente Fei Dai et. al é suficiente para auxiliar engenheiros a tomar decisões

#### **2.7.5 Exemplo de aplicação: Monitoramento de canteiros de obra**

A evolução de uma construção é predominantemente medida com levantamento manuais de campo. Esses levantamentos são trabalhosos, despendendo tempo produtivo de um operário ou engenheiro. Os relatórios gerados são subjetivos e aproximados pois são baseados na experiência individual do pesquisador (Hui, L. et.al, 2014).

O objetivo dessa aplicação é verificar se elementos do edifício foram potencialmente construídos. Segundo Golparvar, o monitoramento preciso e oportuno das operações de um canteiro de obras proporcionam a consciência de problemas específicos no projeto. Devido aos processos dinâmicos da construção de um projeto, pode-se assumir que a execução da obra difere fortemente do que foi planejado no início da construção. As razões para esse atraso são atrasos em entregas, atrasos na construção e a forte dependência entre processos. Para detectar alterações no cronograma o mais rápido possível, permitindo uma resposta corretiva rápida, um sistema de monitoramento automatizado da construção que trabalharia diretamente com *BIM* projetado se faz necessário. As variações encontradas causariam mudanças no cronograma e nos demais elementos modelos no BIM (Tuttas, 2015).

Para verificar a aplicabilidade dessa tecnologia, foram utilizados métodos com Laser Scanners e Fotografias.

A abordagem para a verificação dos componentes da edificação consistem em dois testes diferentes. Baseado em parâmetros de visibilidade, partes não existentes do prédio podem ser detectadas se for possível olhar através delas. Partes adicionais do edifício podem ser marcadas como *status desconhecido* quando elas estão oclusas ou não vistas pela câmera.

A informação atualizada sobre a situação do projeto em execução é um instrumento importante para a tomada de decisão. Segundo Jun Yang, as atuais práticas para captura dessas informações são lentas, caras e inclinadas a erros. Ele defende técnicas de visão computacional como imagens estáticas, fotos em *time-lapse*, e vídeos para documentação do progresso do trabalho (Jun Yang et al., 2015)

Kevin K Han defende um método que mescla *BIM 4D* e modelos de nuvens de pontos 3D geradas a partir de fotos. Nesse método, o usuário manualmente aponta correspondências entre a nuvem de pontos e o modelo *BIM* no início do processo, o que gera alinhamento entre ambos e as posições em que as câmeras do canteiro de obra estão posicionadas. Novas fotos são feitas com uma certa periodicidade, gerando atualizações no modelo da nuvem de pontos. Através de uma técnica chamada *reasoning about occlusion*, é possível verificar quais elementos do modelo *BIM* estão em conflito espacial em relação a nuvem de pontos, o que indica que esse elemento já foi construído (Kevin K. Han, Mani Golparvar, 2015)

Os principais problemas para a aplicação dessa tecnologia em canteiros de obras são as oclusões, a ocorrência de vários objetos temporários e o acesso limitado a potenciais locais para fotografia (Stilla, 2015).

Em um estudo realizado por Hui, Park e Brilakis em 2014, elaborou-se um método que utiliza vídeos capturados pelo celular do usuário para detectar tijolos em uma fachada através da utilização de técnicas computacionais de detecção de vértices e filtragem de formas e tamanhos retangulares. Comparando cenas consecutivas, o algoritmo desenvolvido permite contar quantos tijolos foram adicionados a parede. O método ao ser implementado teve um resultado de precisão de 99,8%. (Hui, L. et. al, 2014).

#### **2.7.6 Exemplo de aplicação: Reconstrução virtual do IEE em Florianópolis-SC**

Esse exemplo de aplicação aconteceu devido a um acordo de cooperação técnica entre a Secretaria de Planejamento do Estado de Santa Catarina e a fabricante de equipamentos de *laser scanner Leica*. Esse acordo preve uma série de aplicação práticas do *scanner* em obras públicas no Estado.

Um desses estudos de caso aconteceu no segundo semestre de 2015 e constituiu-se do escaneamento do Instituto Estadual de Educação, maior escola pública do estado localizada em Florianópolis, Santa Catarina. A edificação passará por uma reforma para melhoria da sua estrutura física de atendimento a comunidade. Para isso, o LaBIM - Laboratório de estudos de implantação de BIM em obras públicas - realizou o levantamento para a reconstrução virtual da edificação e identificação de aplicações do modelo de informação durante o período de licitação para contratação de empresas executoras da reforma.

O levantamento do instituto foi realizado utilizando-se o equipamento *Leica ScanStation P40*. Segundo a fabricante *Leica*, esse equipamento possui uma velocidade de escaneamento de um milhão de pontos por segundo em uma distância de até 270 metros. Ele pode operar em temperaturas que variam de -20 graus celsius até 50 graus celsius.

Figura 6 - Leica ScanStation P40



Fonte: Site Globalsurvey.co.nz

É possível acessar o resultado do levantamento no site *TrueView Global*, através do link <http://truviewglobal.leica-geosystems.com/location/sitemap/564bcb2fdbda2713d3bedf90>.

Figura 7 - Visão geral do site que disponibiliza a visualização do levantamento.



Fonte: Site TrueView Global.

Figura 8 - Vista de uma das posições de escaneamento do IEE.

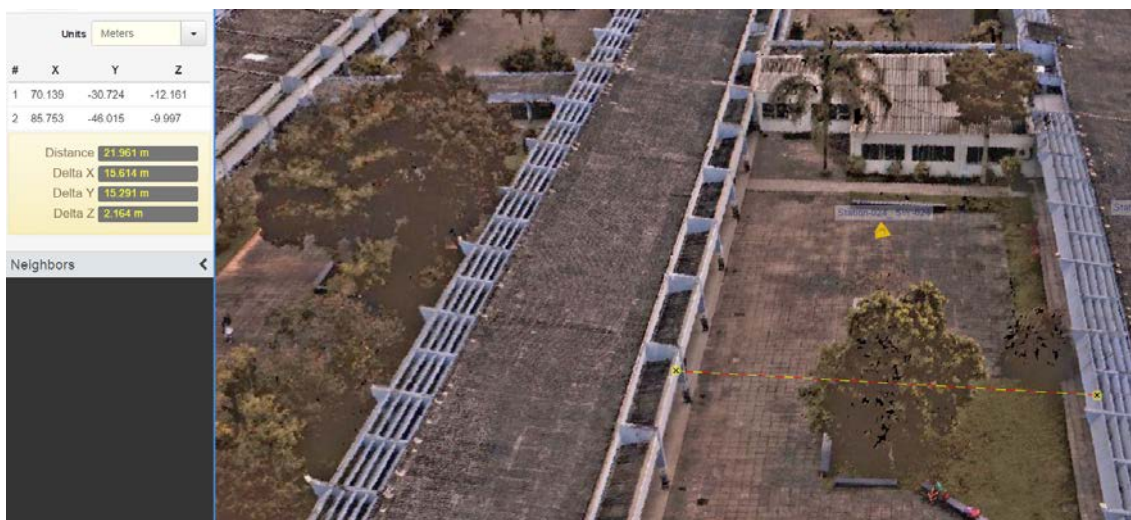


Fonte: Site TrueView Global.

Devido a ferramentas existentes no próprio *site*, é possível extrair medidas entre elementos presentes na nuvem de pontos, como mostrado na imagem abaixo.

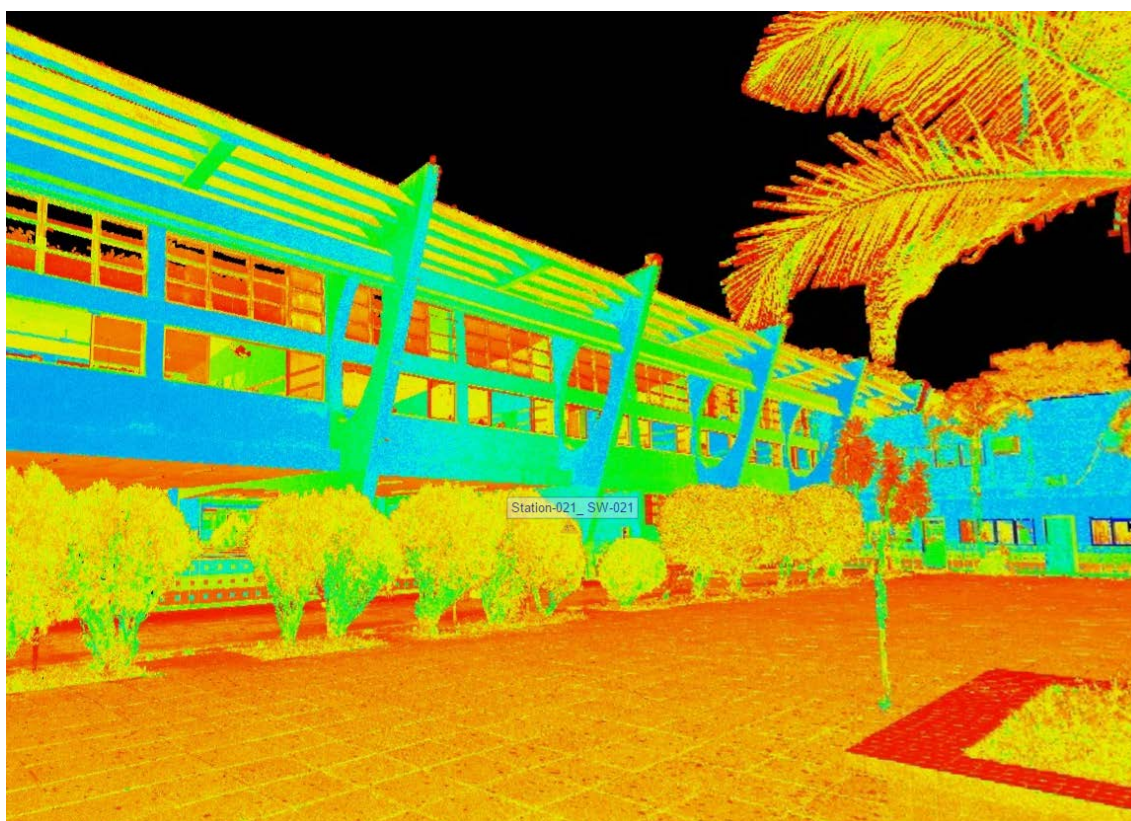


Figura 9 - Medição de distâncias através da nuvem de pontos.



Fonte: Site TrueView Global.

Figura 10 - Vista do pátio interno do IEE.

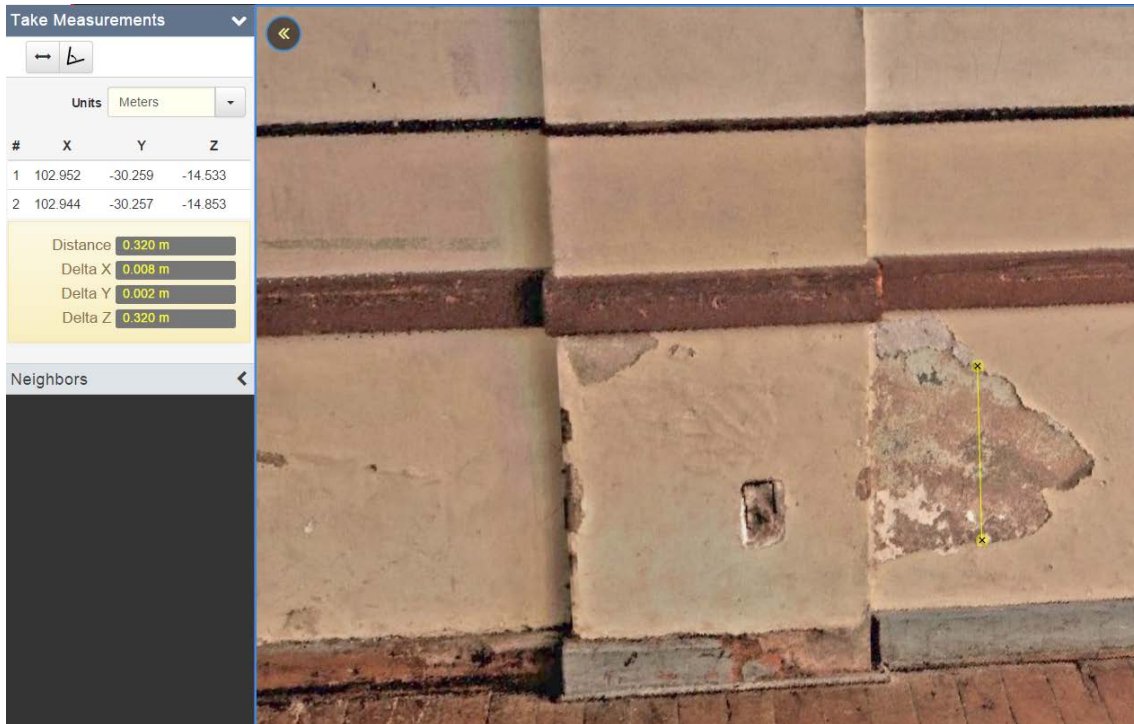


Fonte: Site TrueView Global.

Segundo o Engenheiro Rafael Teixeira, responsável pelo LaBIM-SC, esse processo pode tornar mais eficiente o processo licitatório, evitando a utilização de termos aditivos ao longo da execução da obra. Isso é possível devido ao maior controle

proporcionado pela captura de realidade, que permite registrar as reais condições da edificação e identificar com maior precisão os itens que precisam ser reparados. A figura abaixo mostra a mensuração da dimesão de uma patologia identificada na pintura de uma das salas do IEE.

Figura 11 - Patologia no IEE.



Fonte: Site TrueView Global.

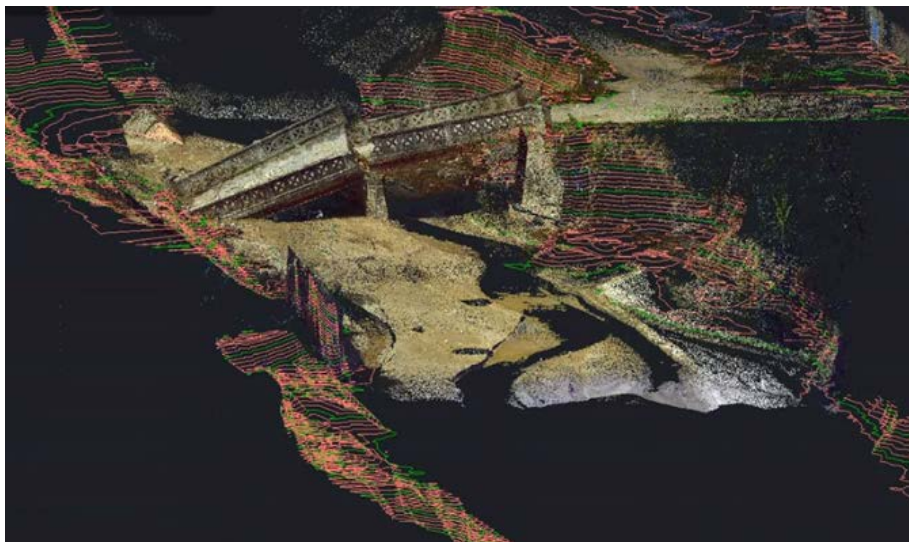
### 2.7.7 Exemplo de aplicação: Reconstrução virtual de desastres naturais

Um estudo de caso para a aplicação de *laser scanning* para a reconstrução virtual de ambientes atingidos por desastres naturais foi apresentado durante a conferência *Autodesk University 2013*, ocorrido em Las Vegas, Estados Unidos. Devido a um desastre natural ocorrido em Acapulco, em que um furacão causou inundações em certas regiões, o governo precisou realizar obras de reparo aos danos da infraestrutura pública. Devido a destruição das pontes e de parte de ruas marginais ao rio, fazia-se necessário a realização de um levantamento topográfico para projetos de reconstrução.

Para isso, foi realizado um levantamento utilizando laser scanner que cobriu uma área com extensão de 11 quilômetros. Este levantamento foi dividido em áreas.

Na primeira delas, realizou-se um levantamento topográfico da região que abrigava uma ponte que foi destruída. No total, foram realizados 22 *scans*, consumindo um tempo total de 4 horas e 30 minutos de trabalho em campo para levantamento dos dados, 10 horas para processamento dos dados e 16 horas para preparação dos relatórios e pranchas topográficas para entrega ao cliente. Comparando com o método tradicional, utilizando uma estação total, seriam necessárias 10 horas de levantamento de pontos em campo para cobrir essa mesma área.

*Figura 12 - Levantamento da área do desastre com Laser Scanner.*



Fonte: Autodesk University, Las Vegas, 2014.

As imagens abaixo mostram o resultado final após processamento dos dados. Observa-se que a tecnologia auxilia a visualização do cenário real de campo, facilitando ao time de projeto criar uma solução projetual adequada com a realidade.



*Figura 13 - Levantamento da área do desastre com Laser Scanner.*



Fonte: Autodesk University, Las Vegas, 2014.

*Figura 14 - Levantamento da área do desastre com Laser Scanner.*



Fonte: Autodesk University, Las Vegas, 2014.

A segunda região, levantou uma faixa do rio para capturar dados referentes as ruas destruídas pela enxurrada. As imagens abaixo mostram o resultado final desse levantamento. Para realizar esse levantamento, foram necessários 7 scans, consumindo um tempo de 7 horas e 30 minutos de levantamento em campo, 1 hora e 30 minutos de processamento dos dados e 14 horas para geração de documentos finais para o cliente. No método tradicional de levantamento com estação total, seriam necessárias 8 horas de trabalho em campo.

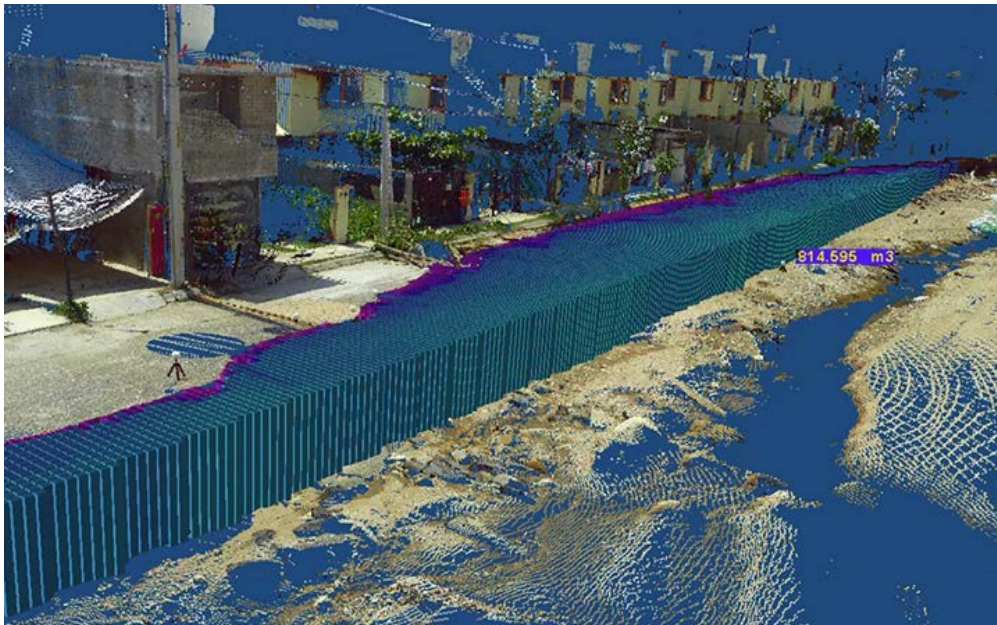
*Figura 15 - Levantamento da área do desastre com Laser Scanner.*



Fonte: Autodesk University, Las Vegas, 2014.

Através de softwares para visualização da nuvem de pontos, é possível fazer medições de distâncias no cenário capturado. Nesse caso, um levantamento volumétrico permitiu calcular o volume de aterro necessário para reconstruir a rua destruída pela enxurrada, mostrada na figura abaixo.

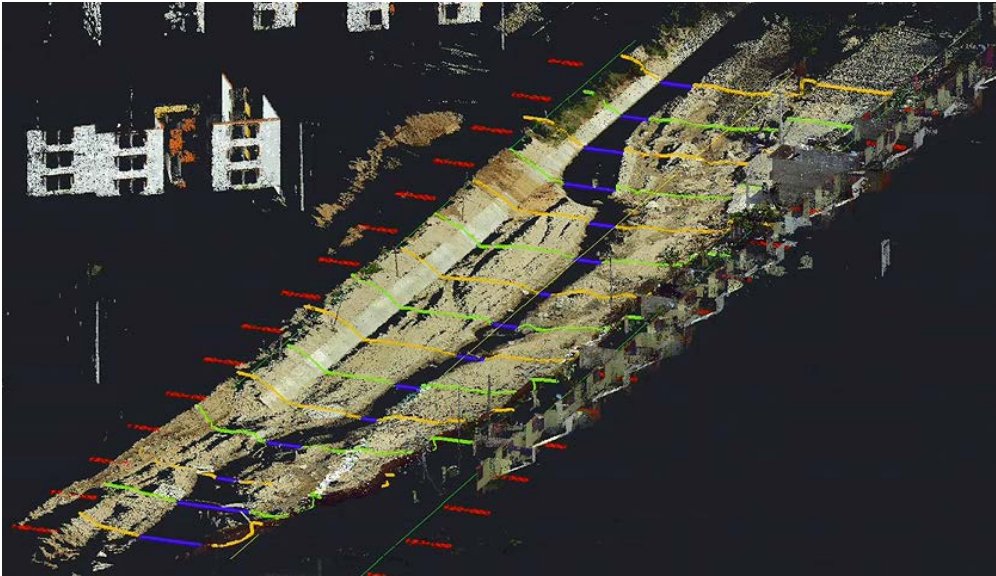
*Figura 16 - Levantamento volumétrico realizado automaticamente.*



Fonte: Autodesk University, Las Vegas, 2014.

Após, com o auxílio do software Civil 3D, curvas de nível foram traçadas ao longo do rio para verificar o volume de sua secção transversal.

Figura 17 - Seções transversais do rio.



Fonte: Autodesk University, Las Vegas, 2014.

### 2.7.8 Exemplo de aplicação: Captura de realidade para remodelagem e reformas

Nesse estudo de caso, uma área de aproximadamente 2.800 metros quadrados dentro um hospital de seis andares precisava ser reformada. Somava-se aos fatores complicadores de uma obra dentro de uma hospital em operação, o fato de que ocorrera um atraso de 45 dias na documentação de autorização para início da obra. Ou seja, a empresa contratada para realizar a obra possui pouco tempo disponível.

Para facilitar e agilizar o processo, uma empresa subcontratada realizou um mapeamento de todas as instalações hidráulicas, elétricas e mecânicas da edificação, gerando um nuvem de pontos que foi, posteriormente, remodelada, transformando-se em um modelo parametrizado.

Alem disso, o processo de *laser scanning* foi utilizado para coordenação entre as disciplinas de projeto. Em um projeto com sistemas de complexidade elevada, como o caso desse hospital, poucos centímetros de desalinhamento ou deslocamento de um elemento estrutural pode gerar problemas na instalação de sistemas hidráulicos ou mecânicos. Assim, a nuvem de pontos gerada era utilizada para aferição, quando sua posição geométrica no sistema de coordenadas era comparada com a posição dos elementos presentes no modelo projetado.



Para a verificação de estruturas já construídas, procedimentos automatizados de captura de realidade estão sendo pesquisados pela comunidade científica. Os grandes avanços acontecidos nos últimos 10 anos permitiram com que a criação de modelos *as-built* assim como a detecção de danos e levantamento de grandes estruturas de concreto, tem o potencial de serem totalmente automatizadas (Koch, C. et. al, 2014).

Para executar um telhado é necessário adquirir as dimensões assim como a edificação foi construída pois ela muitas vezes difere das dimensões apresentadas em projeto. Em um estudo realizado por Habib Fathi, um método de levantamento utilizando vídeo, que é um método simples de usar, automatizado, mais barato e seguro, é testado. O responsável coleta vídeos com uma câmera calibrada. A informação capturada é processada automaticamente gerando uma malha 3D do telhado alvo. As dimensões dessa malha podem ser importadas por *softwares* de corte de metal, automatizando o processo construtivo (Fathi, H., Brilakis, I., 2013).

### 3 ESTUDO DE CASO - LASER SCANNER

Os estudos de caso sobre *Laser Scanning* que serão apresentados nesse trabalho foram realizados na - *University of Southern California* - em Los Angeles, Califórnia. Inserido na estrutura da USC está o *Sonny Astani Department of Civil and Environmental Engineering* da *Viterbi School of Engineering*. Um dos grupo de pesquisa dessa escola é o iLAB - *Innovation in Integrated Informatics LAB* -, laboratório que tem como visão desenvolver ferramentas, técnicas e soluções computacionais inovadoras para interações entre edificações e pessoas, e consciência de situações através da integração de informação (i-lab, 2012).

O grupo de pesquisa atua em três pilares principais:

- *Human Building Interaction for Energy Efficiency*
- *Situational Awareness for Built Environment*
- *Building Information Technology & Management*

Dentro do pilar de *Building Information Technology & Management*, realizou-se uma pesquisa em parceria com uma empresa de construção civil americana para utilização de *Laser Scanning* visando a verificação de deslocamentos na estrutura de contenção de uma auto-estrada. Essa empresa utilizava a tecnologia para realizar medições periódicas na obra de ampliação da *highway 405*, localizada em *Los Angeles County*. Comparando os resultados obtidos ao longo das semanas era possível identificar movimentações que colocariam em risco a estrutura da autopista.

Porém, esse processo possuía um problema. Como as medições aconteciam em etapas diferentes da obra, haviam variações entre os objetos capturados nas nuvens de pontos. As nuvens de pontos obtidas no momento em que haviam formas para a concretagem da estrutura diferiam das nuvens de pontos do momento em que essas formas já haviam sido retiradas, algumas semanas depois. Fazia-se necessário uma "limpeza", que consistia em remover os pontos indesejáveis que representavam as formas. Ela precisava ser feita manualmente através do uso de *softwares*, o que tornava o processo lento e ineficiente. A motivação da empresa em buscar o *ILab* era desenvolver um algoritmo que pudesse automaticamente limpar essa nuvem de pontos filtrando os pontos indesejados.



Durante o primeiro semestre de 2014, a equipe do ILab envolvida nesse projeto foi capacitada pela empresa *RIEGL*, fabricante de *Laser Scanner* e equipamentos para sensoriamento. O equipamento escolhido para utilização foi o *Riegl VZ-400*.

A linha "V" de laser scanners tridimensionais terrestres RIEGL VZ-400 proporciona aquisição de data em alta velocidade e sem contato através do uso de um raio laser infravermelho e um mecanismo de escaneamento rápido. Segundo a própria fabricante, Riegl, a alta precisão baseia-se no processamento online e digital do formato de onda obtido, o que permite atingir uma capacidade superior de medição mesmo em condições atmosféricas adversas e a avaliação de múltiplos ecos de sinais. Esse mecanismo, conhecido como escaneamento em linha, é baseado na rápida rotação do espelho multifacial poligonal existente no aparelho que proporciona a formação de feixes de laser lineares, unidirecionais e paralelos. O RIEGL VZ-400 é um equipamento relativamente compacto e leve, possível de ser montado em qualquer orientação e mesmo em condições limitadas de espaço. (RIEGL, 2015).

*Figura 18 - Riegl Laser Scanner VZ-400.*



Fonte: Site da Riegl.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.riegl.com/products/terrestrial-scanning/produktdetail/product/scanner/5/>. Acesso em Ago. 2015.

Entre as principais características desse modelo de laser scanners estão a alta velocidade de aquisição de informação, amplo ângulo de visão, controlável durante o escaneamento, capacidade de captura de múltiplos alvos, capacidade superior de mensuração em condições adversas, integração com sensores de inclinação, integração com receptor de sinal GPS, interfaces variadas (LAN, WLAN e USC2.0) e capacidade de armazenamento interno. Ele é utilizado principalmente em medições de arquitetura, levantamentos as-built, levantamentos arqueológicos e culturais, modelagem de cidades, levantamento de túneis e engenharia civil em geral (RIEGL, 2015).

*Figura 19 - Riegl VZ400 armazenado no case de proteção.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

O Laser Scanner 3D Riegl VZ400 proporciona aquisição de informação com 5mm de precisão em um alcance de até 600 metros e uma taxa de eficiência de mensuração de até 122.000 medições por segundo. O equipamento proporciona um campo de visão de 100° vertical e 360° horizontal. Ele utiliza um feixe de laser invisível para a segurança da visão do operador (RIEGL, 2014).

No topo do instrumento, um suporte de três pontos de alta precisão permite a integração de uma camera *DSLR* que pode ser utilizada em conjunto com o feixe de laser para captura de cenas. A camera conecta-se diretamente ao *laser scanner* através de uma fonte de energia e uma interface *USB*. A combinação do *scanner*, *software* e

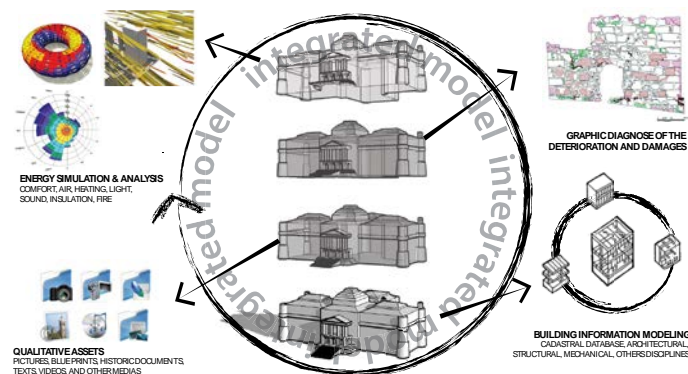
camera resultam em informações 3D fotorrealísticas de qualquer ponto virtual (RIEGL, 2014).

O scanner pode ser operado diretamente pelo seu display ou então através de um *notebook*, quando conectado via cabo ou *wifi*. Esse modelo de *scanner* é compatível com o software da RIEGL, *RiscanPRO* para escaneamento terrestre (RIEGL, 2014).

Após esse período de capacitação e prática com o equipamento, uma nova pesquisa utilizando *laser scanner* iniciou-se no ILab. Essa pesquisa, desenvolvida por Eloisa Dezen-Kempton, visava utilizar tecnologias de *Laser Scanning* para a restauração de patrimônios históricos.

Segundo Eloisa, nos últimos anos, construir modelos 3D de patrimônios históricos tornou-se cada vez mais usual para o propósito de manutenção e aprimoramento do valor arquitetônico da edificação e protegendo o seu valor histórico. Em um estudo publicado em 2015, a autora propôs o conceito de inventário completo - *comprehensive inventory* - que é um modelo tridimensional semântico que pode funcionar como um depósito central de informações do ciclo de vida da edificação. Esse inventário armazena informações sobre as formas, detalhes construtivos e o histórico contexto do edifício. (Dezen-Kempton, 2015).

Figura 20 - Modelo Invetório Completo



Fonte: DEZEM-KEMPTER, 2015.

O estudo de caso apresentado nesse trabalho aborda dois dos três principais passos para a geração desse modelo tridimensional semântico: a captura das condições atuais do prédio através de *laser scanning* e a criação da sua geometria e representação tridimensional a partir da informação coletada. O terceiro passo, que seria a integração de informações históricas sobre a edificação não será abordado.

### 3.1 Levantamento com Laser Scanning do Mudd Hall

A primeira edificação escolhida para realizar-se o levantamento da nuvem de pontos foi o *Mudd Hall of Philosophy*, uma edificação no estilo Toscano que aparece em diversos roteiros de viagens de Los Angeles e em inúmeros filmes e programas de televisão. Essa edificação foi construída por R. Westcott e finalizada em 5 de junho de 1930. Ela possui uma torre com um relógio de ponteiro situada 44,5 metros (146 pés) acima da junção entre as asas norte e oeste. O prédio é adornado com esculturas, relevos e mosaicos. O *Mudd Hall of Philosophy* está localizado em frente a linha de metro no lado sul do campus da USC - *University of Southern California*. No total, a edificação de dois andares possui uma área de 2573,7m<sup>2</sup>.

Figura 21- Vista da Torre do Relógio do Mudd Hall.



Fonte: Plataforma Flickr.<sup>4</sup>

*Figura 22 - Corredores externos do Mudd Hall.*



Fonte: Site de Kevin James Wong.<sup>5</sup>

*Figura 23 - Detalhes dos adornos esculturais existentes na edificação.*



Fonte: Plataforma Pinterest.<sup>6</sup>

A existência desses inúmeros detalhes decorativos tratava-se de um desafio adicional para a extração da geometria em forma de nuvem de pontos. Por tratar-se de elementos arquitetônicos da edificação que precisavam ser determinados com precisão para a construção de um modelo fidedigno, eles precisavam ser capturados

---

<sup>4</sup> Disponível em: [https://www.flickr.com/photos/army\\_arch/8127989270](https://www.flickr.com/photos/army_arch/8127989270). Acesso em Out., 2015.

<sup>5</sup> Disponível em <http://kevinjameswong.com/2013/04/30/pictures-i-took-recently/>. Acesso em Out. 2015.

<sup>6</sup> Disponível em <https://www.pinterest.com/pin/106186503687481038/>. Acesso em Out. 2015.

com precisão. Isso exigia com que o nível de precisão do escaneamento fosse o suficiente para identificar os relevos.

### **3.2 Registration**

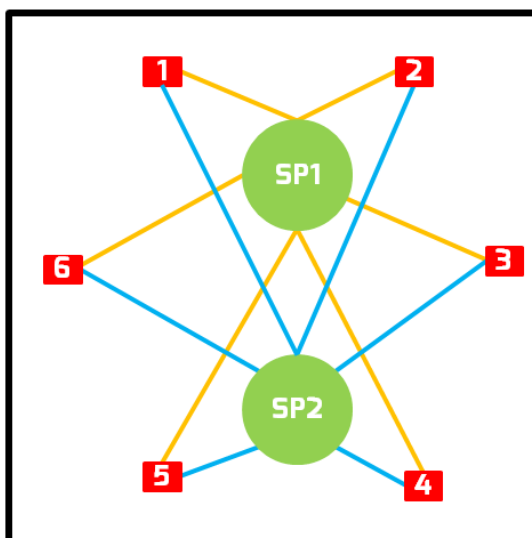
Antes de abordar os detalhes de como foi realizado os levantamentos, é necessário definir um conceito importante: *registration*, que é o processo de união de duas ou mais nuvens de pontos diferentes utilizando pontos em comum entre as duas nuvens. Esse processo é importante pois o *laser scanner* tem um alcance restrito a um raio do ponto em que esta localizado. Sendo assim, para conseguir-se abranger uma edificação inteira é necessário realizar outros levantamentos posicionando o *laser scanner* em outros locais, denominados de *scan position*. No processo de registration, os pontos que representam os mesmos objetos nas diferentes nuvens de pontos são alinhados e sobrepostos. Para isso, uma série de testes que serão explicados mais a frente foram realizados.

Existem dois principais métodos de *registration*: *target* e *targetless*.

- *Target*: nesse método, objetos de referência, chamados de alvos reflectores - *reflector targets* - são utilizados como pontos de controle ou pontos de ligação (Riegl, 2006). Um alvo é um objeto projetado para possuir uma alta reflectância. O exemplo da figura abaixo ilustra a situação.

O contorno quadrado em preto representa as paredes de um ambiente. Os círculos verdes denominados SP1 e SP2, representam as posições 1 e 2 do *laser scanner*, respectivamente. Os quadrados em vermelho, numerados de 1 a 6 representam os alvos. Finalmente, as linhas amarelas e azuis representam os alvos "avistados" pelo *laser scanner* nas posições 1 e dois respectivamente.

Figura 24 - Croqui de um levantamento modelo com targets.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse caso, para unir as informações coletadas nas duas posições, utiliza-se os pontos alvo como referência. Durante o primeiro escaneamento, após fazer um giro completo de 360 graus e coletar tudo o que está em sua faixa de alcance, o *scanner* apresenta ao operador pontos que possuem uma refletância mais elevada. O operador, por sua vez, indica ao aparelho qual daqueles pontos representam um alvo, numerando-os em sequência. A seguir, o aparelho realiza um segundo giro buscando identificar com melhor clareza todos os alvos. Esse procedimento pode variar de acordo com o modelo e o fabricante do *laser scanner*.

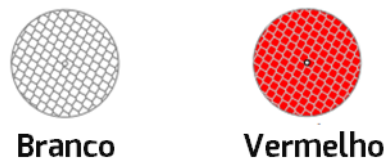
Existem diferentes tipos de alvos disponíveis no mercado. Nesse estudo de caso, serão apresentados os alvos refletores da fabricante *Riegl*.

- **Refletores circulares planos**

Esses refletores podem ser usados para levantamentos com *Laser Scanner* ou estação total. O seu furo central possui 3mm de diâmetro e seu verso é auto-colante, possibilitando a fixação em superfícies planas. Disponível com diâmetros de 50 e 100 milímetros. Afim de seguir regulamentações de tráfego, eles estão disponíveis nas cores branco e vermelho (Riegl, 2006).



Figura 25 - Refletores circulares planos branco e vermelho.



Fonte: Site da Riegl. <sup>7</sup>

- **Refletores circulares planos biaxiais bireflexíveis**

Esses refletores possuem um suporte plástico montado em suportes universais com revestimentos de película refletiva nos dois lados. O seu furo central possui 3mm de diâmetro e seu verso é auto-colante, possibilitando a fixação em superfícies planas. Disponível com diâmetros de 50 e 100 milímetros (Riegl, 2006).

Figura 26 - Refletores circulares planos biaxiais bireflexíveis.



Fonte: Site da Riegl. <sup>8</sup>

- **Refletores cilíndricos**

Esses refletores possuem um furo interno com diâmetro de 24,3 mm. Estão disponíveis em dois tamanhos: altura e diâmetro de 50mm, e altura e

---

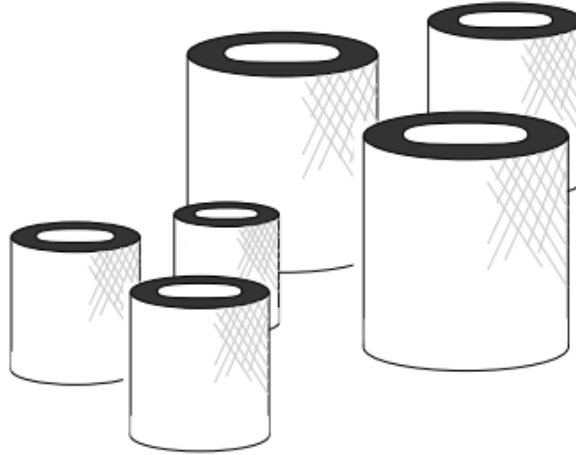
<sup>7</sup> Disponível em: [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxriegl/downloads/10\\_DataSheet\\_Reflector-Targets\\_22-08-2006.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/10_DataSheet_Reflector-Targets_22-08-2006.pdf). Acesso em Out. 2015.

<sup>8</sup> Disponível em: [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxriegl/downloads/10\\_DataSheet\\_Reflector-Targets\\_22-08-2006.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/10_DataSheet_Reflector-Targets_22-08-2006.pdf). Acesso em Out. 2015.



diâmetro de 100mm. Eles obrigatoriamente necessitam ser utilizados na posição vertical para o correto funcionamento.

Figura 27 - Refletores cilíndricos



Fonte: Site da Riegl.<sup>9</sup>

Segundo *Laser Scanning America, LLC*, a grande vantagem de utilizar alvos refletivos é diminuir ou ao menos mitigar erros entre *scans*. Um dos aspectos mais confortáveis de se usar alvos refletivos é a existência de pontos de controle, visto que o *software* é calibrado para reconhecer o alvo exatamente com o tamanho que ele de fato possui. Isso eleva a precisão do levantamento. Assim, levantamentos que necessitam um alto nível de precisão, como plantas de indústrias, por exemplo, beneficiam-se da estrutura que pontos de controle oferecem (*Laser Scanning America, 2014*).

- *Targetless*: esse método de *registration* não necessita de alvos refletores, utilizando apenas objetos da própria cena como refletores.

Segundo *Mike Cunningham*, os dois principais motivos de não utilizar alvos em um levantamento é a preservação da cena, evitando que novos objetos sejam inseridos nela, e a economia de tempo. Por exemplo, quando o *Laser Scanning* é utilizado em cenas de crime ou em cenas de acidente, os investigadores precisam manter a cena exatamente da maneira como ela foi encontrada mas também precisam

---

<sup>9</sup> Disponível em: [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxriegl/downloads/10\\_DataSheet\\_Reflector-Targets\\_22-08-2006.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/10_DataSheet_Reflector-Targets_22-08-2006.pdf). Acesso em Out. 2015.

trabalhar efetivamente para não causar sérios inconvenientes públicos. Para aumentar a eficiência desse procedimento, deve-se preparar um plano de escaneamento que inclua características fáceis de serem reconhecidas, como por exemplo estruturas ou características distintas do ambiente. (*Mike Cunningham, 2012*).

Para poder identificar qual o método ideal para realizar o levantamento do *Mudd Hall*, foi realizado uma série de testes no jardim interno da edificação utilizando *target e targetless registration*. Esse jardim possui uma fonte localizada no centro, fachadas da edificação nos lados sul, oeste e norte e o corredor externo do *Mudd Hall* no lado leste.

*Figura 28 - Pátio externo Mudd Hall*



Fonte: Site da Dornsite USC. <sup>10</sup>

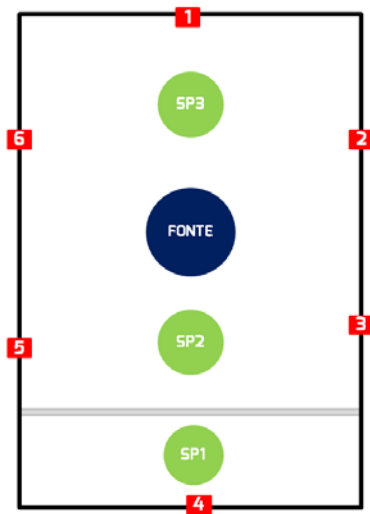
### **3.3 Testes**

No primeiro teste foram utilizados seis refletores circulares planos e três posições diferentes do aparelho, de maneira que toda a área do pátio externo pudesse ser capturada. Eles foram posicionados de uma maneira que cada posição de escaneamento pudesse focalizar pelo menos quatro refletores.

---

<sup>10</sup> Disponível em: <http://dornsife.usc.edu/phil/facilities/>. Acesso em Out. 2015.

Figura 29 - Plano de escaneamento do primeiro teste.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O aparelho utilizado para esse estudo de caso, o *Riegl VZ400* pode ser operado a partir de um visor no próprio aparelho, a partir de um *notebook* conectado via cabo ou sem fio, ou através de um dispositivo móvel como um *tablet* ou um celular. Para os dois estudos de caso apresentados, utilizou-se um *notebook* conectado via cabo.

Figura 30 - Visor e teclas de controle do Riegl VZ400.



Fonte: RIEGL, 2015.

Para alimentação de energia necessária para o funcionamento do aparelho e da câmera acoplada no topo do *laser scanner* foi utilizado uma bateria externa conectada por um cabo.

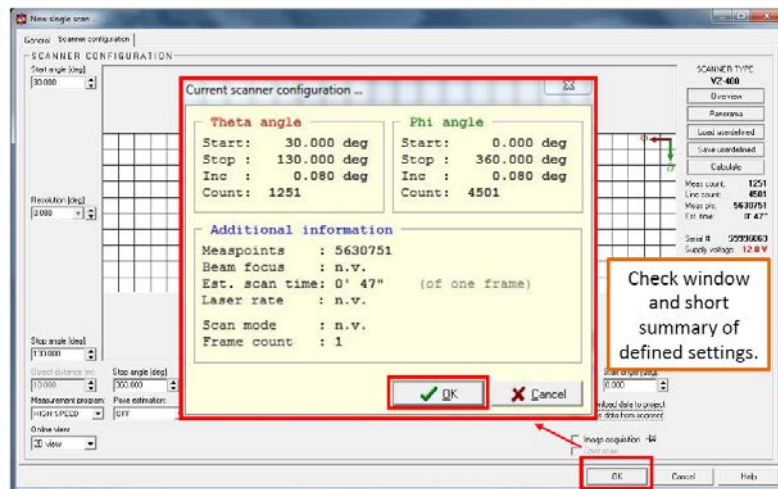
*Figura 31 - Cabo de alimentação de energia.*



Fonte: RIEGL, 2015.

A primeira etapa do levantamento em cada posição do *laser scanner* trata-se da varredura inicial. O aparelho realizará uma rotação que pode variar de 1 grau a 360 graus em torno do seu eixo vertical, de acordo com o ajuste realizado pelo operador emitindo feixes de raio laser de em um ângulo que pode variar de 30 graus a 130 graus em relação ao seu eixo horizontal no equipamento utilizado nesse estudo.

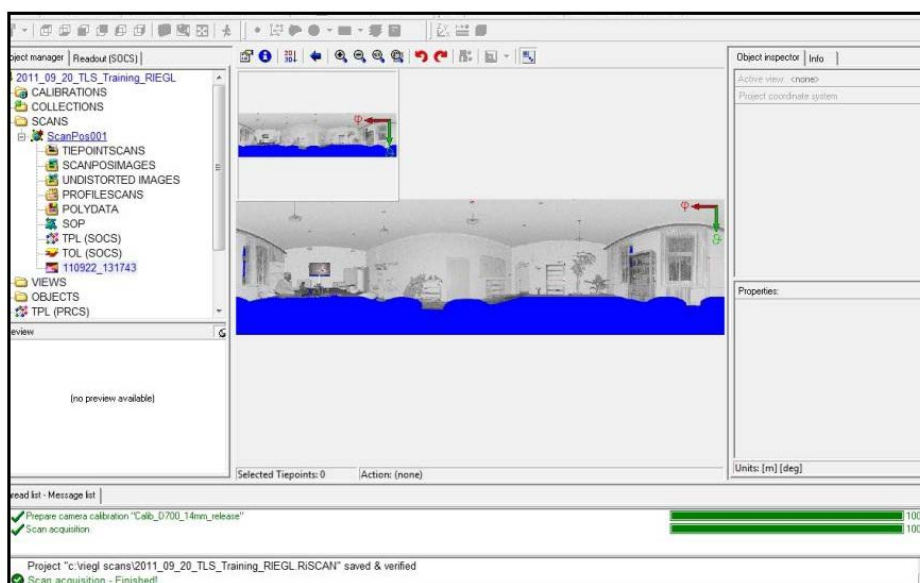
Figura 32 - Ajuste do ângulo de varredura, sendo que theta representa o eixo horizontal e phi representa o ângulo vertical.



Fonte: RIEGL, 2015.

A medida que ocorre a varredura, o operador poderá visualizar na tela do aparelho ou em seu *notebook*, dependendo do dispositivo que foi escolhido para controle do *laser scanner*, a imagem que representa a nuvem de pontos parcialmente coletada durante o levantamento. O operador poderá optar por visualizar uma imagem 2D da nuvem ou a nuvem de pontos em 3D, ambos disponíveis em uma série de variações de colorações e tonalidades de acordo com características que deseja-se avaliar na cena.

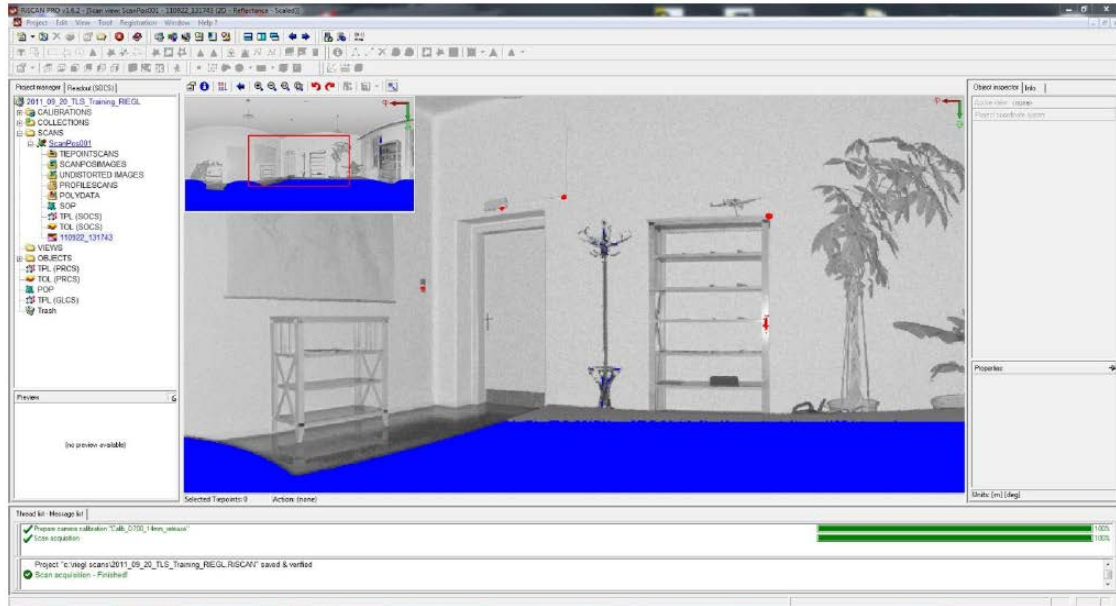
Figura 33 - Imagem que representa a nuvem de pontos parcialmente coletada.



Fonte: RIEGL, 2015.

Ao final da primeira rotação, o *software* apresentará em destaque os pontos que obtiveram um índice maior de reflexão. Cabe ao operador apontar quais desses pontos representa um alvo refletor. Atribui-se um número a esse ponto, que deve ser respeitado nas próximas posições de escaneamento.

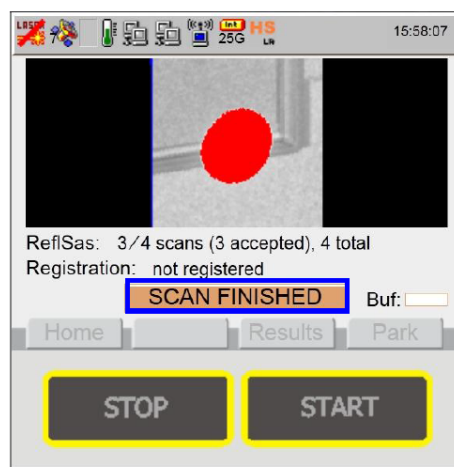
Figura 34 - Imagem que representa pontos com alta reflexão, destacados em vermelho.



Fonte: RIEGL, 2015.

Dando continuidade ao processo, o *laser scanner* realiza uma segunda rotação, denominada *finescan*. Essa varredura focará exclusivamente nos alvos refletores apontados pelo operador, buscando melhorar a resolução de cada um desses pontos.

Figura 35 - Processo de *finescan*.

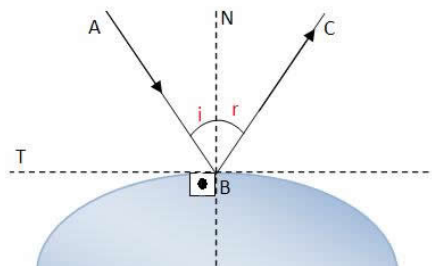


Fonte: RIEGL, 2015.

Para que haja uma captura precisa do alvo, é necessário ângulo de incidência do raio laser emitido sobre a superfície refletora seja igual ao ângulo de reflexão. Devido ao fato dos refletores serem planos, algumas das posições de escaneamento impossibilitavam a ocorrência desse fenômeno, causando um ângulo refletido diferente do ângulo de incidência.

A figura abaixo ilustra o fato, sendo  $A$  o raio laser incidente,  $C$  o raio laser refletido,  $N$  uma reta normal a superfície do alvo,  $T$  uma reta tangente a superfície do alvo,  $i$  o ângulo de incidência formado entre o raio incidente e a reta normal, e  $r$  o ângulo refletido, formado entre o raio refletido e a reta normal.

Figura 36 - Reflexão do raio laser sobre o refletor.



Fonte: RIEGL, 2015.

Sendo assim, durante o primeiro teste em que utilizou-se refletores planos, o *laser scanner* não conseguiu capturar com precisão os alvos refletores que não estavam posicionados de maneira que a reta normal a sua superfície formasse um ângulo reto com o aparelho. Nesse levantamento, a SP1 capturou corretamente apenas os alvos 1 e 4, a SP2 os alvos 1, 3, 4 e 5, e a SP3 os alvos 1, 2, 4 e 6. Como não havia o número mínimo de 4 alvos em comum entre as posições de escaneamento, não foi possível obter dados suficientes para que as nuvens de pontos fossem corretamente alinhadas entre si, o que inviabilizou a *registration*.

No segundo teste, experimentou-se utilizar alvos refletivos cilíndricos de 100mm de diâmetro. Os alvos foram posicionados da mesma maneira que no experimento anterior. Esses alvos foram posicionados sobre superfícies irregulares, como o muro que divide o pátio externo do corredor externo, nos lados leste e sul, sobre o peitoril de janelas nos lados norte e oeste. Sendo assim, não era possível garantir o perfeito alinhamento vertical dos alvos. Esse procedimento resultou em



falhas na identificação dos alvos, causando novamente erros no processo de *registration*.

Na terceira tentativa, os alvos cilíndricos foram posicionados dentro da biblioteca do *Mudd Hall* sobre mesas dispostas no recinto. Assumiu-se que as mesas eram superfícies planas, o que provou-se errado quando o levantamento foi realizado. Segundo Riegl, a maneira correta de utilizar esse tipo de alvo é com o auxílio de um tripe nivelado que garanta o perfeito alinhamento vertical. Como não havia a disponibilidade do uso de tripes em quantidade suficiente para suportar todos os alvos cilíndricos necessários no momento, optou-se por abortar esse método.

Figura 37 - Biblioteca do Mudd Hall.



Fonte: Site da Marshall USC.<sup>11</sup>

Finalmente, na quarta tentativa, foi utilizado o método *targetless* - sem alvos refletores. Para testá-lo, utilizou-se o mesmo plano de escaneamento para o pátio externo utilizado nos testes anteriormente apresentados. Ao invés de alvos refletores, foram utilizados como pontos de união detalhes da própria fachada do prédio, como tijolos de alvaria, detalhes dos muros, degraus de escada e outros detalhes decorativos. Para realizar esse método, diferentes *softwares* foram testados, como por exemplo *Cloud Compare* e *Mesh Lab*. Porém, o *software* que atendia melhor as necessidades do estudo e que foi escolhido é o *Autodesk Recap*.

---

<sup>11</sup> Disponível em: <http://marshallmashup.usc.edu/my-college-bucket-list/>. Acesso em Out. de 2015.



Figura 38 - Registration no pátio externo do Mudd Hall.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O *software* possui uma interface simples e intuitiva, o que permitiu o domínio das funções necessárias para o levantamento em poucas horas. O seu algoritmo permite que a realização da *registration* baseando-se nas fotografias obtidas da cena.

Figura 39 - Exemplo do método de registration utilizando o Software Autodesk Recap.



Fonte: Site da Autodesk.<sup>12</sup>

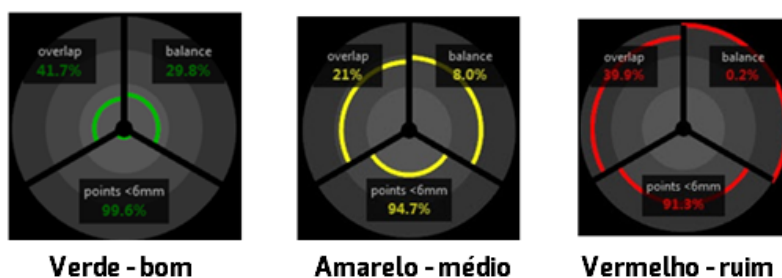
---

<sup>12</sup> Disponível em: <http://knowledge.autodesk.com/support/recap-pro/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/Reality-Capture/files/GUID-6A1274EF-CCA4-4DA3-80A5-527ED0233B26-htm.html>.

Para isso, o usuário precisa aponar três pontos em comum nas duas imagens. O algoritmo do *software* tenta alinhar as duas imagens a partir de métodos de regressão baseando-se nas coordenadas x, y e z desses pontos adotados. Ao final do processo, um gráfico circular mostrará os resultados do processo em termos de qualidade da *registration*. O gráfico é dividido em três categorias: sobreposição de pontos, balanceamento e pontos mais próximos do que 6mm.

- Sobreposição de pontos: representa a quantidade de pontos da nuvem que podem ser utilizados para o processo de *registration*. Pontos que estão distantes da nuvem de pontos referência ou que são considerados ruídos serão excluídos da consideração. O *Recap* recomenda que ocorra sobreposição de pelo menos 30% dos pontos entre duas posições de escaneamento para que o processo funcione corretamente (Autodesk, 2015).
- Balanceamento: representa a qualidade das superfícies utilizadas para *registration*. A escolha de pontos que estejam nos planos de referência x, y e z produz melhores resultados do que a escolha de pontos em apenas um ou dois planos de referência. Normalmente, áreas externas em que apenas o chão e uma parede podem ser vistos produzem resultados ruins. Por outro lado, superfícies fechadas com diversas paredes e chão possibilitam resultados bons (Autodesk, 2015).
- Pontos mais próximos do que 6mm: essa análise verifica quantos pontos na nuvem que não foi registrada estão a 6 milímetros de distância dos pontos da nuvem registrada. Ter informações que ficam dentro dessa faixa significam um casamento consistente entre escaneamentos.

Figura 40 - Gráficos de qualidade da registration no Software Autodesk Recap.



Fonte: Site da Autodesk.<sup>13</sup>

Se o resultado for aceitável, basta que o usuário aprove o relatório apresentado para o *software* realizar o alinhamento das nuvens de pontos. Caso contrário, basta repetir o processo escolhendo outros pontos de conexão.

Para esse estudo de caso, o método *targetless* mostrou-se mais eficiente entre os quatro testes possibilitando realizar o alinhamento das três point clouds de maneira satisfatória. Um dos motivos de ser mais eficiente está relacionado com a velocidade do trabalho de levantamento em campo. Quando trabalha-se com alvos refletores, é necessário que o scanner realize duas rotações completas para fazer o levantamento da nuvem de pontos. A primeira delas, com a resolução adotada no caso *Mudd Hall* de 0,045, em uma média feita a partir 42 *scans* realizados, o tempo médio foi de 8 minutos e 1 segundo. A segunda rotação, chamada de *finescan*, o aparelho leva em média 30 segundos por alvo. Assim, trabalhando-se com 6 alvos como ocorreu nesse caso, adiciona-se um tempo de 3 minutos em cada posição de escaneamento. Além disso, há o tempo dispendido para que o operador possa apontar quais são os alvos refletores e numerá-los, o que leva em média de três a quatro minutos.

Quando utiliza-se o método sem alvos, é necessário apenas realizar a primeira rotação. Todo o trabalho operacional de *registration* é realizado fora do campo, o que dá mais agilidade ao processo.

---

<sup>13</sup> Disponível em: Fonte: <http://knowledge.autodesk.com/support/recap-pro/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ENU/Reality-Capture/files/GUID-0B99A785-E76F-4B16-8801-CA843F866AE5-htm.html>. Acesso em Out. 2015.

*Figura 41 - Nuvem de pontos do jardim interno do Mudd Hall.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 42 - Nuvem de pontos do jardim interno do Mudd Hall.*



Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 43 - Nuvem de pontos das colunas adornadas do Mudd Hall.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### **Plano de escaneamento**

Antes de iniciar qualquer levantamento, é importante elaborar-se um plano de escaneamento. Esse processo trata-se basicamente de fazer um croqui da edificação que se deseja levantar, preferencialmente em forma de planta baixa, e demonstrar em que posição deve acontecer cada escaneamento. Deve constar também nesse croqui a sequência cronológica em que os escaneamentos devem acontecer e onde estarão localizados os alvos em cada uma das posições, assim como a numeração lógica de cada um deles. Com um bom planejamento em mãos, o operador consegue ganhar tempo em campo, preocupando-se apenas em executar o planejado de maneira correta.

O primeiro passo para o início de um planejamento é definir qual o seu objetivo final. É importante ter claro qual o fim específico que terá aquela nuvem de pontos

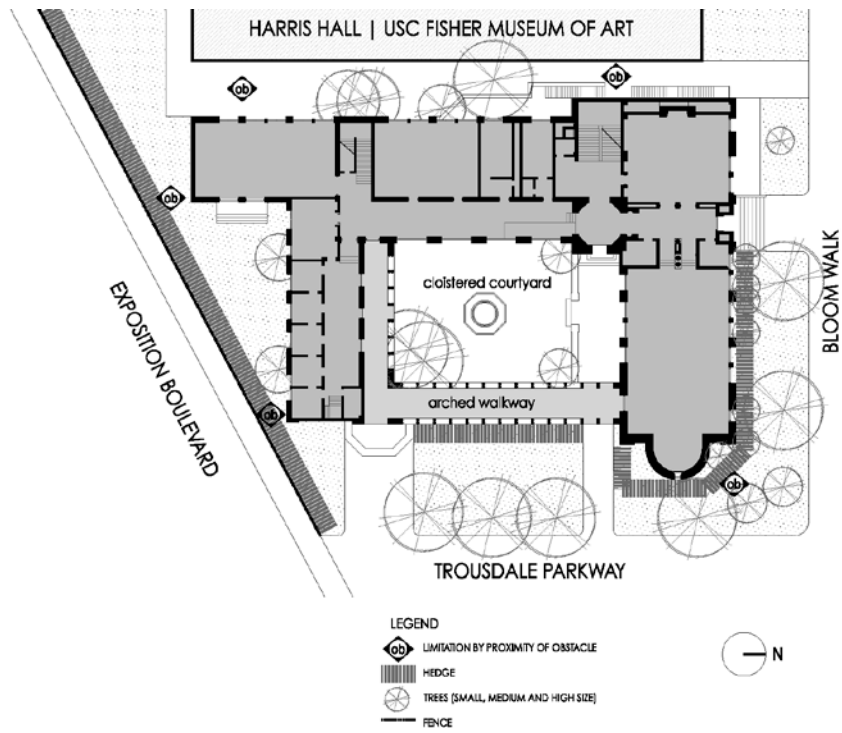
para que se possa definir qual a resolução que será adotada para o *laser scanner*. Além disso, é necessário elaborar-se uma estratégia de posicionamento dos alvos refletores, afim de que se possa registrar todos as nuvens de pontos em um arquivo único.

Após definido o plano de levantamento e o método adotado, era necessário definir a resolução do levantamento. Para isso, três escaneamentos foram realizados: o primeiro utilizando a resolução de 0.025 graus (42mm de espaçamento entre pontos a cada 100m), o segundo utilizando a resolução de 0.035 graus (58mm de espaçamento entre pontos a cada 100m) e o terceiro utilizando a resolução de 0.05 graus (83mm de espaçamento entre pontos a cada 100m). O resultado foi que com a resolução de 0.025 graus o tempo de levantamento foi longo e o computador ficou sobrecarregado devido ao grande número de pontos capturados. A resolução de 0.05 não apresentou uma definição suficiente para certos elementos da edificação. Sendo assim, optou-se por utilizar a resolução de 0.035 que era suficiente para levantar os detalhes do edifício e não exigia muito processamento da máquina.

#### **3.4 Levantamento Mudd Hall**

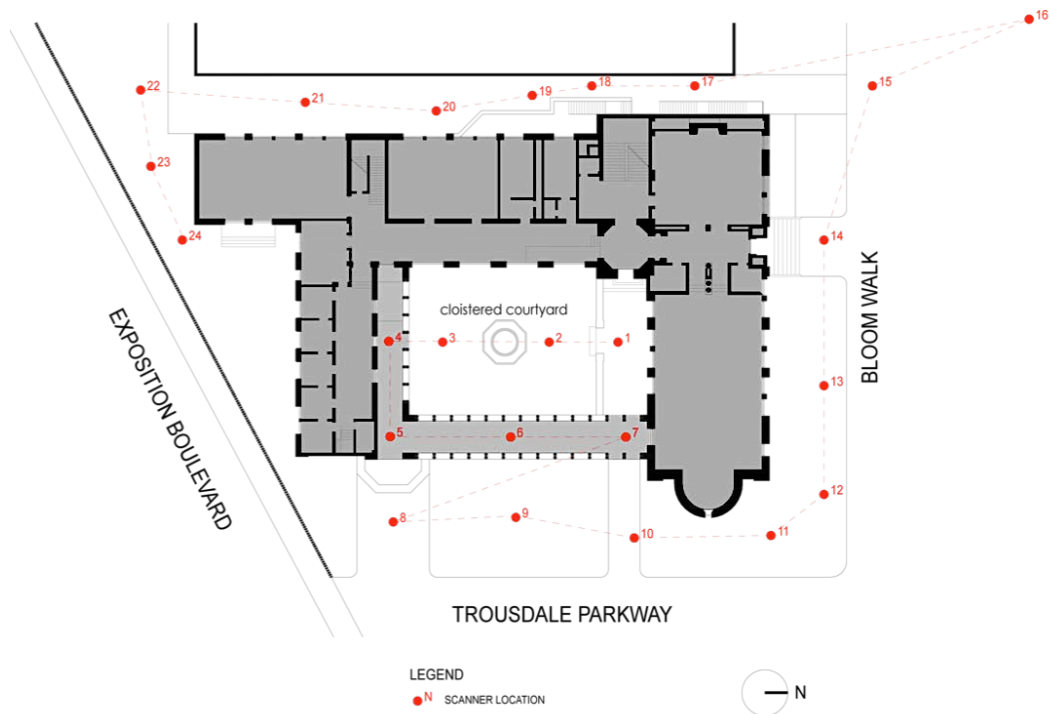
Após realizados os testes iniciais, foi iniciado o levantamento da edificação completa. Decidiu-se utilizar uma resolução de 0,045 pois ela apresentava uma relação satisfatória entre qualidade da nuvem de pontos, o tempo de processamento e o tamanho dos arquivos gerados. Para evitar ruídos nas nuvens de pontos, optou-se por realizar o levantamento nas primeiras horas da manhã, quando o tráfego de pedestres é reduzido no local. Além disso, como utilizou-se um notebook para controlar o *laser scanner*, havia um fator limitante de tempo de bateria do aparelho, que suportava em média 2 horas de trabalho sem estar conectado a uma fonte externa. Tendo ciências dessas condições, elaborou-se um plano de levantamento dividido em três etapas.

Figura 44 - Planta Baixa do térreo do Mudd Hall.



Fonte: DEZEM-KEMPTER, 2015.

Figura 45 - Plano de levantamento das etapas 1 e 2 do Mudd Hall.



Fonte: DEZEM-KEMPTER, 2015.

Na primeira etapa de levantamentos, realizado em 21 de novembro de 2014, estava planejado levantar-se as fachadas oeste e norte da edificação, totalizando onze posições de escaneamento. O levantamento começou as 07:05am e terminou as 09:35am, como mostra a tabela em anexo, sendo o tempo médio de 06 minutos e 40 segundos para cada escaneamento e em média oito minutos de preparação do aparelho.

A existência de árvores na fachada norte acabou sendo um desafio para o levantamento, pois elas causavam pontos de sombra na nuvem de pontos.



*Figura 46- Nuvem de pontos da fachada leste do Mudd Hall.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 47 - Nuvem de pontos da fachada norte do Mudd Hall.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

A segunda etapa de levantamento previa o levantamento das fachadas oeste e sul da edificação. Ela também previa onze posições de escaneamento, o que seria

possível de ser realizado em um dia. A cerca de cinco metros de distância da fachada oeste do *Mudd Hall* há uma outra edificação construída. Isso representava um desafio ao levantamento, pois era necessário capturar-se toda a fachada oeste trabalhando-se em um corredor com cerca de cinco metros de largura.

De fato, a primeira tentativa de execução desse levantamento, realizada em 4 de dezembro de 2014, não proporcionou resultados satisfatórios. Dois erros de planejamento comprometeram os resultados. O primeiro erro foi adotar um espaçamento das posições de cada escaneamento de oito metros, o que não foi suficiente para uma *targetless registration* satisfatória. O segundo foi a referência adotada para a *registration*. Adotou-se uma edificação localizada a cerca de vinte metros a norte do *Mudd Hall* como referência no plano y para a *registration*. Porém, a distância em que estava localizada não permitia obter-se uma definição clara o suficiente dos *pixels* que representavam a sua fachada. Apenas quatro das onze posições puderam ser aproveitadas. As quatro posições utilizadas foram capturadas em 52 minutos e 22 segundos, sendo o tempo médio de captura de 08 minutos e 17 segundos e cerca de oito minutos para a preparação do aparelho.

Na segunda tentativa de levantamento da etapa 2, realizada em 7 de dezembro de 2014, utilizou-se a própria mala que comporta o *laser scanner* como alvo referência no plano y. Assim, ela foi posicionada verticalmente entre algumas posições de levantamento, resolvendo o problema. Também, diminui-se a distância entre as posições. As 7 posições faltantes foram capturadas em 1 hora e 28 minutos, sendo o tempo médio de cada levantamento cerca de 07 minutos e 47 segundos e cerca de oito minutos para a preparação do aparelho.

Ao final das duas primeiras etapas, toda a fachada externa da edificação havia sido capturada. Para que fosse possível criar uma nuvem de pontos completa da casca da edificação, faltava ainda pontos no telhado, que não foi capturado pelo *laser scanner*. Não havia uma maneira viável de executar esse levantamento com o aparelho devido ao acesso dificultado a essa estrutura. A solução adotada foi utilizar um *drone* que possuía uma câmera fotográfica acoplada. Assim, utilizando técnicas de fotogrametria seria possível criar uma nuvem de pontos e mesclá-la com a nuvem já obtida pelo *laser scanner*. Esse levantamento não será abordado nesse trabalho.

*Figura 48 - Nuvem de pontos da fachada oeste do Mudd Hall.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 49 - Nuvem de pontos da fachada sul do Mudd Hall.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

A terceira etapa de levantamentos focava nas áreas internas da edificação. Como o edifício possui diversas salas, bibliotecas e corredores, focou-se em levantar-se

apenas as salas do andar térreo localizadas na fachada norte, a escadaria de acesso ao segundo andar e a biblioteca localizada no segundo andar, também na fachada norte.

O planejamento desse levantamento previa um número maior de posições de escaneamento do que os anteriores. Devido a existência de tomadas dentro do prédio, era possível recarregar a bateria do *notebook*, possibilitando um tempo maior de operação do equipamento. Assim, foram planejada vinte posições de *scan*. O maior desafio desse levantamento seria fazer a conexão da nuvem da fachada com a nuvem interna. Para isso, os primeiros levantamentos foram realizados na entrada principal do edifício, localizada na fachada norte.

Logo na primeira posição de escaneamento, percebeu-se que a porta principal possuía cerca de um metro e meio de espessura, o que restringia o alcance do *laser*, gerando naquele ponto uma nuvem de pontos com pouca informação. Isso fez com que a *registration* entre os pontos externos e os pontos internos tivessem um resultado apenas regular. Superado esse desafio, o levantamento continuou sendo realizado pelo corredor principal. Para poder registrar pontos externos com internos das salas, era realizado um escaneamento exatamente na porta, o que permitia obter pontos nos dois ambientes. Após um total de 04 horas e 18 minutos, concluiu-se a terceira etapa de levantamento, que foi realizada no dia 20 de dezembro de 2014. O tempo médio de cada escaneamento foi de 07 minutos e 58 segundos e cerca de oito minutos para a preparação do aparelho.

No total, foram utilizadas quarenta e três posições de *scan* para finalizar a nuvem de pontos do *Mudd Hall*. Quarenta e duas foram obtidas nessas três etapas apresentadas anteriormente e a quadragésima terceira foi obtida na série de testes realizados previamente. O processo de *registration* dessas nuvens de pontos acontecia após a captura delas. Apesar do trabalho requerido ao operador para realizar esse processo ser simples e rápido, ele acaba exigindo altos níveis de processamento da máquina. Assim, levou-se aproximadamente seis horas para processamento da primeira etapa. À medida que eram adicionados novos arquivos de levantamento na nuvem do *Mudd Hall*, o processo tornava-se cada vez mais lento. Isso fez com que o levantamento da segunda etapa durasse cerca de onze horas. Finalmente, a terceira etapa levou cerca de vinte horas de processamento.



*Figura 50 - Nuvem de pontos do acesso principal do Mudd Hall.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 51 - Nuvem de pontos do corredor interno do Mudd Hall.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 52 - Nuvem de pontos da sala localizada na área norte do Mudd Hall.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

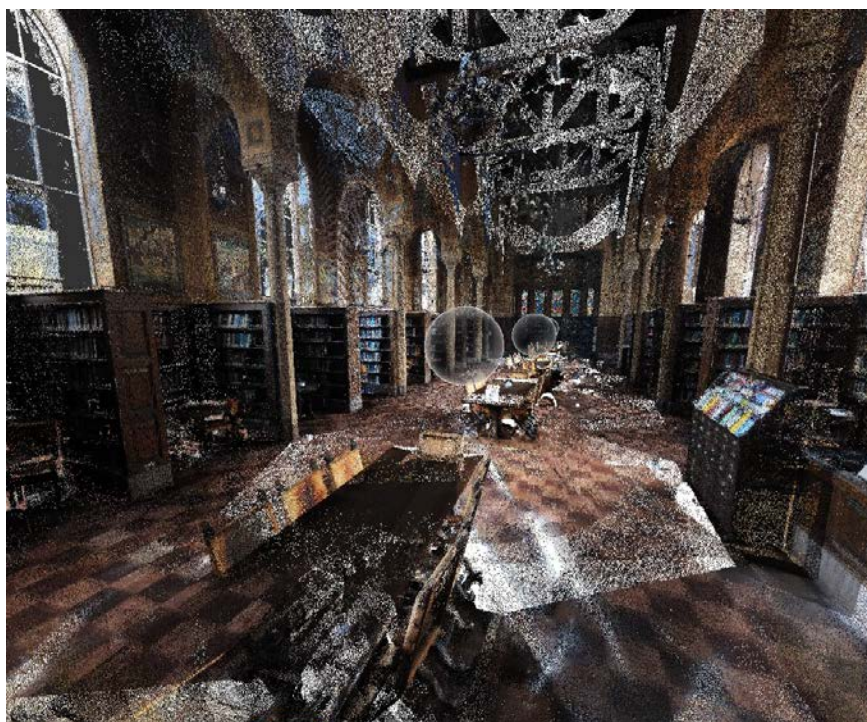
*Figura 53 - Nuvem de pontos do corredor interno do Mudd Hall.*



Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 54 - Nuvem de pontos da biblioteca do Mudd Hall.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### Resultado Final

No total, contabilizando-se o retrabalho da segunda etapa, foi gasto aproximadamente dezesseis horas de trabalho em campo e trinta e sete horas de processamento para finalizar a nuvem de pontos do *Mudd Hall*.

No anexo 1, há uma tabela que apresenta os dados respectivos a cada uma das *scan positions*.

### 3.5 Levantamento com Laser Scanning do URC

Após aprender lições com o levantamento do *Mudd Hall*, uma segunda edificação, também localizada no campus da *University of Southern California*, foi levantada. Essa edificação abriga o *University Religious Center* - Centro Religioso Universitário - e possui uma área menor do que o *Mudd Hall*. Essa edificação foi projetada em 1966 por Killingsworth, Brady e associados. Comparado ao *Mudd Hall*, ela possui um grau de complexidade inferior, tendo uma estrutura metálica exposta na fachada sul, paredes de alvenaria sem ornamentos e detalhes decorativos e uma geometria simples que se repete. No total, a edificação de dois pavimentos possui 1037,7 m<sup>2</sup> de área.

Figura 55 - Vista da Fachada do URC.



Fonte: DEZEM-KEMPTER, 2015.

Figura 56 - Localização do URC no campus da USC.



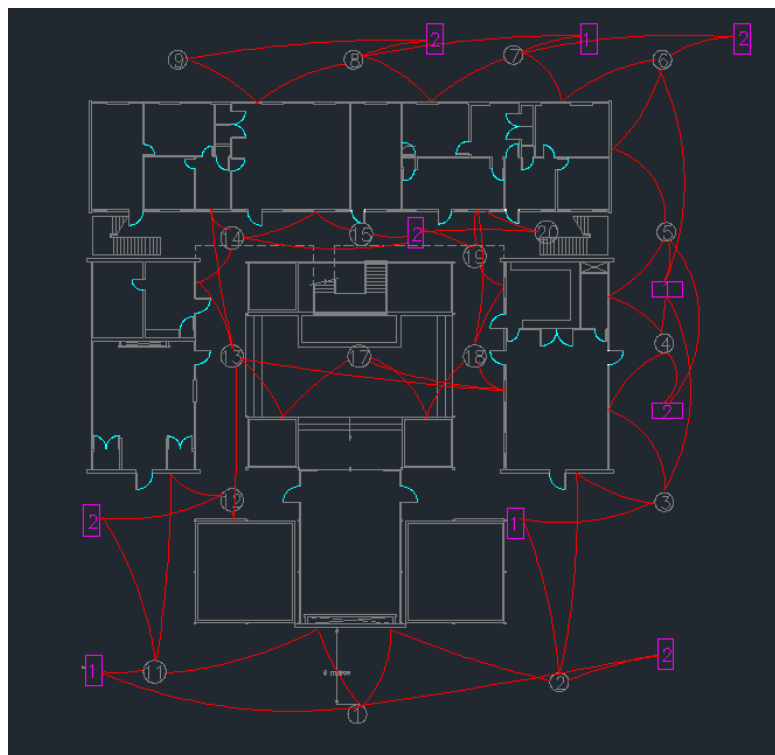


Fonte: Site da Hindu Student Organization.<sup>14</sup>

O planejamento previa vinte posições de escaneamento para poder capturar as fachadas norte, leste e sul da edificação que tem formato em "U" e o seu jardim interno. A fachada oeste não pode ser capturada pois no momento do estudo havia uma obra sendo executada no terreno vizinho, o que impossibilitava o acesso e o posicionamento do Laser Scanner.

A figura abaixo mostra o planejamento para a execução do levantamento. Os círculos numerados de um a vinte mostram as posições do scanner. Os retângulos cor de rosa numerados um e dois, representam as duas maletas utilizadas para transporte do *laser scanner* e da camera acoplada. Assim como no *Mudd Hall*, eles tambem foram utilizados como referência no eixo y para o *registration* das nuvens de pontos. As linhas vermelhas apontam as referências que poderiam ser usadas para *registration* em cada posição.

Figura 57 - Planejamento do levantamento do URC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

---

<sup>14</sup> Disponível em <http://hso.usc.edu/meeting-location.html>. Acesso em Nov. 2015.

Após estudo do local, percebeu-se que haviam tomadas próximas as posições de escaneamento do jardim interno. Assim, não haveria o fator limitante de tempo de duração da bateria do *notebook*. Optou-se então por realizar as onze posições iniciais externas primeiramente, o que seria suportado pelo computador sem a necessidade de uma fonte externa de alimentação. As posições interiores seriam feitas posteriormente com o auxílio da fonte externa de energia.

No dia 15 de dezembro de 2014, o levantamento foi executado. O plano pode ser seguido a risca, sem necessidade de alterações e todo o levantamento foi concluído em 4 horas e 07 minutos. O tempo médio de cada *scan* foi de 08 minutos e 13 segundos, sendo o tempo médio de preparação de 04 minutos e 30 segundos.

Após o levantamento, foram necessárias oito horas de processamento de máquina para realizar o processo de *registration* das nuvens de pontos.

*Figura 58 - Nuvem de pontos da fachada leste do URC.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 59 - Nuvem de pontos da fachada norte do URC.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 60 - Nuvem de pontos da fachada sul do URC.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

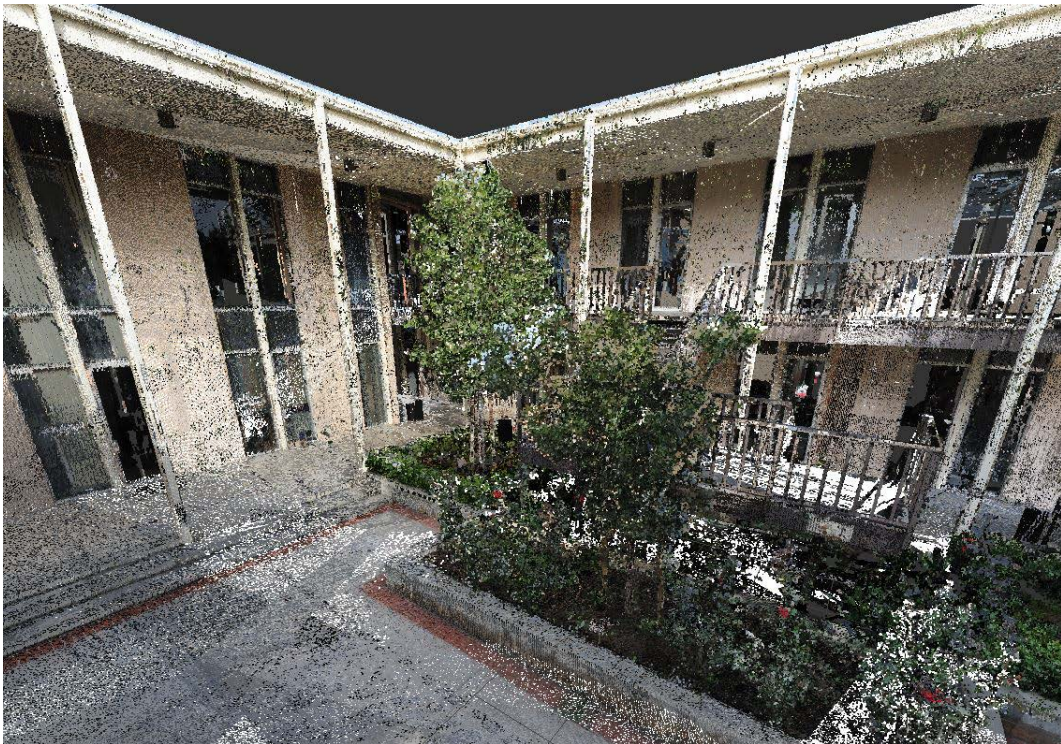
*Figura 61 - Nuvem de pontos da fachada sul do URC.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

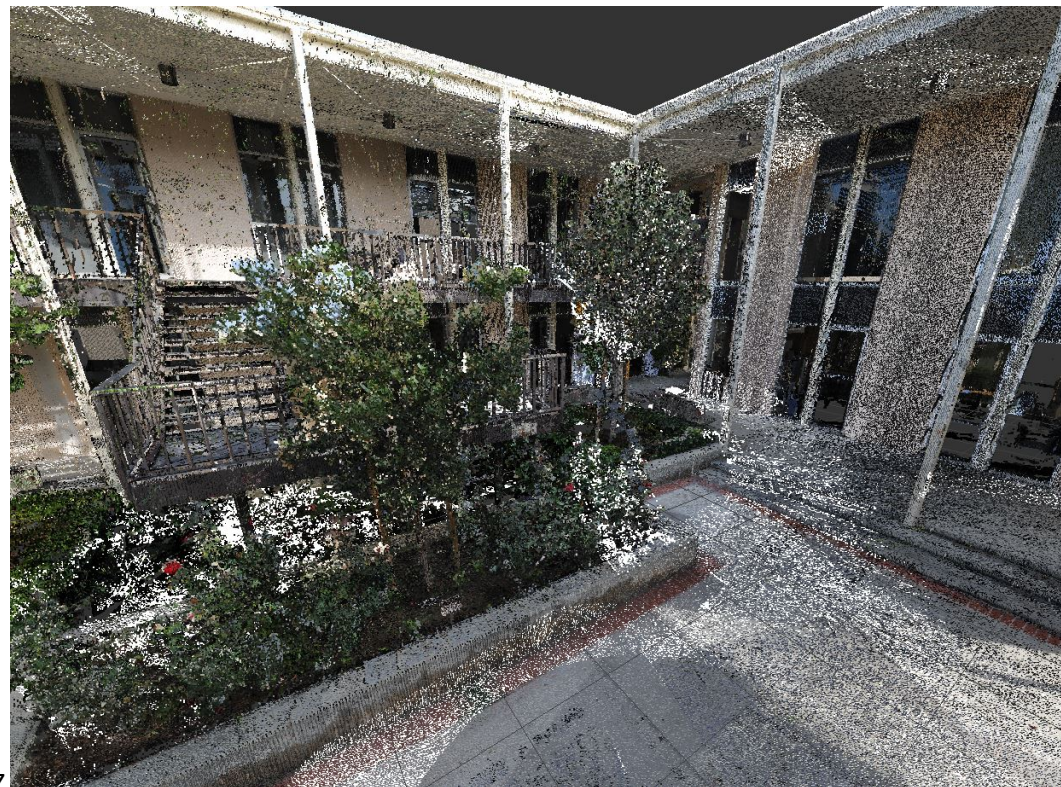


*Figura 62 - Nuvem de pontos do jardim interno do URC.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 63 - Nuvem de pontos do jardim interno do URC.*



Fonte: Elaborado pelo autor.



*Figura 64 - Nuvem de pontos do jardim interno do URC.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 65 - Nuvem de pontos do corredor interno do URC.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

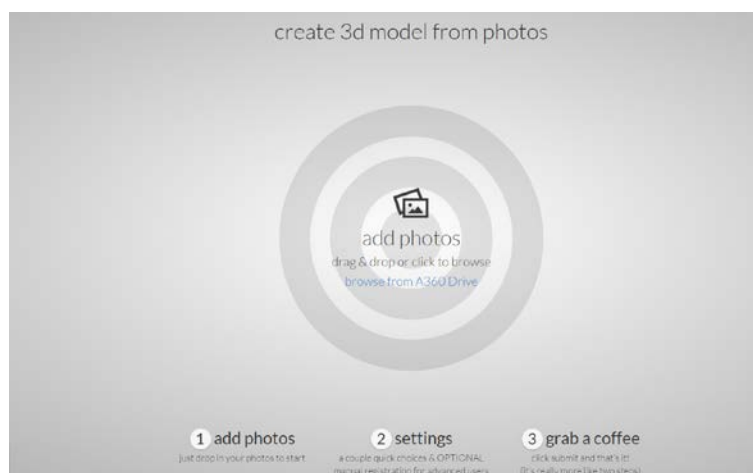
#### 4 ESTUDO DE CASO COM FOTOGRAMETRIA

O objetivo dos testes realizados com fotogrametria era avaliar a eficiência desse método para a geração de nuvens de pontos. Para isso, uma série de testes com dois softwares diferentes foram realizados: o Memento e o Recap, ambos da Autodesk. Nesse teste, optou-se por capturar elementos isolados da edificação, como colunas e uma das fontes do Mudd Hall, e também, a fachada externa de uma edificação. Finalmente, testou-se a captura de pontos que não foram capturados pelo *laser scanner* nas edificações *Mudd Hall e URC*, apresentadas previamente nesse trabalho.

O *Recap 360*, que foi utilizado para a geração das nuvens de pontos a partir dos levantamentos de *laser scanner* do URC e do Mudd Hall previamente nesse estudo, também possui uma funcionalidade que utiliza fotografias para geração de nuvens de pontos. Esse recurso pode ser acessado pelo navegador de internet no endereço <https://recap360.autodesk.com/>.

O processo para a geração da malha tridimensional é bem simples e intuitivo, sendo dividido em três etapas. Na primeira, basta que o usuário carregue a partir de seu computador as imagens capturadas. Após, uma série de configurações, que serão explicadas mais a frente nesse trabalho, podem ser ajustadas. Ao final, na etapa três, o usuário precisa apenas esperar o processamento que acontece na nuvem pelos servidores da *Autodesk*.

Figura 66 - Processo de geração da malha tridimensional a partir do Recap 360.



Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo a *Autodesk*, o *Memento* é uma solução para converter qualquer informações de captura de realidade (foto ou *scan*) em malhas tridimensionais de auto-definição que podem ser corrigidas, limpas e otimizadas para diferentes fins. Ela foi feita para que o usuário, mesmo sem conhecimento prévio, possa aprender seus principais comandos em poucos minutos. Já para aqueles usuários com maior experiência, o *Memento* oferece ferramentas para explorar recursos mais avançados (Autodesk, 2015).

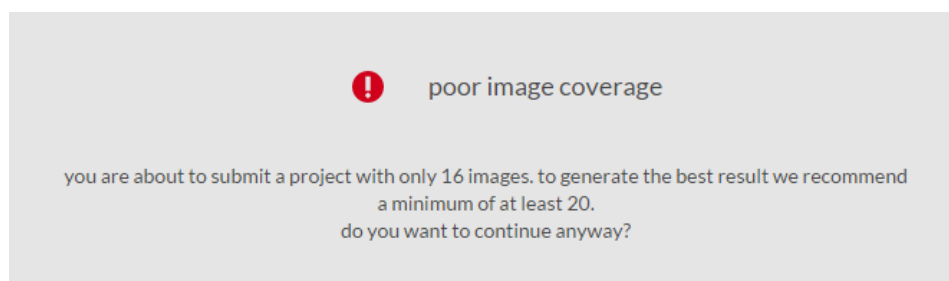
Apesar das diferenças apontadas acima, os dois *softwares* utilizam o mesmo mecanismo de processamento.

#### 4.1 Teste 1 - Elemento isolado: pilar de edificação

O primeiro teste aconteceu em julho de 2015, durante o acompanhamento de uma obra de um edifício multifamiliar que estava sendo executado em Florianópolis. O objeto que desejava-se capturar era um dos pilares localizados na garagem da edificação. Nesse teste, foram capturadas apenas 16 fotografias com a câmera embutida de um iPhone 4S, que possui uma resolução de 8 *megapixels*. Essas fotos focalizavam três das quatro faces do pilar.

Após fotografadas, as imagens foram adicionadas a nuvem através do *software Recap 360*. Logo, percebeu-se um erro acusado pelo programa. Eram necessários ao menos vinte fotografias para obter um resultado satisfatório, como mostra a imagem abaixo.

Figura 67 - Mensagem de erro devido ao baixo número de fotografias.



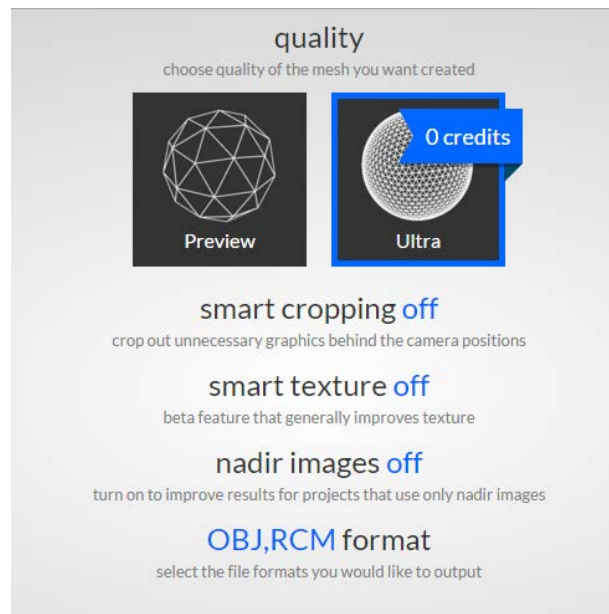
Fonte: Elaborado pelo autor.



Apesar do aviso, resolveu-se continuar com o processamento dessas dezesseis imagens. As configurações adotadas, de acordo com as possibilidades oferecidas pelo *software* foram as seguintes:

- criar uma malha de "ultra" qualidade
- *smart cropping on* - com essa função habilitada, elementos que aparecem nas fotos e são desnecessários para a geração da malha do elemento são recortados e descartados;
- *smart texture off* - essa função que ainda está em teste pela fabricante do software e que melhora a qualidade da textura foi desabilitada;
- *nadir images off* - essa função também foi desabilitada.

Figura 68 - Opções de configuração adotadas para o teste 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O *software* realiza todo o processamento na nuvem. Assim, a máquina utilizada pelo processador não precisa ter uma grande capacidade de processamento. Em contra partida, dependendo da quantidade de informações que estão sendo processadas no momento pelo servidor, o processo pode variar de duração. Nesse esse experimento, o tempo de processamento foi de aproximadamente 4 horas.



O resultado obtido apresentava algumas distorções. Porém as faces focadas no estudo apresentaram uma malha satisfatória afim de análise, conforme mostrado nas imagens abaixo.

*Figura 69 - Imagem da malha gerada pelo Recap 360 em modo de visualização com textura.*



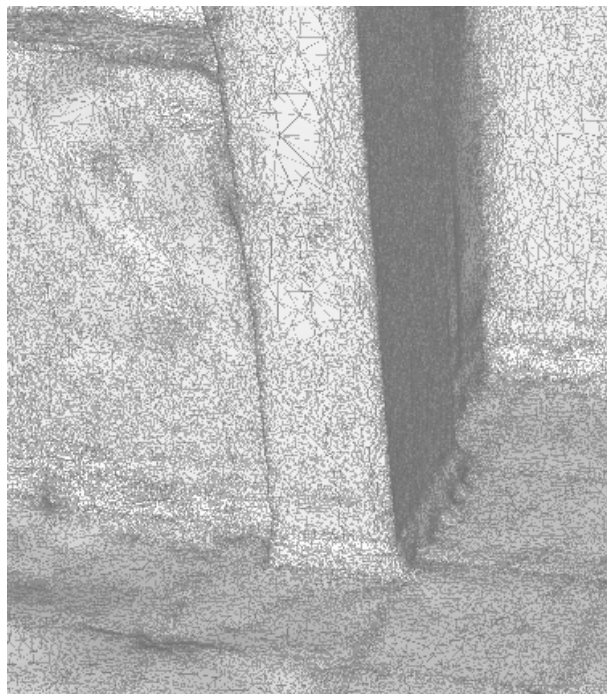
Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 70 - Nuvem de pontos criada pelo Recap 360 do pilar em modo de visualização que mostra apenas a malha com textura.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

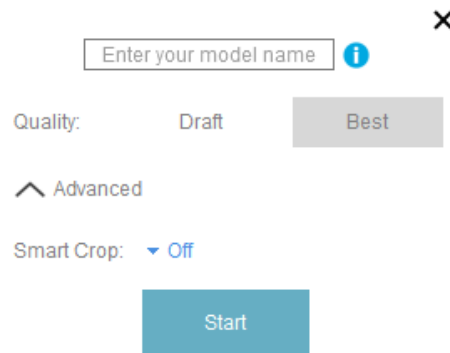
*Figura 71 - Nuvem de pontos criada pelo Recap 360 do pilar em modo de visualização que mostra apenas a malha sem textura e com sombra.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

As mesmas imagens foram processadas utilizando o *software Memento*. O *software* utiliza os recursos de nuvem da *Autodesk*, chamado *A360* para processamento das imagens. Porém, o tempo de processamento foi de cerca de 20 minutos, ao invés das 4 horas demandadas pelo *Recap 360*. Adotou-se as configuração sugeridas pelo *software*: qualidade como melhor possível e *smart crop* desabilitado.

Figura 72 - Configurações adotadas no Autodesk Memento para processamento do teste com pilares.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos foram superiores ao *Recap 360* em termos de resolução da malha. Pode-se perceber visualmente nas fotos abaixo que a malha possui menos imperfeições do que anteriormente.

*Figura 73 - Imagem da malha gerada pelo Memento em modo de visualização com textura.*



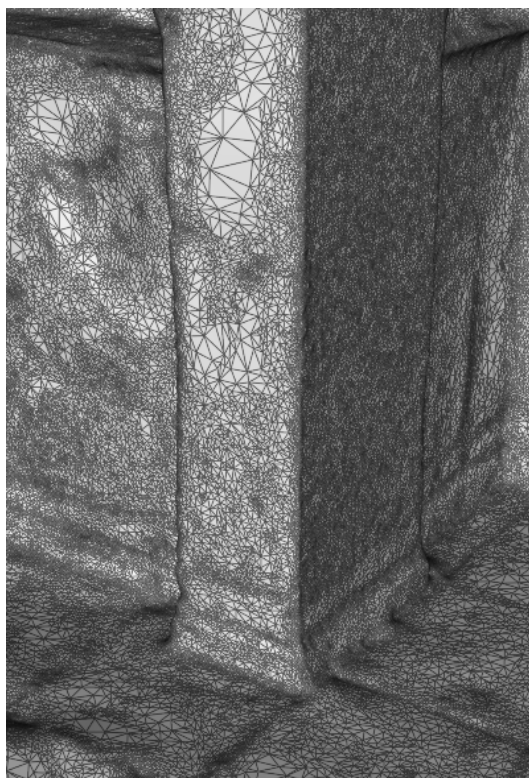
Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 74 - Malha criada pelo Memento do pilar em modo de visualização que mostra apenas a superfície sólida sem textura e com sombra.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 75 - Malha criada pelo Memento do pilar em modo de visualização que mostra a malha sem textura e com sombra.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2 Teste 2 - Fachada do Hotel Marriot Inn Residence

Após realizado o primeiro teste em pequena escala, decidiu-se fazer um segundo teste em que seria capturada a fachada completa de uma residência. Para isso, foi escolhida a fachada da recepção do hotel *Marriot Inn Residence*, localizado em Long Beach - Califórnia. Optou-se por essa edificação devido a simplicidade de sua geometria, que se constitui de um paralelepípedo sem grandes detalhes decorativos.

Foram capturadas no total 34 fotografias utilizando-se o mesmo equipamento do teste anterior, a câmera de um Iphone 4S com 8 megapixels de resolução. As fotos foram retiradas por volta das 12:00pm para aproveitar a posição solar e evitar a formação de sombras. Assim como no primeiro teste, as fotos foram processadas pelos mesmos *softwares*, o *Autodesk Recap 360* e o *Autodesk Memento*.

Os resultados apresentados pelo *Autodesk Recap 360* não foram satisfatórios. Como as fotografias foram obtidas a partir de um operador posicionado no nível da rua e a edificação possui cerca de 9 metros de altura no ponto mais alto de seu telhado,

aconteceram algumas distorções principalmente nos pontos mais altos do telhado. Isso acontece pois o ângulo entre a câmera e o objeto capturado não era perpendicular. Além disso, em locais de sombra, como atrás de coqueiros localizados em certos pontos dos entornos da edificação, houveram deformações na nuvem de pontos.

*Figura 76 - Deformações devido a sombras formadas por coqueiros.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

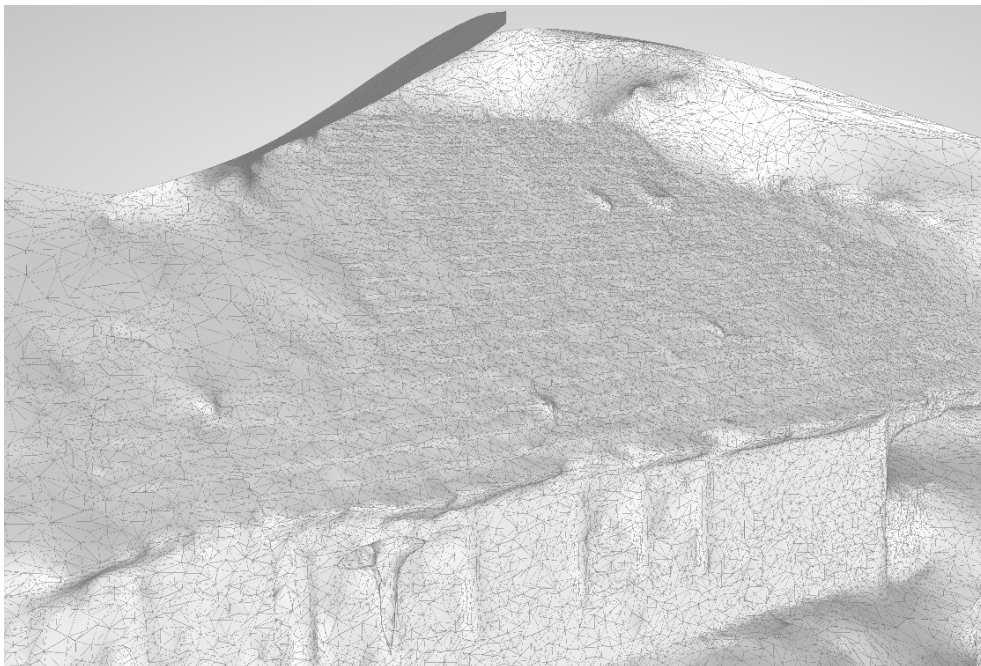


*Figura 77 - Deformações encontradas em pontos no telhado da edificação.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

*Figura 78 - Deformações encontradas na malha em pontos no telhado da edificação.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

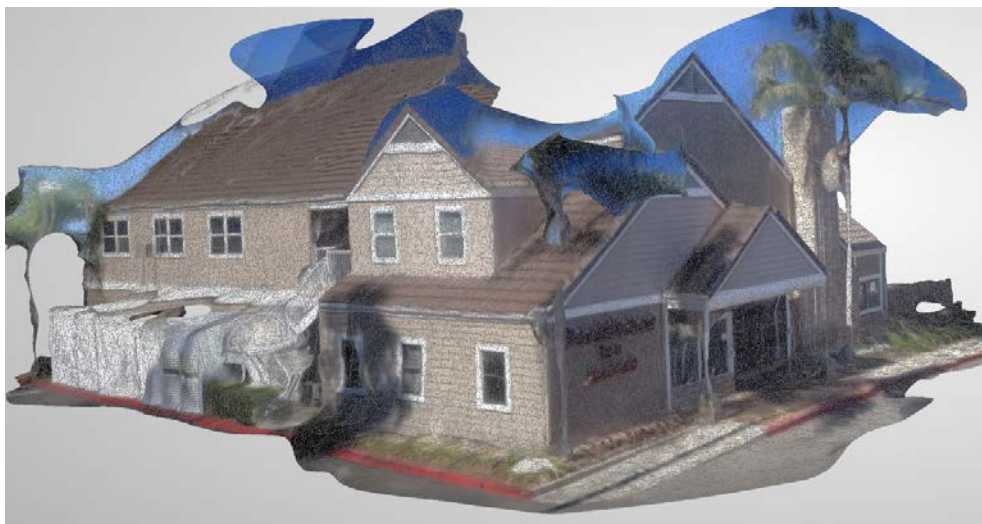
Nos pontos em que se pode obter fotografias de forma paralela ao objeto, como nas paredes do primeiro andar, as distorções foram menos perceptíveis.

*Figura 79 - Visão geral da geometria da edificação utilizada no segundo teste gerada pelo Recap 360.*



Fonte: Elaborado pelo autor.

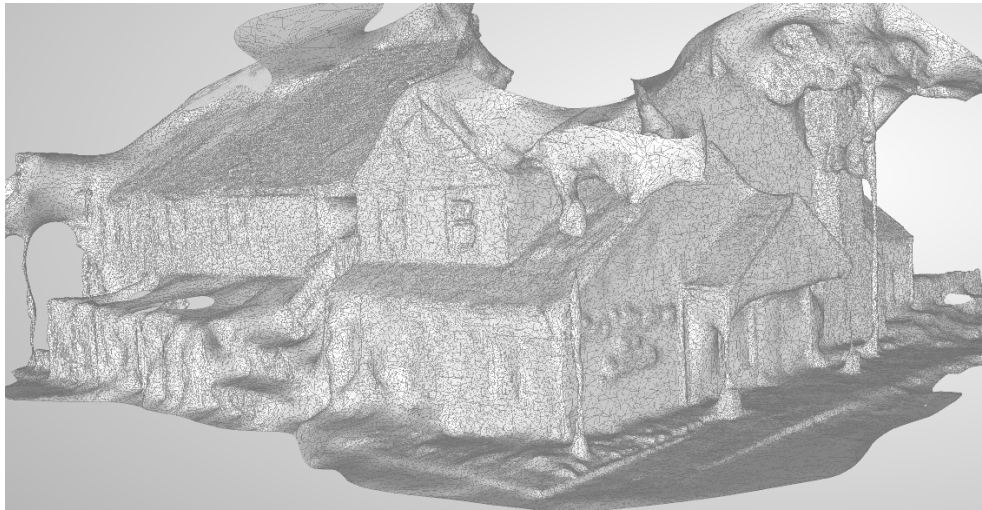
*Figura 80 - Nuvem de pontos criada pelo Recap 360 da recepção do hotel em modo de visualização que mostra apenas a malha com textura.*



Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 81 - Nuvem de pontos criada pelo Recap 360 da recepção do hotel em modo de visualização que mostra apenas a malha sem textura.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As mesmas imagens foram processadas posteriormente pelo *software Autodesk Memento*. O tempo de processamento foi de cerca de 1 hora e 20 minutos e o resultado apresentou menos deformações e distorções do que o apresentado pelo *Autodesk Recap 360*.

Figura 82 - Visão geral da geometria da edificação utilizada no segundo teste gerada pelo Memento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 83 - Nuvem de pontos criada pelo Memento da recepção do hotel em modo de visualização que mostra apenas a malha sem textura.



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.3 Teste 3 - Mudd Hall e URC

Afim de complementar o levantamento realizado com *laser scanner*, utilizou-se fotografias para gerar uma nuvem de pontos de regiões em que o *laser* não pode capturar a geometria devido oclusões ou sombras geradas por outros elementos. O complemento desse trabalho foi publicado em um artigo chamado "*An integrated laser and image surveying approach in support of model-based information technology for inventory of campus historic buildings*", desenvolvido por Eloisa Dezen-Kempler, Lucio Soibelman, Meida Chen e o autor.

Uma série de 70 fotografias do jardim interno do *Mudd Hall* foram capturadas afim de obter a sua geometria e morfologia. Essas fotografias foram obtidas de forma perpendicular e a uma mesma distância em relação ao objeto, tendo uma sobreposição de 50% a 70% entre cada uma delas afim de evitar-se buracos no nuvem de pontos final. Além disso, para capturar o telhado e a torre do relógio, um *drone quadcopter DJI* - veículo aéreo não tripulado - equipado com uma câmera GoPro foi utilizado. Porém, como a câmera possuía uma lente *wide-angle*, as imagens apresentaram alta distorção e necessitavam de correções e grande sobreposições entre elas para reduzir as distorções. Assim, utilizou-se o modo vídeo da câmera para

captura. O vídeo foi posteriormente convertido em uma série de frames para que pudesse ser criada a nuvem de pontos.

Afim de cobrir os pontos cegos existentes na nuvem de pontos do *URC* capturada pelo *laser scanner*, um *Apple Iphone 6* equipado com uma câmera de 8MP com estabilizadores óticos e digitais foi utilizada. Cerca de 700 fotos do telhado da edificação foram capturadas com no mínimo de 50% de sobreposição.

Devido ao grande número de fotografias, diferentes pacotes de softwares foram testados. O primeiro deles foi o *Autodesk Recap*, que por ser um *software* gratuito, possui um limite máximo de 250 fotografias por processamento. Assim 250 das 700 fotografias capturadas foram selecionadas manualmente. Após a submissão, o *software* exibiu um alerta de que 18 fotografias não puderam ser utilizadas no processo de construção da nuvem de pontos, sendo necessário uma seleção manual de pontos homólogos para a sua inserção na nuvem de pontos. O resultado final não foi satisfatório a partir de inspeção visual, pois faltavam informações em diversos locais e alguns objetos estavam distorcidos devido ao baixo número de imagens utilizados.

O segundo pacote de *software* testado foi o *VisualSFM*, que é um *software open source* para reconstrução 3D utilizando imagens 2D. A grande limitação desse *software* é que ele necessita de alta capacidade de processamento e memória da máquina durante a reconstrução de nuvens de pontos com grande número de imagens. Nesse estudo de caso, o sistema travou durante a reconstrução utilizando as 700 imagens.

O terceiro e último *software* testado foi o *Smart3D*, que foi integrado recentemente ao pacote de softwares da fabricante *Bentley* e passou a se chamar *ContextCapture*. Esse *software* comercial que ultrapassa a performance dos outros pacotes testados. Devido as opções avançadas do *software*, é possível processa até 10 *gigapixels*, o que equivale a 1250 imagens capturadas por uma câmera de 8 megapixels. Ele também permite que o sistema divida o processamento em diversas partes, evitando panes devido a falta de memória. No estudo de caso do *URC*, um *Apple MacBook Pro*, equipado com um processador *Intel® Core i7*, 16 GB de memória

RAM e uma placa gráfica *Intel HD Graphics 4000*. O *software* eliminou 42 imagens depois do processamento pois não havia pontos em comum suficientes para uní-las a nuvem de pontos.

*Figura 84 - Vista da nuvem de pontos geradas pelas fotos da cobertura do URC.*



Fonte: DEZEM-KEMPTER, 2015.

Após, as duas nuvens de pontos capturadas pelo *laser scanner* e através das fotografias foram unidas utilizando o *software CloudCompare*. Quatro pontos foram selecionados nas duas nuvens de pontos e o *software* automaticamente registrou as nuvens.

*Figura 85 - Visão da nuvem de pontos do Laser Scanner e das fotos.*



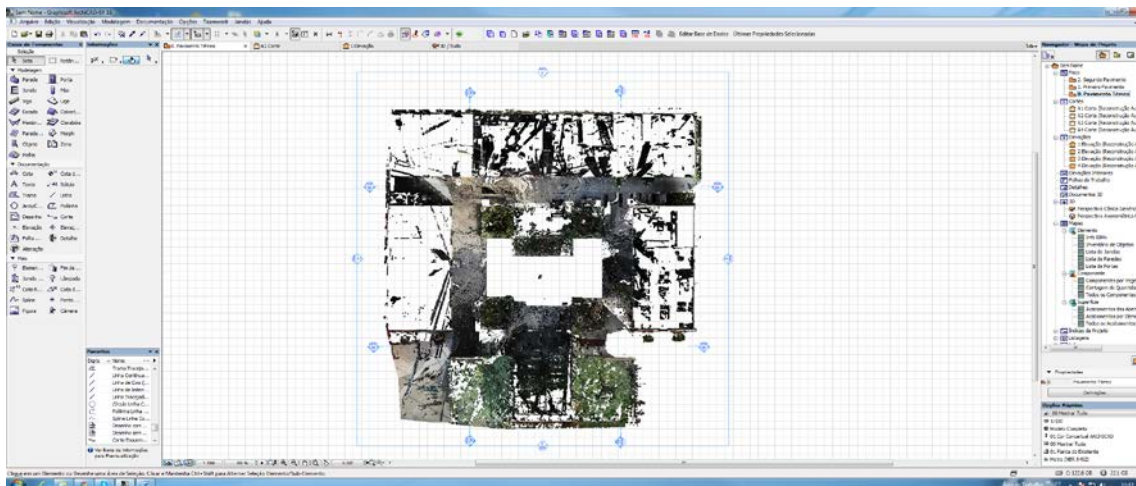
Fonte: DEZEM-KEMPTER, 2015.

## 5 ESTUDO DE CASO DE GERAÇÃO DE BIM A PARTIR DA NUVEM DE PONTOS

Afim de testar uma aplicação real do que se pode gerar a partir da nuvem de pontos, decidiu-se criar um modelo a partir da nuvem de pontos gerada no URC. Esse processo foi realizado em parceria com o LaBIM- SC, o Laboratório de estudos de BIM para implantação no Governo do Estado de Santa Catarina, que tem como responsável o Engenheiro Rafael Teixeira.

Para isso, a nuvem de pontos do URC foi extraída em formato .e57 a partir do *Recap* e importado no *software Archicad 19* da *Graphisoft*. Esse software é utilizado para a criação de modelos BIM. O arquivo que continha todas as *scan positions* possuía 1,9GB de dados.

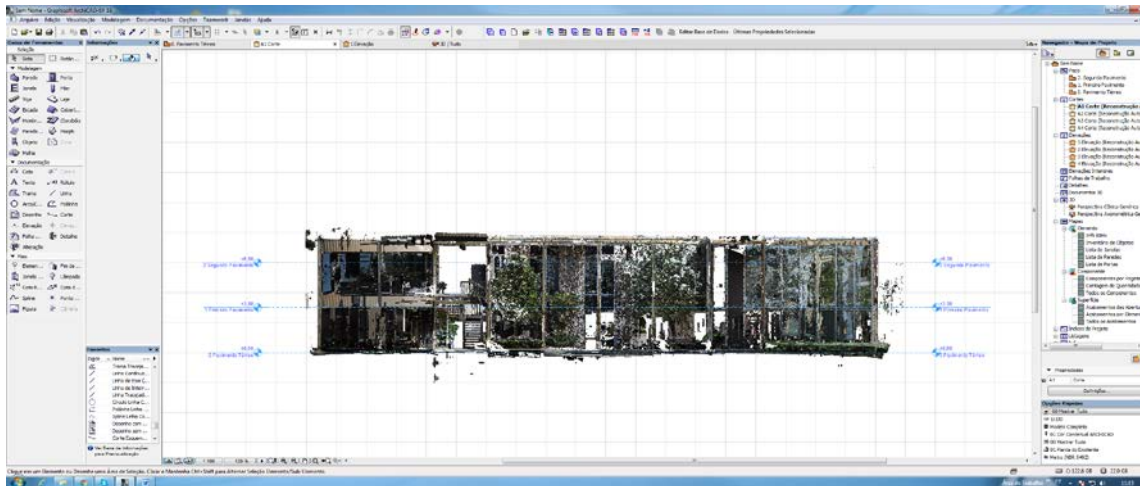
Figura 86 - Vista de topo da nuvem de pontos importada no Archicad 19.



Fonte: LaBIM - SC.



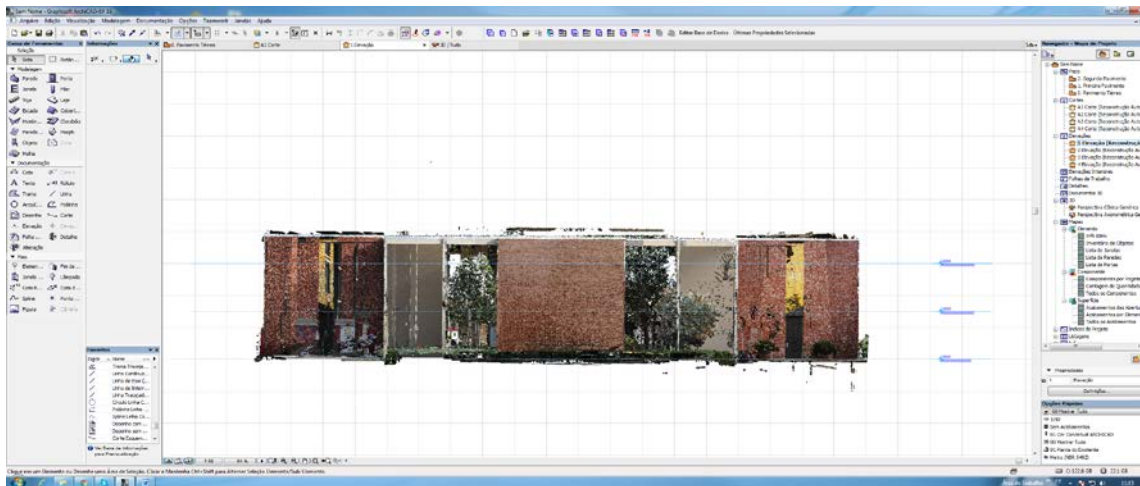
Figura 87 - Vista frontal da nuvem de pontos importada no Archicad 19.



Fonte: LaBIM - SC.

Após a importação da nuvem de pontos oito cortes transversais e longitudinais foram realizados na nuvem de pontos para obter-se as dimensões dos elementos estruturais e das paredes de vedação da edificação. Assim, seria possível verificar alinhamentos dos elementos e realizar a sua modelagem, que foi desenvolvida em um nível de detalhamento 200 (LOD 200).

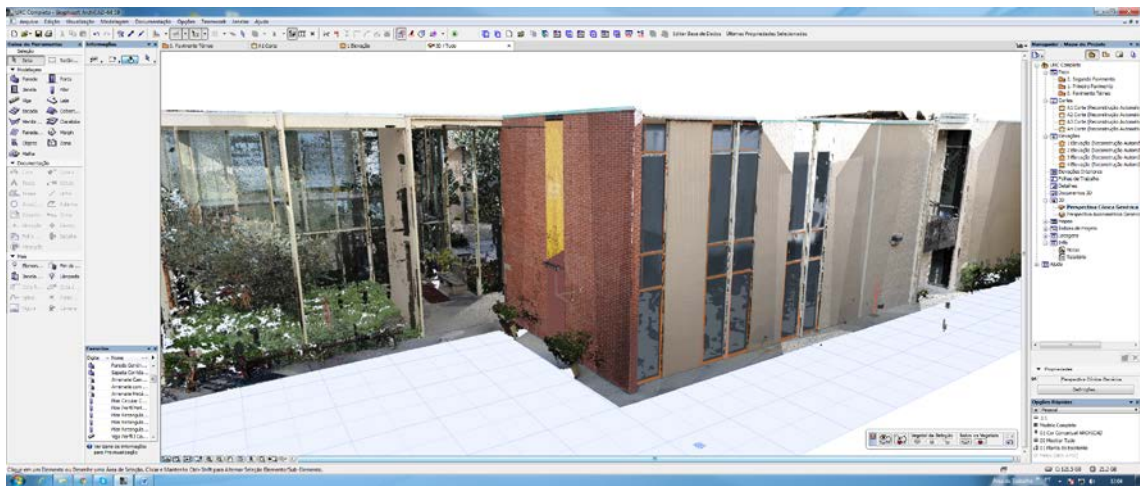
Figura 88 - Corte da nuvem de pontos do URC.



Fonte: LaBIM - SC.

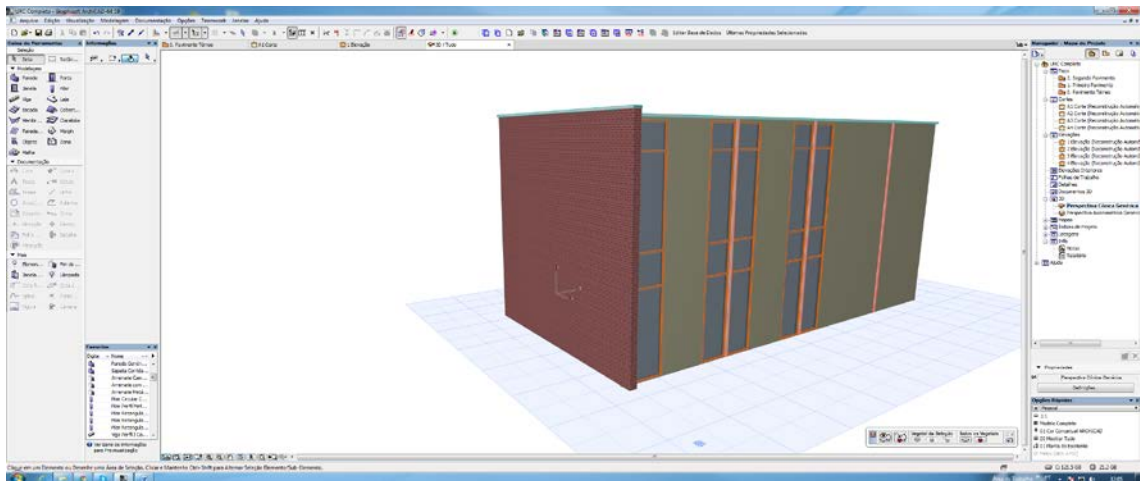
O objetivo desse trabalho não era realizar a completa modelagem da edificação, mas sim, mostrar que é possível transformar a nuvem de pontos em um modelo. Dessa forma, modelou-se parte da alvenaria, aberturas e estrutura de uma das quinas da edificação, mostradas nas imagens abaixo.

Figura 89 -Nuvem de pontos e aberturas modeladas no Archicad destacadas por contorno laranja.



Fonte: LaBIM-SC

Figura 90 - Elementos modelados no Archicad 19.



Fonte: LaBIM-SC

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao iniciar o planejamento desse trabalho de conclusão de curso, a intenção do autor era traçar uma comparação entre as duas tecnologias afim de identificar qual delas teria as melhores características para geração de BIMs. Ao final do estudo, percebeu-se que não seria possível realizar tal comparação devido ao fato de as tecnologias não serem concorrentes, mas sim complementares entre si. Elas podem suprir deficiências que a outra apresenta e gerarem resultados que podem ser combinados, assim como foi mostrado no último estudo de caso do *URC*. Assim, o foco do trabalho passou a ser entender as condições em que cada tecnologia poderia ser utilizada.

Analisando as características principais do *laser scanner*, percebe-se que é uma tecnologia que pode otimizar o trabalho de coleta de dados para diferentes tipos e etapas de obras. Porém, o seu custo elevado, a sua fragilidade para o ambiente hostil do canteiro de obra e a falta de mão de obra qualificada acabam sendo uma barreira para a sua entrada no mercado. Percebe-se que as fabricantes de *laser scanner* estão trabalhando em lançamentos mais portáteis e baratos, o que pode alterar esse cenário nos próximos anos.

Os resultados obtidos com os levantamentos realizados com *laser scanner* no *Mudd Hall* e no *URC* podem ser considerados satisfatórios. A nuvem de pontos gerada poderia ser importada para *softwares BIM* de modelagem afim de criar modelos com diferentes fins, como análise energética, documentação *as-built*, reformas da edificação ou para a criação de um modelo inventário completo.

As conclusões obtidas através das pesquisas e testes realizados com fotografias para a geração de nuvem de pontos é de que a tecnologia não é tão simples de ser utilizada quanto é promovida pelas empresas fabricantes de *softwares*, que transmitem a mensagem de que qualquer usuário pode bater fotos com o seu celular e obter resultados satisfatórios. Percebeu-se durante os estudos de caso que é necessário uma série de técnicas de fotografia e algumas interações do usuário para gerar um resultado satisfatório.



Apesar de não ser o foco do trabalho traçar comparações entre as duas tecnologias, breves reflexões podem ser feitas. A fotogrametria acaba sendo uma forma de obter uma nuvem de pontos de forma barata e que, muitas vezes, acaba gerando um resultado em termos de qualidade da nuvem e resolução, satisfatório. A grande dificuldade para o operador ao utilizá-la é que, diferente do *laser scanner*, em que se pode visualizar o resultado que é obtido simultaneamente a medida que o equipamento realiza a varredura, durante o processo de fotografia não se pode ter certeza do resultado final que será obtido. As fotos precisam ser capturadas em campo para depois serem processadas no computador, o que dificulta a realização de ajustes a medida que o resultado vai sendo obtido.

Assim como o avanço da internet mudou a maneira como o mundo comercializa produtos, os *smart phones* mudaram a maneira como as pessoas se comunicam e os aviões mudaram a maneira como o mundo se transporta, diversas tecnologias estão nascendo para mudar a maneira como a engenharia civil é executada. Os recursos e conhecimentos para torná-la drasticamente mais eficiente não faltam. Porém, o novo desafio é como torná-las economicamente viáveis e atrativas para os empresários da construção civil.

Esse trabalho apresentou duas tecnologias que já estão em aplicação, apesar de ainda não serem populares. Da mesma maneira como na década de 90 ter um celular era um benefício de poucas pessoas e hoje tornou-se banal, é possível que tecnologias como *laser scanners* e *BIM* se torne fato comum em obras, aumentando as suas produtividades.

## **7 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

Sugere-se para trabalhos futuros, analisar-se outras metodologias e fluxos de trabalhos para a utilização das duas técnicas de levantamento em conjunto para a criação de uma nuvem de pontos de uma edificação.

Além disso, afim de ganhar-se agilidade no processo de criação de modelos a partir das nuvens de pontos, seria importante realizar-se avanços no campo da identificação dos materiais que compõe os elementos presentes na nuvem de pontos. Atualmente, é necessário fazer essa identificação de maneira manual.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALTASAVIAS, Emmanuel P. **A comparison between photogrammetry and laser scannins.** Disponível em < <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.42.6581&rep=rep1&type=pdf> > ago. 2015.

KOLECKA, N. **Photo based 3d scanning vs laser scanning - competitive data acquisition methods for digital terrain modeling of steep mountains slopes.** Disponível em < <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-4-W19/203/2011/isprsarchives-XXXVIII-4-W19-203-2011.pdf> > jul. 2015.

RADOSEVIC, Goran. **Laser Scanning Versus Photogrammetry Combined with Manual Post-modeling in Stecak Digitization.** Disponível em < <http://www.cescg.org/CESCG-2010/papers/Sarajevo-Radosevic-Goran.pdf> > jul. 2015.

JORDÁ, Francisco; NAVARRO, Santiago; PÉREZ, Antonio; CACHERO, Rocio; LÓPEZ, David; LERMA, José L. **Close range photogrammetry and terrestrial laser scanning: high resolution texturized 3d model of the chapel of the kings in the palencia cathedral as a case study.** Disponível em < <http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/PRAGUE/079.pdf> > jul. 2015.

RUSU, Radu; COUSINS, Steve; **3D is here: Point Cloud Library (PCL).** Disponível em < [http://webmail.pointclouds.org/assets/pdf/pcl\\_icra2011.pdf](http://webmail.pointclouds.org/assets/pdf/pcl_icra2011.pdf) > ago. 2015.

DAI, Fei. **Photo-based 3d Modelng of Construction Resources for Visualization of Operation Simulation: Case of Modeling a Precast Façade,** Hong Kong Polytechnic University, 2002

CANTZLER, H. **Improving architectural 3D reconstruction by constrained modeling.** Tese (PhD.). *School of Informatics, University of Edinburgh*, 2003.

YANG, Jun et. al, **Construction performance monitoring via still images, time-lapse photos, and video streams: Now, tomorrow, and the future.** *School of*

*Mechanics, Civil Engineering and Architecture, Northwestern Polytechnical University, 2015*

HAN, Kevin K., GOLPARVAR-FARD, Mani, **Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs.** *Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana–Champaign, 2015.*

DAI, Fei, RASHIDI Abbas, BRILAKIS Ioannis, e VELA Patricio, **Comparison of Image-Based and Time-of-Flight-Based Technologies for Three-Dimensional Reconstruction of Infrastructure.** *School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, 2013.*

HUI, L, BRILAKIS, I. **Automated Brick Counting for Façade Construction Progress Estimation.** *Journal of Computing in Civil Engineering, 2014.*

KOCH, Christian et. al, **Achievements and Challenges in Machine Vision-Based Inspection of Large Concrete Structures.** *The University of Nottingham, 2014.*

TAHFI, H., BRILAKIS, I. **A videogrammetric as-built data collection method for digital of sheet metal roof panels,** *Advanced Engineering Informatics, Volume 27, Issue 4, Out. 2013, Pags. 466–476.*

Autodesk. **"Reality computing is here", 2015.** Disponível em:< <http://recap.autodesk.com/reality-computing/>>. Acesso em: 25 de set. 2015.

SANZ, C. **"Skycatch raises \$13.2M to field data-gathering drones both high and low."** Disponível em: < <http://techcrunch.com/2014/05/29/skycatch-raises-13-2m-to-field-data-gathering-drones-both-high-and-low/>>. Acesso em 25 de set. de 2015.

TWOMEY, Sean. **"Photo reality capture for preliminary infrastructure design"**. Disponível em: <<http://www.a2ktechnologies.com.au/whitepapers/Photo-Reality-Capture-for-Preliminary-Infrastructure-Design.html>> Acesso em nov. de 2015.

RASHIDI, A., BRILAKIS, I. e VELA, P. **"Generating Absolute-Scale Point Cloud Data of Built Infrastructure Scenes Using a Monocular Camera Setting"**. *School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, 2014.*

Technical Standardization Committee. "**Exchangeable image file format for digital still cameras: Exif Version 2.2**". Disponível em: <<http://www.exif.org/Exif2-2.PDF>>, Acesso em Set. de 2015.

RIEGL. "**Local Reflectors for Local/Global Scan Data Registration**". Disponível em <[http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxriegl/downloads/10\\_DataSheet\\_Reflector-Targets\\_22-08-2006.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/10_DataSheet_Reflector-Targets_22-08-2006.pdf)>. Acesso em Set. de 2015.

Secretária do Estado de Santa Catarina. "**Caderno BIM**". Disponível em: <<http://www.coordenar.com.br/caderno-bim-santa-catarina/>>. Acesso em Abr. de 2015.

Agisoft, "**Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 0.9.0**". Publicado em 2012.

## 9 ANEXOS

### ANEXO A

Dados do levantamento com *laser scanner* do Mudd Hall.

Dados dos Levantamentos

Mudd Hall

Riscan File	ID	Posição do scan	Hora do início doScan	Hora do fim doScan	Tempo Total	Overlap	Balance	Points <6mm	Avaliação do Recap	Resolução
25/09/2014	140925_150518	1	08:04:06	08:09:42	00:05:36	0,0%	0,0%	0,0%	Good	0,045
21/11/2014	141121_151035	2	07:05:33	07:14:38	00:09:05	19,1%	57,3%	99,6%	OK	0,045
21/11/2014	141121_153035	3	07:28:55	07:34:32	00:05:37	45,1%	53,4%	99,5%	Good	0,045
21/11/2014	141121_154901	4	07:47:23	07:52:28	00:05:05	53,3%	47,2%	99,7%	Good	0,045
21/11/2014	141121_160143	5	08:00:05	08:05:34	00:05:29	55,8%	43,3%	99,6%	Good	0,045
21/11/2014	141121_161541	6	08:10:45	08:19	00:08:25	34,3%	58,9%	99,1%	Good	0,045
21/11/2014	141121_162829	7	08:26:51	08:31:53	00:05:02	12,7%	52,1%	98,9%	OK	0,045
21/11/2014	141121_164158	8	08:40:20	08:45:26	00:05:06	35,3%	24,4%	98,7%	Good	0,045
21/11/2014	141121_165459	9	08:50:03	08:58:53	00:08:50	22,5%	8,5%	99,4%	OK	0,045
21/11/2014	141121_170946	10	09:04:50	09:13:53	00:09:03	22,9%	12,8%	99,3%	OK	0,045
21/11/2014	141121_172257	11	09:21:16	09:27:26	00:06:10	29,1%	7,3%	99,3%	OK	0,045
21/11/2014	141121_173206	12	09:30:26	09:35:50	00:05:24	25,4%	3,7%	99,5%	OK	0,045
04/12/2014	141204_160105	13	07:55:58	08:04:27	00:08:29	27,3%	6,4%	99,4%	OK	0,045
04/12/2014	141204_161438	14	08:09:36	08:18:06	00:08:30	36,8%	53,2%	99,0%	Good	0,045
04/12/2014	141204_163344	15	08:28:26	08:36:50	00:08:24	30,1%	57,3%	99,1%	Good	0,045
04/12/2014	141204_164539	16	08:40:36	08:48:20	00:07:44	27,4%	7,7%	99,6%	OK	0,045
07/12/2014	141207_163624	17	08:31:36	08:40:09	00:08:33	41,4%	29,0%	99,3%	Good	0,045
07/12/2014	141207_165039	18	08:45:33	08:54:32	00:08:59	32,6%	33,0%	99,5%	Good	0,045
07/12/2014	141207_170322	19	08:58:15	09:06:00	00:07:45	46,9%	20,8%	99,5%	Good	0,045
07/12/2014	141207_171621	20	09:11:14	09:15:57	00:04:43	50,9%	23,7%	99,5%	Good	0,045
07/12/2014	141207_173107	21	09:26:00	09:34:38	00:08:38	28,3%	6,9%	99,2%	OK	0,045
07/12/2014	141207_174423	22	09:39:11	09:47:33	00:08:22	27,4%	13,4%	98,7%	OK	0,045
07/12/2014	141207_175734	23	09:52:28	09:59:58	00:07:30	16,0%	6,4%	97,0%	OK	0,045
20/12/2014	141220_161243	24	08:07:09	08:13:58	00:06:49	50,7%	4,5%	95,5%	OK	0,045
20/12/2014	141220_162146	25	08:16:18	08:24:24	00:08:06	27,2%	23,1%	96,7%	OK	0,045
20/12/2014	141220_163136	26	08:26:07	08:32:48	00:06:41	26,6%	40,1%	99,7%	OK	0,045
20/12/2014	141220_165223	27	08:46:55	08:55:44	00:08:49	30,6%	79,7%	98,8%	Good	0,045
20/12/2014	141220_170252	28	08:57:23	09:05:53	00:08:30	41,0%	76,0%	99,0%	Good	0,045
20/12/2014	141220_171528	29	09:09:59	09:17:10	00:07:11	13,8%	68,8%	98,4%	OK	0,045
20/12/2014	141220_172410	30	09:18:38	09:26:38	00:08:00	34,7%	78,3%	99,0%	Good	0,045
20/12/2014	141220_173353	31	09:28:25	09:36:57	00:08:32	44,6%	81,6%	99,3%	Good	0,045
20/12/2014	141220_174528	32	09:39:59	09:47:45	00:07:46	39,8%	49,7%	98,9%	Good	0,045
20/12/2014	141220_175446	33	09:49:17	09:57:57	00:08:40	49,1%	79,3%	95,3%	Good	0,045
20/12/2014	141220_180553	34	10:00:20	10:07:36	00:07:16	55,2%	83,2%	93,3%	Good	0,045
20/12/2014	141220_181800	35	10:12:30	10:19:06	0,004583333	37,4%	38,1%	99,8%	Good	0,045
20/12/2014	141220_182730	36	10:22:01	10:30:02	00:08:01	10,6%	65,0%	100,0%	OK	0,045
20/12/2014	141220_183914	37	10:33:45	10:41:17	00:07:32	21,8%	31,0%	99,5%	OK	0,045
20/12/2014	141220_184808	38	10:42:30	10:50:54	00:08:24	18,0%	46,6%	98,8%	OK	0,045
20/12/2014	141220_190258	39	10:57:29	11:05:32	00:08:03	31,6%	68,9%	98,6%	Good	0,045
20/12/2014	141220_193023	40	11:24:54	11:33:55	00:09:01	46,7%	67,9%	98,6%	Good	0,045
20/12/2014	141220_195955	41	11:54:26	12:02:09	00:07:43	53,7%	68,6%	99,1%	Good	0,045
20/12/2014	141220_200946	42	12:04:03	12:13:01	00:08:58	59,8%	64,1%	99,2%	Good	0,045
20/12/2014	141220_202238	43	12:17:09	12:25:54	00:08:45	61,6%	68,1%	99,3%	Good	0,045



## ANEXO B

Dados do levantamento com *laser scannet* do *URC*.

Dados dos Levantamentos

URC

<u>Riscan File</u>	<u>ID</u>	<u>Posição do scan</u>	<u>Hora do início doScan</u>	<u>Hora do fim doScan</u>	<u>Tempo Total</u>	<u>Overlap</u>	<u>Balance</u>	<u>Points &lt;6mm</u>	<u>Avaliação do Recap</u>	<u>Resolução</u>
15/12/2014	141215_153618	2	07:30:58	07:38:31	00:07:33	40,2%	12,7%	99,4%	Good	0,045
15/12/2014	141215_155615	3	07:50:55	07:59:00	00:08:05	33,9%	19,9%	99,1%	Good	0,045
15/12/2014	141215_160757	4	08:02:36	08:11:09	00:08:33	51,0%	31,5%	99,2%	Good	0,045
15/12/2014	141215_162147	5	08:16:27	08:20:56	00:04:29	52,0%	29,1%	80,4%	OK	0,045
15/12/2014	141215_163622	6	08:31:02	08:38:49	00:07:47	48,6%	11,0%	99,4%	Good	0,045
15/12/2014	141215_164651	7	08:41:27	08:49	00:08:23	14,3%	44,0%	99,7%	OK	0,045
15/12/2014	141215_165909	8	08:53:49	09:02:11	00:08:22	22,5%	34,5%	99,2%	OK	0,045
15/12/2014	141215_171008	9	09:04:48	09:14:47	00:09:59	26,3%	7,9%	98,8%	OK	0,045
15/12/2014	141215_172103	10	09:15:38	09:22:53	00:07:15	24,1%	14,0%	98,8%	OK	0,045
15/12/2014	141215_173647	1	09:31:27	09:39:15	00:07:48	0,0%	0,0%	0,0%	Good	0,045
15/12/2014	141215_174714	11	09:41:49	09:50:26	00:08:37	19,8%	31,2%	98,7%	OK	0,045
15/12/2014	141215_180132	12	09:56:13	10:04:57	00:08:44	31,4%	37,1%	98,6%	Good	0,045
15/12/2014	141215_181246	13	10:07:27	10:16:12	00:08:45	37,1%	37,0%	99,2%	Good	0,045
15/12/2014	141215_182845	14	10:23:25	10:31:51	00:08:26	43,7%	38,2%	99,3%	Good	0,045
15/12/2014	141215_184134	15	10:36:14	10:45:00	00:08:46	46,1%	32,2%	99,4%	Good	0,045
15/12/2014	141215_185251	16	10:47:31	10:56:04	00:08:33	51,6%	34,0%	99,4%	Good	0,045
15/12/2014	141215_190319	17	10:57:59	11:06:09	00:08:10	55,9%	45,6%	99,0%	Good	0,045
15/12/2014	141215_192326	18	11:18:05	11:27:07	00:09:02	50,8%	44,1%	99,6%	Good	0,045
15/12/2014	141215_193344	19	11:29:24	11:38:06	00:08:42	56,3%	40,6%	99,6%	Good	0,045