

Utilização de Sensoriamento Remoto para Determinação da Composição do Solo: uma revisão sistemática da literatura

Use of Remote Sensing for Soil Composition Determination: a systematic review

RESUMO

Objetivo: comparar a precisão das informações de composição do solo advindas de dados obtidos por sensoriamento remoto, com o previsto pelas normas reguladoras da Associação Brasileira de Normas Técnicas e com a Doutrina Militar vigente. **Métodos:** foi realizada uma Revisão sistemática da literatura, conforme o protocolo PRISMA. Foram incluídos nesta revisão os artigos científicos de 2016 a 2024 cujo idioma fosse português, inglês e espanhol, publicados nos periódicos indexados Biblioteca Digital do Exército, para documentação militar, o repositório da empresa Target, para a pesquisa de normas técnicas, e o repositório da Academia.edu para os artigos científicos. **Resultados:** foram incluídos sete artigos científicos, cinco normas técnicas e cinco manuais do Exército Brasileiro, os primeiros estabelecendo o *status quaestionis* atual acerca do tema, os seguintes apresentando o referencial técnico normativo nacional e os últimos, a Doutrina Militar vigente. **Discussão:** foram comparados os artigos, manuais do exército e as normas técnicas à luz dos fundamentos do reconhecimento de engenharia e da Arma de Engenharia. O estudo indicou a viabilidade do emprego de sensoriamento remoto para a análise da composição dos solos em operações militares.

Palavras-chave: Reconhecimento de Engenharia. Sensoriamento Remoto. Operações Militares.

ABSTRACT

Objective: To compare the accuracy of soil composition information obtained through remote sensing data, with what is prescribed by the regulatory standards of the Brazilian Association of Technical Standards and the current Military Doctrine. **Methods:** A systematic literature review was conducted following the PRISMA protocol. This review included scientific articles from 2016 to 2024 written in Portuguese, English, or Spanish, and published in journals indexed in databases. Those used were the Army Digital Library for military documentation, the Target company repository for technical standards research, and the Academia.edu repository for scientific articles. **Results:** Seven scientific articles, five technical standards, and five manuals from the Brazilian Army were included. The former established the *status quaestionis* of the topic, the latter presented the national technical and normative framework, and the manuals represented the current Military Doctrine. **Discussion:** Articles, army manuals, and technical standards were compared considering the fundamentals of engineering reconnaissance and the Engineering Branch. The study indicated the feasibility of using remote sensing for soil composition analysis in military operations.

Keywords: Engineering Reconnaissance. Remote Sensing. Military Operations.

Mateus Fiamoncini Lopes

Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais -

EsAO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Email: mateusfiamoncini@gmail.com

ORCID:

<https://orcid.org/0009-0000-0145-8273>

Elmar de Azevedo Burity

Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais -

EsAO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Email: elmarburity@gmail.com

ORCID:

<https://orcid.org/0009-0006-3099-2241>

Received:	10 Jul 2025
Reviewed:	Jul/Sep 2025
Received after revised:	09 Sep 2025
Accepted:	10 Sep 2025



RAN
Revista Agulhas Negras
 eISSN (online) 2595-1084

<http://www.ebvistas.eb.mil.br/aman>



<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



1 Introdução

O Exército Brasileiro estabeleceu como Estratégia para atingir o objetivo número 6, do Plano Estratégico do Exército 2024-2027, a “Ampliação das capacidades de produção e disseminação de Geoinformação” (Brasil, 2023). Esta Estratégia, cuja previsão de execução se estende até 2031, comprehende a ampliação da capacidade de uso de geoinformação digital da Força Terrestre (F Ter), o aprimoramento do seu Banco de Dados Geográficos, a obtenção de sistemas de produção de geoinformação baseados em Inteligência Artificial e a ampliação da capacidade de obtenção de insumos de geoinformação (Brasil, 2023). Neste contexto, este trabalho busca contribuir com esta última iniciativa, apresentando a viabilidade da análise da granulometria do solo por meio da análise de dados obtidos por meio de sensoriamento remoto.

Atualmente, segundo o Manual Técnico Reconhecimento de Engenharia, a análise da granulometria do solo é realizada por métodos empíricos e por consultas a bancos de dados geográficos, os quais, por sua vez, apresentam-se sob a forma de informações extremamente técnicas (Brasil, 2021). Do primeiro aspecto decorre a imprecisão da informação devido a sujeição à contaminação do dado ou ao erro formal na análise da amostra, resultando em generalizações da granulometria do solo, atribuindo, assim, valores discretos a uma variável contínua. Quanto ao segundo aspecto, tanto pela dificuldade de compreensão dos termos, quanto pelas grandezas representadas pelas escalas dos mapas temáticos de composição e granulometria do solo, implicam em imprecisão na formulação de modelos preditivos de comportamento do terreno, afetando o processo de análise do terreno para o planejamento de operações militares.

A fim de descortinar uma nova possibilidade para o Reconhecimento de Engenharia e mitigar a imprecisão das atuais metodologias de análise da granulometria do solo, é necessário que seja realizada uma revisão da literatura, buscando o que há de mais atual em tecnologias de análise de composição do solo. Fazendo-se, portanto, necessário buscar um método que não caracterize uma área apenas a partir da inferência de uma pequena amostra, mas sim que possa fazer múltiplas coletas simultaneamente e traduzir estas amostras em linguagem computacional para futura análise. Segundo Lillesland e Campbell em suas respectivas obras, por meio da assinatura espectroscópica de cada material, uma imagem captada pelo sensor adequado pode indicar a composição e granulometria do solo quando decomposta em suas bandas espectrais (Campbell, 2011 e Lillesland, 2015).

Portanto, este trabalho se faz necessário por não haver ainda estudo dentro do Exército Brasileiro que trate especificamente deste tema e com a profundidade e metodologia aqui empregados. Além disso, busca preencher uma lacuna importante na metodologia de análise da composição do solo dentro dos Reconhecimentos de Engenharia.

1.1 Objetivos

Diante desse cenário, foi formulada a questão de estudo deste trabalho, baseando-se no protocolo PICOC (Houssein *et al*, 2024), cujo acrônimo se refere a letra P à “população ou problema”, I para “intervenção”, C para “controle ou comparação”, O para “*outcome* (resultados)” e o segundo C para “contexto”. Desta forma, a questão de estudo foi composta de acordo com o quadro 1:

Quadro 1: Composição da Questão de Estudo.

COMPOSIÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO	
Problema (P)	Análise da composição do solo.
Intervenção (I)	Emprego de sensoriamento remoto.
Controle (C ¹)	Metodologia corrente.
Resultados (O)	Maior precisão na análise das áreas de operações.
Contexto (C ²)	Para o planejamento de operações militares.

Fonte: autor.

Assim, ao término deste trabalho será apresentada a resposta à seguinte questão: **O emprego de sensoriamento remoto (I) é capaz de conferir maior precisão (O) na análise da composição do solo (P) para o planejamento de operações militares (C²), quando comparado à metodologia corrente (C¹)?**

Para responder esta questão, foi estabelecido o objetivo geral de concluir acerca da precisão das informações advindas de dados obtidos por sensoriamento remoto em comparação com a metodologia atual prevista no Manual Técnico Reconhecimento de Engenharia e com o previsto pelas normas reguladoras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR ABNT), verificando se atende nas mesmas ou melhores condições os aspectos técnicos e militares de C¹. Para tal, serão atingidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar e compreender os critérios de validade para a análise da composição do solo segundo as NBR ABNT;
- b) Identificar e compreender os estudos acerca do emprego de dados obtidos por sensoriamento remoto para obtenção de informações acerca da composição do solo;
- c) Comparar a metodologia tradicional de análise da composição do solo com a metodologia empregando sensoriamento remoto e o processo previsto pelas NBR ABNT, à luz das exigências das normas técnicas e da doutrina militar vigente; e
- d) Concluir acerca da eficiência do emprego de dados coletados por sensoriamento remoto para a análise da composição do solo nos Reconhecimentos de Engenharia.

2 Metodologia

2.1 Critérios de elegibilidade

As publicações, para que fossem consideradas para inclusão na revisão da literatura, deveriam abordar, obrigatoriamente, o emprego de sensoriamento remoto para a análise de composição do solo em seu conteúdo, sendo desejável que abordassem a temática de emprego para o planejamento de operações militares.

Foram incluídos nesta revisão os artigos científicos cujo idioma fosse português, inglês e espanhol, publicados em periódicos indexados a bancos de dados. Foram considerados nesta revisão apenas os artigos de 2016 a 2024, por se considerar que a obra de Lillesland apresenta o estado da arte sobre o tema até o ano de 2015. Também foram consideradas as NBR ABNT em vigor que tratassem em seu conteúdo da análise de ao menos um (01) fator determinante para a análise do solo, por exemplo, ensaios de granulometria.

2.2 Fontes de informação

As fontes de informação utilizadas neste trabalho foram selecionadas segundo as características dos grupos de síntese. Assim, para a pesquisa de NBR ABNT foi utilizado o repositório da Target Engenharia e Consultoria Ltda, por possuir mais de 30 anos de existência no mercado e por possuir certificado de qualidade ISO 9001 em “Fornecimento de soluções para facilitação de acesso a informações tecnológicas e de gestão da documentação corporativa. (...)" (disponível em: https://www.target.com.br/images/certificado/2025/certificado_iso_9001.pdf, acesso em: 19 de março de 2025).

Já para os artigos científicos, foi utilizado o banco de dados Academia.edu, pelo fato deste repositório ser de acesso gratuito. Também foi utilizado o banco de dados da Biblioteca Digital do Exército para busca de manuais e artigos científicos relacionados ao tema.

2.3 Estratégia de busca

A estratégia de busca se baseou no protocolo PICOC utilizado para a formulação da questão de estudo. Todavia, para cada base de dados foi elaborado uma sequência específica de descritores. A busca de NBR ABNT foi realizada por meio da sequência “análise de solo” OU “sensoriamento remoto” OU “composição do solo”. Não foram levados em consideração o C¹, O e C², por se tratar de normas técnicas aplicadas ao território nacional, o que acarretaria o risco de ausência de resultados assim que fosse aplicada a sequência de descritores. Foram aplicados descritores apenas em português por ser a linguagem nativa de tal legislação.

À pesquisa dos artigos científicos foi aplicada a sequência de buscadores composta por “análise de solo” E “sensoriamento remoto”. Não foram considerados os termos em C¹ e C² pelo risco de invalidar a pesquisa na plataforma acadêmica utilizada e pelo pressuposto de que se o artigo atendesse o C¹ e C², mas não houvesse algum dos demais termos, os resultados retornados pela base de dados não poderiam ser incluídos nesta revisão da literatura. Também se aplicou os descritores em inglês: “*soil analysis*” AND “*remote sensing*”, sendo descartada a sequência no idioma espanhol pelo fato de o idioma inglês ser de grande permeabilidade no universo acadêmico.

Por fim, para a pesquisa dentro da base de dados do Exército Brasileiro, foi utilizada a sequência de descritores “análise” E “solo” E “reconhecimento de engenharia” E “operações” aplicada ao repositório do Comando de Operações Terrestres. Não foi considerado o aspecto I por se tratar de uma busca para determinar o parâmetro de controle da pesquisa. E, assim como na pesquisa das NBR ABNT, foi pesquisado apenas no idioma português.

2.4 Processo de seleção e coleta de dados

Foram selecionados os estudos que, após lidos os títulos e resumos, atenderam a condição de abordar o emprego de sensoriamento remoto para a análise de composição do solo. Depois de lidos e achados conformes, os textos foram analisados na íntegra e os dados relevantes foram organizados por meio de fichamento. Aqueles artigos cujo idioma do texto era diferente do português foram traduzidos pelo autor, em tradução livre.

2.5 Lista de dados

Foram coletados dados de desfechos cujos resultados pudessem ser agrupados nos seguintes grupos de domínio:

- a) Análise do solo realizada por dados obtidos por sensores remotos;
- b) Análise do solo baseado em ensaios previstos em NBR; e
- c) Análise do solo realizada por meio da doutrina militar vigente.

2.6. Avaliação do risco de viés dos estudos

A avaliação do risco de viés nos estudos incluídos foi realizada por meio da metodologia de Cochrane (Higgins, 2025). Esta metodologia envolve a análise de risco de viés baseados nos seguintes fatores:

- a) Viés no processo de anonimização (VA);
- b) Viés de desvio de finalidade na intervenção (VI);
- c) Viés por ausência de resultados ou resultados inconcludentes (VR);
- d) Viés de mensuração dos resultados (VM); e

e) Viés na seleção dos resultados (VS).

Cada estudo incluído foi avaliado quanto a probabilidade de risco segundo os fatores descritos, sendo-lhes atribuídos a qualificação de “sim”, “provável”, “improvável”, “não” e “sem informação”. Após esta avaliação, cada estudo foi qualificado genericamente como “sem risco de viés”, “aspectos a considerar” e “risco de viés”. Para esta avaliação foi considerado que:

- a) Se o estudo recebesse a qualificação de “sim” em ao menos um (01) fator ou mais de um (01) “provável” em outros fatores, a avaliação geral do estudo seria “risco de viés”;
- b) Se o estudo recebesse a qualificação de “provável” em um (01) fator ou mais de um (01) “improvável” em outros fatores, a avaliação geral do estudo seria “aspectos a considerar”;
- c) Se o estudo recebesse a qualificação de “improvável” em um (01) fator e “não” nos demais, seria considerado “baixo risco de viés”;
- d) Estudos que recebessem a qualificação de “sem informação” em até dois fatores, não haveria alteração de risco;
- e) Estudos que recebessem a qualificação de “sem informação” em três fatores, caso não fossem classificados em risco de viés, seriam classificados em “aspectos a considerar”; e
- f) Estudos que recebessem a qualificação de “sem informação” em mais de três fatores, seriam incluídos em “risco de viés”.

O risco de viés foi considerado durante a fase de discussão de resultados para avaliar a pertinência da argumentação de um estudo em comparação com os demais.

2.7 Métodos de síntese

A fim de sintetizar os resultados obtidos, os estudos foram divididos em grupo normativo, artigos sobre sensores remotos e manuais de campanha que abordassem o tema reconhecimento de engenharia. O grupo normativo apresentou a síntese das NBR ABNT que cumpriram os critérios de inclusão. Quanto aos dois grupos seguintes, foram organizados em sínteses diferentes para que cada grupo pudesse ser comparado com o método previsto no manual técnico após avaliados pelos padrões das NBR ABNT.

2.8 Avaliação de vieses de publicação e da certeza

Ao término desta pesquisa foi realizada a avaliação do viés desta publicação conforme a metodologia de Cochrane (Higgins, 2025), aplicando-a tal qual fora para a avaliação dos estudos incluídos. Assim, caso este trabalho fosse considerado de “baixo risco de viés”, seria considerado uma publicação com elevado grau de certeza em sua conclusão. Sendo classificado como um trabalho de “aspectos a considerar”, considerá-lo-ia como uma publicação com um adequado grau de certeza em sua conclusão, mas havendo a ressalva acerca de alguns dos fatores de avaliação. Por fim,

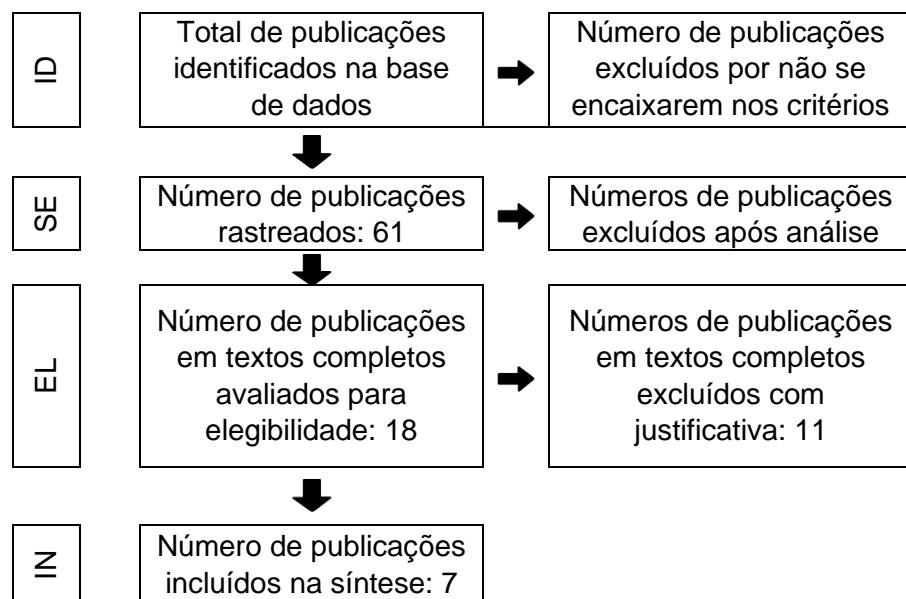
considerado uma publicação com “risco de viés” acarretaria um baixo grau de certeza, devendo ser complementada com outros estudos.

3 Resultados

3.1 Seleção dos estudos

Após aplicada a sequência de descritores propostos para a base de dados Academia.edu, os resultados foram processados conforme a Figura 1. Foram excluídos 11 artigos por não possuírem relação direta com o emprego de sensoriamento remoto ou por se tratar de estudos que utilizavam imageamento remoto apenas para a identificação do uso do solo e determinação de declividades e hidrodinâmica de bacias hidrográficas.

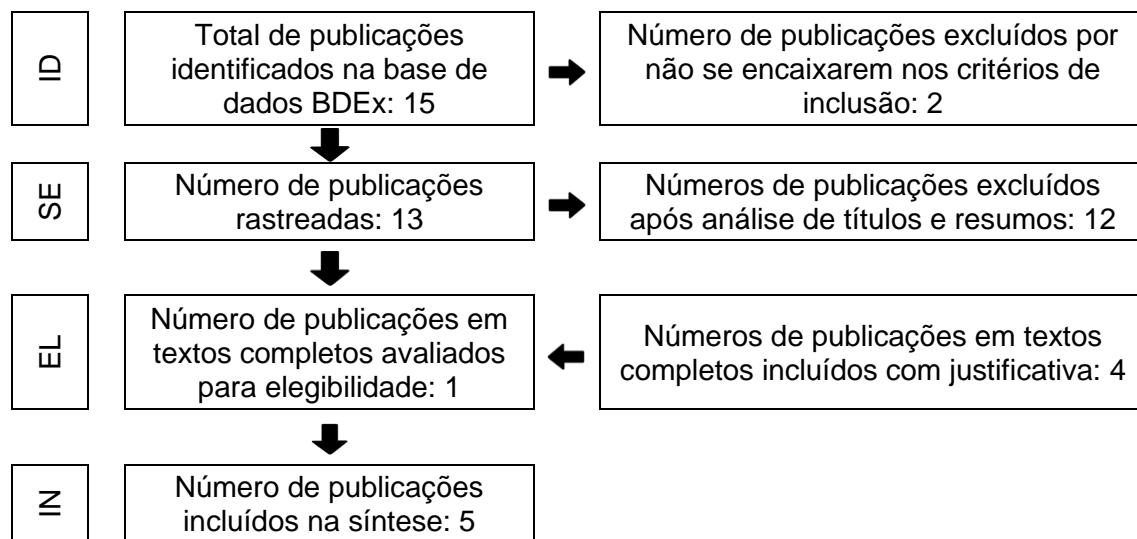
Figura 1: Fluxograma de aplicação da estratégia de busca para artigos científicos.



Legenda: ID: identificação; SE: seleção; EL: elegibilidade; IN inclusão.

Fonte: autor.

Quanto à busca de NBR ABNT, foram identificadas cinco normas que atendiam aos requisitos da estratégia de busca e todas foram incluídas neste estudo. Já na busca por meio da Biblioteca Digital do Exército, foram encontrados 15 manuais, por meio da estratégia de busca escolhida. Todavia, foi necessária a inclusão das publicações: Manual Técnico Reconhecimentos de Engenharia, Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas, Inimigo e Considerações Civis, Geointeligência e Geoinformação, mesmo não sendo resultados da busca, por se tratar de manuais fundamentais para o tema em estudo. Assim, a aplicação da estratégia de busca foi resumida na Figura 2.

Figura 2: Fluxograma de aplicação da estratégia de busca para manuais do Exército Brasileiro.

Legenda: ID: identificação; SE: seleção; EL: elegibilidade; IN inclusão.

Fonte: autor.

3.2 Características dos estudos

Após selecionadas, as publicações foram sintetizadas, conforme já descrito, em artigos científicos, publicação normativa e manuais militares, sendo apresentados nos quadros 2, 3 e 4, nos quais estão apresentadas as características de cada publicação que motivaram a sua inclusão nesta revisão da literatura.

Quadro 2: Sintetização dos artigos científicos incluídos.

PUBLICAÇÃO	CARACTERÍSTICA (MOTIVO DA INCLUSÃO)
Razvanchy, Hawar. "Characterization and Modeling Surface Soil Physicochemical Properties Using Landsat Images: A Case Study in the Iraqi Kurdistan Region." 2019	Estudo de caso de emprego de sensoriamento remoto para a determinação das características físico-químicas de uma região.
Sharma, R.P., R.S. Singh, R.K. Naitam, and S.K. Singh. "Technique of Large-Scale Soil Mapping Using Remote Sensing Satellite Data in Basaltic Terrain of Peninsular Region in the North-West Gujarat, India." 2019	Estudo de caso em que foi utilizado o processamento de imagens de satélite de alta resolução para determinar as características do solo em um mapa de grande detalhamento.
Publication, IJRASET. "Study of Spectral Reflectance Pattern of Red Soils under Varying Moisture Conditions." 2020.	Estudo de caso em que foi utilizado um sensor hyperspectral sob a mesma amostra, variando-se a quantidade de água.
Morelli, Stefano. "Landslide Mapping and Characterization through Infrared Thermography (IRT): Suggestions for a Methodological Approach from Some Case Studies." 2017	Estudo de caso com aplicação de termografia infravermelha para caracterização do solo.
ngetar, Njoya, and Kwanele Phinzi. "The Assessment of Water-Borne Erosion at Catchment Level Using GIS-Based RUSLE and Remote Sensing: A Review." 2019.	Revisão da literatura em que é abordada a integração dos dados obtidos por sensoriamento remoto para a predição de fenômenos.
Bradley, Andrew V., Sue J. McLaren, Ahmed Al-Dughairi, and Nadia Khalaf. "A Multi-Scale Approach Interpreting Sediment Processes and Distribution from Desert Sand Colour in Central Saudi Arabia." 2018.	Estudo de caso empregando imageamento remoto e coleta de material para determinação de padrões na distribuição da composição de solos no deserto.

PUBLICAÇÃO	CARACTERÍSTICA (MOTIVO DA INCLUSÃO)
Albrecht, Alain. "Large Topsoil Organic Carbon Variability Is Controlled by Andisol Properties and Effectively Assessed by VNIR Spectroscopy in a Coffee Agroforestry System of Costa Rica." 2016.	Estudo de caso empregando sensoriamento remoto e coleta de amostra.

Fonte: autor

Quadro 3: Sintetização das normas incluídas.

PUBLICAÇÃO	CARACTERÍSTICA (MOTIVO DA INCLUSÃO)
NBR13603 DE 08/2022	Determinação de presença de microminerais no solo.
NBR6457 DE 01/2024	Apresenta o estado em que deve estar a amostra para que seja testada.
NBR9604 DE 02/2024	Apresenta condições de retirada de amostras.
NBR9603 DE 07/2023	Apresenta a metodologia mais viável para a retirada de amostras do solo.
NBR7181 DE 01/2025	Determina as condições da análise granulométrica.

Fonte: autor.

Quadro 4: Sintetização dos manuais militares incluídos.

PUBLICAÇÃO	CARACTERÍSTICA (MOTIVO DA INCLUSÃO)
A Engenharia nas Operações	Manual basilar da doutrina da Arma de Engenharia.
Reconhecimento de Engenharia	Manual normativo sobre as técnicas de reconhecimento de engenharia vigentes.
PITCIC	Define a caracterização do solo como fator para operações militares.
Geointeligência	Único manual do Exército que trata sobre leitura e análise de imageamento terrestre por sensores remotos.
Geoinformação	Único manual do Exército que trata sobre a análise de dados em sistemas de informação geográfica

Fonte: autor

3.3 Risco de viés nos estudos

A avaliação do risco de viés dos estudos foi realizada por síntese, sendo apresentadas nas figuras 3, 4 e 5. A respeito do viés no processo de anonimização (VA), nenhuma obra incluída ficou sujeita a este viés, uma vez que apenas o autor foi responsável por fichar e sintetizar as obras. Quanto ao viés de desvio de finalidade na intervenção (VI), não houve registros na síntese dos artigos científicos, já nas demais sínteses houve possíveis riscos. Também não foram observados riscos de Viés por ausência de resultados ou resultados inconcludentes (VR), nem viés de mensuração dos resultados (VM) e tampouco viés na seleção dos resultados (VS).

Figura 3: Avaliação do Risco de Viés da síntese dos artigos científicos.

PUBLICAÇÃO	VA	VI	VR	VM	VS	AVALIAÇÃO GERAL
HAWAR, 2019	Não	Não	Não	Não	Não	Sem risco de viés
SHARMA <i>et al</i> , 2019	Não	Não	Não	Não	Não	Sem risco de viés

PUBLICAÇÃO	VA	VI	VR	VM	VS	AVALIAÇÃO GERAL
IJRASET, 2020	Não	Não	Não	Não	Não	Sem risco de viés
PUBLICAÇÃO	VA	VI	VR	VM	VS	AVALIAÇÃO GERAL
MORELLI, 2017	Não	Não	Não	Não	Não	Sem risco de viés
NJOYA e PHINSI, 2018	Não	Não	Não	Não	Não	Sem risco de viés
BRADLEY <i>et al</i> , 2018	Não	Não	Não	Não	Não	Sem risco de viés
ALBRECHT, 2016	Não	Não	Não	Não	Não	Sem risco de viés

Fonte: Autor.

Figura 4: Avaliação do Risco de Viés da síntese das normas técnicas

PUBLICAÇÃO	VA	VI	VR	VM	VS	AVALIAÇÃO GERAL
NBR13603	Não	Não	Não*	Não*	Não*	Sem risco de viés
NBR6457	Não	Não	Não*	Não*	Não*	Sem risco de viés
NBR9604	Não	Pos	Não*	Não*	Não*	Aspectos a considerar
NBR9603	Não	Não	Não*	Não*	Não*	Sem risco de viés
NBR7181	Não	Não	Não*	Não*	Não*	Sem risco de viés

*Não é aplicável a este tipo de publicação.

Fonte: Autor.

A NBR9604 apresentou um possível risco de viés de desvio de finalidade na intervenção, uma vez que a abertura de poços, prevista por esta norma, é voltada para a análise dos horizontes do solo para fins de caracterização geológica.

Figura 5: Avaliação do Risco de Viés da síntese dos manuais do Exército Brasileiro.

PUBLICAÇÃO	VA	VI	VR	VM	VS	AVALIAÇÃO GERAL
A Engenharia nas Operações	Não	Pos	Não	Não	Não	Aspectos a considerar
Reconhecimento de Engenharia	Não	Não	Não	Não	Não	Sem risco de viés
PITCIC	Não	Pos	Não	Não	Não	Aspectos a considerar
Geointeligência	Não	Não	Não	Não	Não	Sem risco de viés
Geoinformação	Não	Pos	Não	Não	Não	Aspectos a considerar

Fonte: Autor.

Os manuais a Engenharia nas Operações, PITCIC e Geoinformação apresentaram possíveis vieses de desvio de finalidade. O primeiro por se tratar de um manual afeto a um sistema complexo que é a Arma de Engenharia e pela sua importância fulcral como base doutrinária para tal. O segundo, por se tratar de um manual abrangente, no qual são encontrados processos de avaliação de múltiplos fatores, sendo a caracterização do solo apenas mais um de seus tópicos. O terceiro, por apresentar excesso de informação organizacional, não se atendo especificamente na caracterização do solo.



Todavia, em que pese o possível risco de viés, as três publicações são necessárias para fundamentação teórica e comparação das metodologias. Quanto ao manual A Engenharia nas Operações, é necessário para avaliar se as metodologias propostas atendem os requisitos da base doutrinária vigente. Ao que toca ao PITCIC, este manual se faz relevante por estabelecer o papel que a caracterização do solo desempenha no processo de planejamento de uma operação militar. Por fim, o manual Geoinformação foi indispensável por ser a publicação mais atual que normatiza a utilização de Sistemas de Informações Geográficas no Exército Brasileiro.

3.4 Resultados de estudos individuais

O estudo de Hawar (2019) relacionou os resultados das análises estatísticas realizadas em amostras de solo superficial coletadas de forma direta comparando as propriedades físico-químicas com as bandas multiespectrais do Landsat ETM+ e com modelos digitais de elevação. A partir destas correlações foi possível a criação de um modelo de propriedades de solo superficial e respectivos mapas baseados em regressões estatísticas. Por fim, apresentou por meio de uma tabela a precisão dos mapas baseados no modelo criado, demonstrando a alta correlação entre os resultados estimados pelas amostras de campo e os previstos pelo modelo (Hawar, 2019).

Os pesquisadores Sharma *et al* (2019) dividiram sua área de estudo em quatro unidades, que denominaram de *Landscape ecological units (LEUs)*. Estas áreas foram categorizadas em critério de conformação do terreno (corrugado, ravinoso, suavemente ondulado e próximo ao plano) e de declividade (0–1, 1–3, 3–8 and 8–15%). Baseando-se na integração de produtos oriundos de sensoriamento remoto (conformação do terreno, declividade e uso e cobertura do terreno), puderam classificar a Vila de Pata Meghpar em 10 LEUs. Permitindo, assim, o mapeamento da área em uma escala de 1:4000 e identificando as características físico-químicas dos solos da área de estudo (Sharma *et al*, 2019).

De acordo com Sowmya, Giridhar e Rabhakar (2020),¹ “As características de reflectância das aspectos da superfície da Terra podem ser quantificadas medindo a porção de energia incidente que é refletida”. Baseados no princípio de que a reflexão espectral varia drasticamente em corpos d’água, cobertura vegetal e solo, verificaram que, na faixa do espectro do infravermelho próximo (NIR), a reflexão eletromagnética (REM) varia de forma diretamente proporcional ao teor de umidade do solo, ao passo que a REM do solo apresenta padrão inversamente proporcional. Já na faixa dos comprimentos de onda entre 400 e 1000 nm a REM do solo tende a aumentar pela capacidade de absorção do solo analisado em absorver as ondas menores. Assim, observaram que quanto mais seco

¹ No original: “The reflectance characteristics of Earth’s surface features may be quantified by measuring the portion of incident energy that is reflected”

o solo analisado, maior é a capacidade da REM apresentar as suas características e quanto mais úmido, maior REM na faixa do NIR (Sowmya, Giridhar e Rabhakar, 2020).

O trabalho de Morelli (2017) apresenta o potencial do Termógrafo Infravermelho (IRT) como uma ferramenta de escol para a detecção, mapeamento e caracterização de processos de instabilidade e manejo de riscos em áreas sujeitas a derrocamentos e deslizamentos de rochas. Tendo sido experimentado tanto em plataformas aéreas como em plataformas terrestres para a avaliação de possíveis cenários, o IRT se provou como um sensor eficiente para emprego em campo devido a sua capacidade imediata de registro de padrões de temperatura e alta resolução espacial. Em seu estudo foi possível detectar potenciais ocorrências de deslizamentos de terra por meio de características morfológicas e estruturais como descontinuidades, fraturas abertas, escarpas, presença de vertedouros de água, linhas de drenagem e regiões de acúmulo de água e umidade (Morelli, 2017).

A revisão da literatura procedida por Njoya e Phinsi (2018) demonstrou como os sistemas de informações geográficas combinados com o apoio de sensoriamento remoto podem ser eficiente para a definição de parâmetros para a determinação de locais suscetíveis à erosão. Entre os parâmetros avaliados, o sensoriamento remoto foi capaz de prover medições de pluviosidade (R) em complementação as medições realizadas *in situ*, identificação dos riscos relacionados à topografia (LS) local através de modelos digitais de elevação, determinação da erodibilidade do solo ou composição (K), cobertura e manejo de área (C) e capacidade de suporte (P). Segundo esse estudo, ainda que existam desafios a serem vencidos, os benefícios advindos da utilização dos sensores remotos para coleta de dados para a inserção no modelo de predição de erosão ultrapassam sobremaneira tais dificuldades (Njoya e Phinsi, 2018).

Já no estudo de Bradley *et al* (2018), em que foi utilizada uma abordagem “multi-escala” para a interpretação do processo de sedimentação e distribuição dos tipos e coloração da areia do deserto saudita central, foi percebida uma necessidade de complementação das imagens de satélite (“*macro-scale*”) com estudos em escala intermediária e análise amostral (“*meso- and microscale*”). Durante esse estudo, as imagens satelitais proporcionaram a compreensão da estrutura das dunas, assim como indicaram a extensão, a intensidade e a identificação de processos geomórficos ao longo da superfície do deserto. Já na escala intermediária, a correlação das imagens satelitais com as amostras de superfície permitiu a interpretação das causas das mudanças de cores dos sedimentos. E, por meio da análise amostral, foi possível extrapolar padrões de composição da areia pela correlação entre amostra e imagem (Bradley *et al*, 2018).

Para o trabalho de determinação da concentração de carbono orgânico em solos em sistemas agroflorestais na Costa Rica de Albrecht (2016) foram utilizados os dados de 100 amostras de imagens do espectro de “infravermelho próximo visível” (VNIR) para a determinação de relações entre as propriedades vegetais, topográficas e distribuição espacial (Albrecht, 2016).

No escopo da própria NBR ABNT 13603:2022, está escrito que:

Esta Norma estabelece o método para avaliação da dispersibilidade de solos argilosos, por meio de ensaios químicos em amostra de água intersticial, determinando-se as quantidades dos principais cátions metálicos presentes na solução extraída da amostra de solo (ABNT, 2022).

Para tal avaliação é realizado um teste laboratorial em que são necessários instrumentos e soluções químicas para a extração de água intersticial da amostra de terra coletada, aplicando-lhe vácuo a partir de uma fonte externa para sua extração. Este processo, como escrito no corpo da norma, “Dependendo do material, a extração do volume necessário da água intersticial, que é de 100 mL, pode demandar horas ou dias” (ABNT, 2022). Ainda assim, o teste só entregará o resultado da dispersibilidade do solo, quando o resultado for comparado com uma tabela de referência, mas somente após a amostra “(...) ser submetida à análise química, de preferência por espectrofotometria de absorção atômica, para determinação das quantidades dos cátions de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K) presentes na solução” (ABNT, 2022).

A NBR ABNT 6457:2024 “estabelece o método para a preparação de amostras de solos para os ensaios de compactação e de caracterização, bem como o método para a determinação do teor de umidade” (ABNT, 2024a). Apesar de simples, os métodos relatados nesta norma exigem materiais como peneiras e balanças de precisão. Todavia, é possível executá-los *in situ* e a aferição dos índices não exige conhecimentos de escolaridade de nível médio ou superior.

A NBR ABNT 9604:2024 “(...) especifica os requisitos para os procedimentos básicos na abertura de poço ou trincheira, bem como os critérios para a retirada de amostras deformadas e indeformadas de solo” (ABNT, 2024b). Para o cumprimento desta norma, são necessárias ferramentas de sapa, escadas, materiais para coleta e armazenamento de amostras. Além disso, a retirada de material deve ser realizada em uma escavação de um (01) metro por um (01) metro até a profundidade de 2,0 m, inscrita em uma área quadrada de 2,0 m por 2,0 m, limpada e balizada. Também é necessário escalar as amostras do material retirado para futura coleta das amostras deformadas. Ao se tratar da retirada de amostras não deformadas, há, ainda, requisitos que exigem perícia e cautela para a sua retirada (ABNT, 2024b).

Por outro lado, a NBR ABNT 9603:2023 “(...) especifica um método para execução de sondagem a trado em investigação geológico-geotécnica, dentro dos limites do equipamento e condições do terreno” com “(...) a finalidade de coletar amostras deformadas, determinar a profundidade do nível d’água, e identificar preliminarmente as camadas de solo que compõem o subsolo” (ABNT, 2023). Tal método, diferentemente da abertura de fosso ou trincheira, emprega o trado como instrumento de perfuração e coleta de amostras. Ainda assim, exige que as amostras de terra retiradas sejam organizadas conforme a profundidade da qual foram retiradas (ABNT, 2023a).

A NBR ABNT 7181:2025 “(...) especifica o método para análise granulométrica de solos, realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento” (ABNT, 2025). Além da grande variedade de materiais que variam de estufas a peneiras de diversas malhas e louça de laboratório, a própria norma ainda adverte sobre o risco de eventuais reagentes “A utilização deste método de ensaio pode envolver materiais, operações e equipamentos perigosos” (ABNT, 2025). Todavia, possui execução simplificada, embora exija bom desempenho dos materiais e cautela para a caracterização das amostras (ABNT, 2025).

O manual de campanha A Engenharia nas Operações (Brasil, 2018) define e “(...) apresenta concepções e conceitos doutrinários da Arma de Engenharia em apoio às operações militares” (Brasil, 2018) e nele estão contidos

(...) os fundamentos para a Arma de Engenharia empregar seus meios, a fim de executar suas atividades e tarefas, e descreve como esta se organiza para o combate com o objetivo de realizar o apoio à mobilidade, contramobilidade e proteção (Ap MCP) e o apoio geral de Engenharia (Ap Ge Eng) (Brasil, 2018).

Sendo as suas características: a durabilidade dos trabalhos, a progressividade destes, a amplitude de desdobramento, apoio em profundidade e a existência de canais técnicos. Possui, ainda, como princípios gerais de emprego: emprego como arma técnica, emprego centralizado, permanência nos trabalhos, utilização imediata dos trabalhos, manutenção dos laços táticos, engenharia em reserva, prioridade e urgência e emprego por elementos constituídos. Apresentando como atividades o Ap MCP e Ap Ge Eng, e como tarefas a realização de Reconhecimentos, construção e manutenção de Estradas e Pontes, execução de trabalhos de Organização do terreno, apoio de construção, manutenção e adaptação às Instalações e Assistência técnica (REPOIA). Tratando-se especialmente a respeito da tarefa de Reconhecimento, o manual apresenta que:

2.6.2.3.1 Os reconhecimentos constituem o meio mais eficiente de busca de informações técnicas de Engenharia.

2.6.2.3.2 A coleta, a avaliação e a difusão dessas informações são algumas das atribuições da Engenharia, que, para isso, conta com meios altamente especializados.

2.6.2.3.3 O funcionamento dos canais técnicos (ligações entre os diferentes escalões de Engenharia) é imprescindível para o acionamento oportuno dos reconhecimentos e para a divulgação das informações. (Brasil, 2018).

O Manual Técnico Reconhecimento de Engenharia “tem por finalidade orientar o pessoal responsável pela produção de informações de engenharia” (Brasil, 2021). Nesta obra estão elencados os 17 tipos de Reconhecimentos de Engenharia, bem como os procedimentos para a execução de cada um. É importante salientar que, neste manual, são apresentados os princípios destes reconhecimentos, Segurança, Flexibilidade, Clareza, Amplitude, Oportunidade e Precisão. É notável, também, que, apesar do manual ser de 2021, não há a previsão para a utilização de plataformas de sensoriamento remoto como ferramentas para a execução dos Reconhecimentos de Engenharia (Brasil, 2021).



O Manual de Campanha Processo de Integração Terreno Condições Meteorológicas, Inimigo e Considerações Civis – PITCIC descreve tal processo como

(...) cíclico [e] de caráter gráfico que permite, mediante análise integrada, a visualização de como o terreno, as condições meteorológicas e as considerações civis condicionam as próprias operações e as do inimigo, fornecendo dados reais e efetivos para auxiliar a tomada de decisões adequadas. (Brasil, 2023).

Segundo este mesmo manual, “O Mod GTE (módulo de apoio de geoinformação temática de engenharia) apresentará um relatório especial, no qual conterá a interpretação das características naturais e artificiais de determinada área e seus efeitos nas operações militares.” (Brasil, 2023b). Tratando-se de um processo, o tópico composição do solo é mais explorado na segunda fase da segunda etapa deste processo. Este dado é essencial para a determinação da trafegabilidade do solo e para a construção de um modelo preditivo para o efeito das condições meteorológicas na área de operações.

O Manual Técnico Geointeligência apresenta o conceito de Inteligência Geoespacial no Exército Brasileiro. Este manual prescreve a utilização de sensores remotos para a obtenção de dados geoespaciais, assim como a sua análise por meio de SIG (Brasil, 2019). Além disso, tal manual se constitui em uma fonte de consulta e um verdadeiro catálogo de capacidades de sensoriamento remoto (Brasil, 2019).

O Manual de Campanha Geoinformação apresenta este conceito pela primeira vez em uma publicação oficial do Exército Brasileiro e aborda seus componentes: geotecnologias, processo de produção, produtos e infraestrutura. Além de descrever cada um de seus componentes, também apresenta os seus quatro princípios de emprego: modularidade, antecipação, disponibilidade e otimização (Brasil, 2014).

3.5 Resultados das sínteses

Ao sintetizar os resultados encontrados em artigos científicos, observou-se que o emprego de sensores remotos para a determinação da composição do solo, seja na caracterização dos aspectos físico-químicos (Albrecht, 2016; Bradley *et al*, 2018; Hawar, 2019; Sowmya, Giridhar e Rabhakar, 2020), detecção e prevenção de movimentos de rochas (Morelli, 2017; Njoya e Phinsi, 2018) e construção de modelos preditivos (Albrecht, 2016; Njoya e Phinsi, 2018), já são uma realidade e se integram de forma eficiente a técnicas tradicionais (Albrecht, 2016; Bradley *et al*, 2018; Sharma *et al*, 2019) e proporcionam bons resultados quando operadas isoladamente (Albrecht, 2016; Morelli, 2017). Nessa síntese também foi possível identificar o “custo-benefício” da utilização dos sensores remotos na caracterização dos solos em grandes áreas (Albrecht, 2016; Bradley *et al*, 2018; Hawar, 2019; Sowmya, Giridhar e Rabhakar, 2020) e a possibilidade de criação de mapas em grandes escalas

para áreas de pequena a grandes dimensões (Albrecht, 2016; Bradley *et al*, 2018; Sharma *et al*, 2019; Morelli, 2017; Njoya e Phinsi, 2018).

Já na síntese realizada para as NBR, foi verificada a precisão instrumental e o rigor necessário para a caracterização dos resultados, tanto para a coleta das amostras (ABNT, 2023; ABNT, 2024b), como para a sua preparação para análise (ABNT, 2024a) e para a análise propriamente dita (ABNT, 2022; ABNT, 2024a; ABNT, 2025). Também foi verificada a necessidade de atuação direta sobre o solo e as possibilidades de deformação das amostras coletadas (ABNT, 2023a; ABNT, 2024b). Além disso, ficou evidente a grande necessidade de materiais ora simples como ferramentas de sapa (ABNT, 2023; ABNT, 2024b), ora complexos como os apetrechos laboratoriais (ABNT, 2022; ABNT, 2024a; ABNT, 2025).

Quanto à síntese dos manuais do Exército Brasileiro, ficou evidente que, qualquer forma que seja realizado, o Reconhecimento de Engenharia ele deve atender aos princípios elencados pelo manual de mesmo nome (Brasil, 2021) e, por se tratar de uma atividade da Arma de Engenharia, deve atender aos princípios de emprego desta e as suas características (Brasil, 2018). Também foi verificada a importância que a caracterização da composição do solo se avulta ao tratar do planejamento das operações militares (Brasil, 2023b). Por fim, foi verificado que, em que pese a existência de uma legislação que já prescrevia o emprego de sensoriamento remoto para a obtenção de dados geográficos (Brasil, 2014; Brasil, 2019), o manual Reconhecimento de Engenharia não apresentava esta ferramenta como possibilidade de aquisição de dados (Brasil, 2021).

4 Discussão dos resultados

Da leitura das NBR ABNT incluídas pelos critérios de seleção, foi verificado que para a retirada de amostras do solo, deve-se proceder ou a abertura de fosso ou trincheira (ABNT, 2024b) ou realizar a sondagem a tradô (ABNT, 2023a). O primeiro método é indicado para a identificação de horizontes de solo ao longo de dois metros de profundidade e é aplicado tanto para amostras deformadas como para amostras indeformadas de solo (ABNT, 2024b), exigindo tempo para a escavação e perícia para a retirada das amostras indeformadas. Já o segundo método, como a própria norma descreve, é um método para a análise preliminar (ABNT, 2023a), ou seja, há de ser complementado por outros tipos de inspeções. Todavia, este método possui uma menor exigência de tempo e a sua ação no solo é menos “agressiva” do que a abertura de um poço ou uma trincheira para inspeção (ABNT, 2024b). Acerca da determinação da qualidade do solo no local e sua composição *in situ*, somente pode ser feito pela análise subjetiva do inspecionador e pela comparação de tabelas de cores e ocorrência de materiais.

Acerca da preparação das amostras, foi verificado que, pela NBR ABNT 6457:2024, são exigidas amostras de diversos tamanhos. Podendo este ensaio ser realizado *in situ*, há a necessidade de materiais como balanças e peneiras (ABNT, 2024a). Devido ao rigor e a passagem e repassagem de amostras pelas peneiras de diversas tramas, este método torna-se lento e, ainda, considerando que é apenas uma etapa de preparação, os resultados destes ensaios podem ser insuficientes para a constituição em dados de geoinformação.

Quanto às normas NBR ABNT 7181:2025 e 13603:2022, estas sim são capazes de gerar com precisão os dados necessários para a determinação granulométrica (ABNT, 2025) e química (ABNT, 2022) da composição do solo, procedendo, assim, a caracterização físico-química do solo em estudo. Entretanto, estes testes são essencialmente laboratoriais e necessitam que as amostras sejam preservadas indeformadas até a sua preparação para o estudo e, ao término do teste, ainda será necessária uma extração estatística para a dedução da área em que pode ser aplicada os resultados das amostras.

Dessa forma, verificou-se que, para atingir o nível “ótimo” de precisão dos dados físico-químicos dos solos por meio das metodologias previstas nas NBR ABNT incluídas neste estudo, é necessário que seja realizada a coleta da amostra do local, preparada e enviada para o laboratório de solos. Ou seja, não há um método único que possa determinar as necessidades de conhecimento do solo, mas sim um processo constituído de várias etapas correspondentes a uma determinada metodologia. Foi, ainda, verificado que a aplicação destes métodos consome tempo, na ordem de horas e dias, e mão-de-obra em sua execução, além de necessitarem da atuação direta entre o analista e amostra. Atingindo, assim, o objetivo específico de identificar e compreender os critérios de validade para a análise da composição do solo segundo as NBR ABNT.

Já a análise de solo procedida por sensoriamento remoto pode ser realizada por qualquer meio que não tenha contato direto com a amostra (Morelli, 2017; IJRASET, 2020). Os estudos incluídos nesta revisão apresentaram tanto imagens colhidas com o emprego de satélites como colhidas por sensores terrestres (Njoya e Phinsi, 2018; Hawar, 2019; Sharma *et al*, 2019; Morelli, 2017; IJRASET, 2020). Estes estudos apresentaram como requisito para a identificação dos aspectos físico-químicos da composição do solo, a necessidade de tabelas de referência, que relacionassem os achados na imagem com a ocorrência de determinadas substâncias na composição do solo (Hawar, 2019; Sharma *et al*, 2019; IJRASET, 2020).

Foram apresentados estudos em que foi aferida a composição do solo por meio da decomposição das bandas de imagens hiper espectrais, relacionando os comprimentos de onda refletidos aos índices de reflexão das substâncias presentes no solo (Njoya e Phinsi, 2018; Hawar, 2019; Sharma *et al*, 2019). Também foi relacionado nesse estudo a utilização de tecnologia de infravermelho termal, em que foi possível identificar padrões de assinaturas térmicas de afloramentos

rochosos e suas características, como pontos de fissura e prováveis rupturas (Morelli, 2017). Assim como a utilização de um dado mais refinado, que é o modelo digital de elevação, para a estimativa de ocorrência de solos em função da dinâmica das bacias hidrográficas (Albrecht, 2016; Sharma *et al*, 2019).

Em todos os estudos apresentados, o emprego de sensoriamento remoto se mostrou como uma ferramenta de elevado custo-benefício e com a capacidade de entregar dados de grandes áreas com altíssima definição e precisão (Albrecht, 2016; Sharma *et al*, 2019; IJRASET, 2020). Proporcionando alternativas como a caracterização de áreas de difícil acesso para a inspeção e coleta do solo (Sharma *et al*, 2019; IJRASET, 2020), dedução da composição do solo de determinada área por meio da extração de dados obtidos de uma amostra, baseando-se na comparação das assinaturas eletromagnéticas e/ou termais (Hawar, 2019; Sharma *et al*, 2019; Morelli, 2017; IJRASET, 2020), e estabelecimento de áreas de predominância de determinado tipo de composição, ou seja, transformando um dado contínuo (composição do solo) em uma informação de caráter discreto (sem restrição, restrito, severamente restritivo) (Brasil, 2014; Sharma *et al*, 2019; Brasil, 2023b).

Apesar de todas as vantagens dos dados obtidos por sensores remotos é conveniente salientar que a sua interpretação depende de um banco de dados robusto e de pessoal especializado para a sua interpretação, sendo necessário, por vezes, recorrer a sondagem e análise laboratorial do solo, bem como a compreensão da dinâmica geológica local. Também cabe ressaltar que os dados coletados pelas imagens de satélite mostram apenas o comportamento da camada superficial do solo.

A fim de comparar a metodologia tradicional de análise da composição do solo com a metodologia empregando sensoriamento remoto, e o processo previsto pelas NBR ABNT, à luz das exigências das normas técnicas e da doutrina militar vigente, é necessário que seja descrito o que se quer conotar com os termos aqui utilizados. Para metodologia tradicional de análise da composição do solo foi considerado o texto do manual Reconhecimento de Engenharia, em que:

(...) A engenharia poderá ser chamada para realizar ensaios (ou testes) no terreno, com vistas a determinar a trafegabilidade dos solos (por exemplo, teste de penetrômetro). A inspeção feita no local e a utilização de viaturas de prova, para testar o terreno com várias passadas, entretanto, são suficientes para a maioria dos casos. (Brasil, 2021)

Cuja amostra de estudo é considerada apenas “a camada superficial de 0,15 m a 0,3 m de profundidade, sabendo-se também que até 0,6 m de profundidade haverá importância ocasional” (Brasil, 2021). Para a determinação da umidade do solo, esse manual descreve que:

De uma maneira geral, as condições meteorológicas determinam o grau de umidade do solo. Se o grau de umidade do solo for conhecido, será possível, com base nas previsões de meteorologia, prever qual será o grau de umidade em datas futuras. Deve-se levar em conta que existe um ponto onde o solo se torna saturado e o grau de umidade não aumentará muito, a partir desse ponto. Quando o tempo é suficientemente quente para permitir o crescimento de plantas, a umidade do solo tende rapidamente a diminuir. (Brasil, 2021)

Por fim, ao término da medição por “passagens de viaturas”:

Os solos podem ser classificados em pedregulhos, areias, siltes, argilas etc., [...] também, para fins de trafegabilidade, nas classes abaixo discriminadas:

- a) CT I – solos que permitem, no mínimo, 50 passagens de viaturas nos mesmos sulcos ou manobras de viaturas isoladas (arrancadas, paradas, curvas, fechadas ou mudança de sulcos) no mesmo local [Pedregulhos e areia sem coesão (solos granulares)].
- b) CT II – solos que permitem de 10 a 50 passagens nos mesmos sulcos. As manobras de viaturas isoladas são perigosas; é necessário muito cuidado na direção da viatura; deve ser evitado o deslocamento das viaturas seguindo os mesmos sulcos [Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas].
- c) CT III – solos que permitem aproximadamente 1 a 10 passagens de viaturas, nos mesmos sulcos. As manobras de viaturas isoladas são muito perigosas; é necessário muitíssimo cuidado na direção; deve ser evitado o deslocamento das viaturas seguindo os mesmos sulcos [Pedregulhos com argila, misturas de pedregulhos, areias e argila; areais argilosos, misturas de areia e argila, argila com pedregulhos, argilas arenosas, argilas inorgânicas de plasticidade média e baixa: argilas siltosas].
- d) CT IV – solos que não permitem nenhuma passagem de viaturas; são necessários trabalhos de engenharia para possibilidade o deslocamento [Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulhos, areia e silte; siltes inorgânicos e areias muito finas, pó de pedra, areias finas siltosas ou argilosas; siltes argilosos de baixa plasticidade, areias finas micáceas ou diatomáceas, solos siltosos, siltes elásticos: argilas orgânicas de elasticidade média e alta; siltes orgânicos.] (Brasil,2021).

Para metodologia empregando o sensoriamento remoto, foi considerado todo e qualquer processo que empregue a análise de uma imagem seja ela multiespectral, hiper espectral e infravermelho termal, obtida sem o acesso direto à amostra para a determinação da composição do solo. E, para o processo previsto pelas NBR ABNT foi considerada a abertura de um poço de inspeção ou a coleta por meio do trado, seguido da preparação da amostra e, por fim, pelos testes laboratoriais.

Como parâmetros para a comparação foram estabelecidos que a metodologia empregada deve atender:

- a) os princípios do Reconhecimento de Engenharia;
- b) os princípios de emprego da Arma de Engenharia (excluídos os princípios emprego centralizado, manutenção dos laços tático e emprego por elementos constituídos por serem voltados à organização dos elementos para emprego e não da atividade de emprego); e
- c) as características da Arma de Engenharia.

Comparando-se, então as três modalidades de análise da composição do solo à luz dos princípios dos Reconhecimento de Engenharia, tem-se que:

- a) Acerca do princípio Segurança, a metodologia tradicional, assim como a metodologia prevista para as NBR ABNT, prevê a execução de um relatório, o qual deve tramitar do local em que foi gerado ao local em que será utilizado, abrindo margem para a interceptação física ou cibernética. Já os dados colhidos por sensoriamento remoto podem ser acessados de bancos de dados não ligados em redes e trabalhados na própria estação de trabalho remoto. Dessa forma, a metodologia com a

utilização de sensores remotos atende em condições superiores o princípio do Reconhecimento de Engenharia Segurança.

b) A respeito do princípio Flexibilidade, a metodologia tradicional permite a adaptação ao ritmo das operações, todavia fica restrita às áreas que não sejam negadas pelo inimigo. Já a metodologia baseada nas NBR ABNT não atende a este princípio, pois a análise da amostra deve ser ultimada em um laboratório. Contudo, a metodologia empregando sensoriamento remoto permite a avaliação de áreas de posse do inimigo e de difícil acesso. Assim, a obtenção de amostras por meio do sensoriamento remoto atende em condições superiores aos demais métodos o princípio do Reconhecimento de Engenharia Flexibilidade.

c) Sobre o princípio Clareza, as siglas em que são expressas as características dos solos no relatório de Reconhecimento de Engenharia previsto na metodologia tradicional não são de conhecimento geral e caracterizam apenas um ponto do terreno reconhecido. Quanto a metodologia baseada nas NBR ABNT, seu relatório e sua apresentação de dados necessitam a leitura e análise técnica, também caracterizando apenas o local da amostra. Já a apresentação dos dados obtidos por sensoriamento remoto, pela sua característica gráfica, permite a identificação intuitiva de ocorrências de determinados tipos de solo. Consequentemente, a obtenção de amostras por meio do sensoriamento remoto atende em condições superiores aos demais métodos o princípio do Reconhecimento de Engenharia Clareza.

d) Acerca do princípio Amplitude, o método tradicional não permite a descrição de grandes áreas, assim como a metodologia baseada nas NBR ABNT. Já o emprego de sensores remotos permite a análise de grandes áreas simultaneamente, atendendo em condições superiores o princípio Amplitude.

e) Quanto ao princípio Oportunidade, os métodos apresentados nos manuais incluídos neste estudo e os previstos nas NBR ABNT estão sujeitos ao tempo de deslocamento, execução e retorno, por se tratar de metodologias de intervenção direta no local de coleta das amostras e, ainda, o processo realizado segundo as NBR ABNT ainda é prolongado pelas etapas de preparação da amostra e da realização do ensaio técnico. Diferentemente da metodologia conduzida pelo uso de sensoriamento remoto, que permite a análise de grandes áreas e atualizações contínuas. Portanto, este método atende também em condições superiores o princípio Oportunidade.

f) Por fim, em relação ao princípio Precisão, a metodologia tradicional apresenta chances de subjetividade, pois não especifica qual o tipo de viatura nem o peso - todavia há de se fazer menção à utilização dos instrumentos cone de penetração dinâmica e deflectômetro de impacto leve (vulgo penetrômetro) que mesmo superficialmente citados, são ferramentas que permitem a determinação precisa da capacidade de trafegabilidade do solo (Cordeiro, 2018), entretanto não determinam a composição do solo. Já o processo segundo as NBR ABNT, este permite um estudo pormenorizado

da amostra contribuindo diretamente na precisão dos resultados para a determinação da composição do solo. Por fim, ainda que seja feita a análise por comparação do comportamento espectroscópico dos materiais, ainda assim a obtenção de dados por sensoriamento remoto permite a definição precisa da composição do solo, atendendo ao princípio da Precisão.

Em relação aos Princípios de Emprego da Arma de Engenharia, ao serem comparadas as três metodologias tem-se que:

a) Ao considerar o princípio Emprego Como Arma Técnica, a metodologia tradicional, se não empregados os instrumentos especializados, não atende a este princípio, uma vez que elementos de infantaria e cavalaria podem realizar o mesmo tipo de aferição com seus próprios meios. Já as metodologias segundo as NBR ABNT e com o emprego de sensoriamento remoto atendem a este princípio por se configurarem como “trabalhos que exijam técnica aprimorada e equipamentos especiais” (Brasil, 2018).

b) Quanto ao princípio Permanência nos Trabalhos, os três métodos obedecem a este princípio, justamente por serem realizados por um só grupo ou equipe durante toda a execução do Reconhecimento de Engenharia.

c) Em relação ao princípio Utilização Imediata dos Trabalhos, pela natureza técnica e especializada do processo empregando a previsão das NBR ABNT esta metodologia só atende este princípio quando é proporcionado um intervalo de tempo dilatado entre a coleta de dados e a difusão da informação. Já os outros dois métodos atendem a este princípio em qualquer intervalo de tempo, uma vez que o intervalo temporal entre a obtenção do dado e a difusão da informação é mínimo (Hawar, 2019; Sharma *et al*, 2019; Morelli, 2017; IJRASET, 2020).

d) Quanto ao princípio Engenharia em Reserva, os métodos tradicionais e segundo as NBR ABNT, por serem caracterizados pela coleta direta de amostras podem eventualmente expor a segurança da tropa e comprometer o sigilo da operação, prejudicando o emprego futuro em apoio à manobra de seu escalão. Já o emprego de sensoriamento remoto para a análise da composição do solo configura como um dos “trabalhos que não prejudiquem seu emprego futuro” (Brasil, 2018).

e) O princípio Prioridade e Urgência é atendido pela correta atribuição de relevância a um trabalho a ser executado. Dessa forma, a economia de meios proporcionado pelo método de Reconhecimento de Engenharia permite que os meios e tempo, que seriam empregados somente na execução dos reconhecimentos de acordo com as outras duas metodologias, sejam revertidos para outros trabalhos. Reduzindo, assim o fato de que as “necessidades são, em geral, numerosas e superiores às disponibilidades em tempo e em meios” (Brasil, 2018).

Quanto às características da Arma de Engenharia, foi verificado que:

a) As três metodologias propostas para a análise da constituição do solo atendem à característica Durabilidade dos Trabalhos, pois até que seja alterada a característica reconhecida, as informações obtidas permanecerão válidas.

b) Assim como a característica anterior, a Progressividade dos Trabalhos é atendida pelas três metodologias apresentadas, uma vez que a partir de um Reconhecimento de Engenharia inicial podem ser executados tantos outros reconhecimentos quanto forem necessários para a melhor caracterização da área, criação de banco de dados e séries históricas.

c) Já quanto a característica Amplitude de Desdobramento, a metodologia baseada nas NBR ABNT é propícia para as regiões mais afastadas da ação inimiga como a zona de administração e as áreas de retaguarda das divisões. Em contrapartida, a metodologia tradicional é mais voltada para as áreas mais próximas ao inimigo e menos nas áreas mais a retaguarda, pela natureza mais técnica que os trabalhos de manutenção de estradas da zona de administração e da retaguarda das divisões demandam. Contudo, a utilização do sensoriamento remoto permite a identificação e monitoramento da composição do solo desde a zona de administração passando pelo contato com o inimigo até a área de interesse do escalão considerado.

d) Acerca do Apoio em Profundidade, os três métodos permitem a identificação desta característica. Todavia, as metodologias que permitem maior identificação desta característica são as previstas pelas NBR ABNT e as que utilizam o sensoriamento remoto. Isso decorre do fato de o primeiro ser executado de forma mais recorrente, pelas seções técnicas dos Batalhões de Engenharia de Construção dos Grupamentos de Engenharia e o segundo por ser previsto a sua execução pelos Módulos de Geoinformação Temática de Engenharia, outra estrutura do mesmo grupamento (Brasil, 2023).

e) Por fim, quanto à característica Canais Técnicos de Engenharia, por mais que as informações obtidas pelos métodos de Reconhecimento de Engenharia tradicional e segundo as NBR ABNT possam fluir pelos escalões, a natureza essencialmente digital e pictórica das informações obtidas por sensoriamento remoto permite a visualização dos cenários sem risco de erro de interpretação entre os escalões.

Portanto, por apresentar uma capacidade de obtenção de dados e um custo-benefício maior em relação ao empenho de meios e tempo na sua realização em comparação aos demais métodos estudados, pela precisão das informações provenientes e por atender os princípios do Reconhecimento de Engenharia, do Emprego da Arma e das suas características, o emprego de dados coletados por sensoriamento remoto para a análise da composição do solo nos Reconhecimentos de Engenharia mostra-se viável quanto à sua eficiência.



5 Conclusão

Desta forma, pelo que foi observado nos resultados e discutido acerca do emprego de sensoriamento remoto para a análise da composição do solo, conclui-se que esta metodologia é capaz de conferir maior precisão na análise da composição do solo para o planejamento de operações militares, quando comparado à metodologia tradicional.

Entretanto, cabe, ainda, a realização de maiores estudos em bases de dados mais abrangentes e pesquisas de campo para a criação de uma “biblioteca de assinaturas eletrônicas e termais” dos tipos de solo encontrados no território nacional. Também é de interesse para pesquisas futuras nessa área, o desenvolvimento de um programa padrão para capacitação dos quadros envolvidos com este tipo de técnica e a prospecção de Requisitos Operacionais Básicos para plataformas, sensores e estrutura de tecnologia da informação e computação.

Por fim, é importante ressaltar que a introdução de uma nova capacidade não torna as anteriores descartáveis, mas proporciona mais ferramentas para a solução de um problema.

Referências

- AAFAT EL JAZOULI; BARAKAT, A.; KHELLOUK, R.; RAIS, J.; EL BAGHDADI, M.** Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 13, p. 361–374, 2019. DOI: [10.1016/j.rsase.2018.12.004](https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.12.004).
- ALBRECHT, A.** Large topsoil organic carbon variability is controlled by Andisol properties and effectively assessed by VNIR spectroscopy in a coffee agroforestry system of Costa Rica. *Geoderma*, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.026>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 13603:2022 – Solo – Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos, por meio de ensaios químicos em amostra de água intersticial. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/10084/abnt-nbr13603-solo-avaliacao-da-dispersibilidade-de-solos-argilosos-por-meio-de-ensaios-quimicos-em-amostra-de-agua-intersticial>.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 6457:2024 – Solos — Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2024a. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1963/abnt-nbr6457-solos-preparacao-de-amostras-para-ensaios-de-compactacao-caracterizacao-e-determinacao-do-teor-de-umidade>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 7181:2025 – Solo — Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2025. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/1963/abnt-nbr6457-solos-preparacao-de-amostras-para-ensaios-de-compactacao-caracterizacao-e-determinacao-do-teor-de-umidade>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 9603:2023 – Sondagem a trado — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/5985/abnt-nbr9603-sondagem-a-trado-procedimento>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 9604:2024 – Solo — Abertura de poço ou trincheira de inspeção, com retirada de amostras deformadas e indeformadas — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2024b. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/27587/nbr9604-solo-abertura-de-poco-ou-trincheira-de-inspecao-com-retirada-de-amostras-deformadas-e-indeformadas-procedimento>
- BRADLEY, A. V. et al.** A multi-scale approach interpreting sediment processes and distribution from desert sand colour in Central Saudi Arabia. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 43, n. 14, p. 2847–2862, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.4438>.
- BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. COMANDO DE OPERAÇÕES TERRESTRES.** Processo de Integração Terreno, Condições Meteorológicas, Inimigo e Considerações Civis (PITCIC). Brasília, DF: COTER, 2023a. (Manual de Campanha EB20-MC-10.711). Disponível em: <http://bdex.eb.mil.br/>.
- BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. COMANDO DE OPERAÇÕES TERRESTRES.** A engenharia nas operações. Brasília, DF: COTER, 2018. (Manual de Campanha EB70-MC-10.525). Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/>
- BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. COMANDO DE OPERAÇÕES TERRESTRES.** Manual Técnico Reconhecimento de Engenharia (EB70-MT-11.420), 1^a ed., 2021. Disponível em: <http://bdex.eb.mil.br/>.
- BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. COMANDO DE OPERAÇÕES TERRESTRES.** Manual de Campanha Grupamento de Engenharia: organização, capacidades e emprego. Brasília, DF: COTER, 2023b. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/>.

BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO. Geoinformação. Brasília, DF: EME, 2014. (Manual de Campanha EB20-MC-10.214). Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/>.

BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO. Geointeligência. Brasília, DF: EME, 2016. (Manual de Campanha EB20-MC-10.215). Disponível em: <http://bdex.eb.mil.br/>.

BRASIL. EXÉRCITO BRASILEIRO. ESTADO MAIOR DO EXÉRCITO. Plano Estratégico do Exército 2024–2027. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <http://bdex.eb.mil.br/>.

CALCINA, S. Automated Resistivity Profiling (ARP) to explore wide archaeological areas: the prehistoric site of Mont'e Prama, Sardinia, Italy. *Remote Sensing*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12030461>.

CAMPBELL, J. B. Introduction to Remote Sensing. 5th ed. New York: Guilford Press, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs5010282>.

GILLREATH-BROWN, A. A geospatial method for estimating soil moisture variability in prehistoric agricultural landscapes. *PLoS One*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220457>.

GUPTA, R. K.; ONKAR, S. Remote sensing of soil moisture: recent advances and future prospects. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*, v. 47, n. 3, p. 589–601, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/424178>.

HIGGINS, J. P. T. et al. Chapter 8: Assessing risk of bias in a randomized trial. In: *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Disponível em: <https://training.cochrane.org/handbook/current/chapter-08>. Acesso em: 20 mar. 2025.

HOUSSEIN, et al. Formulating research questions for evidence-based studies. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gmedi.2023.100046>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapas de Solos do Brasil. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/solos/15819-solos.html>. Acesso em: 7 abr. 2025.

ITUCHA, B.; TAKELE, C. Soil–landscape variability: mapping and building detail information for soil management. *Soil Use and Management*, v. 34, p. 111–123, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.12404>.

IWUJI, M. C. et al. Assessment of land use changes and impacts of dam construction on the Mbba River, Ikeduru, Nigeria. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, v. 13, p. 1–10, 2017. DOI: [10.9734/JGEESI/2017/34984](https://doi.org/10.9734/JGEESI/2017/34984).

KALLEM, S.; KUMAR, R.; BHARDWAJ, A. Soil mapping of Patiala-Ki-Rao watershed in Shivalik foothills using GIS. *International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR)*, v. 9, p. 1–8, 2019. DOI: <https://doi.org/10.52151/jae2019561.1676>.

LENZ, J. et al. Parameterization for EROSION-3D model under simulated rainfall conditions in Lower Shivaliks of India. *Geosciences*, v. 8, n. 11, p. 396, 2018. DOI: [10.3390/geosciences8110396](https://doi.org/10.3390/geosciences8110396).

LISETSKII, F. et al. Postantique soils as a source of land use information: a case study of an ancient Greek agricultural area on the northern Black Sea coast. *Applied and Environmental Soil Science*, 2020. DOI: [10.1155/2020/8698179](https://doi.org/10.1155/2020/8698179).

LILLESLAND, T. M. et al. Remote Sensing and Image Interpretation. 7th ed. Hoboken: Wiley, 2015.

MENDES, W. S. et al. Zoneamento pedoambiental da bacia do Rio São Bartolomeu, DF. *Planaltina: Embrapa Cerrados*, 2004. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 118). Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAF-2009/18495/1/bolpd118.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2025.

MORELLI, S. Landslide mapping and characterization through infrared thermography (IRT): suggestions for a methodological approach from some case studies. *Remote Sensing*, v. 9, n. 12, p. 1281, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9121281>.

NGETAR, N.; PHINZI, K. The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: a review. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 7, n. 1, p. 24–46, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.002>.

PAGE, M. J. et al. Declaração PRISMA 2020: uma diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **BMJ**, Londres, v. 372, e71, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-49742022000200033>.

PANAGIOTIDIS, V. V. et al. Environmental aspects of ancient city planning: a pilot study on Ancient Thouria in the Peloponnese, Greece. *STAR: Science & Technology of Archaeological Research*, v. 5, n. 2, p. 257–268, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/20548923.2020.1761092>.

PANDEY, P. GIS and remote sensing aided information for soil moisture estimation: a comparative study of interpolation techniques. *Resources*, v. 8, n. 2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/resources8020070>.

PUBLICATION, IJRASET. Study of spectral reflectance pattern of red soils under varying moisture conditions. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2019.11149>.

RAZVANCHY, H. Characterization and modeling surface soil physicochemical properties using Landsat images: a case study in the Iraqi Kurdistan Region. *Photogrammetric Image Analysis & Munich Remote Sensing Symposium*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W16-21-2019>.

SHARMA, R. P. et al. Technique of large scale soil mapping using remote sensing satellite data in basaltic terrain of peninsular region in the North-West Gujarat, India. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, v. 67, n. 2, p. 151, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5958/0974-0228.2019.00016.1>.

SOUZA, E. de et al. Pedotransfer functions to estimate bulk density from soil properties and environmental covariates: Rio Doce basin. *Scientia Agricola*, v. 73, n. 6, p. 525–534, 2016. DOI: [10.1590/0103-9016-2015-0485](https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0485).