



## **Análise dos impactos da subsidência urbana: um estudo geoespacial nos bairros afetados pela mineração em Maceió/AL**

*Analysis of the Impacts of Urban Subsidence: A Geospatial Study in the Neighborhoods Affected by Mining in Maceió/AL*

*Análisis de los Impactos de la Subsistencia Urbana: Un Estudio Geoespacial en los Barrios Afectados por la Minería en Maceió/AL*

### **Verônica Nascimento Brito Antunes**

Professora Doutora, UFAL, Brasil.  
veronica.antunes@feac.ufal.br

### **Isabele Tenório Santos da Silva**

Geógrafa, UFAL, Brasil.  
isabele.silva@igdema.ufal.br

### **Natallya de Almeida Levino**

Professora Doutora, UFAL, Brasil.  
natallya.levino@feac.ufal.br

### **Lidiane Maria da Conceição**

Economista, UFAL, Brasil  
lidiane.conceicao@feac.ufal.br

### **Michêlda Santana da Silva**

Pesquisadora de iniciação científica, UFAL, Brasil.  
michelda.silva@feac.ufal.br



## RESUMO

Este artigo examina os aspectos teóricos e normativos relacionados à subsidência causada pela exploração de sal-gema em Maceió, AL, Brasil, destacando a responsabilidade ambiental e os princípios aplicáveis à reparação dos danos. O objetivo é analisar os impactos ambientais e socioeconômicos da subsidência e propor estratégias de recuperação. A metodologia adotada inclui a análise de uso e ocupação do solo através de imagens de satélite e ferramentas de Sistema de Informação Geoespacial (SIG), complementada por dados secundários de relatórios técnicos e laudos periciais. A originalidade do estudo reside na integração de abordagens geoespaciais com análises normativas para abordar um problema complexo de sustentabilidade urbana. Os principais resultados revelam uma significativa perda de áreas urbanizadas, de mangue e de vegetação natural, especialmente nas áreas diretamente afetadas (ADA) e de influência direta (AID). Além disso, o estudo quantifica as perdas nas áreas de mangue, cana, mosaico de usos, e restinga arbórea e avalia as consequências socioambientais resultantes, contribuindo para a literatura ao destacar a importância de abordagens integradas para a resolução de problemas complexos de sustentabilidade urbana.

**PALAVRAS-CHAVE:** Subsidência urbana. Mineração de sal-gema. Análise geoespacial

## SUMMARY

*This article examines the theoretical and normative aspects related to subsidence caused by salt mining in Maceió, AL, Brazil, highlighting environmental responsibility and principles applicable to damage repair. The objective is to analyze the environmental and socioeconomic impacts of subsidence and propose recovery strategies. The methodology includes land use and occupation analysis through satellite images and GIS tools, complemented by secondary data from technical reports and expert assessments. The study's originality lies in integrating geospatial approaches with normative analyses to address a complex urban sustainability problem. The main results reveal significant loss of urbanized areas, mangrove areas and natural vegetation, especially in the directly affected areas (ADA) and directly influenced areas (AID). Additionally, the study quantifies losses in mangrove, cane, multi-use mosaic, and arboreal restinga areas, and assesses the resulting socio-environmental consequences, contributing to the literature by highlighting the importance of integrated approaches to solving complex urban sustainability problems.*

**KEYWORDS:** Urban subsidence. Rock Salt Mining. Geospatial analysis

## RESUMEN

*Este artículo examina los aspectos teóricos y normativos relacionados con la subsidencia causada por la explotación de sal en Maceió, AL, Brasil, destacando la responsabilidad ambiental y los principios aplicables a la reparación de los daños. El objetivo es analizar los impactos ambientales y socioeconómicos de la subsidencia y proponer estrategias de recuperación. La metodología incluye el análisis del uso y ocupación del suelo a través de imágenes satelitales y herramientas SIG, complementado con datos secundarios de informes técnicos y peritajes. La originalidad del estudio radica en la integración de enfoques geoespaciales con análisis normativos para abordar un problema complejo de sostenibilidad urbana. Los principales resultados revelan una significativa pérdida de áreas urbanizadas, zonas de manglares y de vegetación natural, especialmente en las áreas directamente afectadas (ADA) y de influencia directa (AID). Además, el estudio cuantifica las pérdidas en áreas de manglar, caña, mosaico de usos y restinga arbórea, y evalúa las consecuencias socioambientales resultantes, contribuyendo a la literatura al destacar la importancia de enfoques integrados para resolver problemas complejos de sostenibilidad urbana.*

**PALABRAS CLAVE:** Subsidencia urbana. Minería de sal gema. Análisis geoespacial.



## INTRODUÇÃO

A atividade mineradora geralmente é relacionada a diversos impactos socioambientais e modificações espaciais, estes são resultados de suas operações que afetam as áreas em que se instalam. Para Milanez (2017), os impactos da mineração são ecologicamente complexos, amplos e em muitas situações irreversíveis.

A mineração em regiões metropolitanas, devido ao alto grau de ocupação urbana, gera impactos ambientais e socioeconômicos que exigem especial atenção. No Brasil, desastres como o ocorrido na cidade de Maceió/AL, devido à extração de sal-gema pela empresa Braskem S.A., evidenciam a necessidade urgente de políticas públicas eficazes e metodologias robustas para o monitoramento e mitigação desses impactos (Levino, Fontana, 2023).

Em 2018 uma série de intercorrências teve início após fortes chuvas e um tremor (2,4 na escala Richter) na cidade de Maceió/AL. Várias casas começaram a apresentar rachaduras e tiveram que ser evacuadas. A empresa mostrou resistência em acatar os resultados dos laudos técnicos que comprovaram que a extração inadequada de sal-gema provocou a desestabilização de cavernas subterrâneas, ocasionando a subsidência (afundamento do solo) que ainda ocorre (CPRM, 2019; Hartwig et al. 2023).

Vários mapas de desocupação e monitoramento foram desenvolvidos o que culminou no processo de deslocamento forçado de 60 mil pessoas dos bairros de Pinheiro, Bebedouro, Mutange, Bom Parto e Farol (Fontana et al., 2023). As consequências socioespaciais, econômicas e ambientais ainda não são totalmente conhecidas (Santos e Viegas, 2021).

A empresa encerrou definitivamente as extrações de sal-gema no final do ano de 2019, importando matéria-prima do Chile, e realizou um Programa de Compensação Financeira e Apoio à Realocação, com cobertura de aproximadamente 15 mil imóveis (BRASKEM, 2021). Cabe considerar que tais compensações financeiras não constituem, de fato, formas de reparação do dano ambiental gerado. A quantificação do dano é bem complexa e deve levar em consideração as diretrizes constantes na legislação ambiental sobre as formas de reparação integral e compensações (ecológicas e econômicas).

Segundo Espinoza et al. (2023) a subsidência ocorrida nos bairros evidencia um padrão de cidade insustentável em vigência no país, sendo dificilmente solucionada através da adoção de medidas normativas, econômicas ou políticas. Tais danos, extrapolam os cinco bairros e reverberam por toda cidade e região metropolitana (Santos, Lima e Bulhões, 2022).

A ausência de regulamentação específica e a insuficiência das ações corretivas tomadas até o momento tornam este estudo de extrema relevância, pois busca preencher lacunas críticas na compreensão e gestão de danos ambientais e sociais resultantes de subsidências. Há uma necessidade de investigações que relacionem diretamente os dados de uso e ocupação do solo com os efeitos tangíveis e intangíveis sobre as comunidades afetadas, integrando aspectos técnicos e sociais de maneira abrangente.

O objetivo deste consiste em analisar e discutir os impactos da subsidência urbana nos bairros de Pinheiro, Mutange, Bebedouro, Bom Parto e Farol, em Maceió, utilizando dados geoespaciais fornecidos pela plataforma MapBiomias e ferramentas SIG para o ano de 2022. Especificamente, pretende-se quantificar as perdas no uso e ocupação do solo e avaliar as consequências socioambientais resultantes.



Este estudo contribui para a literatura ao preencher lacunas sobre o uso de tecnologias geoespaciais na gestão de desastres ambientais urbanos e ao destacar a importância de abordagens integradas para a resolução de problemas complexos de sustentabilidade urbana. Sua aplicação no maior desastre socioambiental, em curso, em área urbana, no mundo (Fontana et al., 2023) complementa a contribuição prática do estudo ao tema.

O trabalho está dividido em mais quatro seções além desta introdução. Na seguinte, são expostos os aspectos teóricos e normativos que dão subsídios às discussões. A seção de metodologia apresenta os aspectos utilizados para o alcance dos objetivos. A seção quatro apresenta os principais resultados e discussões. Por fim, são expostos os aspectos conclusivos do trabalho.

## **2. ASPECTOS TEÓRICOS E NORMATIVOS**

A subsidiência no Brasil é tipificada como dano ambiental. Uma vez comprovada, a responsabilização do agente causador é imperativa, impondo-lhe a obrigação de indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros afetados por sua atividade (Ruiz et al., 2014).

Diante da inexistência de uma legislação específica que verse sobre a subsidiência no Brasil e sobre os conflitos socioambientais dela decorrentes (RUIZ et al., 2014; Ramos, 1995) a Ação civil pública socioambiental n.º 0803662-52.2019.4.05.8000 de 2019 visava a paralisação responsável da exploração de sal-gema pela empresa na região e reparar os danos socioambientais causados a cidade de Maceió/AL, em decorrência da atividade realizada pela empresa Braskem S.A Entretanto, no final do ano de 2020 foi firmado o Termo do Acordo Socioambiental que extinguiu tal Ação. Cabe considerar a necessidade de análise minuciosa do termo deste Acordo para verificação das ações relacionadas à reparação dos danos causados.

O Ministério Público Federal de Alagoas, por meio do referido Acordo Socioambiental estabeleceu que as ações de reparação deveriam promover iniciativas para recuperar, restaurar, frear ou mitigar o fenômeno da subsidiência na área afetada, e deveriam ser elaboradas, tendo base os princípios ambientais: a) princípio da reparação integral; b) princípio da solidariedade; c) princípio da função social da propriedade; d) princípios da prevenção e precaução, e) princípio do poluidor – pagador; f) conservação do equilíbrio ecológico; g) prioridade da capacidade de autorregulação e auto regeneração do meio ambiente, h) participação popular; i) indisponibilidade do interesse público; j) sadia qualidade de vida (Brasil, 2020).

A reparação integral, consagrada na Constituição Federal e no regime jurídico de responsabilidade civil por dano ambiental, assegura a completa reparação dos danos, sem limitações ou modificações. O art. 225 da Constituição Federal e a Lei nº 6.938 de 1981, art. 14, § 1º, estabelecem que o poluidor deve indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, independentemente de culpa (BRASIL, 1981). O Código Civil, no art. 927, e a Lei nº 11.105/2005, art. 20, reforçam essa obrigação (BRASIL, 2002; BRASIL, 2005).

O princípio da solidariedade, previsto no art. 3º, inciso I, da Constituição Federal de 1988, estabelece a construção de uma sociedade justa e solidária, refletindo-se na proteção ambiental (BRASIL, 1988). A Lei nº 11.105/2005, art. 20, destaca a responsabilidade solidária por danos ambientais e a terceiros, ou seja, mediante indenização ou reparação integral, independentemente da existência de culpa (BRASIL, 2005). A solidariedade intergeracional,



reconhecida pelo Supremo Tribunal Federal, assegura um meio ambiente equilibrado para futuras gerações (CORREIA; DIAS, 2016).

O art. 170, inciso III, da Constituição Federal de 1988, define a função social da propriedade, que integra a ordem liberal e socializante, visando o desenvolvimento e a justiça social (SUNDFELD, 1987; SCHREIBER, 2013). A função social da propriedade está presente no art. 182, § 2º, sobre política urbana, e no art. 186, sobre política agrícola e fundiária, da Constituição Federal, impondo a preservação ambiental como parte de sua realização (BRASIL, 1988).

O princípio da prevenção trata de riscos tangíveis e o princípio da precaução se aplica a riscos intangíveis e fundamenta-se nos aspectos da incerteza científica, risco de dano, medidas de precaução e inversão do ônus da prova, mesmo na ausência de danos comprovados (CANOTILHO, 2010; HAMMERSCHMIDT, 2002; GONÇALVES, 2015; COLOMBO, 2005; CEZAR; ABRANTES, 2003).

O princípio do poluidor-pagador, de natureza jurídico-econômica, determina que os poluidores responsáveis por danos ambientais devem arcar com os custos da mitigação dos efeitos de suas ações. Esse princípio promove a justiça ambiental, incentivando a adoção de práticas sustentáveis e responsáveis (CIRNE; SILVA, 2021; EDENHOFER, 2015; SOUZA, 2016). A Constituição Federal, no art. 225, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, no art. 4º, inciso VII, estabelecem a obrigatoriedade de recuperação ou indenização dos danos causados e a contribuição pelo uso de recursos ambientais com fins econômicos (BRASIL, 1981).

O art. 4º, inciso I, da Lei nº 6.938/81, orienta a Política Nacional do Meio Ambiente para a preservação e desenvolvimento socioeconômico, mantendo o equilíbrio ecológico. O direito a um meio ambiente equilibrado é uma conquista dos Direitos Humanos de Terceira Geração, enfatizando o uso responsável dos recursos naturais (GONÇALVES, 2015; BARBOSA; BARBOSA, 2020). A Constituição Federal de 1988, no art. 225, e a Lei nº 6.938/1981, art. 2º, inciso I, reforçam a responsabilidade de todos em proteger e preservar o meio ambiente (BRASIL, 1981; BRASIL, 1988).

Segundo Birnfeld e Birnfeld (2013), a legislação ambiental visa manter a funcionalidade dos ecossistemas, estabelecendo regras para as atividades humanas. A Lei nº 9.605/1998 e a Lei nº 12.651/2012 incentivam programas de conservação ambiental (BRASIL, 1998; BRASIL, 2012). O art. 225 da Constituição Federal estabelece o dever de preservar o meio ambiente para as futuras gerações, reforçando a necessidade de prevenção e mitigação dos danos (BRASIL, 1988; HAMMERSCHMIDT, 2002).

A Constituição Federal de 1988, no art. 1º, parágrafo único, e no art. 193, parágrafo único, assegura a participação popular na formulação de políticas sociais e ambientais (BRASIL, 1988). A Lei nº 9.605/1998, art. 70, § 2º, permite que qualquer pessoa denuncie infrações ambientais (BRASIL, 1998). A participação democrática é essencial para a proteção ambiental e a promoção de uma sociedade sustentável (FERREIRA; RIBEIRO, 2018).

O princípio da indisponibilidade do interesse público, fundamental no Direito Administrativo, assegura que os interesses da sociedade prevaleçam sobre os individuais. A Constituição Federal, no art. 19, inciso I, e no art. 37, estabelece que a administração pública deve sempre atender ao interesse público (FARIA, 2020; BRASIL, 1988).

O art. 225 da Constituição Federal assegura o direito ao meio ambiente equilibrado, essencial para a qualidade de vida, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo (BRASIL, 1988). A Lei nº 6.938/81, art. 6º, inciso II, destaca a função do



CONAMA em propor normas compatíveis com um ambiente equilibrado (BRASIL, 1981). A sadia qualidade de vida implica o uso consciente e sustentável dos recursos naturais (QUINTAS, 2004).

Assim, esses princípios deveriam nortear as formas de avaliação e os métodos de valoração econômica dos danos causados pela subsidência de mineração em curso na capital. Ademais, a reparação dos danos ambientais pode ser realizada por meio de: reparação in situ, também conhecida como reparação direta do dano ambiental, implementada através de projetos de recuperação ambiental, ou por meio de reparação ex situ, que se refere à reparação indireta dos danos ambientais, implementada por meio da compensação econômica, baseada na valoração do dano ambiental (MMA, 2023).

De acordo com os Termos do Acordo, ficou a cargo da Braskem contratar empresas especializadas para a execução das medidas necessárias. Para o diagnóstico e Plano Ambiental, foi contratada a empresa Tetra Tech, enquanto para o Plano de Ação Sociourbanística (PAS), foi contratada a empresa Diagonal. Ademais, o papel do Comitê Gestor é crucial nesse processo, sendo responsável por supervisionar a implementação das ações previstas no acordo, garantindo que todas as medidas sejam cumpridas em conformidade com as diretrizes estabelecidas para mitigar os impactos socioambientais.

São necessárias ao menos duas considerações críticas sobre o referido Acordo. Primeiramente, as medidas relacionadas à subsidência descritas no Acordo referem-se apenas às ações de monitoramento, tratando a subsidência como um fenômeno, e não como um dano ambiental. Em segundo lugar, embora seja compreensível que medidas de recuperação imediata possam ser inviáveis devido à instabilidade do solo, é essencial avaliar os efeitos da subsidência para planejar meios de reparação adequados. Isso é fundamental para lidar com as mudanças significativas nas formas de uso e ocupação do solo.

A Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) da Braskem, encerrada em maio de 2024, chegou a conclusões contundentes sobre os afundamentos de solo em Maceió, Alagoas. A principal delas é a responsabilidade da empresa Braskem pelos crimes de lavra ambiciosa de sal-gema e omissão na adoção de medidas preventivas e corretivas. A CPI também apontou para a omissão do Estado em seu dever de monitorar e fiscalizar a atividade minerária (BRASIL, 2024, p. 10).

Esses resultados representam um avanço na busca por justiça para as vítimas dos afundamentos, assim como servem como um alerta para os riscos da exploração desenfreada de recursos naturais em áreas urbanas e da negligência do poder público em sua função de fiscalização.

### **3. METODOLOGIA**

Foram calculadas as áreas em hectares das categorias de uso e ocupação do solo nos MapBiomas Brasil para o ano de 2022. A classificação realizada pela organização é baseada nos mosaicos Landsat, resultando em categorizações que produzem imagens raster de cobertura e uso da terra para cada ano. De acordo com a plataforma, as imagens da Coleção 8 utilizadas neste trabalho têm uma acurácia global de 85,8% (Mapbiomas, 2024).

Para calcular a área das imagens raster dos bairros foi utilizado o software QGIS 3.22 e a ferramenta r-report. Além disso, foram elaborados mapas temáticos de uso e ocupação da área estudada, seguindo a legenda disponibilizada na plataforma MapBiomas para cada



categoria. As áreas com vegetação visível densa e pouco densa foram mapeadas, enquanto áreas cuja vegetação não pôde ser claramente identificada como mangue ou que não estavam representadas nas imagens ou mapas do MapBiomas foram excluídas.

A análise incluiu a identificação e a quantificação das perdas nas áreas diretamente afetadas (ADA) e de influência direta (AID). Além disso, foram utilizados dados secundários provenientes de relatórios técnicos e laudos periciais para contextualizar e corroborar os achados geoespaciais. A abordagem metodológica permitiu a avaliação detalhada dos impactos ambientais e socioeconômicos da subsidência urbana nos bairros de Pinheiro, Mutange, Bebedouro, Bom Parto e Farol.

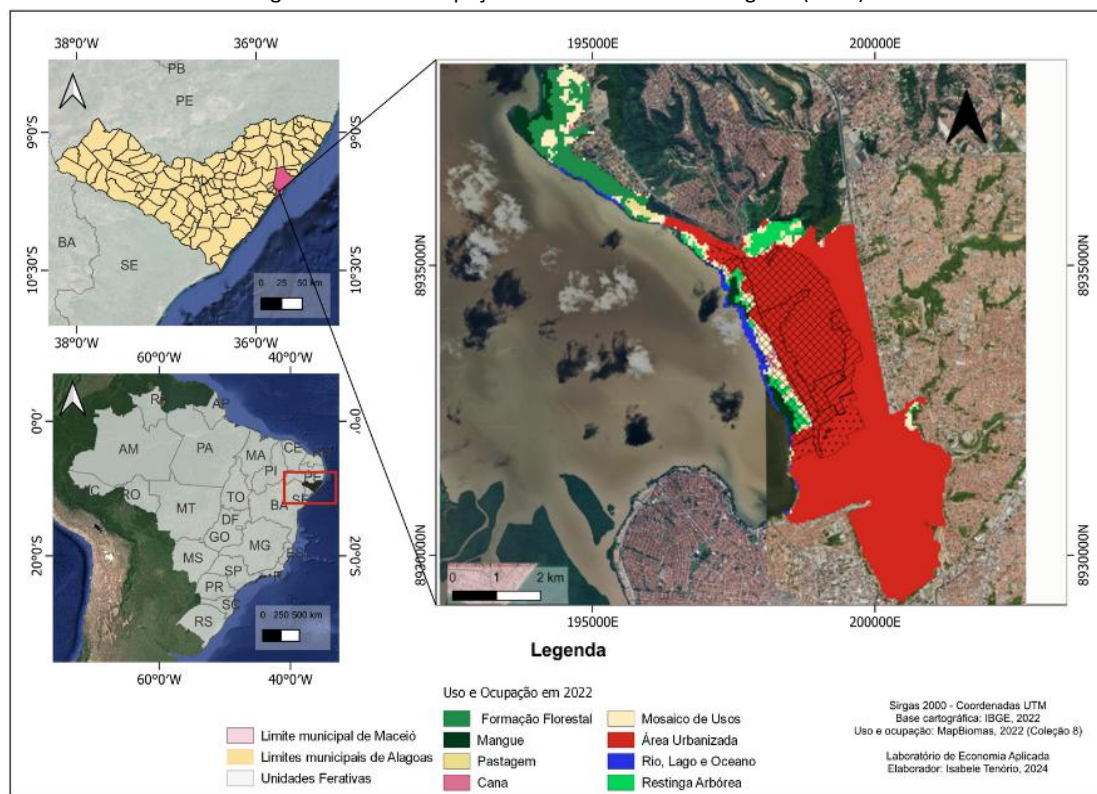
Para mapear as áreas de mangue presentes na Área de Influência Direta, utilizou-se o software *Google Earth*, no qual considerou as imagens de satélite do dia 01/01/2022. Ainda como referência para a identificação das áreas de mangue utilizou-se os mapas elaborados com a classificação de uso e ocupação, juntamente com uma imagem comparativa das áreas de mangue de 2002 e 2021 no bairro Mutange, disponível no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) elaborado pela empresa Temis-Nemos (2022, p. 273). Devido à impossibilidade de verificação presencial das áreas, pode haver discrepâncias entre a realidade e as imagens de satélite disponíveis no Google Earth.

### **3.1. Área de Estudo**

A área de estudo está situada na cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas, Brasil. Especificamente, abrange os bairros de Pinheiro, Mutange, Bebedouro, Bom Parto e Farol. Esta região é delimitada pelas coordenadas UTM SIRGAS 2000.

A Figura 1 abaixo inclui regiões demarcadas por diferentes níveis de criticidade devido aos impactos ambientais. A Área de Criticidade 0, indica a abrangência dos efeitos mais severos identificados pela Defesa Civil do município de Maceió, e Área de Criticidade 1, regiões com impacto significativo, mas de menor criticidade comparada à 0. Já na Área de Monitoramento, existem zonas sob monitoramento constante para avaliação de riscos e impactos ambientais.

Figura 1 – Uso e Ocupação do solo nos bairros atingidos (2022)



Fonte: elaboração própria, 2024.

Conforme a Figura 1, a área de estudo apresenta oito categorias de cobertura e uso da terra, conforme detalhado a seguir: Formação Florestal, áreas cobertas por vegetação nativa; regiões de manguezais, ecossistemas costeiros importantes; áreas utilizadas para pastagens; áreas dedicadas ao cultivo de cana-de-açúcar; mosaico de usos, regiões com uso diversificado e/ou não claramente identificado pela plataforma Mapbiomas, incluindo de mangue e restinga degradadas e pequenas áreas florestais, ou outras atividades; área urbanizada, zonas predominantemente ocupadas por construções e infraestrutura urbana; Rio, Lago e Oceano, corpos d'água naturais; e áreas de vegetação típica de restinga, geralmente encontradas em regiões costeiras.

A análise revela que a Área Urbanizada é a classificação predominante na região de estudo, destacada em vermelho, abrangendo uma vasta extensão da área mapeada. Essa predominância reflete a densidade urbana significativa nos bairros mencionados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as áreas, em hectares e porcentagem, das classes de uso do solo nos bairros afetados pelo crime da Braskem para o ano de 2022.





Tabela 1 - Áreas das classes de uso do solo existentes nos bairros afetados nos bairros afetados em 2022

Uso do Solo	Área	Área Urbanizada	Cana	Formação Florestal	Mangue	Mosaico de Uso	Pastagem	Restinga	Rio, Lago e Oceano
Bebedouro	Ha	70,18	0,88	64,02	17,11	3,90	4,41	19,75	8,99
	(%)	37,09	0,47	33,83	9,04	2,06	2,33	10,44	4,75
Bom Parto	Ha	54,13				0,88		0,35	0,79
	(%)	96,39				1,57		0,63	1,41
Farol	Ha	296,59				2,38		0,35	
	(%)	99,09				0,80		0,12	
Mutange	Ha	15,52	1,85		7,05	14,64		7,41	6,88
	(%)	29,09	3,47		13,22	27,44		13,88	12,89
Pinheiro	Ha	194,86	0,35	0,53		0,97			
	(%)	99,06	0,18	0,27		0,49			
Total	Ha	<b>631,28</b>	<b>3,09</b>	<b>64,54</b>	<b>24,16</b>	<b>22,77</b>	<b>4,41</b>	<b>27,86</b>	<b>16,66</b>
	(%)	<b>79,43</b>	<b>0,39</b>	<b>8,12</b>	<b>3,04</b>	<b>2,86</b>	<b>0,55</b>	<b>3,51</b>	<b>2,10</b>

Fonte: elaboração própria, 2024.

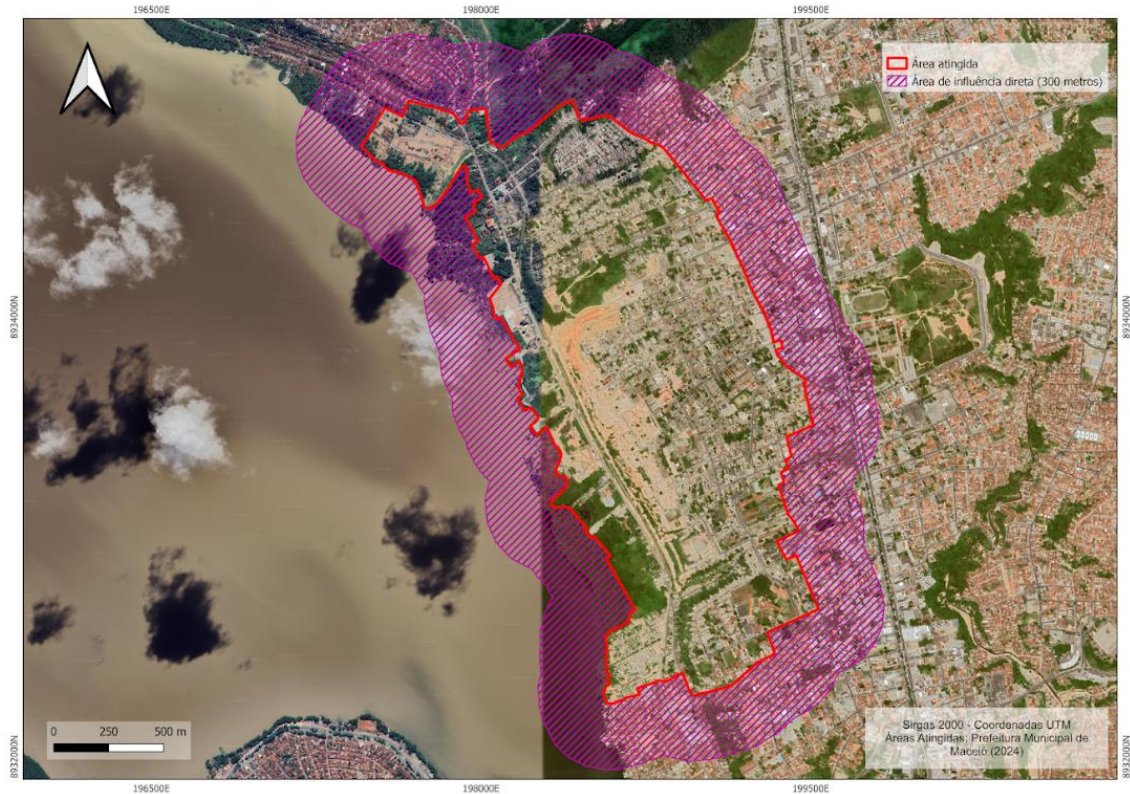
Com base nas imagens raster da Coleção 8, é possível verificar que a Área Urbanizada é a categoria de uso predominante em todos os bairros afetados, especialmente em Bom Parto, Farol e Pinheiro, onde a urbanização ultrapassa 95% da área total. Esta alta taxa de urbanização reflete a densidade populacional e a infraestrutura urbana que predominava nessas regiões. Esse grave impacto urbano provocou outras consequências que atingiram a totalidade da cidade, tais como sobrecarga dos equipamentos públicos remanescentes, o comprometimento da mobilidade urbana, a especulação imobiliária desenfreada e a perda irreparável do patrimônio cultural (Manhas, 2022). O Acordo celebrado visa à recuperação sociourbanística da área atingida pelos afundamentos em Maceió, com foco na reestruturação da mobilidade urbana e na compensação social das vítimas, entretanto fortes questionamentos existem às tratativas de aplicação dos recursos do acordo de mobilidade (LINS, 2022).

Em contraste, Mutange apresentava uma maior diversidade de uso do solo, com áreas significativas de Mangue e Formação Florestal, além da Pastagem. Esta diversidade sugere a presença de ecossistemas variados que podem ter sido mais impactados pelo crime ambiental, necessitando de estratégias de recuperação específicas. Ressalte-se também a presença de formação florestal de parte da Área de preservação ambiental (APA), o Parque Municipal de Maceió localizado no bairro de Bebedouro.

Ressalte-se a representação de mosaicos de uso em todos os bairros, especialmente nas áreas próximas aos manguezais e restingas arbóreas, como mostrado na Figura 1 acima. Essas áreas foram mapeadas como mosaicos de múltiplos usos e parecem já degradadas, sem presença visível de vegetação densa ou pouco densa. Áreas onde não foi possível identificar claramente o tipo de vegetação, ou que não foram identificadas na imagem ou nos mapas do MapBiomias, também foram consideradas como mosaicos de usos.

A Figura 2 abaixo ilustra a área considerada diretamente afetada (ADA) em vermelho e a área de influência direta (AID).

Figura 2 - ADA e AID definidas pela Defesa civil de Maceió em 2020



Fonte: elaboração própria, 2024.

Como mostra a Figura 2, a área considerada diretamente afetada (ADA) compreende as regiões classificadas como áreas de criticidade 00 e 01 no Mapa de Ações Prioritárias da Defesa Civil de Maceió de dezembro de 2020 que foram desocupadas, e abrange totalmente o bairro do Mutange, e parcialmente os bairros Bebedouro, Bom parto, Farol e Pinheiro

Já a área de influência direta (AID), representada pela cor lilás, abrange a região próxima aos bairros Bebedouro, Bom Parto, Farol e Pinheiro, incluindo os bairros circunjacentes de Chã de Bebedouro, Chã da Jaqueira, Gruta de Lourdes e Pitanguinha (Temis-Nemus, 2022). A área de estudo abrange tanto o meio terrestre quanto o aquático. Sua delimitação geográfica é formada pela envolvente de 300 m em relação à ADA definida, considerando o alcance dos impactos diretos das atividades a serem desenvolvidas sobre as características socioeconômicas, físicas e biológicas.

É possível visualizar também a presença de áreas de Mangue, especialmente no bairro do Mutange, que são cruciais para a biodiversidade e a mitigação de mudanças climáticas. A análise das áreas de vegetação nas imagens de satélite, embora limitada pela impossibilidade de verificação *in loco*, oferece uma visão essencial sobre a cobertura vegetal atual e as áreas que necessitam de atenção prioritária.

A análise da Tabela 2 abaixo e a discussão das áreas de ADA (Área Diretamente Afetada), AID (Área de Influência Direta) e a área total dos bairros, permitem uma compreensão detalhada



das diferentes categorias de uso do solo e dos impactos nas regiões envolvidas. Foram excluídas as classes de ocupação do solo, Formação florestal e Pastagem pois não integram a ADA e a AID.

Tabela 2 - Classes de uso na ADA, AID e área total bairros (em hectares)

Áreas (em Ha)	Mangue	Cana	Mosaico de Usos	Área Urbanizada	Rio, Lago e Oceano	Restinga
ADA	0,35	1,94	18,78	246,70	0,97	6,26
AID	11,45	0,36	14,91	145,76	87,97	21,57
Bairros	24,18	3,09	67,96	632,37	16,77	27,54

Fonte: elaboração própria, 2024.

A presença de manguezais é significativamente maior na AID do que na ADA, assim como na área de restinga arbórea, e sublinha a importância da conservação dessas áreas para manter a biodiversidade e a estabilidade dos solos costeiros. Até o momento, de acordo com o primeiro diagnóstico ambiental produzido pela empresa Tetra Tech (2022), 15,73 hectares de mangue estão submersos, o que corresponde a uma área superior a ADA e AID juntas. As modalidades de reparação sugeridas envolvem a compensação ecológica da área de manguezal, a ser realizada em outro município (Marechal Deodoro).

A maior parte das áreas urbanizadas está na ADA, refletindo a gravidade do impacto sobre regiões densamente povoadas. A concentração de áreas urbanizadas na ADA exige medidas abrangentes que vão além da recuperação de infraestruturas, incluindo também medidas de compensação econômica dos bens tangíveis e intangíveis perdidos pela população afetada.

As áreas de cultivo de cana são predominantes na ADA comparadas à AID, indicando que essas áreas agrícolas estão diretamente impactadas pela desocupação. Os mosaicos de usos mostram uma distribuição relativamente balanceada entre ADA e AID, e representam uma porção significativa do uso total dos bairros, que pode indicar áreas degradadas. Isto destaca a complexidade do uso do solo nessas áreas e a necessidade de um planejamento integrado para sua recuperação e desenvolvimento.

A distribuição das áreas de corpos d'água é peculiar, com a AID tendo uma extensão muito maior que a ADA. Isso sugere que as influências diretas atingem a Lagoa Mundaú, impactando a qualidade da água e os ecossistemas aquáticos amplamente, comprometendo a subsistência de comunidades locais, a pesca artesanal, o extrativismo do sururu de capote e o turismo da região.

Além das áreas identificadas na Tabela 2, é importante examinar os impactos sobre as áreas remanescentes dos bairros e sobre a qualidade de vida dos residentes. As populações que permanecem nas bordas da Área Diretamente Afetada (ADA) e da Área de Influência Direta (AID) enfrentam uma série de desafios e vulnerabilidades adicionais, sendo necessário um mapeamento detalhado.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam a profundidade dos impactos ambientais da subsidência urbana em Maceió. A utilização de ferramentas SIG e dados da plataforma MapBiomas se mostrou crucial para quantificar e mapear essas alterações, fornecendo uma base sólida para a formulação de políticas públicas eficazes e para a implementação de estratégias de recuperação ambiental e social.

A relação entre ADA e AID, em termos de uso do solo, revela a complexidade dos desafios socioambientais na região. As alterações no uso do solo e a perda de vegetação de mangue têm implicações diretas para a qualidade de vida das comunidades locais. A subsidência não só deslocou famílias e afetou a infraestrutura urbana, mas também comprometeu a segurança alimentar e econômica dos moradores que dependem dos recursos naturais.

A análise da área de estudo destaca a necessidade de estratégias de recuperação focadas tanto na infraestrutura urbana quanto na proteção e restauração dos ecossistemas locais, especialmente manguezais.

O Termo de Acordo Socioambiental, embora seja um passo importante, mostra-se limitado ao tratar a subsidência principalmente como um fenômeno monitorável e não como um dano ambiental que requer reparação integral. A avaliação minuciosa das perdas materiais e imateriais é essencial para uma abordagem justa e eficiente de reparação, promovendo a resiliência e a recuperação da comunidade afetada. A adoção de práticas baseadas nos princípios ambientais discutidos pode oferecer um caminho mais sustentável e justo para lidar com os impactos da exploração de sal-gema na região.

## REFERÊNCIAS

BIRNFELD, Liane Francisca Hüning; BIRNFELD, Carlos Andre Hüning. Do amplo conceito de meio ambiente ao meio ambiente como direito fundamental. 2013. Disponível em : < <http://repositorio.furg.br/handle/1/5206> >.

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm). Acesso em: 29 maio 2024.

BRASIL. Lei n.º 10.406, de 10 de Janeiro de 2002. Institui o Código Civil. Disponível em: < [https://planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/2022/L10406compilada.htm](https://planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2022/L10406compilada.htm) . Acesso em: 29 maio 2024.

BRASIL. Ministério Público Federal. Procuradoria-Geral da República. Íntegra do Acordo Socioambiental e Urbanístico. Brasília, 2020. 32p. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-pinheiro/termo-de-acordo>. Acesso em 29 maio 2024.

BRASIL. Ministério Público Federal. Procuradoria-Geral da República. Ação Civil Pública nº 0806577-74.2019.4.05.8000 - reparação socioambiental e urbanística. Brasília, 2020. 307p. Disponível em: <http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-pinheiro/termo-de-acordo>. Acesso em 29 maio 2024.

BRASIL. Lei nº 11.105, de 24 de Março de 2005. Regulamenta os incisos II, IV e V do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGM e seus derivados, cria o Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS, reestrutura a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, dispõe sobre a Política Nacional de Biossegurança – PNB, revoga a Lei nº 8.974, de 5 de janeiro de 1995, e a Medida Provisória nº 2.191-9, de 23 de agosto de 2001, e os arts. 5º, 6º, 7º, 8º, 9º, 10 e 16 da Lei nº 10.814, de 15 de dezembro de 2003, e dá outras



providências. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2005/Lei/L11105.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11105.htm). Acesso em: 29 maio 2024.

BRASIL. Lei Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm)>. Acesso em: 29 maio 2024.

BRASIL. Lei Nº 9605, 12 de Fevereiro de 1998. Lei de Crimes Ambientais. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9605.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm)>. Acesso em: 29 maio 2024.

BRASIL. Lei Nº. 12. 651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)>. Acesso em: 29 maio 2024.

BRASIL. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL): Relatório síntese dos resultados nº . Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2FFQ4ue>>. Acesso em: 04 jun 2024.

BRASIL. SENADO FEDERAL. CPI da Braskem. **\*\*RELATÓRIO FINAL\*\***. Presidente: Senador OMAR AZIZ. Relator: Senador ROGÉRIO CARVALHO. Brasília, 15 mai. 2024. Disponível em: <<https://legis.senado.leg.br/comissoes/mnas?codcol=2642&tp=4>>. Acesso em: 04 jun 2024.

CANOTILHO, José Joaquim Gomes. O Princípio da sustentabilidade como Princípio estruturante do Direito Constitucional. **Revista de estudos politécnicos**, v. 8, n. 13, p. 007-018, 2010.

CEZAR, Frederico Gonçalves; ABRANTES, Paulo César Coelho. Princípio da precaução: considerações epistemológicas sobre o princípio e sua relação com o processo de análise de risco. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 20, n. 2, p. 225-262, 2003 . Disponível em: <<http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/15899> >

CIRNE, Mariana Barbosa; SILVA, Maycon Douglas de Miranda. Responsabilidade civil ambiental do Estado por omissão e o princípio do poluidor-pagador. *Revista do Direito Público, Londrina*, v. 16, n. 2, p. 221-239, ago. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.5433/1980-511X.2021v16n2p221>>

COLOMBO, Silvana. O princípio da precaução no Direito Ambiental. *REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 14, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.14295/remea.v14i0.2889>>

CORREIA, Mary Lúcia Andrade; DIAS, Eduardo Rocha. Desenvolvimento sustentável, crescimento econômico e o princípio da solidariedade intergeracional na perspectiva da justiça ambiental. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, v. 6, n. 8, p. 63-80, 2016.

EDENHOFER, Ottmar (Ed.). *Climate change 2014: mitigation of climate change*. Cambridge University Press, 2015. Disponível em: <Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change - Google Livros> .

ESPINOZA, D. S. E., de MORAES, H. O., SANTOS, M. V. G., & da SILVA, R. D. F. F. (2023). CIDADE (IN) SUSTENTÁVEL: O CASO DO AFUNDAMENTO DO SOLO NOS BAIRROS DE MACEIÓ E O CUSTO AOS DIREITOS FUNDAMENTAIS. *Revista Eletrônica Direito e Conhecimento*, 7(2).

FARIA, Luzardo. A INDISPONIBILIDADE DO INTERESSE PÚBLICO: CONTEÚDO, NATUREZA JURÍDICA, FUNDAMENTOS NORMATIVOS E IMPACTOS NO DIREITO ADMINISTRATIVO BRASILEIRO. **Meritum: Revista de Direito da Universidade FUMEC**, v. 15, n. 1, 2020. Disponível em: <7459-23440-1-PB-libre.pdf (d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net)> Acesso em

FERREIRA, Leandro José; RIBEIRO, José Cláudio Junqueira. A participação popular na avaliação de impacto ambiental: um olhar democrático para a proteção ambiental. **Revista da Faculdade de Direito UFPR**, v. 63, n. 2, p. 59-87, 2018. Disponível em: < Universidade Federal do Paraná (ufpr.br)>.

FONTANA, M. E. ; LEVINO, N. D A. ; GUARNIERI, P. ; SALEHI, S. Using Group Decision-Making to assess the negative environmental, social and economic impacts of unstable rock salt mines in Maceio, Brazil. *THE EXTRACTIVE INDUSTRIES AND SOCIETY*, v. 16, p. 101360, 2023.



FONTANA, M. E., LEVINO, N. D. A., LEÃO, J., GUARNIERI, P., & SINÉSIO, E. P. (2023). Risk Analysis of Transport Requalification Projects in the Urban Mobility Problem Caused by a Mining Disaster. *Logistics*, 7(3), 58.

GONÇALVES, José Aparecido. O dano ambiental e as gerações futuras. *Argumenta Journal Law*, n. 21, p. 25-50, 2015. Disponível em: <O DANO AMBIENTAL E AS GERAÇÕES FUTURAS/ENVIRONMENTAL DAMAGE AND FUTURE GENERATIONS/DAÑO AMBIENTAL Y LAS GENERACIONES FUTURAS - ProQuest>

HAMMERSCHMIDT, Denise. O risco na sociedade contemporânea e o princípio da precaução no direito ambiental. *Sequência: estudos jurídicos e políticos*, v.23, n 45, p. 97-122,2002.5. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/%25x>>.

HARTWIG, M. E., GAMA, F. F., da Silva, J. L., JOFRÉ, G. C., & MURA, J. C. (2023). The significance of geological structures on the subsidence phenomenon at the Maceió salt dissolution field (Brazil). *Acta Geotechnica*, 18(10), 5551-5573.

LEVINO, N. A; FONTANA, M. E.A cidade engolida. Desastre ocasionado pela extração irregular de minas de sal-gema em Maceió-AL: uma discussão inicial. São Carlos: Pedro & João Editores, 2023.

LINS, R. D. Impactos e Danos à mobilidade de pessoas e circulação de mercadorias ocasionados pela subsidência do solo em Maceió, em função da mineração de sal-gema. *Nota Técnica*, junho, 2022. Disponível em: <<https://anpur.org.br/wp-content/uploads/2023/05/st05-33.pdf>> Acesso em: 01 jun. 2024.

MANHAS, A. C. B. (2022). A Perda do Patrimônio Cultural em Decorrência do Maior Desastre Ambiental em Curso no Mundo: o caso da subsidência dos bairros em Maceió (AL). *Revista Jatobá*, 4.

MILANEZ, Bruno. Mineração, ambiente e sociedade: impactos complexos e simplificação da legislação. 2017. Boletim Regional, Urbano e Ambiental – artigos. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7936>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MAPBIOMAS. Código de Legenda. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/codigos-de-legenda/>. Acesso em 01 de maio de 2024.

QUINTAS, José Silva. Educação no processo de gestão ambiental: uma proposta de educação ambiental transformadora e emancipatória. *Identidades da educação ambiental brasileira*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, v. 156, p. 113-140, 2004. Disponível em: [Identidades\\_da\\_educacao\\_ambiental\\_Brasileira-libre.pdf](https://identidades_da_educacao_ambiental_brasileira-libre.pdf) (d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net).

RUIZ, Mauro Silva et al. Abordagens de conflitos socioambientais em casos de subsidência de minas de carvão no Brasil e EUA. *Ambiente & Sociedade*, v. 17, p. 129-156, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200010>.

SANTOS, Cirlene Jeane; VIEGAS, Maria Ester Ferreira da Silva. Refugiados ambientais urbanos: o desaparecimento dos bairros pinheiro, mutange, bebedouro, bom parto-Maceió, al. **SEMINÁRIO INTERNACIONAL AMÉRICA LATINA**, v. 3, p. 2044-2061, 2021. SCHREIBER, Anderson. Função social da propriedade na prática jurisprudencial brasileira. **SCHREIBER, Anderson. Direito civil e Constituição. São Paulo: Atlas**, p. 243-266, 2013. Disponível em : < GT-06-Modelo-Extrativista-Mega-projetos-e-Economia-de-Commodities-na-America-Latina-REFUGIADOS-AMBIENTAIS-URBANOS-O-DESAPARECIMENTO-DOS-BAIRROS-PINHEIRO-MUTANGE-BEBEDOURO-BOM-PARTO-MACEIO-AL.pdf (researchgate.net).

SANTOS, C. G., LIMA, G. F., & BULHÕES, J. A. (2022). Subsidência do solo e remoções forçadas em Maceió-AL: as disputas pela cidade: Land subsidence and forced removals in Maceió-AL: the disputes over the city. *Brazilian Journal of Development*, 8(10), 65711-65734.

SOUZA, Paulo Roberto Pereira de. Os princípios do direito ambiental como instrumentos de efetivação da sustentabilidade do desenvolvimento econômico. *Veredas do Direito*, Belo Horizonte, v. 13, n. 26, p. 289-317, 2016. Disponível em : <OS PRINCÍPIOS DO DIREITO AMBIENTAL COMO INSTRUMENTOS DE EFETIVAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO | Veredas do Direito – Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável (domhelder.edu.br).



SUNDFELD, Carlos Ari. Função social da propriedade. Temas de direito urbanístico. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 1987. Disponível em: <05 SUNDFELD. Funcao social da propriedade.pdf (usp.br).

TEMIS-NEMOS. Estudo de impacto ambiental com foco na demolição e outras atividades de apoio a serem desenvolvidas nas áreas do mapa de linhas de ações prioritárias emitido pela defesa civil municipal em dezembro de 2020. p. 428, Dezembro, 2022.

PLANO AMBIENTAL. Estudo para Identificação e Avaliação de Impacto Ambiental da Atividade de Extração de Sal-gema Braskem S.A. Tetra Tech, 2022.