

Prefeitura Municipal de Belo Horizonte – PMBH

Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura – SMOBI

Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP

Diretoria de Planejamento e Controle de Empreendimentos – DPLC-SD

Gerência de Normas e Padrões Técnicos – GENPA-SD

PROCEDIMENTOS DE PROJETOS SUDECAP

Este documento faz parte dos Procedimentos de Projetos SUDECAP disponíveis no Portal PBH.

São reservados à Prefeitura Municipal de Belo Horizonte todos os direitos autorais. Desde que o documento seja referenciado, é permitida a reprodução do seu conteúdo. A violação dos direitos autorais sujeita os responsáveis às sanções cíveis, administrativas e criminais previstas da legislação.

APÊNDICE J

COMPONENTES TECNOLÓGICOS

PUBLICAÇÃO: 28/09/2023

ATUALIZAÇÃO: 17/12/2025

SUMÁRIO

J	COMPONENTES TECNOLÓGICOS	J-2
J.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	J-2
J.2	<i>REAL-TIME KINEMATIC</i>	J-2
J.3	<i>DRONES</i>	J-4
J.4	<i>LASER SCANNER</i>	J-9
J.5	RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO	J-13
J.6	LEGISLAÇÃO APLICÁVEL, NORMAS E PRÁTICAS COMPLEMENTARES	J-15
J.7	BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA	J-15
	REFERÊNCIAS	J-16

J COMPONENTES TECNOLÓGICOS

J.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O uso de componentes tecnológicos como *drones*, sistemas *Real-Time Kinematic* (RTK) e *scanners a laser* tem se tornado cada vez mais comum em todas as etapas da construção civil. Tais componentes têm grande potencial para aumentar eficiência, precisão e segurança dos processos, permitindo uma coleta de dados mais rápida e precisa, facilitando a tomada de decisões e a redução de erros durante o processo de construção. Além disso, essas tecnologias também ajudam a melhorar a comunicação e a colaboração entre as equipes de projeto, construção e gerenciamento.

A recomendação do uso da tecnologia *Building Information Modeling* (BIM) em obras públicas foi estabelecida pelo Decreto Federal nº 10.306/2020, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling (Estratégia BIM BR), instituída pelo Decreto Federal nº 9.983/2019. O uso dos equipamentos descritos a seguir está diretamente relacionado ao avanço desta tecnologia, uma vez que são os responsáveis pela geração de informações precisas e parametrizadas, originando modelos a partir das nuvens de pontos e modelos de superfície gerados a partir dos dados coletados pelos mesmos, criando as bases de trabalho para elaboração dos projetos que utilizam tecnologia BIM.

Nos tópicos a seguir, são apresentadas as informações necessárias à contratação dos serviços de coleta de dados para a elaboração dos projetos dos empreendimentos fiscalizados pela SUDECAP relativas aos seguintes componentes tecnológicos:

- *Real-Time Kinematic* (RTK);
- *Drone*;
- *Laser Scanner*;
- Radar de Penetração no Solo (georadar).

J.2 REAL-TIME KINEMATIC

O conceito de posicionamento do *Real-Time Kinematic* (RTK) (Posicionamento Cinemático em Tempo-Real) baseia-se na transmissão instantânea de dados de correções dos sinais de satélites, de receptor(es) instalado(s) no(s) vértice(s) de referência a receptor(es) que percorre(m) os vértices de interesse, como ilustrado na Figura J.1.

A tecnologia proporciona o conhecimento em tempo real de coordenadas precisas dos vértices levantados. O posicionamento pelo RTK pode ser feito pelo método convencional ou em rede. A metodologia RTK executa a correção em tempo real processada nos receptores móveis, a partir dos dados transmitidos por telemetria desde o receptor estacionado sobre uma estação base, cujas coordenadas são conhecidas.

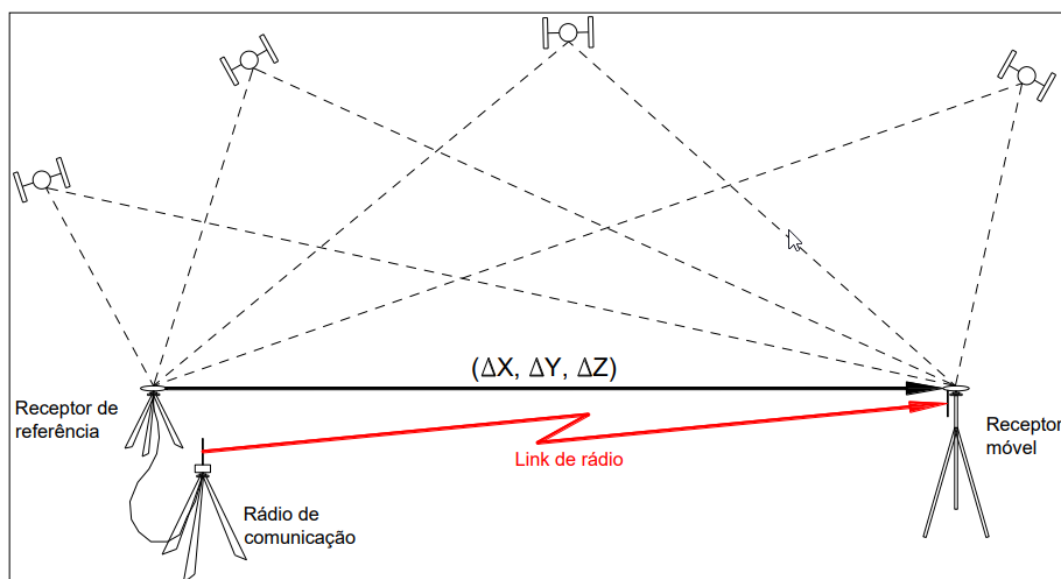


Figura J.1 - Sistema RTK convencional. Fonte: INCRA (2022).

Aparelhos com tecnologia RTK podem ser utilizados em caráter auxiliar ao levantamento por estação total, desde que a precisão e soluções de ambiguidades sejam registrados em relatórios de dados brutos, a serem apresentados à FISCALIZAÇÃO. Para cada levantamento, o relatório de dados brutos deve conter:

- Coordenadas;
- *Status*;
- Número de satélites;
- Tempo de rastreamento;
- *Root Mean Square* (RMS);
- Data e horário;
- Fatores relacionados ao Sistema de Posicionamento Global (GPS) usados para avaliar a qualidade e precisão das posições determinadas por receptores GPS:
 - PDOP (Diluição da Precisão de Posição) – posicionamento tridimensional;
 - HDOP (Diluição da Precisão Horizontal);
 - TDOP (Diluição da Precisão Temporal);
 - VDOP (Diluição da Precisão Vertical);
 - GDOP (Diluição da Precisão Geométrica).

Estes fatores representam diferentes tipos de Diluição da Precisão (DOP, do inglês "*Dilution of Precision*"), que afetam as medições de posicionamento, sendo que valores mais baixos indicam a maior precisão de cada um destes parâmetros, conforme indicado na Tabela J.1.

Tabela J.1 – Faixas e níveis de precisão dos fatores DOP. Fonte: Silveira (2008).

NÍVEL DOP	QUALIDADE	DESCRIÇÃO
1	Ideal	Nível de confiança mais alto. Máxima precisão em todos os momentos.
2-3	Excelente	Medições precisas.
4-6	Bom	Nível mínimo adequado.
7-8	Moderado	Qualidade moderada. Correção recomendada.
9-20	Restrito	Nível de confiança baixo. Considere descartar dados.
>20	Pobre	Precisão muito baixa. Erros podem atingir 300 metros.

J.2.1 Aplicações

Sua utilização é indicada para realização de levantamentos planialtimétricos em locais abertos, livres de obstruções que possam causar interferência nos sinais de satélites, de forma auxiliar às técnicas convencionais que utilizam estação total, visando agilizar a coleta de pontos.

A viabilidade da utilização desta tecnologia está condicionada a uma avaliação, no local de implantação do vértice de controle básico, visando identificar objetos que possam obstruir sinais, produzir multicaminhamento e outras interferências. As obstruções no horizonte não podem ultrapassar 20° (vinte graus) de elevação. Deve-se ter especial cuidado à leitura e registro da altura da antena, que deve ser observada no início e no fim do rastreamento e ser orientada ao Norte.

É contra indicada a sua utilização em locais fechados como túneis, áreas de mata fechada e áreas altamente adensadas, bem como é vedada a captação de pontos para coleta de cotas de fundo de poços de visita (PVs), bocas de lobo, interior de galerias, locais com grande densidade de vegetação, grandes aglomerados edificados, túneis e outros locais onde a transmissão do sinal possa ser dificultada.

Afim de garantir a precisão do posicionamento relativo, fica estabelecido o comprimento da linha de base de no máximo 2 (dois) quilômetros e o tempo mínimo de observação de 5 (cinco) minutos.

O horizonte de rastreamento mínimo deve ser de 15° (quinze graus), podendo ser de 10° (dez graus) nos equipamentos operando nas estações de referência. O intervalo de gravação das observáveis deve ser de, no mínimo, 15 (quinze) segundos, quando associados a estações de referência cujo intervalo seja de 15 (quinze) segundos.

Por tratar-se de um posicionamento tridimensional, os equipamentos componentes do RTK devem estar em perfeitas condições de operação, da mesma forma que a equipe encarregada da montagem deve garantir a centralização e o nivelamento das antenas sobre marcos de referência e demais pontos para os quais se pretende determinar coordenadas e altitudes.

J.2.2 Documentação Técnica

A entrega dos produtos desenvolvidos utilizando a tecnologia RTK deve ser realizada contemplando:

- Documentação técnica relativa ao Levantamento Planialtimétrico Cadastral, obedecendo às exigências descritas no CAPÍTULO 5 – TOPOGRAFIA;
- Caderneta de campo;
- Arquivos digitais editáveis com extensão .dwg;
- Relatório fotográfico;
- Apresentação dos arquivos brutos de observação no formato RINEX2.

J.3 DRONES

De acordo com o conceito do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), *drone* é uma aeronave não tripulada controlada remotamente em três eixos, utilizada para fins experimentais, comerciais ou institucionais. Conhecido também como Veículo Aéreo não Tripulado (VANT), a aeronave pode ter equipamentos embarcados, tais como câmeras e sensores, permitindo o registro de fotos, vídeos e o escaneamento de superfícies, como o VANT ilustrado na Figura J.2. Quando equipado com Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), permite maior controle do percurso do voo e também confere a cada imagem capturada informações sobre a inclinação da câmera, altitude e proximidade de obstáculos.



Figura J.2 - Exemplo de drone equipado com câmeras fotográficas embarcadas. Fonte: Cavallieri; Campos (2022).

J.3.1 Regulamentações Necessárias

Para a operação com VANT, em caráter profissional, a CONTRATADA deve seguir as regras vigentes no período da contratação do serviço, como as exemplificadas a seguir:

- Comprovar a homologação do *drone* na Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), informando à FISCALIZAÇÃO o número do certificado do VANT, no caso de *drones* de até 250 (duzentos e cinquenta) gramas;
- Atender à regulamentação do equipamento e seguir as regras de operação da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) aplicável por tipo de aeronave, altura de voo e locais de operação, inclusive com a emissão de apólice de seguro de responsabilidade civil, no caso de VANTs com peso maior que 250 (duzentos e cinquenta) gramas;
- Apresentar o plano de voo previamente autorizado pelo DECEA;
- Obedecer a Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40, em relação aos locais autorizados para voo, que define limites de distâncias de aeroportos e heliportos para voos com *drone*.

J.3.2 Avaliação da Acurácia

Diversas normas foram desenvolvidas com o objetivo de estabelecer métodos de análise para avaliar produtos cartográficos, verificando assim a sua acurácia posicional. No Brasil, essa avaliação é regulamentada pelo Decreto Federal nº 89.817/84 e complementada pelas especificações técnicas elaboradas pela Divisão do Serviço Geográfico (DSG) em conformidade com a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

O Decreto Federal nº 89.817/84 determina as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira por meio de procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de documentos cartográficos, criando o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e a classificação das cartas em classes A, B e C.

Com a maior difusão do uso de peças cartográficas geradas em meio digital, a DSG elaborou a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) que detalha como deve ser feita a aplicação do Decreto Federal nº 89.817/84 e cria a classe (D), mais restritiva, destinada a produtos cartográficos digitais (PECPCD). E posteriormente, com objetivo de padronizar a avaliação da qualidade dos produtos de conjuntos de dados geoespaciais integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN), foi emitida a Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG).

As metodologias e testes contidos nestas normativas devem ser aplicadas para avaliação da acurácia dos dados gerados pelos voos de *drone*, que devem apresentar a mesma precisão de resultados por meios convencionais.

J.3.3 Coleta e Tratamento de Dados

O sobrevoo de uma superfície realizado com o *drone* gera um conjunto de fotografias que armazenam diversas características obtidas com os sensores, tais como, imagem, altitude e elevação. A Figura J.3 apresenta exemplos de dados que podem ser produzidos utilizando aerofotogrametria com *drone*: além do mapeamento convencional (à esquerda), também é gerado um modelo digital (à direita) a partir do qual é possível identificar a localização e a cota relativa de diferentes elementos.

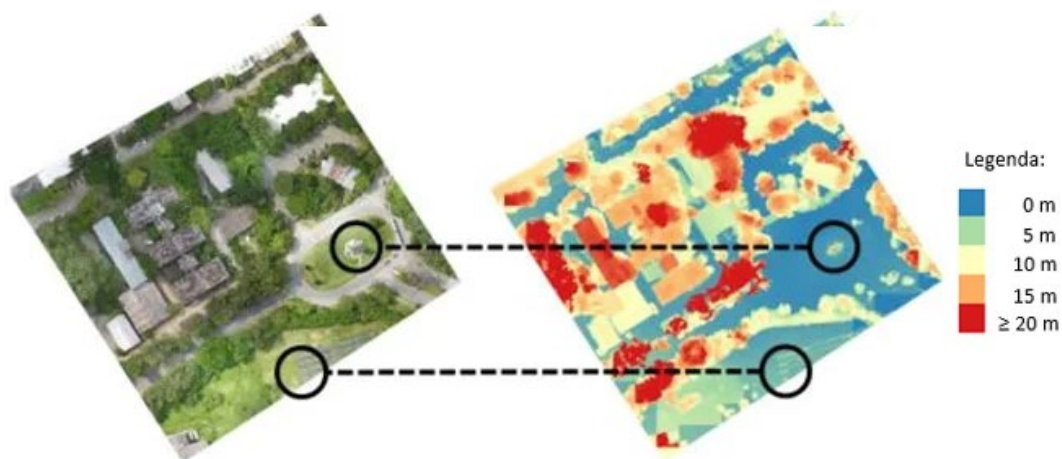


Figura J.3 - Exemplos de dados produzidos a partir de aerofotogrametria com drone. Fonte: Adaptado de IPT (2017).

A sobreposição destas imagens, a partir da utilização dos conceitos de fotogrametria e uso de *softwares*, gera um mosaico parametrizado, cujo produto final, georreferenciado, é denominado ortofoto. Ainda pela sobreposição das fotos georreferenciadas, a partir do processamento das mesmas em *softwares* especializados, é possível identificar um conjunto de pontos de referência comuns nas imagens que permite calcular sua posição e orientação em relação às outras.

Nuvem de pontos é o nome dado a este conjunto, capaz de representar a superfície de um objeto ou terreno. Cada ponto na nuvem de pontos é definido por suas coordenadas espaciais (x, y, z), que representam sua posição no espaço tridimensional. Além disso, cada ponto pode ter outras informações associadas, como cor, intensidade de reflexão, densidade de pontos, entre outras.

As nuvens de pontos são usadas para criar modelos tridimensionais de objetos ou terrenos, como ilustrado na Figura J.4, que podem ser usados para análise, visualização, planejamento e tomada de decisão. A partir da nuvem de pontos, podem ser gerados os seguintes modelos:

- Modelo Digital de Superfície (MDS), cujas características são:
 - Representa a superfície de um terreno ou objeto tridimensional em um formato digital, como uma nuvem de pontos, onde cada ponto tem uma altura ou valor de elevação correspondente;
 - Usado para visualizar e analisar as características do terreno ou objeto em três dimensões, bem como para gerar perfis, seções transversais e outras análises de superfície;
 - Criado a partir das imagens captadas durante o voo, combinadas com os pontos de controle captados no solo.
- Modelo Digital de Terreno (MDT), cujas características são:
 - Representa a superfície do terreno isenta de interferências;
 - Gerado a partir da filtragem do MDS, na qual são retiradas todas as informações de objetos acima da superfície, tais como edificações e vegetação.

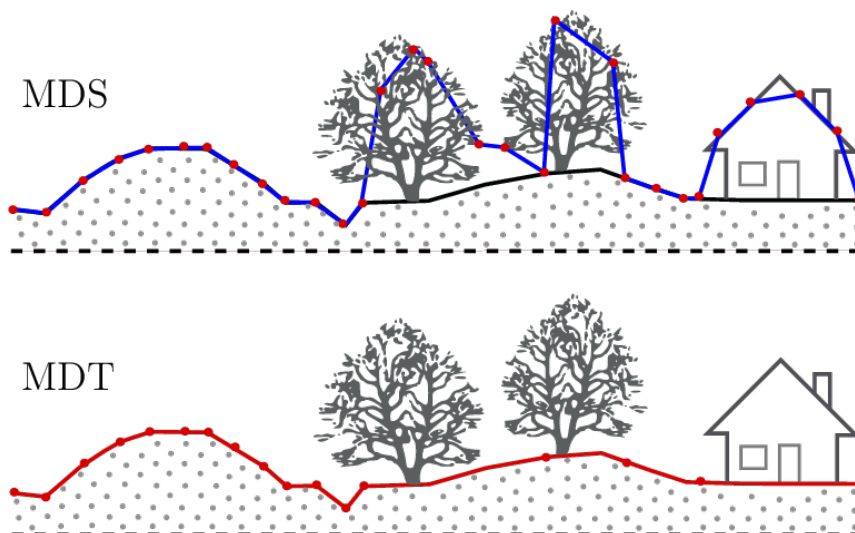


Figura J.4 - Representação esquemática dos conceitos de Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT). Fonte: Carrilho (2016).

J.3.4 Aplicações

O uso de *drones* na área da construção civil é diverso e o crescente uso do equipamento resulta em maior rapidez, produtividade e assertividade em diversas áreas da engenharia, subsidiando informações para o aprimoramento das atividades de projeto, controle de execução e manutenção de obras civis.

Os recursos e dados obtidos através das aeronaves não tripuladas devem ser utilizados em caráter auxiliar às tecnologias convencionais já consolidadas, de forma que os resultados sejam iguais ou superiores aos estabelecidos nos padrões estabelecidos no conjunto de publicações da SUDECAP para os serviços contratados.

A seguir são apresentados os principais produtos e aplicações do *drone* no âmbito dos empreendimentos fiscalizados pela SUDECAP, cuja pertinência de aplicações deve ser avaliada e definida durante a elaboração do PROJETO BÁSICO DA LICITAÇÃO do empreendimento.

J.3.4.1 Levantamento Planialtimétrico

A coleta e o tratamento dos dados obtidos a partir do sobrevoo com *drone* resulta em um conjunto de informações que auxiliam e podem aprimorar o levantamento planialtimétrico cadastral realizado em campo. A listagem de coordenadas dos pontos de controle, a ortofoto e os modelos MDS e MDT tornam-se parte da memória e dos subprodutos do levantamento, que devem ser fornecidos pela CONTRATADA com

características e precisão igual ou maior às elencadas no CAPÍTULO 5 – TOPOGRAFIA.

A definição pelo levantamento planialtimétrico utilizando *drone* como tecnologia auxiliar deve partir da CONTRATANTE, levando em conta parâmetros de custo e agilidade na execução, considerando os seguintes fatores:

- Densidade de ocupação do terreno – muitas edificações no terreno podem restringir a acurácia da coleta de pontos junto ao solo;
- Presença abundante de vegetação – grandes manchas de vegetação podem restringir a acurácia da coleta de pontos junto ao solo;
- Grandes desníveis – Uma grande variação da altura do voo em relação ao solo pode alterar a amostragem a ser representada nas imagens, conhecida como *Ground Sample Distance* (GSD) pode prejudicar a qualidade do levantamento.

J.3.4.1.1 Equipamentos

- VANT com GPS de precisão e câmera de, no mínimo, 12 (doze) megapixels;
- Levantamento topográfico realizado *in loco* para marcação dos pontos de controle por sistema GNSS convencional ou sistema de posicionamento – tecnologia RTK.

J.3.4.1.2 Plano de Voo

O plano de voo é o documento que define os parâmetros e as diretrizes para a operação do *drone* em uma determinada missão. Ele descreve os detalhes do voo, como altitude, velocidade, trajetória e determinação da sobreposição entre as imagens a serem capturadas durante a operação. Antes da execução do serviço, a CONTRATADA deve apresentar à FISCALIZAÇÃO o plano de voo com todas as informações necessárias para o bom entendimento da área a ser levantada, demonstrando as seguintes características:

- Polígono a ser registrado durante o voo, contemplando a área a ser levantada e suas bordas, representada em foto aérea do local;
- Horário planejado para o voo;
- Sobreposição: 80% (oitenta por cento) tanto na lateral quanto frontal;
- *Ground Sample Distance* (GSD):
 - 5 (cinco) centímetros, no caso de terrenos de empreendimento de edificações, devido à necessidade de captar maiores detalhes;
 - 10 (dez) centímetros, no caso de terrenos de empreendimentos de infraestrutura urbana, onde é necessário cobrir áreas maiores.
- Marcação dos pontos de controle;
- Autorizações emitidas.

O serviço somente pode ser realizado após a aprovação do plano de voo pela FISCALIZAÇÃO.

J.3.4.1.3 Pontos de Controle

Os pontos de controle ou *Ground Control Points* (GCP) são pontos coletados em campo que podem ser identificados nas imagens aéreas obtidas pelo *drone*, como objetos alvos ou detalhes no terreno. Estes pontos correlacionam o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno. Ou seja, são pontos de referência no solo, utilizados no processamento das imagens, para aumentar a precisão dos produtos finais gerados nos levantamentos planialtimétricos cadastrais elaborados através de imagens aéreas.

- Os pontos de controle podem ser levantados *in loco* através dos seguintes métodos:
 - tecnologia RTK integrada ao VANT;
 - Posicionamento Relativo Estático com Receptores GNSS;
 - Poligonação com Estação Total.
- Tais pontos devem ser marcados contemplando toda a área de interesse para que a correlação dos pontos seja feita no processamento de imagens;
- Devem ser alocados, no mínimo, 05 (cinco) pontos de controle, seguindo as diretrizes abaixo elencadas:

- Colocar pontos nas extremidades da área mapeada;
- Colocar pontos em locais onde há grandes variações de altitude no terreno;
- Colocar pontos nas sobreposições entre os voos, em caso de múltiplos voos;
- Distribuir os pontos de forma homogênea em toda área mapeada.

J.3.4.1.4 Documentação Técnica

- Relatório do levantamento com descrição das condições climáticas, fotos dos pontos de controle, tempo de voo e quantidade de imagens geradas;
- Listagem das coordenadas dos pontos de controle;
- Monografia dos marcos topográficos utilizados como base;
- Nuvem densa:
 - Deve ser tratada de modo a eliminar elementos que possam prejudicar os modelos a serem gerados, tais como pessoas, objetos ou equipamentos, animais, etc.;
 - Deve ser definida a extensão do arquivo digital editável a ser entregue (.las, .rcp, .raw ou .ply).
- Modelo Digital de Superfície (MDS):
 - A superfície deve conter pontos suficientes para a modelagem completa do terreno, sem deformações ou distorções.
- Modelo Digital de Terreno (MDT);
- Ortoimagem / Ortomosaico com precisão de 5 (cinco) centímetros ou menos;
- Malha regular da ortorectificação;
- Arquivo digital do Levantamento Topográfico (isolinhas) na extensão .dwg com as mesmas informações do Levantamento Topográfico tradicional.

J.3.4.2 Cadastros Técnicos

O sobrevoo de *drone* é capaz de gerar dados auxiliares para o serviço de Cadastro Técnico. O uso do equipamento é recomendado principalmente em áreas de difícil acesso, sempre em caráter auxiliar ao levantamento de dados no campo, sendo possível obter fotos de alta resolução da área de interesse, facilitando a obtenção de dados relacionados a divisas de lotes, coberturas de edificações e demais pormenores do cadastro que possam ser melhor visualizados em altura. Ressalta-se que o sobrevoo de *drone* não substitui o levantamento em campo.

O levantamento por *drone* deve ser precedido de um plano de voo com todas as informações necessárias para o bom entendimento da área a ser levantada, como descrito em J.3.4.1.2. O serviço somente pode ser realizado após a aprovação do plano de voo pela FISCALIZAÇÃO.

As fotos ortorectificadas, bem como a listagem de coordenadas dos pontos de controle, os modelos MDS e MDT tornam-se parte da memória e dos subprodutos do cadastro, que devem ser fornecidos pela CONTRATADA com características e precisão igual ou maior às elencadas no CAPÍTULO 7 – CADASTRO TÉCNICO.

J.3.4.3 Controle de Movimentação de Terra

O MDT (Modelo Digital de Terreno) e a nuvem de pontos, produtos gerados a partir do mesmo processo de sobrevoo com *drone* e tratamento das ortofotos, podem ser utilizados como ferramenta auxiliar no controle de movimentação de terra, através do planejamento e controle de execução dos seguintes serviços:

- Planejamento e projeto de terraplenagem:
 - O MDT pode ser usado como base para o planejamento e projeto da obra, permitindo a análise da topografia existente e auxiliando na definição de cortes, aterros e movimentação de terra necessários;
 - Com base no MDT, é possível calcular volumes de corte e aterro, determinar áreas críticas e realizar simulações de diferentes cenários de movimentação de terra.
- Monitoramento de progresso de movimentação de terra:
 - A nuvem de pontos pode ser obtida em diferentes momentos durante a obra para criar um

- registro tridimensional do progresso da construção;
- A comparação das nuvens de pontos e do MDT em diferentes momentos da obra permite verificar se a movimentação de terra está ocorrendo conforme o planejado, calcular áreas, volumes, desvios, controle do cronograma e as estratégias de movimentação de terra durante a obra;
- Essa comparação pode ser feita por meio de *softwares* de geoprocessamento que permitem sobrepor diferentes versões dos modelos, destacando as diferenças entre elas.
- Análise de estabilidade:
 - As análises de estabilidade do terreno podem ser realizadas por meio do uso do MDT e/ou da nuvem de pontos;
 - A identificação das áreas que podem ser suscetíveis a deslizamentos, erosão ou outros problemas de estabilidade é feita com base nas informações de elevação e formato do terreno;
 - Essas informações podem ser usadas para implementar medidas de prevenção e mitigação adequadas.

J.3.4.4 Levantamentos Fotográficos Cadastrais

Os *drones* podem ser utilizados para gerar documentação fotográfica do exterior de edificações em trechos de maior dificuldade de acesso por altura, tal como telhados, reservatórios e fachadas, auxiliando no levantamento arquitetônico cadastral e também na identificação de patologias construtivas. O *drone* deve ser equipado com câmera de alta resolução. Nesse tipo de aplicação, a CONTRATADA deve apresentar a seguinte documentação:

- Relatório fotográfico impresso com a indicação da localização das imagens em um mapa chave;
- CDs/DVDs com os arquivos digitais das fotografias em alta resolução.

J.3.4.5 Modelagem Tridimensional de Edificações

A partir da sobreposição das fotos georreferenciadas, é possível gerar a nuvem de pontos e realizar, em *software* de processamento de imagens, a modelagem tridimensional do empreendimento. Os modelos podem ser utilizados para visualizações tridimensionais, medições precisas e análises de elementos do empreendimento.

Durante este processo, são obtidos produtos como o modelo tridimensional de nuvem de pontos, malha triangular e ortofoto das fachadas. Todos estes produtos possuem interoperabilidade com ferramentas *Computer Aided Design* (CAD) e BIM. As ortofotos podem ser importadas em *software* CAD para a realização de vetorização das feições do empreendimento, assim como o modelo tridimensional de nuvem de pontos pode ser importado em *software* BIM para a modelagem do empreendimento levantado.

J.4 LASER SCANNER

O *laser scanner*, ou escaneamento a *laser*, é a tecnologia utilizada para coleta precisa de dados em três dimensões de objetos e ambientes. Consiste no uso de um *scanner a laser* que emite feixes de luz pulsada, registrando o tempo que leva para o pulso retornar após atingir um anteparo. Com base nessas informações, é possível criar modelos tridimensionais detalhados e precisos. A Figura J.5 apresenta, de forma esquemática, o funcionamento do *laser scanner*.

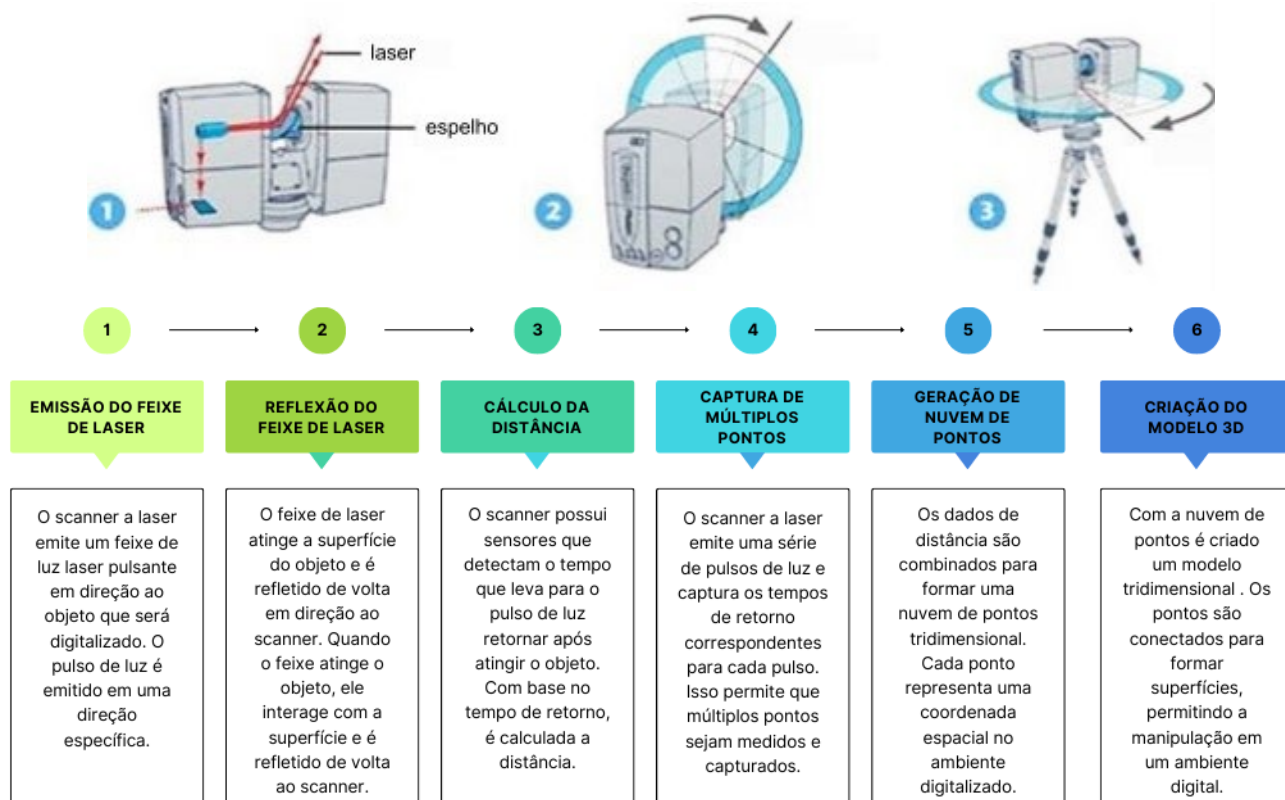


Figura J.5 - Esquema de funcionamento do laser scanner. Fonte: Adaptado de Vahid; Wang (2017).

A definição pelo uso da tecnologia de levantamentos utilizando *laser scanner* deve partir da CONTRATANTE, levando em conta parâmetros de custo e agilidade na execução, considerando os seguintes fatores limitantes:

- Áreas com cobertura densa de vegetação: em áreas com cobertura densa de vegetação o feixe de *laser* pode ser obstruído, resultando em lacunas nos dados ou na captura de informações incompletas, portanto, seu uso não é indicado;
- Superfícies altamente reflexivas: o equipamento pode ter o funcionamento prejudicado em locais onde o entorno tenha superfícies altamente reflexivas (edifícios com fachadas espelhadas ou metais reflexivos, por exemplo);
- Áreas inacessíveis ou perigosas: Em algumas situações, o acesso seguro a certas áreas pode ser difícil ou perigoso para a instalação e operação do equipamento de *laser scanner*, como terrenos íngremes, instáveis ou com risco de queda.

J.4.1 Aplicações

O *laser scanner* pode ser aplicado em diversas fases do empreendimento, englobando serviços de apoio no planejamento e viabilidade até o controle do andamento e qualidade da obra, conforme listado nos tópicos a seguir.

J.4.1.1 Levantamento Topográfico

Os *scanners a laser* podem capturar milhões de pontos de dados em um curto período de tempo, permitindo, a partir da nuvem de pontos, a criação de modelos tridimensionais detalhados do terreno, incluindo sua forma, elevações e características.

A nuvem de pontos proveniente da captação do escaneamento a *laser*, combinada com o lançamento de pontos georreferenciados, resulta em um conjunto de informações suficientes para gerar, a partir de *softwares* especializados, o levantamento planialtimétrico cadastral.

Para obtenção de uma modelagem tridimensional precisa e acurada, é indispensável o transporte de coordenadas por receptores GNSS, que devem ser utilizados para realização do georreferenciamento do

levantamento através do transporte de coordenadas com implantação de pontos de apoio e dos marcos topográficos.

A listagem de coordenadas dos pontos de controle provenientes do GNSS, a nuvem de pontos e os modelos MDS e MDT tornam-se parte da memória e subprodutos do levantamento, que deve ser fornecido pela CONTRATADA com a mesma precisão e características elencadas no CAPÍTULO 5 – TOPOGRAFIA.

J.4.1.2 Documentação de Edifícios Existentes - Levantamento Arquitetônico Cadastral, Cadastros Técnicos e As Built

Em casos de empreendimentos existentes, o *laser scanner* é usado para capturar informações quem permitem a criação de modelos 3D precisos de um edifício, capturando todos os elementos construtivos de forma ágil e detalhada. A partir destes dados, é possível gerar a documentação técnica com informações específicas para:

- Levantamento arquitetônico cadastral;
- Cadastros técnicos;
- Documentação final do registro de obra, ou *as built*.

No caso de *as built*, é possível comparar os modelos de projeto ao resultado final executado com a utilização de tecnologias BIM que façam a sobreposição do modelo projetado com o modelo capturado no local da obra, detectando possíveis inconformidades.

Em qualquer uma das aplicações, o uso do *laser scanner* é em caráter auxiliar ao levantamento convencional e o produto final deve ser composto pela seguinte documentação digital e física:

- Nuvem de pontos;
- Listagem de Coordenadas de pontos de apoio;
- Modelo Digital de Superfície (MDS);
- Modelo digital em formato BIM – a precisão milimétrica e realista da nuvem de pontos deve ser traduzida em modelo parametrizado e também em desenhos técnicos conforme as normas de representação gráfica estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entregue em formato nativo e arquivo editável *Industry Foundation Classes* (extensão .ifc);
- Pranchas impressas com os levantamentos, que devem ser elaborados e apresentados pela CONTRATADA com a mesma precisão e características elencadas nos respectivos capítulos dos Procedimentos de Projetos SUDECAP.

J.4.1.3 Controle de Produção, Quantitativos e Qualidade Durante a Etapa de Obra

O *laser scanner* pode ser usado para acompanhar a evolução da execução de obra conforme projeto e cronograma, seja para empreendimentos de edificações ou infraestrutura, e também para verificar a conformidade das estruturas com os projetos licitados.

A avaliação de tais parâmetros é promovida pela CONTRATANTE e deve ser realizada por profissional habilitado, independente e diferente do RESPONSÁVEL TÉCNICO do projeto. Adicionalmente, não podem participar, direta ou indiretamente, da execução do serviço:

- O(s) autor(es) do projeto, básico ou executivo, pessoa física ou jurídica;
- Empresa, isoladamente ou em consórcio, responsável pela elaboração do projeto básico ou executivo, ou da qual o(s) autor(es) do projeto seja(m) dirigente(s), gerente(s), acionista(s) ou detentor(es) de mais de 5% (cinco por cento) do capital com direito a voto ou controlador(es), responsável(is) técnico(s) ou subcontratado(s).

Os dados do *scanner a laser* podem ser comparados com os modelos de projeto elaborados em BIM, visando acompanhar o progresso e identificar qualquer desvio ou erro de execução. Alguns exemplos de aplicação:

- Melhoria do controle de produção da obra permitindo, por meio de levantamentos a *laser* periódicos que, a partir de sobreposição e extração de áreas e volumes dos modelos gerados, auxiliam na conferência da produtividade de trabalhos de movimentação de terra;
- Extração de volume e áreas de estruturas executadas e localização de equipamentos no canteiro de obras, em casos de canteiros de obra muito extensas;
- Modelagem 3D para visita virtual, permitindo gerar documentação para prestação de contas;
- Monitoramento de deslocamentos;

- Monitoramento de recalque;
- Monitoramento de verticalidade;
- Monitoramento das etapas de construção desde a estrutura até a evolução do acabamento através de escaneamentos periódicos.

O produto a ser entregue pela CONTRATADA responsável pelo monitoramento deve ser composto pela documentação digital e física enumerada a seguir:

- Relatório técnico contendo a caracterização do(s) empreendimento(s), descrição da metodologia, período de desenvolvimento dos serviços, resultado do monitoramento com a interpretação dos resultados, além da conclusão com recomendações e diretrizes específicas para o empreendimento;
- Nuvem de pontos;
- Listagem de Coordenadas de pontos de apoio;
- Modelo digital em formato BIM – a precisão milimétrica e realista da nuvem de pontos deve ser traduzida em modelo parametrizado e também em desenhos técnicos conforme as normas de representação gráfica estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entregue em formato nativo e arquivo editável *Industry Foundation Classes* (extensão .ifc);
- Ortofoto;
- Desenhos técnicos provenientes do monitoramento com a mesma precisão e características elencadas nos respectivos capítulos dos Procedimentos de Projetos SUDECAP.

J.4.1.4 Inspeção e Monitoramento de Estruturas

O *laser scanner* é usado para inspecionar e monitorar a condição de estruturas existentes, como pontes, túneis e fachadas de edifícios. Essa tecnologia permite detectar deformações, recalques, deslocamentos rachaduras ou outros problemas estruturais ao longo de um tempo determinado para o monitoramento, auxiliando na manutenção preventiva e na tomada de decisões para reparos.

A sobreposição dos modelos gerados em captações periódicas por *laser scanner* permite, por comparação, avaliar a movimentação ou a deterioração da estrutura.

O produto a ser entregue pela CONTRATADA deve ser composto pela seguinte documentação digital e física:

- Relatório técnico contendo a descrição da metodologia, resultado do monitoramento com a interpretação dos resultados, além da conclusão com recomendações e diretrizes para a recuperação da estrutura;
- Nuvem de pontos;
- Listagem de Coordenadas de pontos de apoio;
- Modelo digital em formato BIM – a precisão milimétrica e realista da nuvem de pontos deve ser traduzida em modelo parametrizado e também em desenhos técnicos conforme as normas de representação gráfica estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entregue em formato nativo e arquivo editável *Industry Foundation Classes* (extensão .ifc);
- Desenhos técnicos provenientes do monitoramento com a mesma precisão e características elencadas nos respectivos capítulos dos Procedimentos de Projetos SUDECAP.

J.4.2 Especificações, Coleta e Tratamento de Dados

Para serviços de escaneamento tridimensional, deve ser utilizado escaneamento 3D a *laser*, em nuvem de pontos em cor real com a utilização da tecnologia *Light Detection and Ranging* (LiDAR) e câmera de alta resolução integrada ao equipamento.

É recomendado que a taxa de medição seja igual ou superior a 360.000 (trezentos e sessenta mil) pontos por segundo. Em caso de levantamento de edificações para fins de restauro, cuja precisão deve ser ainda maior, é recomendado que a taxa seja de 900.000 (novecentos mil) pontos por segundo.

A precisão relativa deve ser de, no mínimo, 1 (um) centímetro com alcance mínimo de 300 (trezentos) metros. O equipamento deve possuir câmera integrada, sensor GNSS, bússola, altímetro e compensador de dois eixos que proporcione agilidade na coleta dos dados em campo.

Para a coleta de dados, respeita-se o requerimento mínimo de 3.000 (três mil) pontos por metro quadrado de modo que as feições levantadas fiquem perfeitamente definidas.

O escaneio deve possuir pontos de controle (esferas ou alvos) para controle e união das nuvens de pontos dos diferentes escaneios (posicionamento do equipamento). A nuvem de pontos a ser gerada deve ser em alta densidade. Sua representação gráfica deve permitir a clara identificação das instalações e elementos especificados, a fim de permitir que as mesmas sejam utilizadas para elaboração e suporte de informação, através de *softwares* apropriados.

O resultado do escaneamento a *laser* é a nuvem de pontos com as cenas (visadas a partir das posições do *scanner*) configuradas e referenciadas no sistema de coordenadas, com qualidade suficiente e cobertura total dos respectivos elementos objeto de escopo.

J.4.2.1 Modelagem 3D

A partir dos dados coletados em campo através da varredura a *laser* (nuvem de pontos) da área, é elaborada a modelagem 3D geométrica parametrizada, onde são representados todos os elementos do empreendimento.

A CONTRATADA deve efetuar a modelagem 3D a partir da nuvem de pontos do escaneamento, representado por geometrias simples, assegurando as posições e dimensões de cada elemento levantado em campo de forma precisa.

Este modelo digital possibilita a geração da documentação técnica, tanto para registro (*as built*), como para desenvolvimento de projetos. As representações, projetos e peças gráficas geradas a partir desta modelagem devem seguir, para cada disciplina, as respectivas exigências tratadas nos capítulos dos Procedimentos de Projetos SUDECAP.

Os modelos 3D geométricos devem ser produzidos nos formatos proprietários dos *softwares* ou sistemas dos quais a CONTRATANTE tem licença de uso, e também devem ser entregues em arquivo editável *Industry Foundation Classes* (extensão .ifc).

J.4.2.2 Fotos Imersivas 360° (*Bubble Views*)

O escaneamento do ambiente gera, além da nuvem de pontos, um conjunto de fotografias coloridas e de alta resolução que podem ser usadas para criação de uma representação panorâmica imersiva em 360° (trezentos e sessenta graus) de um ambiente. A fotometria utiliza informações de iluminação e cor nas imagens para reconstruir o ambiente tridimensional. Esta representação imersiva fica inserida dentro da nuvem de pontos e é denominada *Bubble View*.

A critério da FISCALIZAÇÃO, as *bubble views* geradas por fotogrametria podem ser solicitadas, como item adicional à nuvem de pontos.

Simultaneamente à varredura da área através do levantamento tridimensional a *laser*, devem ser coletadas automaticamente imagens de alta definição e resolução mínima de 12 (doze) megapixels, com sistema de câmera interna no equipamento para obter Fotos Imersivas 360° (*Bubble Views*) georreferenciadas.

Após a finalização do processamento em *software* específico, são geradas as fotos imersivas, contemplando a apresentação da área total em que a varredura a *laser* foi executada, com os respectivos pontos das tomadas de cenas (posicionamento do *scanner*). Este recurso permite, através de um mosaico de fotos de cada uma das estações (posições do *scanner*), obter medidas, coordenadas, fazer comentários e marcações, acessadas através de um navegador de internet, facilitando o acesso a estes dados. A CONTRATADA deve, portanto, fazer o *upload* destes arquivos e disponibilizá-los à FISCALIZAÇÃO por tempo determinado através de um navegador ou aplicativo de visualização sem custo adicional.

J.5 RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO

O Radar de Penetração no Solo (GPR), ou georadar, é um equipamento de prospecção geofísica que permite diferenciar materiais encontrados no subsolo a partir da emissão e recepção de ondas eletromagnéticas, de forma não invasiva. O equipamento emite pulsos de ondas eletromagnéticas de alta frequência e registra os sinais refletidos para determinar as características e as profundidades de diferentes materiais no subsolo. Esses sinais são processados para criar perfis e imagens em seções transversais, provendo informações sobre a estrutura e a espessura das camadas do terreno.

O georadar é útil para auxiliar a determinação de espessuras de camadas do solo, inclusive pavimentos,

posicionamento de cavidades e estruturas como tubulações, caixas de serviço (caixas de passagem, poços de visita, bueiros, etc.) e demais instalações subsuperficiais.

É importante destacar que a eficácia do georadar na detecção de caixas de serviço depende de vários fatores, como tamanho, profundidade e material de construção das caixas, umidade do solo e as condições do subsolo. Em algumas situações, a presença de objetos enterrados próximos ou interferências eletromagnéticas podem dificultar a identificação precisa das caixas. Portanto, para aumentar a precisão das informações, faz-se necessário que o georadar seja equipado com dispositivo de navegação GNSS integrado.

Esta funcionalidade pode ser utilizada em caráter auxiliar ao levantamento topográfico para complementar informações em relação aos elementos enterrados no solo, identificando formato, dimensão das estruturas e caminhamento das tubulações, elementos não contemplados no levantamento convencional. Ao utilizar o georadar para o levantamento de estruturas como tubulações e caixas de serviço, é realizada uma varredura do subsolo com o equipamento, que percorre a superfície embarcado em um equipamento sobre rodas, operado manualmente, como ilustrado na Figura J.6.



Figura J.6 - Esquema de aplicação do método GPR. Fonte: Adaptado de Ramos (2022).

Durante o levantamento, o operador do georadar percorre a área de interesse, movendo o equipamento de forma sistemática sobre a superfície do solo. Os sinais captados pelo georadar são processados em tempo real ou posteriormente para criar perfis e imagens do subsolo, destacando as anomalias que podem indicar a presença de caixas de serviço. Essas informações, em conjunto com os dados levantados in loco no levantamento de coordenadas GNSS, podem ser interpretadas para determinar a localização, a profundidade e o tamanho aproximado das caixas, bem como o caminhamento das redes de tubulações e cabeamentos, fornecendo dados complementares para o planejamento adequado das intervenções subterrâneas.

J.5.1 Aplicação

A varredura por georadar não exclui a necessidade do levantamento topográfico completo, inclusive com a inspeção de caixas de serviço, conforme a sequência descrita:

- Elaboração do levantamento topográfico convencional, seguindo as orientações constantes no CAPÍTULO 5 – TOPOGRAFIA para coleta de dados;
- Elaboração do plano de levantamento com GPR, a ser aprovado pela FISCALIZAÇÃO, a partir do levantamento topográfico, identificando a localização de todos os itens subsuperficiais a serem investigados;
- Execução do levantamento por georadar em campo segundo o plano aprovado, vistoriando pontualmente os locais já mapeados;
- Complementação do levantamento topográfico convencional com as informações levantadas com o georadar.

J.5.2 Documentação Técnica

O produto a ser entregue pela CONTRATADA deve ser composto pela documentação digital e física:

- Relatório técnico contendo a caracterização do(s) empreendimento(s), descrição da metodologia,

- período de desenvolvimento dos serviços;
- Listagem de Coordenadas de pontos de apoio;
- Os desenhos técnicos provenientes do monitoramento com a mesma precisão e características elencadas no CAPÍTULO 5 – TOPOGRAFIA.

J.5.3 Especificações do Equipamento

O equipamento deve ter a capacidade de levantamento de no mínimo 2 (dois) metros de profundidade da superfície, sendo capaz de identificar, pelo menos:

- Poços de visita;
- Redes de esgoto;
- Redes de tubulações, caminhamentos e diâmetros;
- Cabeamentos;
- Espessura dos pavimentos.

Para minimizar os efeitos de possíveis interferências externas (cabos elétricos, postes, objetos metálicos em superfície, umidade, etc.) o equipamento deve ter antena blindada.

J.6 LEGISLAÇÃO APLICÁVEL, NORMAS E PRÁTICAS COMPLEMENTARES

Decreto Federal N° 10.306 de 02/04/2020 e suas alterações.

Decreto Federal N° 89.817 de 20/06/1984 e suas alterações.

ET-ADGV – Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais.

ET-EDGV – Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais.

ET-CQDG – Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais.

ICA 100-40 – Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro.

NBR 12722 – Discriminação de serviços para construção de edifícios.

NBR 13133 – Execução de levantamento topográfico – Procedimento.

NBR 14645 – Elaboração do “como construído” (as built) para edificações.

NBR 15777 – Convenções topográficas para cartas e plantas cadastrais – Escalas 1:10.000, 1:5.000, 1:2.000 e 1:1.000 – Procedimento.

NBR 16636 – Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos.

NBR 16752 – Desenho técnico – Requisitos para apresentação em folhas de desenho.

NBR 16861 – Desenho técnico – Requisitos para representação de linhas e escrita.

NBR 17006 – Desenho técnico – Requisitos para representação dos métodos de projeção.

NBR 17067 – Desenho técnico – Requisitos para as especificidades das representações ortográficas.

NBR 17068 – Desenho técnico – Requisitos para representação de dimensões e tolerâncias.

J.7 BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

OLIVEIRA, D. V.; BRITO, J. L. S. Avaliação da acurácia posicional de dados gerados por aeronave remotamente pilotada. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, n. 4, out./dez. 2019. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/50086>. Acesso em: 18 set. 2023.

VIEIRA, J. P. *et al.* Avaliação da acurácia posicional de imagens provenientes de rpa para fins de georreferenciamento de imóvel urbano. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 13, 2018, Florianópolis. **Anais [...]**, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://www.ocs.cobrac.ufsc.br/index.php/cobrac/cobrac2018/paper/download/506/168>. Acesso em: 18 set. 2023.

REFERÊNCIAS

CARRILHO, A. C. **Aplicação de técnicas de processamento e análise de imagens para detecção de edificações e vegetação a partir de dados lidar**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/137752>. Acesso em: 18 set. 2023.

CAVALHIERI, C. P.; CAMPOS, G. C. Drones: aplicações inovadoras na construção civil. **AECweb**, São Paulo, 28 abr. 2018. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/academy/ipt-quiz/drones-aplicacoes-inovadoras-na-construcao-civil/23290>. Acesso em 18 set. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Novos usos para o drone**. São Paulo, 11 jul. 2017. Disponível em: https://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1266. Acesso: 18 set. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA – INCRA. **Manual técnico de posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais**. 2. ed. Brasília: INCRA, 2022. https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/Manual_Tecnico_de_Georreferenciamento_2_Edicao.pdf. Acesso em: 18 set. 2023.

VAHID, S.; WANG, S. Using point cloud technology for process simulation in the context of digital factory based on a systems engineering integrated approach. *In: International Conference on Engineering Design (ICED17)*, 21., 2017, Vancouver. **Proceedings [...]** v. 3: Product, Services and Systems Design, Vancouver: the Design Society, 2017. p. 11-20. Disponível em: <https://www.designsociety.org/publication/39606/Using+point+cloud+technology+for+process+simulation+in+the+context+of+digital+factory+based+on+a+systems+engineering+integrated+approach>. Acesso: 18 set. 2023.

RAMOS, W. A. **Estudo de infraestrutura urbana com a utilização do método radar de penetração no solo (GPR) na área urbana de Caçapava do Sul**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) – Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2022 <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/7442>. Acesso em: 18 set. 2023.

SILVEIRA, G. C. **Influência da geometria dos satélites na precisão das coordenadas geodésicas obtidas com o sistema GPS**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-28042009-171231/pt-br.php>. Acesso em: 18 set. 2023.