

# Análise Produção Científica Sobre Solos Colapsíveis no Brasil Através de Indicadores Bibliométricos

Flávio Leônico Guedes<sup>1</sup>

Doutorando, PPGEC - UFPE, Pernambuco, Brasil, [f\\_1\\_guedes@hotmail.com](mailto:f_1_guedes@hotmail.com)

Antônio Italcy de Oliveira Júnior<sup>2</sup>

Doutorando, PPGEC - UFPE, Pernambuco, Brasil, [antonioitalcy@hotmail.com](mailto:antonioitalcy@hotmail.com)

Clezianny Freire Silva<sup>3</sup>

Especialista - FAB, Pernambuco, Brasil, [cleziannycfs@fab.mil.br](mailto:cleziannycfs@fab.mil.br)

Silvio Romero de Melo Ferreira<sup>4</sup>

Prof. Doutor, PPGEC - UFPE, Pernambuco, Brasil, [silvio.mferreira@ufpe.br](mailto:silvio.mferreira@ufpe.br)

**RESUMO:** Os solos colapsíveis naturais são comuns no Brasil e são considerados um problema para o Setor da Engenharia Civil ao provocar patologias em obras de engenharia. A presente pesquisa visa compreender o estado da atual da produção científica associada às pesquisas sobre o fenômeno da colapsibilidade de solos no Brasil, através de uma análise bibliométrica com enfoque quantitativo através de indicadores bibliométricos considerando aspectos quantitativos da produção científica. Os analisados indicaram os avanços nos estudos da colapsibilidade dos solos são mais recentes, e em crescimento gradual, encontrando-se, no entanto, referências clássicas e da literatura nacional. O conjunto de referências dos trabalhos científicos refletiram diálogos entre os autores citantes e citados. Em termos de área de pesquisa, na análise da frequência de palavras-chave observou-se uma sinergia entre as palavras mais frequentes com os principais tipos de solos e métodos aplicados, os termos mais frequentes analisados nas palavras-chave se concentraram em palavras relacionadas ao tema e ao contexto do estudo. Este estudo permitiu observar o comportamento da produção científica no Brasil, concluindo-se que este a temática possui um significativo potencial de crescimento devido a possibilidade de descobertas de novos locais de ocorrências, bem como novos métodos de estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Colapso, Solos não saturados, Solos Problemáticos

**ABSTRACT:** Natural collapsible soils are common in Brazil and are considered a problem for the Civil Engineering Sector when causing pathologies in engineering works. This research aims to understand the current state of scientific production associated with research on the phenomenon of soil collapse in Brazil, through bibliometric analysis with a quantitative approach through bibliometric indicators considering quantitative aspects of scientific production. The analyzed ones indicated the advances in soil collapsibility studies are more recent, and in gradual growth, finding, however, classic references and national literature. The set of references of the scientific works reflected dialogues between the citing and cited authors. In terms of research area, in the analysis of the frequency of keywords, a synergy between the most frequent words with the main types of soils and applied methods was observed, the most frequent terms analyzed in the keywords focused on words related to the theme and context of the study. This study allowed us to observe the behavior of scientific production in Brazil, concluding that this theme has a significant potential for growth due to the possibility of discovering new places of occurrence, as well as new methods of study.

**KEYWORDS:** Collapse, Unsaturated Soils, Problem Soils

## 1 INTRODUÇÃO

Os solos não saturados colapsíveis tendem a sofrer variações quando são submetidos a aumento de umidade, causando uma redução da resistência entre partículas e rearranjo estrutural, ocasionando uma brusca redução de volume. O colapso é o termo conhecido para o fenômeno de redução brusca e de

considerável volume que determinados solos sofrem com o umedecimento, geralmente sem aumento nas tensões aplicadas (JENNINGS; KNIGHT, 1975).

Devido à redução de volume, se tornam um problema para o Setor da Engenharia Civil ao provocar patologias em obras de engenharia, como recalque nas fundações e danificação de estruturas de uma edificação. Segundo Holanda et al. (2021), devido ao uso e ocupação do solo por obras civis, é aconselhado que o solo seja avaliado quanto ao colapso sempre que esteja inserido em um local de provável ocorrência.

A formação destes tipos de solos depende do ambiente geológico e de fatores climáticos regionais, podendo ocorrerem em locais variados. Sabe-se da existência e de estudos sobre estes tipos de solos em climas diversos por todo mundo, porém, estes tipos de solos são comumente encontrados em regiões tropicais, no qual oferecem condições propícias para sua formação, devido ao clima predominantemente quente (SILVEIRA; REIS, 2021).

Dentre os fatores que influenciam os solos que apresentam potencial de colapso, a estrutura, a granulometria e o grau de saturação possuem forte relação com a ocorrência de colapsividade (FERREIRA, 2005).

De acordo com Ferreira e Vilar (2015), estudos no Brasil abordando solos colapsáveis teve início na década 70, com as construções de barragens Centro-Sul e os seus constantes problemas relacionados às fundações, bem como devido incidentes em edifícios no Sudeste e em municípios no semiárido. Para Rodrigues e Lollo (2008), os solos colapsáveis ocupam grandes áreas em todas as regiões do país.

Assim, é evidente a importância de identificar e analisar a produção científica sobre solos colapsáveis em solos no Brasil, tendo em vista os transtornos causados com o fenômeno do potencial de colapso. Dessa forma, a análise bibliométrica é uma ferramenta estatística que permite mapear e criar diferentes indicadores científicos, tecnológicos, e de produtividade, de uma determinada comunidade científica ou país (GUEDES; BORSCHIVER, 2005).

Nesse contexto, uma revisão da literatura sobre uma temática pouco estudada é indispensável para definir o problema e identificar as tendências e as lacunas na área. Portanto, o objetivo deste trabalho é compreender o estado da atual da produção científica associada às pesquisas sobre o fenômeno da colapsividade de solos no Brasil, através de indicadores bibliométricos.

## 2 METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como descritiva com enfoque quantitativo através de indicadores bibliométricos considerando aspectos quantitativos da produção científica. Assim, a investigação foi dividida em duas fases: (1) Coleta de dados e (2) Análise bibliométrica (Figura 1).

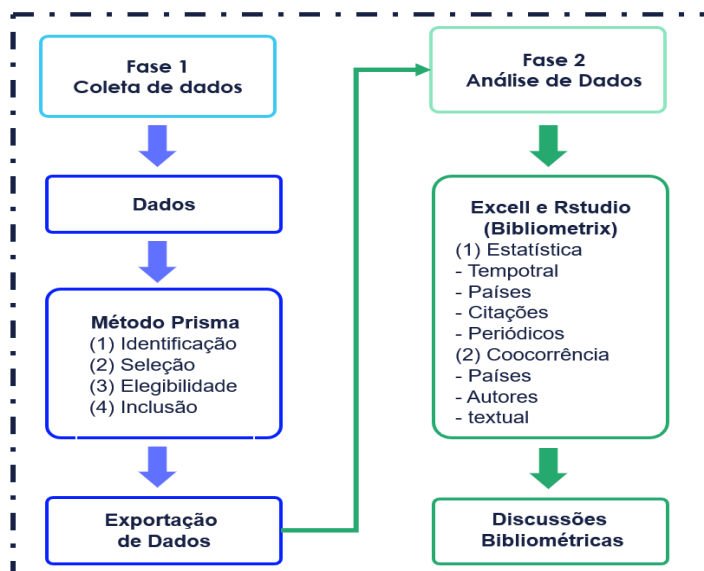


Figura 1. Fases da análise bibliométrica

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Análise PRISMA dos dados científicos coletados

A análise dos resultados da busca de dados através da recomendação PRISMA, cujo o objetivo é ajudar os autores a melhorarem o relato de revisões sistemáticas e meta-análises, se deu em quatro etapas (Figura 2). Na primeira etapa, identificação, buscou-se simultaneamente através das palavras-chave selecionadas, resultando na localização de 57 publicações. Já na segunda etapa, seleção, foram aplicados critérios de exclusão na amostra inicial através de filtros, com isso, a amostra foi reduzida para 46 artigos científicos. Posteriormente, na terceira etapa, elegibilidade, foram realizadas as leituras dos títulos e dos resumos dos artigos selecionados na etapa anterior, resultando na inelegibilidade de 12 artigos científicos, porque não tratavam das questões investigadas nesse estudo. Assim, prosseguiu-se com uma amostra de 34 artigos. Por fim, na quarta etapa, inclusão, foram lidos os artigos na íntegra, culminando na retirada de mais 9 artigos, pois não estavam dentro do foco dessa pesquisa. Logo, incluiu-se 25 artigos científicos para análise da produção científica, exportando os dados bibliométricos desses artigos.



Figura 2. Recomendação PRISMA

A diferença entre o número de documento localizados entre a fase de identificação até a fase inclusão aponta a relevância da metodologia inicial para análise de indicadores bibliométricos, pois permite uma sistematização que minimiza o surgimento de vieses na produção de revisões de literatura. Além disso, o método PRISMA permite maior velocidade na leitura, na análise e no processamento das informações existentes e da investigação do estado da arte dos trabalhos relacionados (PACHECO et al., 2018).

#### 3.2 Análise da Evolução Temporal das Publicações

Ao analisar a evolução da quantidade de publicações ao longo dos anos, sem intervalo temporal, observou-se uma estabilidade e crescimento tímido no decorrer dos anos, com aumento significativo no número de publicações partir de 2011 (Figura 3). Assim, pode-se afirmar que essa área de estudo se encontra em evidência nos últimos anos, sendo objeto de estudo de pesquisadores devido à possibilidade de descobertas científicas que contribuam para soluções para mitigar possíveis patologias em obras civis oriundas do fenômeno da colapsividade. Ainda, verificou-se uma queda no número de publicações nos últimos anos analisados, 2017 a 2021. Contudo, acredita-se que isso não representa uma redução do interesse no tema estudado, de modo que

ainda sim houve uma acentuação do crescimento linear correspondente ao número acumulado de artigos publicados sobre a temática estudada.

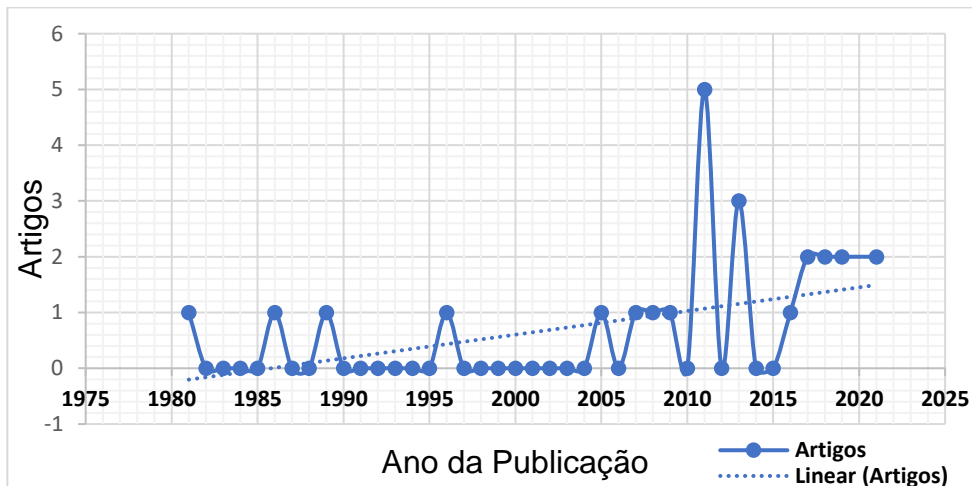


Figura 3. Número de publicações partir de 2011

### 3.3 Análise da Distribuição das Publicações

Considerando os autores e suas respectivas afiliações, foi observado que dos 25 artigos selecionados, as instituições afiliadas se distribuem 6 estados brasileiros, formando uma rede de colaboração entre a comunidade acadêmica, são eles: São Paulo, Rio de Janeiro, Pernambuco, Ceará, Distrito Federal, Paraná e Espírito Santo (Figura 4). Os resultados obtidos se mostram coerente com a ocorrência deste tipo de solo no Brasil, no qual, de acordo com o trabalho de Ferreira (2005), sua ocorrência concentra-se nas regiões Centro-Sul e Nordeste do país.

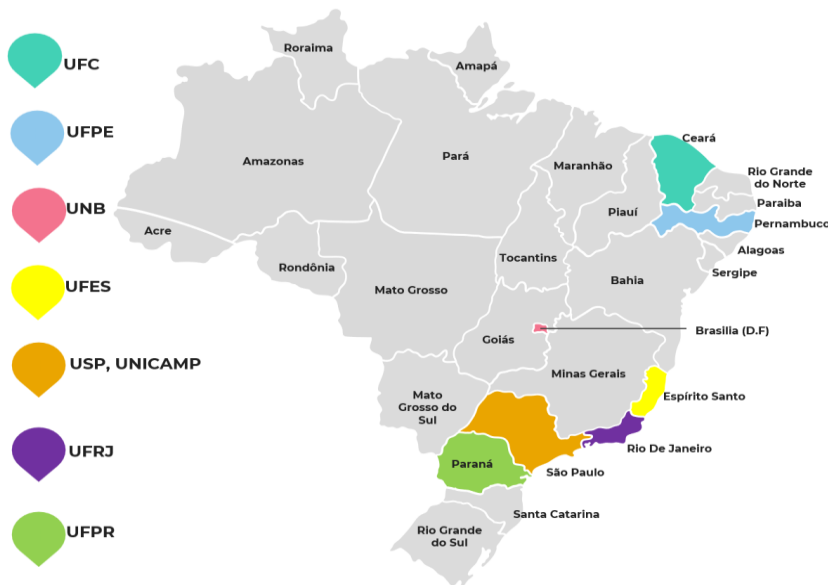


Figura 4. Rede de colaboração

Observou-se que das afiliações dos autores correspondentes, 4 instituições que possuem 3 ou mais publicações são elas: Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal de Pernambuco e Universidade Federal do Rio de Janeiro (Tabela 1). A relação entre a distribuição das instituições e os locais de estudo sugere um interesse regional pelo assunto, principalmente, nas regiões do Centro-sul (interior de São Paulo e Paraná), Nordeste e grande parte do Sudeste, onde existe o maior número

de estudos de caso com ocorrência de solos colapsíveis, sendo estes representados por aterros pouco compactados e depósitos aluviais, coluviais e residuais (FERREIRA, 2005, BANDEIRA; SOUZA NETO; ROLIM, 2017).

Tabela 1. Afiliações dos autores correspondentes

Localidade	Afiliação	Artigos
São Paulo	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO	6
Pernambuco	UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	5
São Paulo	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS	4
Rio de Janeiro	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO	3
Distrito Federal	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	2
Ceará	UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ	2
São Paulo	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO	1
Paraná	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ	1
Espírito Santo	UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO	1

Dessa forma, mesmo com a presença de solos colapsíveis mais frequente em regiões mais quentes, a pesquisa aponta estudos sobre a existência destes solos em vários estados brasileiros com climas diversos. Para Rodrigues e Lollo (2008), estes solos ocupam áreas em todas as regiões do país. Portanto, pode se afirmar que regiões com climas quentes e áridos, embora predominantes, não são condições essenciais para o desenvolvimento de solos colapsíveis.

Ainda considerando a rede de colaboração entre as instituições, apesar do estudo ter analisado a produção científica brasileira, alguns trabalhos foram publicados em outros países como Canadá, Estados Unidos e França (Figura 4). Esse interesse da comunidade científica estrangeira em publicar em seus periódicos estudos de caso de solos colapsíveis no Brasil confirmam o histórico de pioneirismo em pesquisas sobre o fenômeno da colapsividade em países como a França, Estados Unidos e Canadá.

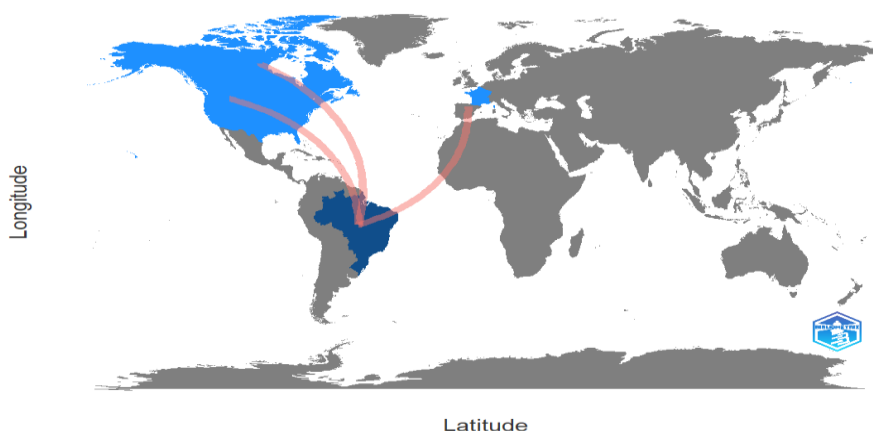


Figura 4. Rede de colaboração entre as instituições

### 3.4 Evolução Temática da Frequência das Palavras

Através da frequência de repetição das palavras dos documentos analisados foi gerada a rede de concorrência e nuvem de palavras dos termos predominantes das palavras-chave de forma ordenada (Figuras 5a e 5b). Nesta perspectiva, os termos que apresentaram maior ênfase nesta análise textual destacam-se apresentando maior tamanho. Além das palavras-chave utilizadas na busca de dados, a maioria dos termos dos documentos se concentraram em palavras relacionadas ao contexto, tipologia e métodos de estudo, sendo as principais: Solos Lateríticos, Ensaio Odométrico, Solos não Saturados, e Fundações.





Figura 5. (a) Mapa de concorrência das palavras-chave, (b) Nuvem de palavras

Em relação à análise da frequência tanto da rede por concorrência, como da nuvem de palavras observou-se uma sinergia entre as palavras mais frequentes com os principais tipos de solos e métodos aplicados, como por exemplo a ocorrência frequente do termo solo laterítico, que é oriundo de regiões tropicais úmidas, com solos superficiais e bem drenados, que devido ao intemperismo, sofre alteração na camada mais superior. Estes têm sua fração argila constituída majoritariamente de minerais do grupo da caolinita e óxidos hidratados de alumínio e ferro, e esses componentes são agrupados formando estruturas peculiares, que são porosas, agregadas e metaestáveis. Segundo Ferreira e Lacerda (1993), esclarecem que o fenômeno da colapsividade se desenvolve em solos constituídos por estruturas porosas, metaestáveis, com grãos de areia interpoladas com argila ou agentes cimentantes.

Observa-se grande ocorrência de solos lateríticos em grande parte da extensão territorial do Brasil e em todo mundo. Em decorrência deste fato, a contribuição dessa palavra-chave nos trabalhos foi bastante expressiva e esse fato afirma a relevância deste tipo de solo, quando se trata de estudos sobre o fenômeno da colapsividade em solos de regiões de clima tropical.

Outra palavra bastante frequente foi "ensaio edométrico". Foi através desse tipo de teste que o fenômeno de colapsibilidade foi inicialmente estudado, a partir dos trabalhos clássicos de Jennings e Knight (1957), e posteriormente por Ferreira e Lacerda (1993). De acordo com Lacerda et al. (1997), alguns inconvenientes foram observados em ensaios laboratoriais, e por esta razão vêm sendo utilizados ensaios de campo para avaliar as deformações ocorridas em decorrência às mudanças no teor de umidade.

Observou-se que o termo solos não saturados também foi muito usual nas pesquisas, devido ao fato que colapsibilidade se torna um dos principais problemas para estes tipos de solo, sendo o uso dessa palavra mencionada diversas vezes ao longo desta pesquisa. Jennings e Knight (1957) adotaram uma técnica especial de adensamento, no qual utilizada para previsão de colapso em solos não saturados.

Foi verificado que o termo fundações, possuía interligação com muitos vocábulos que tiveram maiores repetições, demonstrando que muitas pesquisas que versam sobre solos colapsíveis estão cada vez mais, incorporadas ao cotidiano da Engenharia de Fundações. Sabe-se que os solos colapsíveis podem apresentar recalques, e estes podem causar danos as estruturas e fundações neles apoiadas. De acordo com Cintra (1998), estruturas edificadas em solo problemáticos (colapsíveis e expansivos) podem ser danificadas devido a possíveis recalques diferenciais em suas fundações, por colapso do solo, quando há um aumento relevante no teor de umidade.

## 4 CONCLUSÕES

A pesquisa proporcionou observar o cenário das produções científicas ao longo dos anos sobre solos colapsíveis no Brasil, baseando-se por análises de indicadores bibliométricos. Os 25 artigos analisados indicaram que os avanços nos estudos da colapsibilidade dos solos são mais recentes, e portanto ainda em crescimento gradual, encontrando-se no entanto referências já clássicas e da literatura nacional.

As principais filiações dos respectivos autores indicam que estudos sobre a temática de colapsibilidade acompanham os locais de ocorrência. Foi observado também que dos artigos selecionados, as instituições afiliadas se distribuem em 6 estados brasileiros, sendo as instituições que mais contribuíram, foram, respectivamente: Universidade de São Paulo, Universidade Estadual de Campinas, Universidade Federal de Pernambuco e Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Ainda, em termos de área de pesquisa, na análise da frequência de palavras-chave, através da rede por coocorrência e nuvem de palavras observou-se uma sinergia entre as palavras mais frequentes com os principais tipos de solos e métodos aplicados, como por exemplo a ocorrência frequente do termo solos lateríticos, ensaios edométricos, solos não saturados e estudo sobre patologias em fundações de obras de engenharia em decorrência de colapsibilidade dos solos. Dessa forma, os termos mais frequentes analisados nas palavras-chave se concentraram em palavras relacionadas ao tema e ao contexto do estudo.

Embora o escopo do estudo seja delimitado à produção científica nacional, foi possível observar que os autores salientam que estes tipos de solos podem ocorrer no mundo todo, apesar deste fenômeno ser mais frequente em regiões tropicais úmidas. A limitação dessa pesquisa às produções brasileiras, sugeriu também que a temática possui um significativo potencial de pesquisa, devido à possibilidade de descobertas de novos locais de ocorrências, bem como novas técnicas científicas que contribuam para resolução de problemas em obras de engenharia localizadas em regiões de ocorrência destes tipos de solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANDEIRA, A. P. N.; SOUZA NETO, J. B.; ROLIM, J. I. D. RECALQUE POR COLAPSO DO SOLO E SUAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS. In: *XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas*, p. 303-318. Crato, Brasil. 2017.

CINTRA, J. C. A. Fundações em solos colapsíveis. São Carlos: Serviço Gráfico da EESC/USP. Acesso em: 21 jun. 2024. , 1998.

DE PAULA, R. S. P.; SHIMODA, E.; BATISTA, F. B.; SANTOS JÚNIOR, P. J. INDICADORES BIBLIOMÉTRICOS NA BASE SCOPUS: UMA ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES SOBRE O TEMA “ECONOMIA AMBIENTAL”. *Brazilian Journal of Development*, 3, 350-365. 2017.

FERREIRA, S. R. M.; LACERDA, W. A. Variação de volume em solo colapsível medidas através de ensaios de campo e de laboratório. *Revista Solos e Rochas*, São Paulo, v. 16, n. 4, p.245-253, 1993.

FERREIRA, S. R. M. SOLOS COLAPSÍVEIS DO NORDESTE. *Geotecnia do Nordeste*, Editora Universitária UFPE, p. 363-395. 2005.

FERREIRA, S. R. M.; TEIXEIRA, D. C. L. SOLO COLAPSÍVEL - UM CASO PRÁTICO EM CONSTRUÇÃO (PERNAMBUCO, BRASIL). *12º Congresso Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, Rio de Janeiro, v. 1, p 603-606. 1990.

FERREIRA, S. R. M.; LACERDA, W. A. MEDIDAS DE MUDANÇA DE VOLUME EM SOLO COLAPSÍVEL POR LABORATÓRIO E TESTE DE CAMPO. *Primeira Conferência Internacional sobre Solos Insaturados*, 2, pp. 847-854. 1995.

FERREIRA, S. R. M.; FUCALE, S. P. AVALIAÇÃO DA COLAPSIBILIDADE DE SOLOS DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO, BRASIL. *Caracterização Geotécnica e Geofísica de Sítios 4 - Anais da 4ª Conferência Internacional de Caracterização de Sítios 4, ISC-4*, v. 2, pp. 1833-1838. 2013.

GUEDES, V. L. S.; BORSCHIVER, S. BIBLIOMETRIA: UMA FERRAMENTA ESTATÍSTICA PARA A GESTÃO DA INFORMAÇÃO E DO CONHECIMENTO, EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, DE COMUNICAÇÃO E DE AVALIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA. In: *Proceedings CIFORM - Encontro Nacional de Ciência da Informação*, 6, Salvador - Bahia, 2005.

GUEDES, F. L.; EL-DEIR, S. G.; ARAGÃO JÚNIOR, W. R.; JUCA, J. F. T. ANALYSIS OF SCIENTIFIC PRODUCTION OF REFINED DERIVED FUEL THROUGH SCIENTOMETRIC AND BIBLIOMETRIC INDICATORS. *Journal of Environmental Analysis and Progress*. v.7, N.2, p 52-61. 2022.

HOLANDA, M. J. O.; FERREIRA, S. R. N.; AMORIM, S. F.; BORGES, J. J. S.; SILVA, L. F. IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS EXPANSIVOS E COLAPSÍVEIS NO NORDESTE BRASILEIRO A PARTIR DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS GERADAS EM PERNAMBUCO. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 15, 2021.

JENNINGS, J. E.; KNIGHT, K. A GUIDE TO CONSTRUCTION ON OR WITH MATERIALS EXHIBITING ADDITIONAL SETTLEMENT DUE TO A COLLAPSE OF GRAIN STRUCTURE. *Proced. IV Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Durban, 1975.

PACHECO R. L.; SILVA L. D. G.M. DA; MELO S. M. M. DE; RIERA R. Guidelines para publicação de estudos científicos. Parte 4: Como publicar revisões sistemáticas. *Diagn. tratamento*. 2018.

RODRIGUES, R. A.; LOLLO, J. A. CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS COLAPSÍVEIS. In: Lollo, J.A. (org), *Solos colapsíveis: identificação, comportamento, impactos, riscos e soluções tecnológicas*, p. 59-72. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2008.

SILVEIRA, P. E. M.; REIS, F. A. G. PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO DE SOLOS COLAPSÍVEIS POR MEIO DE CORRELAÇÃO ENTRE ENSAIOS EDOMÉTRICOS E ENSAIOS SPT. *Revista Geociências*, São Paulo, UNESP, v. 40, n. 3, p. 651 - 660, 2021.