www.revistaft.com.br

Revista FT | ISSN 1678-0817 | v. 30, n. 164, 2026 | DOI: 10.69849/krh57r17

Sensoriamento remoto aerotransportado como ferramenta de produtividade na geotecnia

Airborne remote sensing as a productivity tool in geotechnical engineering

Chirlene Silva Muniz[1]
Axel Yuri Matos Coelho[1]
Diovany Ronan Fernandes[1]
Victor Manuel Gomes Oliveira[1]
Janaína Martins Gouveia[2]

Resumo

O sensoriamento remoto aerotransportado amplia a disponibilidade de informações sobre terrenos, escavações e taludes, mas sua contribuição à produtividade depende da qualidade e do aproveitamento dos dados. Este estudo tem como objetivo geral analisar como o sensoriamento remoto aerotransportado pode contribuir para a produtividade em atividades geotécnicas, considerando a qualidade dos produtos, a eficiência operacional e as limitações de aplicação. Realiza uma revisão bibliográfica qualitativa, exploratória e de finalidade aplicada, com seleção intencional de 15 artigos de periódicos de acesso livre, publicados entre 2018 e 2026, a partir de 25 registros elegíveis. Compara evidências sobre aquisição, processamento, controle geométrico, volumes, caracterização de taludes e monitoramento. A síntese identifica contribuições para ampliar a cobertura espacial, repetir levantamentos, documentar alterações e apoiar o planejamento. Entretanto, distingue concordância volumétrica de acurácia local e mostra que ganhos em campanhas recorrentes podem ser reduzidos pelo esforço inicial de implantação. Conclui que a produtividade resulta da integração entre aquisição aerotransportada, validação independente, interpretação geotécnica e utilização dos produtos nas decisões, sem equivalência automática entre menor tempo de voo, redução de custos e segurança comprovada.

[1] Graduação em Engenharia Civil – Una Itabira.
[2]Professora orientadora: Janaína Martins Gouveia

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Geotecnia. Fotogrametria. Produtividade. Terraplenagem.

Abstract

Airborne remote sensing increases the availability of information on terrain, excavations, and slopes; however, its contribution to productivity depends on data quality and effective utilization. This study aims to analyze how airborne remote sensing can contribute to productivity in geotechnical activities, considering product quality, operational efficiency, and application limitations. A qualitative, exploratory, and applied bibliographic review was conducted, involving the purposive selection of 15 open-access journal articles published between 2018 and 2026, from an initial pool of 25 eligible records. The study compares evidence regarding data acquisition, processing, geometric accuracy, volume estimation, slope characterization, and monitoring. The synthesis identifies contributions to expanding spatial coverage, enabling repeated surveys, documenting changes, and supporting planning activities. However, it distinguishes volumetric agreement from local accuracy and demonstrates that productivity gains in recurring surveys may be offset by the initial implementation effort. It is concluded that productivity results from the integration of airborne data acquisition, independent validation, geotechnical interpretation, and the incorporation of derived products into decision-making processes, without automatically equating shorter flight times with cost reductions or proven safety improvements.

Keywords: Remote Sensing. Geotechnical Engineering. Photogrammetry. Productivity. Earthworks.

1. INTRODUÇÃO

A investigação geotécnica reúne informações sobre a geometria do terreno, as características dos materiais e os processos que podem comprometer a execução ou o desempenho de uma obra. Parte dessas informações depende de levantamentos de superfície, cuja atualização acompanha escavações, aterros e alterações de taludes. Nesse contexto, o sensoriamento remoto aerotransportado corresponde à aquisição de dados por sensores instalados em plataformas aéreas. Entre suas aplicações recentes, destacam-se as aeronaves remotamente pilotadas, capazes de registrar superfícies extensas e de difícil acesso. A revisão de Sun *et al.* (2024) relaciona essas plataformas ao mapeamento, ao acompanhamento de

movimentos de massa e à resposta a eventos, indicando que a escolha do sensor e do processamento condiciona a utilidade dos produtos.

O presente artigo concentra-se no emprego de aeronaves remotamente pilotadas em tarefas associadas à geotecnia, principalmente terraplenagem, cálculo de volumes, caracterização geométrica de taludes e monitoramento de deslocamentos superficiais. O recorte aproxima o tema de decisões da Engenharia Civil: conferir a conformação de um terreno, atualizar quantitativos, reconhecer descontinuidades e selecionar áreas que exigem investigação complementar. A produtividade é entendida como a capacidade de gerar informação tecnicamente utilizável com emprego adequado de tempo e recursos. Essa definição exige considerar o processo completo, pois a obtenção rápida de imagens não assegura que os resultados estejam disponíveis, corretos e compreensíveis no momento da decisão.

As pesquisas selecionadas mostram diferentes formas de aproximação entre aquisição aérea e prática de engenharia. Aymorés e Motta Júnior (2023) apresentam produtos utilizados na inspeção de uma obra de terraplenagem, enquanto Vieira *et al.* (2025) examinam o efeito das condições de aquisição sobre o mapeamento geomecânico de uma face rochosa. Em outra aplicação, Kim *et al.* (2021) integram nuvens de pontos ao planejamento das operações de movimentação de terra. Esses trabalhos permitem investigar a produtividade a partir de entregas concretas, em vez de associá-la exclusivamente à quantidade de fotografias ou à sofisticação do equipamento utilizado.

A pesquisa justifica-se pela necessidade de avaliar conjuntamente benefícios operacionais e condições de validade. Na terraplenagem, um modelo inadequado pode repercutir nos quantitativos e na sequência de execução; no acompanhamento de taludes, diferenças entre superfícies podem decorrer tanto de movimentação real quanto de mudanças de cobertura e de processamento. Bergens e Teixeira (2018) já apontavam a importância da classificação do terreno e das condições de recobrimento das imagens. A discussão permanece pertinente porque o aumento da automatização transfere parte do esforço de campo para atividades de planejamento, processamento e conferência, sem eliminar a responsabilidade pela interpretação dos resultados.

Formula-se a hipótese de que o sensoriamento remoto aerotransportado contribui para a produtividade geotécnica quando reduz o esforço de obtenção e atualização das informações, preserva a qualidade necessária à tarefa e se integra aos procedimentos de análise e gestão da obra. Admite-se, portanto, uma contribuição condicionada: vantagens esperadas podem diminuir ou desaparecer diante de vegetação densa, geometria mal

representada, processamento demorado, ausência de verificação independente ou baixa utilização dos produtos. Essa hipótese será examinada por confronto entre evidências convergentes e limitações relatadas nos artigos, sem assumir que todos os contextos apresentam o mesmo comportamento.

A questão-problema que orienta o estudo é: de que maneira e sob quais condições o sensoriamento remoto aerotransportado contribui para a produtividade em atividades geotécnicas, mantendo a qualidade das informações utilizadas nas decisões de Engenharia Civil? A formulação relaciona eficiência e adequação técnica, permitindo discutir tanto situações favoráveis quanto restrições. Também distingue a produtividade do levantamento da produtividade da obra: uma atualização geométrica mais rápida pode apoiar o planejamento, mas a comprovação de aumento da produção de máquinas ou equipes exige medições específicas que nem sempre estão disponíveis na literatura examinada.

O objetivo geral consiste em analisar como o sensoriamento remoto aerotransportado pode contribuir para a produtividade em atividades geotécnicas, considerando a qualidade dos produtos, a eficiência operacional e as limitações de aplicação. Estabelecem-se três objetivos específicos: identificar as principais técnicas e os produtos aerotransportados empregados nas atividades geotécnicas; comparar as evidências de contribuição à produtividade nos levantamentos, na quantificação de volumes e no monitoramento; e sistematizar os condicionantes técnicos e operacionais para incorporar esses produtos ao processo decisório. O primeiro objetivo fundamenta a compreensão das tecnologias, o segundo orienta o confronto dos resultados e o terceiro sustenta a proposição de critérios de uso.

Para alcançar esses objetivos, desenvolveu-se pesquisa bibliográfica de abordagem qualitativa, caráter exploratório e finalidade aplicada. As buscas utilizaram combinações de termos em português, inglês e espanhol relacionadas a sensoriamento remoto, aeronaves remotamente pilotadas, geotecnia, volumes e taludes, com consultas web direcionadas a bases acadêmicas e complementação nos portais dos periódicos. De 25 artigos elegíveis publicados entre 2018 e 2026, selecionaram-se intencionalmente 15 pela aderência ao problema, acesso ao texto integral, contribuição empírica ou conceitual e complementaridade. As informações foram organizadas por aplicação, produto, referência de comparação e limitação, e analisadas por síntese temática crítica, sem levantamento de campo nem combinação estatística de resultados heterogêneos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O emprego de plataformas aéreas na geotecnia pode ser compreendido como uma cadeia de transformação: o sensor registra uma característica observável, o processamento organiza as observações em produtos espaciais e a interpretação relaciona esses produtos a um problema de engenharia. Essa cadeia delimita o alcance da tecnologia. Um modelo de superfície pode representar a geometria de uma escavação, mas não informa diretamente todos os parâmetros necessários para dimensionar uma contenção. Do mesmo modo, uma imagem detalhada de um talude pode orientar o reconhecimento de feições, mas não demonstra, isoladamente, a estabilidade do maciço. A distinção entre observação e inferência organiza o uso das evidências nesta revisão.

As aeronaves remotamente pilotadas, aqui também designadas veículos aéreos não tripulados, do inglês *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), permitem adaptar trajetórias, alturas e orientações de câmera às condições locais. Plataformas multirrotoras favorecem observações próximas e de diferentes direções; outras configurações podem ampliar a cobertura de áreas. Essas possibilidades devem ser avaliadas em relação à autonomia, aos obstáculos e ao objetivo do levantamento. Chen, Maurer e Gong (2025) discutem a escolha de plataformas e sensores para estudos de movimentos de massa e mostram a necessidade de compatibilizar a estratégia de aquisição com o fenômeno investigado. Assim, a plataforma constitui um meio de acesso à informação; sua escolha só se torna tecnicamente justificável quando vinculada a uma entrega e a uma exigência de qualidade.

Na fotogrametria, imagens sobrepostas permitem identificar feições correspondentes e reconstruir sua posição espacial. A técnica conhecida como estrutura a partir do movimento, do inglês *Structure from Motion* (SfM), estima a geometria da cena e os parâmetros relacionados às imagens. Os resultados podem incluir nuvem de pontos, representação tridimensional e ortomosaico. O ortomosaico reúne imagens corrigidas geometricamente e favorece a interpretação planimétrica; a nuvem de pontos descreve posições no espaço e permite derivar outras representações. Rossi *et al.* (2018) empregam essa abordagem na reconstrução e comparação de terrenos afetados por movimentos de massa, evidenciando o interesse das aquisições repetidas para reconhecer alterações superficiais.

A resolução espacial, entretanto, não deve ser confundida com a acurácia. A distância de amostragem no terreno, do inglês *Ground Sample Distance* (GSD), indica o tamanho representado por um elemento da imagem na superfície. Já a avaliação da acurácia depende da comparação com referências adequadas e independentes. Uma imagem visualmente nítida

pode produzir um modelo deslocado ou deformado. Para aplicações geotécnicas, interessa conhecer não apenas o detalhe aparente, mas também a confiabilidade das posições e das diferenças medidas. Isso é especialmente relevante quando o projeto exige reconhecer pequenas variações de cota ou quando duas campanhas são comparadas para identificar deslocamentos.

Os pontos de apoio contribuem para vincular a reconstrução a um sistema de coordenadas, enquanto os pontos de verificação permitem avaliar seu desempenho sem participar do ajuste. Essa distinção evita que o mesmo conjunto seja utilizado simultaneamente para ajustar e comprovar o modelo. O sistema global de navegação por satélite, do inglês *Global Navigation Satellite System* (GNSS), pode fornecer coordenadas de referência. A técnica cinemática em tempo real, do inglês *Real Time Kinematic* (RTK), também pode integrar o posicionamento da aeronave. A adoção de posicionamento mais preciso modifica a organização do trabalho, mas não dispensa a análise da geometria, da cobertura ou das condições de observação.

Os produtos altimétricos exigem outra distinção essencial. O modelo digital de superfície (MDS) representa a superfície observada, incluindo vegetação e objetos, enquanto o modelo digital de terreno (MDT) procura descrever o terreno após a exclusão desses elementos. Em uma área descoberta, as representações podem ser semelhantes; em um talude vegetado, a diferença pode comprometer a leitura das cotas e dos volumes. A classificação dos pontos integra, portanto, o controle de qualidade. Não basta retirar visualmente objetos do modelo: é necessário verificar se há observações suficientes do solo para sustentar a reconstrução e se a interpolação não está substituindo áreas extensas sem informação.

A detecção e o levantamento por luz, do inglês *Light Detection and Ranging* (LiDAR), utilizam pulsos laser para medir distâncias e formar conjuntos de pontos. Em certas condições, retornos através de aberturas da vegetação favorecem a observação do terreno. Essa capacidade não significa atravessar qualquer cobertura nem eliminar a necessidade de classificação. Kang *et al.* (2026) comparam fotogrametria e levantamento laser em área vegetada e relacionam filtragem, qualidade do terreno reconstruído e estimativa de volumes. O estudo reforça que a escolha entre sensores precisa considerar os obstáculos à observação e o processamento necessário para obter o produto final.

Na quantificação de volumes, a representação geométrica permite comparar superfícies ou estabelecer a diferença em relação a uma base. Contudo, o resultado depende do limite da área, da superfície de referência, da interpolação e da definição do material considerado. Duas técnicas podem concordar no volume total e divergir localmente; erros

positivos e negativos podem compensar-se. Por isso, a concordância volumétrica não substitui a inspeção espacial. Lee e Lee (2022) examinam configurações de imagens verticais e oblíquas e evidenciam que a estratégia de aquisição altera a qualidade da reconstrução. A interpretação de um volume exige, assim, explicitar o caminho entre as observações e o cálculo.

O uso de imagens oblíquas é particularmente relevante em faces íngremes, nas quais uma vista predominantemente vertical pode não registrar toda a superfície. Mudanças de direção de observação podem revelar feições antes ocultas, embora também aumentem o conjunto a processar. Török *et al.* (2020) combinam aquisição aérea, levantamento laser terrestre e informações geológicas no estudo de uma pedreira. A pesquisa mostra a importância de articular fontes distintas para representar faces complexas e interpretar estruturas. A produtividade decorre da complementaridade dessas informações quando elas reduzem lacunas relevantes, e não da substituição indiscriminada de um método por outro.

A caracterização geomecânica de rochas depende da identificação e da interpretação de descontinuidades. Modelos tridimensionais permitem observar orientações e relações espaciais em locais onde o acesso direto é restrito. Entretanto, sombras, vegetação, resolução e posição da câmera influenciam as feições disponíveis para análise. Vieira *et al.* (2025) demonstram que alterações na aquisição e no processamento repercutem na identificação de famílias estruturais. A contribuição operacional está na ampliação da cobertura e na possibilidade de revisão das observações; a validade geotécnica continua dependente do reconhecimento das limitações e da integração com dados de campo pertinentes ao problema.

No monitoramento, a repetição de levantamentos transforma modelos isolados em observações temporais. A comparação pode revelar deslocamentos, perda ou acumulação de material e mudanças de geometria, desde que as campanhas sejam compatíveis e o erro de medição seja conhecido. Yaprak *et al.* (2018) acompanham um terreno em cinco períodos, enquanto Ciccarese *et al.* (2024) utilizam aquisições repetidas com alvos identificáveis. Esses trabalhos sustentam a utilidade da continuidade metodológica. Alterar a estratégia de aquisição sem avaliar seus efeitos pode produzir diferenças que parecem representar a evolução do terreno, mas resultam parcialmente da mudança do próprio método de observação.

A produtividade também depende da transformação dos modelos em entregas úteis para os responsáveis pela obra. A modelagem da informação da construção, do inglês *Building Information Modeling* (BIM), pode integrar a geometria levantada às informações de projeto e ao planejamento. Kim *et al.* (2021) relacionam nuvens de pontos à revisão da

terraplenagem e à definição de tarefas de equipamentos. Nessa perspectiva, um modelo tecnicamente consistente é uma etapa intermediária. Seu valor aumenta quando permite identificar incompatibilidades, revisar uma sequência de execução ou comunicar uma alteração de maneira rastreável, com responsáveis e critérios claros para a utilização da informação.

O conceito de eficiência operacional deve abranger planejamento, mobilização, apoio de campo, aquisição, processamento, validação e entrega. Campanhas recorrentes podem aproveitar pontos materializados, procedimentos estabelecidos e experiência da equipe; a primeira implantação pode concentrar tarefas que não se repetem com a mesma intensidade. Lee, Han e Song (2022) permitem discutir esse efeito ao apresentar tempos e custos de diferentes campanhas. A comparação entre métodos precisa adotar fronteiras equivalentes: confrontar apenas o voo com toda a jornada da topografia convencional produz uma vantagem aparente que pode desaparecer quando o trabalho de escritório e a preparação são incluídos.

Da mesma forma, a redução da presença de pessoas em faces instáveis representa uma vantagem de exposição, mas não equivale a um indicador estatístico de redução de acidentes. A literatura de revisão, incluindo Sun *et al.* (2024) e Chen, Maurer e Gong (2025), associa o levantamento remoto ao acesso a locais perigosos e discute restrições de operação. Para a análise desta pesquisa, segurança é tratada como condição de execução e contribuição potencial do método, sem atribuir taxas de acidentes evitados. A incorporação tecnológica deve manter a avaliação dos riscos do voo e das atividades terrestres que ainda serão necessárias.

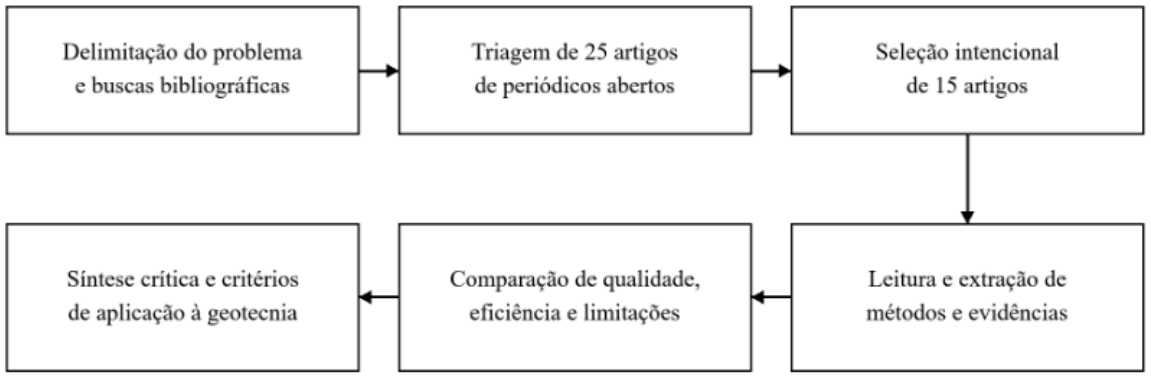
Esses fundamentos permitem organizar a produtividade em três dimensões articuladas: informação adequada, processo eficiente e decisão apoiada. A primeira exige demonstrar a qualidade para a tarefa; a segunda considera o esforço completo de produção; a terceira verifica o uso dos resultados. A ausência de uma dimensão limita a interpretação das demais. Um modelo detalhado entregue tarde pode ter baixa utilidade, assim como uma medição rápida sem referência de comparação pode gerar retrabalho. Essa organização constitui a base analítica utilizada nas próximas seções para comparar aplicações distintas sem reduzir todas elas a um único percentual de desempenho.

3. METODOLOGIA

A Figura 1 apresenta o percurso adotado, da delimitação do problema à síntese das evidências. O procedimento compreendeu a identificação de artigos, a conferência de

elegibilidade e acesso, a seleção de um conjunto final e a extração de informações comparáveis. O fluxograma representa etapas efetivamente realizadas nesta revisão, e não um levantamento aéreo executado pelos autores. A separação é necessária porque as medições e os experimentos discutidos pertencem aos artigos consultados; a contribuição deste trabalho consiste na análise crítica e na organização de critérios de aplicação à geotecnia.

Figura 1 – Etapas da revisão bibliográfica



Fonte: Elaborado pelos autores.

A pesquisa possui abordagem qualitativa, caráter exploratório e finalidade aplicada. A dimensão qualitativa decorre da interpretação das relações entre método, resultado e limitação; o caráter exploratório corresponde ao exame de aplicações variadas; a finalidade aplicada está na produção de critérios úteis ao planejamento de atividades geotécnicas. Não se realizou ensaio, campanha de campo, análise de estabilidade específica ou estimativa de parâmetros resistentes de um local. Também não se atribuiu ao conjunto selecionado a representatividade de toda a produção científica do período. A revisão foi delimitada e intencional, adequada à construção de uma síntese comparativa, sem pretensão de exaustividade.

A busca foi realizada em 11 de novembro de 2026, considerando artigos publicados de 2018 até essa data. Empregaram-se combinações de expressões como “sensoriamento remoto aerotransportado”, “fotogrametria”, “terraplenagem”, “produtividade”, “geotecnia”, “taludes”, “UAV”, “*earthwork volume*”, “*landslide monitoring*”, “*rock slope*” e “*teledetección*”. Utilizaram-se mecanismos de pesquisa na web, consultas direcionadas à biblioteca eletrônica *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e ao Google Acadêmico e complementação por páginas de periódicos e identificadores digitais. O acesso direto às interfaces das duas bases apresentou restrições, razão pela qual a recuperação e a confirmação dos documentos dependeram principalmente dos portais editoriais e de repositórios de acesso aberto.

Adotaram-se quatro critérios de elegibilidade: publicação em periódico científico; data dentro do intervalo estabelecido; disponibilidade gratuita do texto integral; e relação com aquisição aerotransportada de dados aplicáveis à geometria do terreno, ao cálculo de volumes ou ao acompanhamento de taludes. Trabalhos de conclusão de curso, dissertações, capítulos, anais de eventos e textos comerciais não integraram o conjunto elegível, mesmo quando encontrados nas buscas. O ano considerado foi o da publicação do artigo, e não o ano indicado em seu identificador digital ou o período de coleta dos dados. Essa decisão evita excluir indevidamente estudos publicados após a execução de seus experimentos.

O conjunto de triagem foi encerrado em 25 registros distintos que atendiam ao recorte definido. Entre eles, selecionaram-se 15 pela relação mais direta com a questão-problema e pela contribuição complementar: aplicações em terraplenagem e quantificação, levantamentos de faces rochosas, comparação temporal de terrenos e revisões sobre investigação de movimentos de massa. A seleção priorizou textos em português quando pertinentes e incorporou estudos em inglês para ampliar a diversidade de procedimentos e de evidências. O conjunto final contém três artigos em português e doze em inglês. A ausência de artigos em espanhol no conjunto final decorre da seleção temática e não constitui exclusão prévia desse idioma.

A escolha não se baseou apenas em resultados favoráveis. Foram considerados estudos capazes de explicitar dificuldades, diferenças entre campanhas e limitações de observação. Lee, Han e Song (2022), por exemplo, possibilitam comparar o esforço inicial com campanhas posteriores, enquanto Rossi *et al.* (2018) e Kang *et al.* (2026) sustentam a discussão da vegetação. As revisões de Sun *et al.* (2024) e Chen, Maurer e Gong (2025) ajudam a contextualizar as possibilidades e os limites das plataformas. Essa composição permite confrontar a hipótese com evidências que a condicionam, evitando selecionar exclusivamente relatos que associem o equipamento a vantagens operacionais.

A conferência bibliográfica utilizou o texto integral, a página do periódico e, quando disponível, o registro do identificador digital. Verificaram-se título, autoria, periódico, ano, volume, número e páginas ou identificador eletrônico. Nos casos de abreviação de nomes ou diferenças entre metadados e apresentação gráfica, a identificação foi confrontada com a primeira página e com a referência do próprio periódico. Os arquivos selecionados foram nomeados segundo a autoria utilizada nas chamadas e o ano de publicação. O registro da triagem, mantido separadamente do artigo, permite relacionar os 25 candidatos, o conjunto final de 15 e as razões de seleção ou de não inclusão.

A extração organizou, para cada estudo, seis grupos de informações: contexto de aplicação; técnica de aquisição; produto gerado; método ou dado de referência; resultado relevante para qualidade ou eficiência; e limitação declarada. A leitura diferenciou observações experimentais, interpretações dos autores e recomendações. Um volume comparado a uma medição convencional foi registrado como concordância entre procedimentos nas condições descritas, sem ser convertido automaticamente em erro absoluto. Da mesma forma, referências a rapidez sem medição explícita de tempo foram tratadas como evidência qualitativa de potencial operacional. A disponibilidade de um resultado numérico não foi considerada, por si só, prova de superioridade geral.

A análise foi desenvolvida em três eixos, associados aos objetivos específicos. O primeiro reuniu técnicas e produtos: imagens, nuvens de pontos, modelos de superfície e terreno, volumes e informações temporais. O segundo confrontou contribuições à produtividade, distinguindo aquisição, processamento, implantação e repetição das campanhas. O terceiro reuniu condicionantes de uso e integração decisória. Em cada eixo, buscou-se identificar convergências e diferenças, relacionando o resultado à tarefa avaliada. Uma aplicação voltada a estoque de material, por exemplo, informa sobre mensuração geométrica, mas não demonstra diretamente a eficiência de uma investigação de fundações ou de uma intervenção de estabilização.

Os dados quantitativos foram apresentados de modo descritivo, preservando unidades, referências e fronteiras de comparação. Não se calculou média de erros volumétricos entre estudos, porque superfícies, materiais, bases de cálculo e padrões de referência são distintos. Quando houve cálculo complementar com valores publicados, a operação foi explicitamente identificada como análise desta revisão. Esse procedimento é utilizado na discussão dos tempos e custos de Lee, Han e Song (2022), com distinção entre a soma das campanhas e as campanhas recorrentes. A medida calculada não representa uma observação nova de campo, mas uma interpretação aritmética de dados secundários identificados.

Reconhecem-se limitações relacionadas à seleção intencional, à dependência de textos disponíveis gratuitamente e à desigualdade de detalhamento entre publicações. Parte dos estudos concentra-se em um local ou em poucas campanhas, dificultando transferir resultados para obras com cobertura, relevo e organização diferentes. Revisões podem incorporar estudos primários também discutidos separadamente, razão pela qual não foram somadas como novas observações independentes. A análise tampouco permite estimar retorno financeiro para a realidade de uma empresa específica. Seus resultados sustentam critérios de

planejamento e avaliação que precisarão ser testados no contexto de aplicação, sem substituir a verificação técnica local.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A leitura dos 15 artigos mostrou que as contribuições se distribuem por três conjuntos de atividades: obtenção e atualização da geometria, apoio à quantificação e ao planejamento de movimentações de terra, e caracterização ou acompanhamento de taludes. Os conjuntos se relacionam, mas demandam verificações diferentes. Para atender ao primeiro objetivo específico, a síntese identificou como produtos recorrentes as imagens georreferenciadas, os ortomosaicos, as nuvens de pontos, os modelos altimétricos e as comparações entre épocas. O resultado principal não é a existência de um produto único superior, mas a necessidade de selecionar o produto em função da pergunta de engenharia.

Nos trabalhos em português, as contribuições apresentam enfoques complementares. Bergens e Teixeira (2018) discutem condições para o uso de levantamento planialtimétrico na terraplenagem, com atenção à classificação do terreno. Aymorés e Motta Júnior (2023) demonstram a geração de produtos para inspecionar e verificar a conformação de platôs. Vieira *et al.* (2025) aproximam a aquisição de imagens da interpretação geomecânica de rochas. Em conjunto, esses estudos permitem relacionar a tecnologia às necessidades do processo construtivo, mas não autorizam atribuir o mesmo nível de comprovação quantitativa a todos os benefícios mencionados.

O primeiro achado interpretativo é que o levantamento aerotransportado amplia a continuidade espacial das informações. Em vez de observar apenas posições selecionadas em campo, a equipe pode examinar um conjunto mais denso de representações da superfície. Essa densidade favorece revisões e consultas posteriores, desde que as regiões relevantes tenham sido efetivamente observadas. Nas aplicações de faces rochosas, Török *et al.* (2020) mostram a importância de combinar observações aéreas e terrestres. A contribuição para produtividade aparece quando a cobertura adicional resolve lacunas que exigiriam nova mobilização ou quando permite avaliar uma dúvida sem repetir integralmente o levantamento.

Essa contribuição deve ser acompanhada de uma ressalva: densidade de pontos não elimina viés de aquisição. Uma superfície reconstruída com muitos pontos pode continuar incompleta em uma face sombreada ou oculta. Vieira *et al.* (2025) identificaram três das quatro famílias estruturais principais no contexto investigado, ao mesmo tempo em que registraram efeitos de ruído e condições de captura. O resultado é relevante precisamente

porque mostra alcance e incompletude. Para uma equipe de geotecnia, a possibilidade de revisar digitalmente um talude aumenta a capacidade de observação, mas a família não identificada exige atenção antes de se utilizar o conjunto em uma interpretação estrutural.

As evidências selecionadas sobre quantificação e controle são resumidas na Tabela 1. Os valores pertencem a objetos e procedimentos distintos e não foram reunidos em um indicador médio. A tabela distingue concordância entre volumes, desempenho geométrico e resultados ligados ao tempo de trabalho. Essa separação atende ao segundo objetivo específico ao mostrar que um resultado favorável em uma dimensão pode coexistir com limitações em outra. Os percentuais não representam tolerâncias gerais para projetos geotécnicos: são descrições das condições examinadas por cada publicação.

Tabela 1 – Evidências quantitativas e limites de comparação

Estudo	Resultado publicado	Condição de interpretação
Ajayi e Ajulo (2021)	Volume aéreo de 2.686,252 m³, ante 2.750 m³ de referência; diferença de −2,31%.	Pilhas de agregado; referência fornecida pela instalação de processamento.
Lee e Lee (2022)	A melhor configuração de imagens apresentou erro quadrático médio vertical de aproximadamente 0,05 m no modelo.	Resultado de uma configuração e local específicos; dependente da geometria de aquisição.
Lee, Han e Song (2022)	Volumes aéreos 2,36% a 2,51% superiores aos do levantamento tradicional.	Comparação entre métodos em campanhas de obra rodoviária.
Park, Rachmawati e Kim (2022)	Diferença global de 0,71% entre estimativa e quantificação da escavação.	Comparação entre etapas; não constitui teste isolado de erro instrumental.
Ciccarese *et al.* (2024)	Diferenças máximas de validação de 0,18 m em planta e 0,21 m na vertical.	Comparação com receptor permanente; diferente da estimativa interna de posicionamento.
Kang *et al.* (2026)	Melhor combinação fotogramétrica: erro quadrático médio altimétrico de 0,1793 m e diferença volumétrica próxima de 0,9%.	Área vegetada; pequena diferença de volume não elimina diferenças locais de cota.

Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos estudos indicados.

A interpretação de volumes demanda cautela especial no estudo de Park, Rachmawati e Kim (2022). A diferença global informada foi de 0,71%, enquanto a distinção dos quantitativos por tipo de material repercutiu de forma mais expressiva na avaliação econômica apresentada pelos autores. O achado permite uma leitura relevante para a

produtividade: o benefício não se restringe à proximidade de um total, pois a atualização da distribuição dos materiais pode afetar medições e entendimento entre as partes. Entretanto, a comparação envolve estimativa de projeto e quantificação realizada na execução; por isso, o percentual não deve ser apresentado como teste isolado de acurácia instrumental.

Ajayi e Ajulo (2021) oferecem outra contribuição ao comparar uma abordagem aérea e uma abordagem por estação total para pilhas de agregado. O volume de referência utilizado foi o informado pela instalação de processamento do material. A análise favorece o uso do levantamento aéreo naquele contexto, mas sua interpretação permanece vinculada à referência adotada e às condições da pilha. A aplicação geotécnica dessa evidência está na demonstração de um procedimento de conferência, não na transferência automática de seu percentual para corte, aterro ou solo compactado. Materiais diferentes e superfícies de base desconhecidas alteram a natureza do problema.

No controle de implantação, a distinção entre modelagem e medição também aparece em Lee e Lee (2022). A combinação de imagens verticais e oblíquas produziu diferenças entre as configurações testadas. Isso indica que a produtividade não pode ser obtida simplesmente reduzindo a quantidade de imagens ou elevando a altura de voo para cobrir mais área. Se a aquisição simplificada comprometer a representação das faces e exigir repetição do serviço, a economia inicial perde utilidade. O critério de escolha deve relacionar tempo, geometria e exigência do produto, avaliando o conjunto necessário para uma entrega aprovada.

Kang *et al.* (2026) reforçam esse argumento ao comparar dados obtidos em área vegetada. O estudo encontrou erros altimétricos locais ainda relevantes mesmo quando determinadas configurações apresentaram pequena diferença volumétrica. A coexistência de bom resultado agregado e limitação local é particularmente importante para a geotecnia. Um volume total aceitável para uma finalidade pode esconder diferenças de cota incompatíveis com outra, como uma verificação localizada de drenagem. Portanto, a tarefa deve definir o critério de aceitação antes do levantamento, em vez de selecionar posteriormente o indicador que apresente o resultado mais favorável.

Quanto à eficiência, os dados de Lee, Han e Song (2022) permitem distinguir implantação de repetição. A Tabela 6 do artigo informa 181 horas para o procedimento aéreo na primeira campanha, contra 96 horas no método tradicional. Nas duas campanhas seguintes, os valores foram 41 e 46,5 horas para a fotogrametria, comparados a 79 e 96 horas. A interpretação do conjunto mostra que a vantagem operacional depende da distribuição do esforço no tempo. Desconsiderar a primeira campanha produziria uma conclusão incompleta

sobre o custo de adoção da tecnologia, ainda que as repetições apresentem resultados mais favoráveis.

Com base nesses valores, a soma das três campanhas corresponde a 268,5 horas para a fotogrametria e 271 horas para o método tradicional. O cálculo desta revisão indica redução de aproximadamente 0,9% no total, usando 271 horas como denominador. Consideradas apenas as duas campanhas posteriores, a comparação passa a 87,5 contra 175 horas, correspondendo a redução de 50%. Os custos totais publicados, de 6.999 e 8.010 dólares, equivalem a diferença aproximada de 12,6% em relação ao método tradicional. Esses cálculos não contradizem a melhoria das repetições; demonstram que a fronteira temporal escolhida altera significativamente a dimensão do benefício.

Esse achado responde parcialmente ao segundo objetivo específico: a produtividade tende a ser favorecida quando o procedimento se torna recorrente e o investimento inicial pode ser aproveitado. Porém, uma empresa com demanda esporádica deve avaliar seu próprio número de campanhas e estrutura de processamento. Não é possível deduzir, a partir de três observações de outro contexto, o prazo de retorno de um equipamento ou a vantagem de adquirir uma plataforma específica. A contribuição prática da revisão está em indicar quais parcelas precisam entrar na comparação, incluindo a preparação, a validação e as tarefas que serão ou não repetidas.

O caso de Yaprak *et al.* (2018) acrescenta uma perspectiva sobre monitoramento. Os autores apresentam campanhas em cinco períodos, com voos de aproximadamente 15 minutos e processamento da ordem de duas horas, além de discutir o tempo das medições convencionais. A comparação mostra por que tempo de voo e tempo de obtenção do resultado são grandezas distintas. Para a gestão geotécnica, importa o intervalo entre a necessidade de informação e sua entrega validada. A capacidade de adquirir imagens rapidamente será pouco útil se o processamento, a revisão ou a comunicação não acompanhar a frequência exigida pelo fenômeno observado.

No acompanhamento de movimentos, Ciccarese *et al.* (2024) articulam levantamentos repetidos e alvos identificáveis. O trabalho informa estimativas centimétricas de posicionamento, mas também diferenças maiores quando confronta resultados com um receptor permanente de referência. Essa distinção impede que um indicador interno de qualidade seja apresentado como se representasse todo o desempenho do monitoramento. O estudo sustenta a possibilidade de acompanhar a distribuição espacial dos deslocamentos, ao mesmo tempo em que mostra a necessidade de validar a informação contra observações independentes e de investigar os efeitos do comportamento dos próprios alvos.

Rossi *et al.* (2018) ajudam a interpretar um possível resultado enganoso: o crescimento da vegetação entre campanhas produziu elevações aparentes em áreas cobertas. A revisão identifica nesse caso uma limitação que interfere diretamente na produtividade. Se a equipe interpretar toda diferença geométrica como movimentação do solo, poderá direcionar esforços para um diagnóstico inadequado. Se reconhecer a origem da diferença, poderá ajustar a estratégia de monitoramento. O ganho está associado à capacidade de distinguir mudança real do terreno, mudança da superfície observável e artefato de processamento, evitando tanto a omissão de um problema quanto uma investigação desnecessária.

As revisões de Sun *et al.* (2024) e Chen, Maurer e Gong (2025) situam essas aplicações em uma perspectiva mais ampla de investigação e acompanhamento de movimentos de massa. Ambas favorecem a integração de produtos e sensores conforme a necessidade, sem reduzir o problema à escolha de uma câmera. Para a Engenharia Civil, a comparação sustenta uma organização em que a geometria aérea complementa informações de campo e de instrumentação. A superfície observada pode orientar a localização de feições e a distribuição das inspeções, mas o mecanismo de instabilidade exige outras evidências quando envolve condições que não são diretamente visíveis.

Uma consequência é que a frequência de levantamento deve acompanhar o processo investigado. Campanhas espaçadas podem documentar uma evolução lenta, mas não demonstram vigilância contínua de uma ruptura rápida. A automatização de voos tampouco assegura que a informação será processada e interpretada a tempo. Assim, o planejamento precisa definir o intervalo desejado, as condições que podem impedir a aquisição e a forma de complementar as lacunas. A produtividade do monitoramento deve ser discutida como capacidade de manter informação útil na escala temporal da decisão, preservando a possibilidade de reconhecer quando o método deixou de atender à finalidade.

O terceiro objetivo específico é atendido pela sistematização de condicionantes para a incorporação dos produtos ao processo decisório. O primeiro condicionante é definir a pergunta de engenharia e a informação necessária. O segundo é estabelecer referência e critério de qualidade. O terceiro é planejar aquisição e processamento de modo compatível com superfície, cobertura e prazo. O quarto é integrar a entrega às responsabilidades de projeto, obra e acompanhamento. Esses elementos derivam da comparação dos estudos e constituem uma proposta de organização; sua eficácia operacional ainda depende de aplicação e avaliação em um contexto real.

O uso integrado discutido por Kim *et al.* (2021) indica um caminho para superar a produção de modelos sem consequência prática. Quando a geometria atualizada é comparada

ao projeto e alimenta uma sequência de tarefas, o dado passa a apoiar uma decisão. Contudo, o próprio contexto de execução pode modificar a sequência planejada. A interpretação desta revisão é que a integração deve admitir revisão e registro das alterações, em vez de pressupor que o modelo digital determina o comportamento da obra. A produtividade esperada depende da capacidade de utilizar, atualizar e comunicar a informação diante das mudanças do terreno e das operações.

Uma aplicação prática dessa organização começa antes do voo: identifica-se quem utilizará o produto, qual decisão será tomada e qual diferença precisa ser reconhecida. Em seguida, definem-se a referência geométrica e os pontos ou áreas de verificação. Após o processamento, a equipe confere a cobertura, examina as regiões críticas e registra limitações. A entrega deve apresentar o significado das diferenças e a confiança atribuída a elas, sem esconder lacunas em uma representação visualmente contínua. Esse encadeamento permite avaliar o resultado pelo atendimento à necessidade, e não pela aparência ou pelo número de pontos produzidos.

Para a avaliação de produtividade, propõe-se registrar separadamente o tempo de preparação, o esforço de campo, o processamento, a verificação, as correções e a entrega. Também convém distinguir horas de equipe, duração de máquina e tempo decorrido, pois uma etapa automatizada pode ocupar recursos computacionais sem demandar dedicação humana contínua. A mesma delimitação deve ser aplicada ao método de comparação. A proposição é analítica e decorre das diferenças encontradas entre estudos; não corresponde a um conjunto de indicadores já medidos em uma obra dos autores. Sua função é tornar futuras comparações mais transparentes e reduzir conclusões baseadas em parcelas incompatíveis.

Há ainda um condicionante econômico e organizacional. A tecnologia exige pessoal capaz de planejar, interpretar e conferir o levantamento, além de recursos para armazenamento e processamento. Aymorés e Motta Júnior (2023) registram essas exigências em sua aplicação, o que impede tratar a aquisição de um equipamento como solução completa. Para empresas com diferentes estruturas, a alternativa adequada pode envolver serviço especializado, combinação de métodos ou implantação gradual. A literatura analisada não sustenta uma recomendação comercial única. Sustenta a necessidade de comparar capacidade técnica, recorrência das demandas e utilização efetiva dos resultados.

Os limites de inferência também são relevantes para a interpretação do conjunto. Os artigos utilizam áreas, materiais, métodos de referência e fronteiras de custo diferentes. Alguns demonstram acurácia ou concordância, outros descrevem potencial de apoio ao planejamento, e outros examinam procedimentos de monitoramento. Essas evidências não

foram somadas como se medissem a mesma variável. A síntese identifica mecanismos plausíveis de contribuição à produtividade e exemplos documentados, mas não fornece uma taxa universal de ganho. Essa conclusão evita transformar casos favoráveis em promessa de desempenho para qualquer atividade geotécnica.

A definição de uma referência de comparação merece tratamento específico no planejamento das medições. Em uma frente de terraplenagem, o volume estimado no projeto, o volume geométrico observado e o quantitativo remunerado podem atender a finalidades diferentes. Sua aproximação exige esclarecer limites, datas e critérios de classificação. A discussão do caso de Park, Rachmawati e Kim (2022) sustenta a importância dessa distinção, sem autorizar a equivalência entre todas essas grandezas. Como critério proposto nesta revisão, a equipe deve documentar o significado de cada volume antes de comparar resultados, para evitar que diferenças de definição sejam interpretadas como falhas de levantamento.

Outro aspecto proposto é organizar a conferência por regiões de interesse, além de examinar indicadores globais. Para uma mesma área, a face do talude, a crista, a base e uma faixa vegetada podem apresentar condições de observação diferentes. A avaliação deve reconhecer essas diferenças e registrar onde o produto pode ou não apoiar a decisão pretendida. A interpretação conjunta dos estudos de Vieira *et al.* (2025) e Kang *et al.* (2026) fundamenta essa necessidade. O procedimento não corresponde a exigir a mesma qualidade em todos os pontos, mas a tornar explícita a adequação de cada região ao uso previsto.

A rastreabilidade das versões também pode aumentar a utilidade do levantamento. Ao atualizar um terreno, convém manter as informações sobre data, área abrangida, parâmetros de processamento, referência espacial e revisão realizada. Se uma diferença aparecer entre campanhas, esses registros permitem investigar sua origem antes de atribuí-la ao comportamento do solo. A proposta decorre da análise das dificuldades de comparação temporal discutidas por Rossi *et al.* (2018). Seu efeito sobre a produtividade ainda deverá ser medido, mas o mecanismo esperado é identificável: reduzir a repetição de verificações por perda de informação e permitir que alterações do procedimento sejam reconhecidas na interpretação.

Por fim, a avaliação de uma implantação deve prever situações em que o produto não será aceito. Regiões sem observação suficiente, divergências de referência ou entregas incompatíveis com o prazo precisam gerar correção ou complementação, em vez de uma aprovação baseada apenas na disponibilidade do modelo. Essa organização torna o critério de produtividade mais exigente: produzir mais representações não representa avanço se elas não

atendem à finalidade. Como desdobramento aplicado da síntese, a decisão de repetir, complementar ou utilizar o levantamento deve ser registrada com a respectiva justificativa. A eficiência será avaliada pelo processo de entrega de informação utilizável, incluindo o esforço necessário para corrigir resultados inadequados.

Em resposta à questão-problema, o sensoriamento remoto aerotransportado contribui para a produtividade por ampliar a cobertura, facilitar atualizações e oferecer produtos que apoiam a quantificação, a interpretação e o planejamento. As condições identificadas são observabilidade adequada, referência confiável, processamento compatível com o prazo, conferência independente e integração à decisão. A hipótese encontra sustentação condicional: a contribuição é demonstrável em tarefas e campanhas específicas, porém perde força quando se ignora a implantação, a vegetação, a geometria ou o esforço de validação. Essa resposta reúne os três objetivos sem atribuir ao método capacidades que os artigos não demonstraram.

5. CONCLUSÕES

O estudo analisou como o sensoriamento remoto aerotransportado pode contribuir para a produtividade em atividades geotécnicas, considerando a qualidade dos produtos, a eficiência operacional e as limitações de aplicação. A revisão dos 15 artigos permitiu concluir que essa contribuição depende da transformação das observações em informação tecnicamente utilizável. A disponibilidade de imagens e modelos detalhados amplia a capacidade de examinar terrenos e alterações, mas o benefício operacional precisa ser relacionado à tarefa, ao esforço completo de produção e ao momento em que a informação é necessária.

Quanto ao primeiro objetivo específico, identificaram-se técnicas fotogramétricas e de levantamento laser, com produtos como ortomosaicos, nuvens de pontos, modelos digitais e comparações temporais. As aplicações incluem terraplenagem, estimativa de volumes, caracterização de faces rochosas e acompanhamento de movimentos superficiais. Cada produto responde a uma necessidade distinta. A qualidade visual ou a densidade da representação não substituem a demonstração de adequação geométrica, assim como a medição da superfície não fornece, por si só, todos os elementos necessários à interpretação do comportamento do terreno.

Em relação ao segundo objetivo, a comparação mostrou contribuições à cobertura espacial, à repetição dos levantamentos e à documentação das mudanças. Também revelou

que concordância volumétrica e acurácia local não são equivalentes. A análise de campanhas sucessivas demonstrou a importância de incluir o esforço de implantação: vantagens expressivas em repetições podem coexistir com diferença pequena no tempo total do conjunto. Portanto, não se sustenta um percentual universal de aumento da produtividade, de redução de custos ou de diminuição de acidentes para todas as aplicações geotécnicas.

O terceiro objetivo foi atendido pela sistematização de condicionantes técnicos e operacionais: definição da pergunta de engenharia, escolha do produto, estabelecimento de referência e critério de qualidade, planejamento compatível com a superfície observável, validação e integração à decisão. A utilização dessas condições permite organizar uma comparação mais transparente entre métodos e identificar quando a aquisição aerotransportada precisa de complementação. A proposta orienta o planejamento, mas sua eficácia deverá ser verificada no contexto de aplicação, com registro do esforço e dos resultados efetivamente obtidos.

A questão-problema é respondida, assim, por uma contribuição condicionada à qualidade, à organização do processo e ao uso dos resultados. A hipótese encontra apoio na literatura selecionada, sem confirmação experimental própria nem generalização para qualquer obra. As limitações da seleção intencional, dos diferentes referenciais de comparação e do número restrito de campanhas recomendam cautela. Pesquisas futuras poderão aplicar os critérios discutidos em levantamentos recorrentes de uma mesma obra, registrando o ciclo completo e distinguindo implantação, repetição e utilização da informação. Esse avanço permitirá avaliar a produtividade com maior proximidade das decisões e das condições reais da Engenharia Civil.

REFERÊNCIAS

AJAYI, Oluibukun Gbenga; AJULO, John. Investigating the Applicability of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Photogrammetry for the Estimation of the Volume of Stockpiles. **Quaestiones Geographicae**, [Poznań], v. 40, n. 1, p. 25-38, 2021. DOI: https://doi.org/10.2478/quageo-2021-0002. Disponível em: https://doi.org/10.2478/quageo-2021-0002. Acesso em: 11 nov. 2026.

AYMORÉS, Bruno de Oliveira; MOTTA JÚNIOR, Liércio Feital. Drones na engenharia civil: uma aplicação na inspeção e monitoramento de obra de terraplenagem. **Revista Científica Doctum Multidisciplinar**, [Caratinga], v. 4, n. 11, p. 1-26, 2023. Disponível em: https://revista.doctum.edu.br/index.php/multi/article/view/601. Acesso em: 11 nov. 2026.

BERGENS, David dos Santos; TEIXEIRA, Niel Nascimento. Avaliação do levantamento planialtimétrico com drone em projetos de terraplenagem. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [São Paulo], ano 3, v. 9, n. 10, p. 15-27, 2018. Disponível em: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/tecnologia/terraplenagem. Acesso em: 11 nov. 2026.

CHEN, Boneng; MAURER, Jeremy; GONG, Weibing. Applications of UAV in landslide research: a review. **Landslides**, [Heidelberg], v. 22, n. 9, p. 3029-3048, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s10346-025-02547-2. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10346-025-02547-2. Acesso em: 11 nov. 2026.

CICCARESE, Giuseppe *et al.* Rapid Assessment of Landslide Dynamics by UAV-RTK Repeated Surveys Using Ground Targets: The Ca' Lita Landslide (Northern Apennines, Italy). **Remote Sensing**, Basel, v. 16, n. 6, art. 1032, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/rs16061032. Disponível em: https://doi.org/10.3390/rs16061032. Acesso em: 11 nov. 2026.

KANG, Hyeongseok *et al.* Comparative Assessment of Vegetation Removal for DTM Generation and Earthwork Volume Estimation Using RTK-UAV Photogrammetry and LiDAR Mapping. **Drones**, Basel, v. 10, n. 1, art. 30, 2026. DOI: https://doi.org/10.3390/drones10010030. Disponível em: https://doi.org/10.3390/drones10010030. Acesso em: 11 nov. 2026.

KIM, Jeonghwan *et al.* The Integration of Earthwork Design Review and Planning Using UAV-Based Point Cloud and BIM. **Applied Sciences**, Basel, v. 11, n. 8, art. 3435, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/app11083435. Disponível em: https://doi.org/10.3390/app11083435. Acesso em: 11 nov. 2026.

LEE, Kirim; LEE, Won Hee. Earthwork Volume Calculation, 3D Model Generation, and Comparative Evaluation Using Vertical and High-Oblique Images Acquired by Unmanned Aerial Vehicles. **Aerospace**, Basel, v. 9, n. 10, art. 606, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/aerospace9100606. Disponível em: https://doi.org/10.3390/aerospace9100606. Acesso em: 11 nov. 2026.

LEE, Suk Bae; HAN, Dongyeob; SONG, Mihwa. Calculation and Comparison of Earthwork Volume Using Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry and Traditional Surveying Method. **Sensors and Materials**, Tokyo, v. 34, n. 12(5), p. 4737-4753, 2022. DOI: https://doi.org/10.18494/SAM4192. Disponível em: https://doi.org/10.18494/sam4192. Acesso em: 11 nov. 2026.

PARK, Hyung Cheol; RACHMAWATI, Titi Sari Nurul; KIM, Sunkuk. UAV-Based High-Rise Buildings Earthwork Monitoring—A Case Study. **Sustainability**, Basel, v. 14, n. 16, art. 10179, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/su141610179. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su141610179. Acesso em: 11 nov. 2026.

ROSSI, Guglielmo *et al.* Multitemporal UAV surveys for landslide mapping and characterization. **Landslides**, [Heidelberg], v. 15, n. 5, p. 1045-1052, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s10346-018-0978-0. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10346-018-0978-0. Acesso em: 11 nov. 2026.

SUN, Jianwei *et al.* Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Landslide Investigation and Monitoring*: A Review.* **Drones**, Basel, v. 8, n. 1, art. 30, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/drones8010030. Disponível em: https://doi.org/10.3390/drones8010030. Acesso em: 11 nov. 2026.

TÖRÖK, Ákos *et al.* Application of UAV in Topographic Modelling and Structural Geological Mapping of Quarries and Their Surroundings—Delineation of Fault-Bordered Raw Material Reserves. **Sensors**, Basel, v. 20, n. 2, art. 489, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/s20020489. Disponível em: https://doi.org/10.3390/s20020489. Acesso em: 11 nov. 2026.

VIEIRA, Verônica Regina de Almeida *et al.* Aerofotogrametria aplicada ao mapeamento geomecânico de taludes rochosos: avaliação de métodos de aquisição e processamento. **Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 22, n. 5, e14849, 2025. DOI: https://doi.org/10.54033/cadpedv22n5-128. Disponível em: https://doi.org/10.54033/cadpedv22n5-128. Acesso em: 11 nov. 2026.

YAPRAK, Servet *et al.* The role of unmanned aerial vehicles in monitoring rapidly occurring landslides. **Geodetski list**, [Zagreb], v. 72 (95), n. 2, p. 113-132, 2018. Disponível em: https://hrcak.srce.hr/204375. Acesso em: 11 nov. 2026.