

Engenharia geológica e desenvolvimento sustentável

Geological engineering and sustainable development

Ingeniería geológica y desarrollo sostenible

DOI: 10.54033/cadpedv21n5-164

Originals received: 04/19/2024

Acceptance for publication: 05/10/2024

Aristote Muxinda Panda

Mestre em Engenharia Geológica
Instituição: Universidade Nova de Lisboa
Endereço: Lisboa, Portugal
E-mail: a.panda@fct.unl.pt

Bernardo Hamuyela Luciano

Doutorando em Engenharia e Tecnologia Ambiental
Instituição: Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Endereço: Palotina, Paraná, Brasil
E-mail: benyluciano@gmail.com

Isoldina Ngueve Chindemba Capingana

Mestranda em Enfermagem
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Endereço: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
E-mail: isaldinacapingana.ao@gmail.com

Monis Neves Baptista Manuel

Doutorando em Engenharia Química
Instituição: Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Endereço: Curitiba, Paraná, Brasil
E-mail: monismanuel94@gmail.com

Vitória Carolini Gomes

Mestranda em Enfermagem
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Endereço: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
E-mail: envvitoriagomes@gmail.com

Leticia Bisterço Bertonccini

Mestranda em Enfermagem
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Endereço: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
E-mail: leticiabertonccini@gmail.com

Augusto Panzo Cambunda

Doutorando em Engenharia Química
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Endereço: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
E-mail: apanzoc096@gmail.com

Enair Cândida Cardoso da Costa

Mestranda em Engenharia e Tecnologia Ambiental
Instituição: Universidade Federal do Paraná (UFPR)
Endereço: Palotina, Paraná, Brasil
E-mail: enaircosta678@gmail.com

Albano Nuno Severino Catumbela

Graduado em Ciências da Computação
Instituição: Universidade Katyavala Bwila
Endereço: Benguela, Angola
E-mail: albanocatumbela10@gmail.com

Manuel Fernando Calenga Hanga

Graduando em Engenharia Química
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Endereço: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
E-mail: manuelhanga02@gmail.com

Emiliano Sambo Wliachaye dos Santos César

Graduando em Engenharia Química
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Endereço: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
E-mail: cesaremiliano41@gmail.com

RESUMO

A Engenharia Geológica encerra em si um conjunto de conhecimentos e aplicações que a tornam essencial na prossecução dos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) traçados pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015. Este estudo propõe-se indicar alguns desses potenciais intervenções, fazendo uma atualização dos contributos a elas associados, bem como a apresentação de alguns estudos recentes, internacionais e nacionais, que os ilustram, a fim de destacar o papel que a Engenharia Geológica tem e deve desempenhar no futuro imediato e a médio prazo para um planeta mais sustentável. Trata-se de um estudo de natureza exploratória e descritiva envolvendo revisão bibliográfica por meio da literatura científica, periódicos, livros, artigos, dissertações e teses que relataram dados relacionados ao tema da pesquisa. Apresentam-se algumas intervenções no âmbito dos ODS das ONU, tais como identificar e recomendar sobre potenciais fontes de energia e matérias-primas, a contribuição para a extração e proteção responsável de georrecursos, passando pelo apoio às fases de projeto e a construção de infraestruturas/estruturas e na seleção das soluções de projeto que contribuam

para uma engenharia mais verde, nomeadamente através do recurso de soluções da bioengenharia ou da reutilização/reciclagem de resíduos de construção. Foi possível concluir com este estudo, que a Engenharia Geológica desempenha um papel crucial na concretização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Contribuindo, com a gestão de riscos geológicos e soluções sustentáveis. A adaptação às alterações climáticas e preservação ambiental destaca a importância da colaboração interdisciplinar e o conhecimento geológico para enfrentar os desafios ambientais e do desenvolvimento.

Palavras-chave: Engenharia Geológica. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Engenharia Verde. Perigos Geológicos.

ABSTRACT

Geological Engineering encompasses a range of knowledge and applications that make it essential in the pursuit of the Sustainable Development Goals (SDGs) set out by the United Nations (UN) in 2015. This study aims to point out some of these potential interventions, updating the contributions associated with them, as well as presenting some recent international and national studies that illustrate them, in order to highlight the role that Geological Engineering has and must play in the immediate and medium-term future for a more sustainable planet. This is an exploratory and descriptive study involving a bibliographical review of scientific literature, journals, books, articles, dissertations and theses that have reported data related to the research topic. Some interventions within the scope of the UN SDGs are presented, such as identifying and recommending potential sources of energy and raw materials, contributing to the responsible extraction and protection of geo-resources, supporting the design and construction phases of infrastructures and selecting design solutions that contribute to greener engineering, namely through the use of bioengineering solutions or the reuse/recycling of construction waste. It was possible to conclude from this study that Geological Engineering plays a crucial role in realising the UN's Sustainable Development Goals (SDGs). Contributing to geological risk management and sustainable solutions. Adapting to climate change and preserving the environment highlights the importance of interdisciplinary collaboration and geological knowledge in tackling environmental and development challenges.

Keywords: Geological Engineering. Sustainable Development Goals. Green Engineering. Geological Hazards.

RESUMEN

La Ingeniería Geológica engloba una serie de conocimientos y aplicaciones que la hacen esencial en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en 2015. Este estudio pretende señalar algunas de estas potenciales intervenciones, actualizando las aportaciones asociadas a las mismas, así como presentar algunos estudios internacionales y nacionales recientes que las ilustran, con el fin de destacar el papel que la Ingeniería Geológica tiene y debe desempeñar en

el futuro inmediato y a medio plazo para un planeta más sostenible. Se trata de un estudio exploratorio y descriptivo que incluye una revisión bibliográfica de la literatura científica, revistas, libros, artículos, disertaciones y tesis que han reportado datos relacionados con el tema de investigación. Se presentan algunas intervenciones en el ámbito de los ODS de la ONU, como la identificación y recomendación de fuentes potenciales de energía y materias primas, la contribución a la extracción responsable y la protección de los georrecursos, el apoyo a las fases de diseño y construcción de infraestructuras y la selección de soluciones de diseño que contribuyan a una ingeniería más ecológica, concretamente mediante el uso de soluciones de bioingeniería o la reutilización/reciclaje de residuos de la construcción. De este estudio se desprende que la ingeniería geológica desempeña un papel crucial en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Contribuir a la gestión de los riesgos geológicos y a las soluciones sostenibles. La adaptación al cambio climático y la preservación del medio ambiente ponen de relieve la importancia de la colaboración interdisciplinar y de los conocimientos geológicos para afrontar los retos medioambientales y de desarrollo.

Palabras clave: Ingeniería Geológica. Objetivos de Desarrollo Sostenible. Ingeniería Verde. Riesgos Geológicos.

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Geológica (EG) envolve a geologia, a geografia e domínios como a engenharia civil e a exploração mineira. As áreas de especialidade incluem estudos geotécnicos da estabilidade dos taludes rochosos e de solos para projetos; estudos geoambientais e planeamento da construção; estudos de águas subterrâneas; investigações dos perigos geológicos e geotécnicos; e pesquisa e exploração de georrecursos (Educatingengineers, 2023).

O desenvolvimento sustentável é o desafio de satisfazer as necessidades humanas em termos de recursos naturais, produtos industriais, energia, alimentos, transportes, abrigos e gestão eficaz dos resíduos, conservando e protegendo simultaneamente a qualidade ambiental e a base de recursos naturais essencial para o desenvolvimento futuro (Boar *et al.*, 2023).

De acordo com o relatório da Comissão Mundial para o Ambiente e Desenvolvimento (Gill e Smith 2021) desenvolvimento sustentável é satisfazer

as necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem as suas.

A EG desempenha um papel fundamental no desenvolvimento sustentável, uma vez que auxilia na avaliação da contaminação dos terrenos e recuperação de áreas degradadas, na avaliação e gestão dos riscos, no tratamento/valorização de resíduos resultante das extrações mineiras ou da construção civil e na luta contra a escassez de recursos geológicos (Deveci *et al.*, 2022). Desempenha ainda um papel essencial na investigação geotécnica para projetos de engenharia civil ou mineira, na modelação da estabilidade de taludes, na caracterização geomecânica de maciços terrosos/rochosos e na escavação de maciços rochosos (Jia *et al.*, 2023).

A EG também contribui para a caracterização dos terrenos, no reconhecimento e no desenvolvimento dos modelos matemáticos relativos a recursos geológicos, no projeto de futuras extrações, e caracteriza as massas e os depósitos minerais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das comunidades (Liu *et al.*, 2023).

Este estudo propõe-se indicar alguns potenciais intervenções da engenharia geológica para o desenvolvimento sustentável, fazendo uma atualização dos contributos a elas associados, bem como a apresentação de alguns estudos recentes, internacionais e nacionais, que os ilustram, a fim de destacar o papel que a Engenharia Geológica tem e deve desempenhar no futuro imediato e a médio prazo para um planeta mais sustentável.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O processo metodológico da pesquisa é um conjunto de etapas organizadas para chegar à uma determinada conclusão, usando métodos em forma de passos para facilitar a realização da pesquisa e permitir o alcance do objetivo do estudo. (Aragão; Neta, 2017; Luciano, 2024).

Trata-se de um estudo de natureza exploratória e descritiva envolvendo revisão bibliográfica por meio da literatura científica, periódicos, livros, artigos, dissertações e teses que relataram dados relacionados ao tema da pesquisa.

Esta revisão selecionou diversos artigos acadêmicos e políticas governamentais publicados nos últimos 10 anos, bem como livros acadêmicos sobre o assunto nos sites: “Google Scholar, Scopus Elsevier, SciELO, Latindex, ESJI, ERIHPLUS”, utilizando as seguintes palavras-chave: Engenharia Geológica, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, Engenharia verde, Perigos geológicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Engenharia Geológica (EG) como umas das engenharias que envolve as Ciência da Terra, integra conhecimentos da engenharia civil, mineira, geoambiental e outras engenharias, desempenha um papel fundamental para auxiliar na concretização dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pelas Nações Unidas em 2015, que inclui a erradicação da pobreza e da fome, a promoção de uma boa saúde e bem estar, uma educação de qualidade, a igualdade do gênero, a distribuição e proteção da água potável e a acessibilidade a saneamento, ao fornecimento de energia limpa acessível a todos, ao trabalho decente e crescimento económico, à indústria renovadora e infraestrutura, redução das desigualdades, criação de cidades e comunidades sustentáveis, ao consumo e produção responsáveis, à ação climática, à vida debaixo de água, à vida na Terra, à paz e justiça e à promoção de instituições eficazes.

3.1 INTERVENÇÕES E PAPEL DA EG NOS ODS

A Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) definiu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS-Figura1), que são um plano de ação vigente para o mundo de 2015 a 2030 e que devem ser também incorporados nas políticas e planos de cada Estado Membro da ONU (ONU, 2015).

Figura 1 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas



Fonte: Nações Unidas 2022.

A Engenharia Geológica exerce um papel fundamental na concretização de 16 dos 17 ODS - Tabela 1. O 17º ODS visa concretizar os outros 16, trabalhando em conjunto para a sua obtenção. A Tabela 1 demonstra como a Engenharia Geológica pode contribuir para o alcançar dos outros ODS. Por exemplo, ao ser aplicada à agricultura, contribuindo na utilização de recursos minerais e rochosos para melhorar os solos (Lagesse *et al.*, 2022).

Tabela 1 - Os ODS e Contributo Da Engenharia Geológica para o Desenvolvimento Sustentável

ODS nº	Nome	Objetivo	Papel da EG
9	Indústria, inovação e infraestrutura	Construir infraestrutura resilientes, promover a industrialização sustentável	A EG contribui para o projeto geotécnico e construção das infraestruturas rodovias e ferroviárias, bem como barragens ou túneis.
10	Redução das desigualdades	Reduzir a desigualdade dentro dos países	A EG contribui para a redistribuição dos recursos, tributação e preços progressivos.
11	Cidades e comunidades sustentáveis	Tornar as cidades e os aglomerados de casas seguros, resilientes e sustentáveis	Considerações geotécnicas contribuem para o planeamento sustentável do crescimento das cidades, no conhecimento das condições do subsolo e dos aquíferos subterrâneos; estudo dos registos geológicos nos terrenos para compreender as mudanças climáticas passadas e aplicar este conhecimento no futuro, bem como na avaliação dos perigos geológicos.
12	Consumo e produção responsáveis	Assegurar padrões de produção e de consumo responsáveis	Engenharia geológica apoia a gestão responsável de recursos minerais, avaliando a sua disponibilidade e a sua extração responsável, redução dos impactos ambientais e a reciclagem de resíduos.
13	Ação climática	Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e dos seus impactos	Estudos da EG ajudam a entender e mitigar o impacto dos processos geológicos, incluindo deslizamentos de terra, erosão e outros riscos exacerbados pelas

			mudanças climáticas, bem como na captura e armazenamento de carbono em reservatórios rochosos subterrâneos.
14	Vida debaixo da água	Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos	Estudo das taxas e causas da erosão costeira, extração sustentável de minerais no fundo do mar e gestão de áreas marinhas protegidas
15	Vida na terra	Proteger, recuperar e promover uso sustentável dos ecossistemas terrestres	A Engenharia Geológica contribui para a conservação e uso sustentável de ecossistemas terrestres, avaliando e gerindo as características geológicas e recursos naturais.
16	Paz, justiça e instituições eficazes	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável	Promoção da paz através da colaboração para investigação das características geológicas e dos recursos transfronteiriços, como aquíferos, rios e depósitos minerais, e sua extração responsável.
17	Parcerias para os Objetivos		A colaboração com outros técnicos, decisores políticos e comunidades é essencial para alcançar os ODS. A EG fornece informações críticas para parcerias interdisciplinares.

Fonte: O autor adaptado de Gill, 2017; GSL, 2020; Gill & Smith, 2021.

O último objetivo visa concretizar os 16 objetivos mencionados. Através das suas subdisciplinas auxiliares, a EG ajuda na utilização responsável dos recursos geológicos, à melhoria da atividade agricultura e da fertilidade dos solos, evita a degradação e melhora também estruturas ou perfis dos terrenos. A EG promove ainda a ajuda na promoção de ambientes saudáveis por intermédio do domínio e do estudo dos movimentos de poluentes no ambiente, em particular no solo e subsolo.

A Engenharia Geológica desempenha um papel integrado na promoção do desenvolvimento sustentável em áreas urbanas, garantindo que o crescimento e a infraestrutura sejam planeados e construídos levando em consideração as características geológicas do local, a segurança da comunidade e a preservação dos recursos naturais. Para o efeito recorre a método de prospecção geofísica e mecânica e à elaboração de cartas geotécnicas. Ao integrar dados geotécnicos com informações geológicas, a cartografia geotécnica fornece uma base sólida, numa escala grande, para as decisões de engenharia, contribuindo para a segurança, estabilidade e sustentabilidade das áreas urbanas (Goes, 2002).

No desenvolvimento de tecnologias limpas e sustentáveis a EG contribui, promovendo o uso de recursos geológicos renováveis, como energia

geotérmica, das marés (Pombo *et al.*, 2018) e solar, e desenvolvendo técnicas de monitorização e gestão ambiental para minimizar os impactos negativos da exploração de recursos naturais (Silva, 2020).

Os estudos Geológicos e hidrogeológicos auxiliam no conhecimento e gestão sustentável dos recursos em águas subterrâneas, avaliam, monitorizam e remedeiam as contaminações, incluindo a compreensão das origens, transporte e destino dos poluentes (Fordyce and Campbell, 2019).

A EG desempenha também um papel na preservação e remediação dos ecossistemas poluídos, por meio de uma série de ações e intervenções na área da engenharia geoambiental, avaliando os perigos geológicos, que permite identificar ameaças naturais aos ecossistemas, enquanto a remediação ambiental busca reverter danos causados pelas atividades humanas, assegurando condições mínimas de uso do solo (Magnusson *et al.*, 2013). Em algumas situações, será necessário repor as condições originais preexistentes (restauração ambiental), noutras reverter as condições de modo a permitir novos usos do solo (reabilitação ambiental).

3.2 PAPEL DA ENGENHARIA GEOLÓGICA NA RESOLUÇÃO DOS PROBLEMAS DO SÉCULO XXI

Existem muitos desafios na Terra que envolvem soluções para as quais o engenheiro geólogo pode ter um contributo relevante. A EG, através da geotecnia ou da engenharia geoambiental, pode contribuir para a resolução de alguns dos desafios mais prementes da atualidade: estes incluem as alterações climáticas, a sustentabilidade urbana e a resiliência, a gestão dos recursos energéticos e materiais, a gestão dos recursos hídricos e a ocupação de terrenos problemáticos (Culligan *et al.*, 2019). Aqueles engenheiros, através das suas competências e sob a sua liderança, devem contribuir para os projetos interdisciplinares de investigação e desenvolvimento que são relevantes para garantir um futuro mais sustentável, para além de promoverem a investigação fundamental.

As tendências, a longo prazo, para a subida do nível médio do mar (e acréscimo na erosão costeira que lhe está associada), o contínuo degelo dos glaciares e os fenómenos meteorológicos regionais, tais como tempestades tropicais mais intensas, fenómenos de precipitação extrema, ciclos de seca mais longos, entre outros, podem ser atribuídos ao aquecimento global da atmosfera e dos oceanos (Culligan *et al.*, 2019). Para atenuar os impactos das alterações climáticas nas comunidades (incluindo a saúde e a segurança públicas, os recursos hídricos e a segurança alimentar) e nos ecossistemas, são utilizadas várias políticas e iniciativas para abordar a adaptação às alterações climáticas. Estas políticas variam em função da geografia, da situação económica e da necessidade (Klein *et al.*, 2005). Alguns dos efeitos mais dramáticos das alterações climáticas encontram-se nas regiões árticas, pouco povoadas, e apresentam o dilema de equilibrar as oportunidades económicas com a proteção/preservação do ambiente. A EG pode contribuir em várias áreas prementes neste domínio, incluindo:

Adaptação ao excesso de água: Os engenheiros geólogos têm um papel essencial no avanço de novas soluções para a adaptação às alterações climáticas, especialmente na mitigação dos riscos associados às cheias (costeiras, águas superficiais) e à instabilidade dos taludes e encostas, garantindo um abastecimento de água fiável e tornando as infraestruturas mais resistentes (Cygan *et al.*, 2004).

Adaptação à mudança no Ártico: As regiões do Ártico têm vindo a sentir os efeitos transformadores das alterações climáticas desde há várias décadas. Os engenheiros geólogos têm um papel essencial nas soluções que permitem o desenvolvimento do Ártico, proteção do ambiente e da garantia da integridade em caso de sismos (Schuur *et al.*, 2015). As alterações climáticas previstas para o futuro constituem oportunidades económicas importantes, principalmente devido à redução do gelo marinho, que permitirá novas rotas marítimas transárticas e o acesso a reservas de georrecursos no subsolo do Oceano Ártico. A EG contribui também para a compreensão da dinâmica do carbono e das taxas de emissão de gases do degelo (em diversos sedimentos terrestres, costeiros e submarinos), e para o desenvolvimento de novos métodos de estabilização ou fixação do carbono orgânico *in situ* (Vonk *et al.*, 2012).

3.3 IMPORTÂNCIA DA ENGENHARIA GEOLÓGICA NA ENGENHARIA CIVIL

Engenharia Geológica proporciona o acompanhamento das intervenções da engenharia civil, que é um dos ramos essenciais das engenharias para a

sustentabilidade das sociedades no que refere às construções de infraestruturas (ferrovias, rodovias, portos, canais, entre outros) ou de estruturas, tais como barragens, túneis, pontes, reservatórios e outros projetos de engenharia. Também no que diz respeito aos materiais de construção, todos provêm direta ou indiretamente das rochas, exceto os materiais do sistema vegetal. Para obter estes materiais de construção e outros materiais utilizados no mundo, é necessário extraí-los das rochas, por vezes a grandes profundidades (Waltham, 2002). Entretanto, o grande desafio atual é o de maximizar a reciclagem de resíduos não tóxicos nas construções, assegurando a qualidade e segurança das mesmas, evitando assim a extração de recursos naturais.

Compreender a EG é essencial para identificar potenciais problemas geológicos de um projeto e encontrar soluções adequadas e eficientes. O progresso de um país depende em grande medida do seu avanço tecnológico e da utilização eficiente dos seus recursos. A construção de numerosos projetos de engenharia exige, portanto, despesas financeiras significativas. É habitual, durante as atividades de construção, consultar engenheiros com conhecimentos geológicos suficientes para obter orientação sobre quaisquer questões geológicas no local do projeto. Isto promove a construção segura dos projetos e a economia da obra (Cejka *et al.*, 2016).

A EG ajuda uma nação a desenvolver-se, permitindo a construção de barragens cada vez mais altas, com reservatórios de grandes dimensões, túneis longos e profundos, ou ferrovias de alta velocidade e redes de autoestradas. Devido à ligação entre todas estas construções de engenharia civil e o ambiente geológico, o trabalho de EG é de muito relevante. Compreender a magnitude e o âmbito dos problemas geológicos e encontrar soluções para eles, é essencial para a eficiência e o sucesso dos empreendimentos de engenharia (Cejka *et al.*, 2016).

4 CONSIDERAÇÃO FINAIS

A é possível concluir com este estudo, que a Engenharia Geológica desempenha um papel crucial na concretização dos Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Contribuindo, para a extração responsável de recursos, através gestão de riscos geológicos e soluções sustentáveis. A integração de dados geotécnicos e geológicos na cartografia geotécnica promove a segurança, estabilidade e sustentabilidade das áreas urbanas. A adaptação às alterações climáticas e preservação ambiental destaca a importância da colaboração interdisciplinar e o conhecimento geológico para enfrentar os desafios ambientais e de desenvolvimento do atuais e do futuro.

Os engenheiros geólogos auxiliam na compreensão dos potenciais efeitos das alterações climáticas no meio geológico, ao conhecimentos dos recursos de águas subterrâneas visando um abastecimento de água e a compreensão do ciclo da água; também desempenham um papel importante na identificação, criação de sistemas de fontes de energia renováveis, no armazenamento e captura do carbono, ajudando na redução das emissões de gases com efeito estufa para atmosfera, na obtenção de matérias-primas de forma responsável para o abastecimento de energia. A Engenharia Geológica exerce um papel fundamental na construção de estruturas e infraestruturas, isto é, de barragens, pontes, estradas, túneis, ferrovias e outras infraestruturas, ajudando na promoção de sustentabilidade das nações. Ela também ajuda ao planejamento sustentável das cidades ao desenvolvimento do conhecimento das condições do terreno e dos aquíferos subterrâneos.

Os resultados desta pesquisa podem beneficiar a sociedade e a academia ao destacar a importância da Engenharia Geológica no desenvolvimento sustentável. As intervenções propostas e os estudos apresentados podem orientar práticas mais responsáveis na extração de recursos, gestão de riscos e preservação ambiental. Essas descobertas podem incentivar a colaboração interdisciplinar e promover ações para um futuro mais sustentável e seguro. Além disso, os resultados podem contribuir para a conscientização pública sobre a importância da Engenharia Geológica na preservação ambiental e na mitigação de desastres naturais.

As descobertas deste estudo, podem inspirar novas abordagens metodológicas e tecnológicas na Engenharia Geológica, estimulando a inovação

e o desenvolvimento de soluções mais eficazes e sustentáveis e enriquecendo o campo acadêmico com novos conhecimentos e perspectivas.

A pesquisa baseou-se principalmente em revisões bibliográficas, o que pode limitar a obtenção de dados atualizados e abrangentes. A falta de dados primários ou estudos de caso específicos pode restringir a profundidade da análise e das conclusões.

Nesse sentido, recomenda-se que trabalhos futuros explorem pesquisas empíricas para complementar as revisões bibliográficas e enriquecer os dados. Explorar parcerias com organizações e comunidades locais para obter insights práticos e promover a aplicação dos resultados da pesquisa. Investigar a implementação de tecnologias inovadoras e práticas sustentáveis na Engenharia Geológica para abordar desafios emergentes de forma eficaz.

REFERÊNCIAS

BOAR, A., BASTIDA, R., MARIMON, F. **Sustainable development goals and quality practices: a winning combination for customer loyalty in ride-hailing companies**. *Transportation Letters* 2023, 15:9, 1230-1241, DOI: 10.1080/19427867.2023.2233213.

CEJKA, J., KAMPF, R., BARTUSKA, L., NEMEC, F., LIZBETIN, J. Comparison of Czech and German Information Systems Used for Exploration of Geological Situation in Civil Engineering Practice. *Procedia Engineering* 2016, 161, 414-421.

CULLIGAN, P.J., WHITTLE, A.J., MITCHELL, J.K. The Role of Geotechnics in Addressing New World Problems. In: Lu, N., Mitchell, J. (eds) *Geotechnical Fundamentals for Addressing New World Challenges*. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. **Springer, Cham**. 2019 https://doi.org/10.1007/978-3-030-06249-1_1.

DEVECI, M., BRITO-PARADA, P. R., PAMUCAR, D., VAROUCHAKIS, E. A. Rough sets based Ordinal Priority Approach to evaluate sustainable development goals (SDGs) for sustainable mining. *Resources Policy*. 2022, 79 <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103049>.

FORDYCE, F.M., CAMPBELL, S.D. The geoscience context for Europe's urban sustainability – lessons from Glasgow and beyond (CUSP): Preface. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 2019, 108 (2-3), 119–122 <https://doi.org/10.1017/S1755691018000373>.

GILL, J.C., SMITH M. Geosciences and the Sustainable Development Goals. Cham, Switzerland: **Springer Nature**. 2021 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38815-7>.

GILL, J.C. 2017. **Geology and the Sustainable Development Goals. Episodes** 40: 70–76 <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2017/v40i1/017010>.

JIA, Z., YAN, C., LI, B., BAO, H., LAN, H., LIANG, Z., SHI, Y., REN, J. Performance test and effect evaluation of guar gum-stabilized loess as a sustainable slope protection material. *J. Cleaner Production*. 2023, 408, 137085. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137085>.

LIU, G., LIU, H., XIAN, B., GAO, D., WANG, X., ZHANG, Z. Fuzzy pattern recognition model of geological sweetspot for coalbed methane development. *Petroleum Exploration and Development*. 2023, 50(4), 924-933 [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(23\)60438-0](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(23)60438-0).

LAGESSE, R. H., HAMBLING, J., GILL, J. C., DOBBS, M., LIM, CH., INGVORSEN, P. The role of engineering geology in delivering the United

Nations Sustainable Development Goals. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology** 2022, 55(3) DOI: 10.1144/qjegh2021-127.

LUCIANO, B. H.; SILVA, V. L.; HANSEL, T. F.; CARVALHO, A. L. G. de; SILVA, N. E. da; MEZZOMO, A. L.; FREITAS, C. L. de; DEITOS, T.; BITTENCOURT, W. J. M.; PINTO, S. R. Environmental Auditing and its Importance for Socio-Environmental Management in Organizations. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo (SP), v. 18, n. 5, p. e05555, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n5-040. Disponível em: <https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/5555>. Acesso em: 12 apr. 2024.

LUCIANO, B. H.; CAPIGANA, I. N. C.; COSTA, E. C. C. da; MANUEL, M. N. B.; XIXI, J. G.; CHIMUCO, A. P. A.; CAMBUNDA, A. P.; NHIME, J. E. L. Qualidade da água para o abastecimento público no município do Lobito: Water quality for public supply in the municipality of Lobito. **Brazilian Journal of Business**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 321–337, 2024. DOI: 10.34140/bjbv6n1-024. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJB/article/view/68125>. Acesso em: 12 abr. 2024.

UN. **Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development: United Nations**, Geneva, 35 p. 2015^a.

UN. **The Millennium Development Goals: Report, United Nations**, Geneva, 75 p. 2015^b.

VONK, J.E., SÁNCHEZ-GARCÍA, L., VAN DONGEN, B.E., ALLING, V., KOSMACH, D., CHARKIN, A., SEMILETOV, I.P., DUDAREV, O.V., SHAKHOVA, N., ROOS, P., EGLINGTON, T.I., ANDERSSON, A., GUSTAFSSON, Ö. **Activation of old carbon by erosion of coastal and subsea permafrost in Arctic Siberia. Nature** 2012, 489, 137–140.

WALTHAM T. **Foundation of Engineering Geology**, 3rd Edition, CRC Press, London. 2002.