

O MONITORAMENTO DE DESLIZAMENTOS DE TERRA NA ERA DIGITAL: o papel das novas tecnologias na prevenção de desastres ambientais

MONITORING LANDSLIDES IN THE DIGITAL AGE: the role of new technologies in preventing environmental disasters

Gabriela Oliveira Silva Vasconcelos¹
Deilton Ribeiro Brasil²

¹ Universidade de Itaúna (FUIT). E-mail: gabrielaosv@gmail.com

² Universidade de Itaúna (FUIT). E-mail: deilton.ribeiro@terra.com.br

RESUMO: O artigo busca demonstrar o papel de destaque das novas tecnologias na prevenção e mitigação dos efeitos de desastres ambientais, enfatizando como vêm sendo utilizadas para o monitoramento de deslizamentos de terra em áreas de encostas. A pesquisa, justifica-se por sua relevância prática e a atualidade do tema, uma vez que devem ser difundidas maneiras de reduzir os impactos das mudanças climáticas, principalmente, diante dos últimos acontecimentos ocorridos no Brasil. Valendo-se da pesquisa teórico-bibliográfica e do método dedutivo, foi possível concluir que as novas tecnologias têm papel de destaque na prevenção e mitigação dos efeitos de desastres ambientais.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Impacto ambiental. Prevenção.

ABSTRACT: The article seeks to demonstrate the prominent role of new technologies in the prevention and mitigation of the effects of environmental disasters, emphasizing how they have been used to monitor landslides in slope areas. The research is justified by its practical relevance and the topicality of the theme, since ways to reduce the impacts of climate change must be disseminated, especially in view of the latest events that occurred in Brazil. Using the theoretical-bibliographic research and the deductive method, it was possible to conclude that new technologies have a prominent role in the prevention and mitigation of the effects of environmental disasters.

Keywords: Climate change. Environmental impact. Prevention.

Sumário: Introdução – 1 Entendendo o ciclo dos desastres – 2 Novas tecnologias na prevenção de desastres ambientais – 3 Monitoramento de deslizamentos na era digital – Considerações – Referências.

INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é apresentar a relevância das novas tecnologias para a prevenção e mitigação dos efeitos de desastres ambientais e analisar como essas ferramentas têm sido utilizadas para o monitoramento de deslizamentos de terra em áreas de encostas. Assim, busca-se responder à seguinte pergunta-problema: como as novas tecnologias podem ser utilizadas para prevenir e mitigar as consequências de catástrofes ambientais como os deslizamentos de terra em áreas consideradas de risco?

A partir da pesquisa teórico-bibliográfica, utilizando-se de análises textuais, interpretativas e teóricas e, valendo-se do método dedutivo, foi possível apresentar o papel de destaque das ferramentas de tecnologia da informação e comunicação

na prevenção e mitigação dos efeitos danosos decorrentes de desastres ambientais como deslizamentos de áreas de encosta.

O estudo se justifica, tendo em vista que as recorrentes mudanças climáticas, associadas à intervenção humana, têm intensificado os acontecimentos catastróficos em áreas consideradas de risco, o que têm se tornado comum no Brasil, em cidades costeiras e áreas serranas, especificamente no período entre novembro e fevereiro, como consequência das chuvas intensas que se verificam a cada ano. Dessa forma, se mostra relevante apresentar como as novas tecnologias podem ser eficientes na prevenção e mitigação de tais desastres ambientais.

Este artigo está dividido em três seções principais, além desta introdução e das considerações. Na primeira, apresenta-se o ciclo dos desastres, demonstrando as principais características e medidas de gestão de riscos que vêm sendo adotadas em cada um de seus estágios (prevenção, mitigação, ocorrência, resposta de emergência, compensação e reconstrução).

Na segunda seção, busca-se demonstrar como as novas tecnologias têm sido aplicadas na prevenção de desastres ambientais e como o Brasil tem atuado em cada uma das etapas do ciclo dos desastres. Por fim, a última parte, destina-se a demonstrar como as ferramentas da tecnologia da informação e da comunicação têm sido aplicadas para o monitoramento de deslizamentos de terra em áreas de encosta no Brasil e como essas medidas têm sido aperfeiçoadas.

1 ENTENDENDO O CICLO DOS DESASTRES

A recorrência de desastres ambientais pelo mundo, os quais são intensificados pela ação antrópica e a necessidade da adoção de medidas capazes de minimizar esses eventos e seus danos, têm ocasionado o desenvolvimento de uma série de pesquisas e estudos aptos a ensejar a análise da dinamicidade dos eventos catastróficos, propondo medidas convenientes e eficazes à gestão dos riscos. Dessa forma, entender o ciclo dos desastres, suas etapas, causas e consequências, é fundamental para que medidas e políticas de governança sejam adotadas visando reduzir a frequência e a intensidade dessas catástrofes.

Em sua acepção ampla, desastres são eventos de “caráter exponencial quanto às suas consequências, sendo decorrentes de fenômenos humanos, naturais e mistos (conjunta ou isoladamente), desencadeados lentamente ou de

forma temporalmente instantânea” (Carvalho, 2013, p. 403). Esses eventos são considerados desastres ambientais quando são capazes de comprometer as funções do meio ambiente ou causarem lesões a interesses humanos em decorrência de alguma mudança ambiental.

É importante salientar que embora o conceito de desastres esteja frequentemente associado a catástrofes naturais de grande intensidade (como, por exemplo: secas, chuvas intensas, terremotos e furacões), essas são, em verdade, eventos adversos, os quais podem ou não se tornarem um desastre dependendo de suas consequências e prejuízos, ou seja, o que determina um desastre são seus resultados danosos e prejudiciais (Oliveira, 2009).

Riscos meteorológicos, hidrológicos, geológicos, biológicos, antrópicos e as mudanças climáticas são alguns dos riscos que podem causar desastres, sendo que, a depender de seus efeitos, serão classificados por sua intensidade e evolução. O fato de esses riscos apresentados ensejarem baixas probabilidades de uma catástrofe, não significa que eles não devem ser acompanhados, pelo contrário, devem ser estudadas suas potencialidades danosas minorando quaisquer possíveis danos. O planejamento e a gestão dos riscos são pontos cruciais para evitar desastres de grandes magnitudes (Kokke, 2020).

A partir da dimensão do evento adverso, serão aferidas as ameaças, as vulnerabilidades e a capacidade de destruição, sendo de suma relevância essa análise para que sejam definidas as fases de administração dos desastres. Estes apresentam um ciclo de desencadeamento, um ‘ciclo de vida’ compreendendo os estágios da prevenção, da mitigação, da sua ocorrência em si, da resposta de emergência, das formas de compensação e da reconstrução (Carvalho, 2013).

A prevenção é a primeira fase do ciclo do desastre, ocorrendo antes de seu início. Vale ressaltar que essa é uma etapa recente, haja vista que, por muito tempo, a gestão dos riscos concentrava seus esforços majoritariamente após o evento adverso, se incumbindo do socorro e assistência às vítimas.

Entretanto, com a regulação jurídica dos desastres e a atuação de organismos institucionais diante desses eventos extremos, a prevenção *lato sensu* (prevenção e precaução) tem papel de destaque, buscando mensurar causas e consequências incertas das catástrofes ambientais (Souza, 2019). A prevenção importa em perceber que os riscos de danos causados por desastres não estão

completamente fora do controle pelos seres humanos, pois, com o planejamento adequado podem ser evitados.

A mitigação é a fase do ciclo do desastre que ocorre quando o evento adverso já se iniciou, sendo tomadas medidas para reduzir os danos e a magnitude dos riscos. Ou seja, consiste no enfrentamento do evento e na diminuição de seus impactos, por meio de uma série de medidas como a concessão de subsídios àqueles que foram afetados pela catástrofe, como auxílios saúde, alimentação e acolhida (Damacena, 2012).

As fases seguintes, da ocorrência do desastre e da resposta de emergência são as mais dramáticas, uma vez que as consequências já são perceptíveis, sendo necessárias ações para socorrer as vítimas atingidas, minorar os danos e prejuízos, garantir o funcionamento dos serviços essenciais à comunidade e apresentar rápidas e efetivas soluções à recuperação e reconstrução (Oliveira, 2009). Ademais, nessa fase da resposta ocorre a avaliação e o gerenciamento das perdas, os quais são importantes para o planejamento futuro, visando prevenir novas ocorrências catastróficas relacionadas ao mesmo fato danoso.

A compensação tem como foco principal a indenização às vítimas, sendo que os sistemas jurídicos dos países atingidos podem prever diversos meios de compensação. A compensação pós-desastre ajuda a reduzir seus impactos materiais e sociais, sendo que geralmente ocorre por um dos seguintes meios: seguro privado, ajuda governamental ou ações judiciais para a responsabilização dos possíveis envolvidos no agravamento dos eventos adversos.

Por fim, a reconstrução tem um significado por si só. Todavia, analisando o ciclo dos desastres, ela já deve incorporar medidas de prevenção de desastres futuros. Reconstruir não se refere apenas aos aspectos físicos e estruturais, mas abrange, também, a criação de novas infraestruturas sociais e legais visando aumentar a resiliência das áreas de risco, reduzindo possíveis impactos futuros (Farber, 2013).

Compreender o ciclo dos desastres importa em adaptar as medidas jurídicas para que possam proporcionar maior grau de eficácia a cada uma das fases do ciclo, convergindo a atuação de setores como exemplo: engenharia, vigilância sanitária, geologia e ecologia, para a melhor gestão dos riscos (Kokke, 2020).

Ademais, o ciclo apresentado deve ser visualizado a partir de um círculo de gestão do risco (Souza, 2019), em que se constata a ligação entre todas as etapas, sendo que todas as estratégias e instrumentos utilizados devem estar alinhados para prevenir novos desastres. Assim, não restam dúvidas que hodiernamente se privilegiam as medidas de prevenção, para que já se rompa o ciclo no início e seja evitada a catástrofe.

Os países se posicionam diferentemente quando o assunto é gestão de riscos, uma vez que alguns deles acabam investindo mais em recursos de prevenção e outros deixam para atuar após a ocorrência do desastre. Países em desenvolvimento acabam sendo mais atingidos pelas consequências desses eventos adversos, comprometendo suas condições econômicas e o seu potencial de desenvolvimento (Carvalho, 2013).

Umas das principais causas da intensificação dos desastres ambientais são as mudanças climáticas e, apesar da participação global no agravamento da situação climática, percebe-se que os prejuízos são regionalizados, uma vez que algumas comunidades e regiões acabam sendo mais atingidas, principalmente devido às suas maiores vulnerabilidades socioeconômicas, políticas, culturais e geológicas (Damacena, 2012).

Nesse contexto, o Brasil é um país que não empenha tantos esforços nas fases da prevenção e da mitigação do ciclo dos desastres, pois situações fáticas verificadas anualmente, evidenciam que a recorrência de desastres ambientais está cada vez mais crescente, sendo que suas consequências continuam sendo catastróficas. Assim, o país acaba tendo que atuar nas etapas de resposta, compensação e reconstrução, quando ocorrem eventos como inundações, secas extremas e deslizamentos de terra verificados nas diversas Regiões do Brasil. Muitas medidas preventivas poderiam ser implantadas no país, sendo que as tecnologias da informação e comunicação são um grande instrumento para a contenção dos desastres já nessa fase inicial do seu ciclo de desenvolvimento.

2 NOVAS TECNOLOGIAS NA PREVENÇÃO DE DESASTRES AMBIENTAIS

As mudanças climáticas, intensificadas a partir de ações antrópicas, o aumento populacional e a intensa industrialização e urbanização são fatores que estão diretamente relacionados à ocorrência de desastres ambientais, como: o

aumento da temperatura atmosférica e as consequentes ondas de calor; as chuvas em excesso, provocando inundações e deslizamentos de terras em áreas de encostas; o crescimento dos níveis dos oceanos e seus riscos para as zonas costeiras, que são, majoritariamente, áreas de grande densidade humana; as secas extremas e a escassez de água em algumas regiões do Planeta.

Ocorre que, com o avanço das tecnologias da informação e comunicação e a crescente análises de dados, essas novas ferramentas difundidas pela Era Digital têm sido utilizadas nos mais diversos setores sociais e para todas as finalidades viáveis, destacando seu emprego na preservação do meio ambiente, na prevenção às mudanças climáticas e no monitoramento de possíveis desastres ambientais.

Há quem entenda que a tecnologia é uma fonte de geração de risco, afirmando que os desastres ambientais são acentuados pela conformação tecnológica, associada à maneira como a população tem se organizado no território (Kokke, 2020.). Apesar desse entendimento, em todas as esferas federativas e de governo as novas tecnologias têm sido empregadas, tendo os municípios um papel de destaque, uma vez que conseguem ter uma percepção mais próxima das demandas sociais, econômicas, organizacionais e ambientais.

As cidades inteligentes, ou *smart cities*, se utilizam dessas ferramentas tecnológicas para construir espaços urbanos mais sustentáveis, gerenciando, por meio desses instrumentos, questões relacionadas à redução da emissão de gases de efeito estufa, à gestão de resíduos sólidos, ao saneamento básico e uso racional da água e ao aumento da resiliência diante de possíveis desastres ambientais (Ferraresi; Engelmann, 2021).

Tendo em vista a dinamicidade das mudanças climáticas e o agravamento de suas consequências, as novas tecnologias têm apresentado papel de destaque, uma vez que conseguem, muitas vezes, antecipar riscos que seriam considerados imprevisíveis, a partir de análises de dados que são coletados por satélites, drones e sensores.

É evidente, que a atuação preventiva e de mitigação de desastres ambientais depende, demasiadamente, das novas tecnologias, as quais são capazes de implementar sistemas de alerta e monitoramento eficientes. Atualmente, o homem ainda não consegue impedir ou programar as chuvas,

tempestades e inundações, mas é possível, por meio das novas tecnologias prever essas situações, de modo a adotar ações estratégicas para mitigarem os seus riscos (Albino; Vieira, 2019).

Entre os profissionais e estudiosos da área dos desastres têm sido notória uma mudança de paradigmas representada pelo maior engajamento em atuar nas fases da prevenção e mitigação do ciclo dos desastres, sendo empregadas avançadas ferramentas tecnológicas para a divulgação eficaz das informações sobre os riscos e perigos, visando, ao menos, salvar vidas e preservar a biodiversidade da área atingida. Alguns exemplos são: o desenvolvimento de tecnologia apta a conter de forma célere o derramamento de petróleo no oceano e o aperfeiçoamento de sensores de monitoramentos de eventos climatológicos e de alertas para a evacuação de áreas de risco (Damacena, 2012).

No Brasil, em 2011 o governo federal criou o Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), órgão vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) o qual é o núcleo responsável pela prevenção e gerenciamento da atuação governamental diante da ocorrência de desastres naturais.

O CEMADEN é responsável por monitorar ininterruptamente as áreas de risco de municípios classificados como vulneráveis a desastres ambientais no país, sendo as informações coletadas por radares meteorológicos e pluviômetros de alta tecnologia, repassadas aos órgãos competentes para a atuação, visando antecipar o conhecimento de possíveis desastres naturais, para que as medidas de prevenção e mitigação sejam eficientes (CEMADEN, 2023b).

Entre as diversas atribuições desse órgão federal estão: desenvolvimento de alertas de desastres, ações de proteção e de defesa civil; realização e a divulgação de estudos indicativos das melhores ações preventivas para evitar essas catástrofes naturais; desenvolvimento e operação de sistemas informáticos aptos a comunicar esses eventos; treinamento, a capacitação e a educação dos moradores de áreas de risco para saberem como atuar nessas circunstâncias adversas e; fortalecimento do Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD) (Carvalho, 2015).

Embora no Brasil exista esse órgão vinculado ao MCTI visando difundir a utilização de ferramentas tecnológicas para a prevenção de desastres ambientais,

as quais já vêm sendo empregadas em algumas circunstâncias, diante dos recentes acontecimentos, verifica-se que essas ferramentas poderiam ser melhor aproveitadas para prevenir e mitigar tais catástrofes.

Embora o país esteja localizado em uma área geologicamente estável, tem se tornado mais frequentes esses graves eventos ambientais, os quais poderiam ser evitados se tivessem sido adotadas medidas para minorar os efeitos de atividades humanas depredatórias e de planejamento nesses casos que poderiam representar riscos, não só aos seres humanos, mas para o próprio meio ambiente.

O rompimento da barragem de rejeitos de Fundão (Samarco Mineração S.A.), na cidade de Mariana (MG), em 2015, o qual além de ter deixado vítimas fatais, afetou diversos outros municípios do Estado, uma vez que prejudicou a qualidade da água de toda a Barragem do Rio Doce. Houve, também, o rompimento da barragem da Mina do Córrego Feijão (Vale S.A.) na cidade de Brumadinho (MG), em 2019, que além de ter causado a morte de cerca de 270 pessoas e de inúmeros animais, também, afetou o Rio Paraopeba.

Esses são alguns exemplos de desastres ambientais que poderiam ter sido evitados, ou ao menos terem minorados seus impactos humanos e para o meio ambiente, se por meio de sensores, drones, alertas e outros mecanismos tecnológicos fossem previstos tais eventos (Ganem, 2021).

No site oficial do CEMADEN há uma série de informações relevantes que são coletadas a partir da utilização de tecnologia de ponta instalada pelo país, como um mapa interativo capaz de conferir em tempo real informações meteorológicas de qualquer lugar do território nacional, coletadas por satélites de alta precisão; alertas de riscos de desastres ambientais e a sua proporção de dano, separados por Estados e Municípios e; relatórios diários da previsão de riscos geohidrológicos, indicativos da possibilidade da ocorrência de inundações e enchentes por área (CEMADEN, 2023a).

Contudo, embora sejam relevantes e precisas, pois são obtidas a partir da utilização de altas tecnologias e de pesquisas por equipes multidisciplinares, não há divulgação ampla das informações, faltando uma democratização do acesso. É cada vez mais comum entre as pessoas moradoras de áreas consideradas propensas a desastres ambientais o acesso à *smartphones* e *smartwatches* o que facilita a difusão dessas informações coletadas pelo CEMADEN, pois é possível

emitir alertas individualmente a esses aparelhos, o que hoje pode ser feito pelos seus próprios sistemas operacionais ou por satélites das operadoras de telefonia.

O uso de novas tecnologias, como sensores de calor e drones em áreas de barragem de rejeitos, análises meteorológicas com a utilização de equipamentos avançados para medir o índice pluviométrico e a magnitude das chuvas, aparelhos que medem o nível de gases poluentes na atmosfera e aplicativos em *smartphones* que comunicam a população em tempo real sobre possíveis alterações climáticas, são algumas das tecnologias que, associadas à gestão pública e às medidas organizacionais das cidades, podem ser empregadas para prevenir desastres ambientais e humanos.

3 MONITORAMENTO DE DESLIZAMENTOS NA ERA DIGITAL

Ao analisar os desastres ambientais ocorridos anualmente no território nacional, especificamente dos meses de novembro à fevereiro, devido às intensas chuvas de verão, associadas a diversos fatores, como a falta de planejamento na urbanização e a ocupação populacional em áreas de riscos (especialmente, encostas de morros), percebe-se que são frequentes a ocorrência de eventos catastróficos de danos humanos e ambientais irreparáveis, os quais poderiam ser evitados se monitorados com uso de tecnologias da informação e comunicação e por meio de um planejamento urbano.

Segundo levantamento realizado em 2022 pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), quase quatro mil pessoas morreram no Brasil por causa de deslizamentos de terra nas últimas décadas (Marques, et al., 2022). Em fevereiro de 2022 um temporal assolou a cidade de Petrópolis, na região serrana do Rio de Janeiro, provocando mais de cinquenta óbitos e imensuráveis danos, devido a deslizamentos de terras que foram ocasionados pelas fortes chuvas.

No mesmo ano e no mesmo período, situação semelhante ocorreu em cidades do norte de Minas Gerais e sul da Bahia, as quais, em decorrência do alagamento de córregos e várzeas dos rios e dos deslizamentos de terra, provocados pelo intenso índice pluviométrico, declararam situação de calamidade pública, em decorrência da emergência climática (Ferreira, 2022).

Em 2023, no mês de fevereiro, o litoral norte de São Paulo vivenciou situação semelhante àquelas ocorridas no ano de 2022, tendo registrado o maior

volume de chuvas já ocorrido no país, no interstício de 24 horas, o que causou inundações e deslizamentos de terras em áreas de encostas, ocasionando a morte de mais de duzentas pessoas (Souza, 2023).

Apesar dos inúmeros exemplos que ocorrem ano pós ano no Brasil, esses desastres ambientais e climáticos continuam sendo recorrentes e os principais motivos de suas ocorrências são condições precárias de urbanização, edificação em áreas consideradas de risco e mudanças climáticas, agravadas a partir da emissão de gases de efeito estufa, os quais aumentam as temperaturas e, consequentemente, impactam na formação de temporais.

Ademais, um levantamento realizado pela Associação Contas Abertas mostra que o país vem reduzindo a destinação de verbas públicas à prevenção de desastres ambientais, sendo que nos últimos 13 anos, dos 64 bilhões de reais autorizados em orçamentos públicos para tal finalidade, apenas 63% foram efetivamente investidos, devido à falta de planejamento (G1, 2023).

Se adotadas medidas simples de monitoramento das chuvas e analisadas as regiões em que seriam possíveis tais deslizamentos de terra, muitas vidas seriam poupadadas e muitos danos ambientais e econômicos evitados. As novas ferramentas tecnológicas estão sendo cada vez mais desenvolvidas para que, justamente, catástrofes ambientais similares as já ocorridas sejam evitadas. Neste sentido, Mendes, et al., (2020) afirma que

Recentemente o monitoramento de encostas adquiriu grande importância para a comunidade científica, pois o uso de sensores de monitoramento adequados é uma ferramenta poderosa para a compreensão dos aspectos dinâmicos dos deslizamentos, permitindo sua correta análise e interpretação, sendo principalmente útil e essencial na identificação de situações de alerta. No caso da implementação de sistemas de monitoramento e alertas, a escolha adequada dos parâmetros ambientais (chuva, sucção matricial, temperatura e/ou umidade do solo) e seus respectivos limiares críticos é muito importante para evitar falsos alertas (Mendes, et al., 2020, p. 63).

Dessa forma, sensores eletrônicos capazes de monitorar a umidade do solo e os índices pluviométricos (interligados a softwares e aplicativos de análise de dados), associados a sinais de alertas eletrônicos e autônomos, permitem, a partir de análise em tempo real e simultânea, prever os riscos de deflagração de

deslizamentos e adotar medidas de evacuação dessas áreas (Mendes, et. al., 2020).

Basicamente, dois sistemas tecnológicos são adotados: sistemas de monitoramento, os quais fornecem informações a respeito da qualidade do solo e da umidade e sistemas de alerta, os quais servem para aquelas situações em que se torna necessário informar situações críticas. A diferença principal entre ambos os sistemas é que os de monitoramento tem por objetivo tomar medidas corretivas visando impedir os deslizamentos de terra, enquanto os sistemas de alerta são utilizados para tornar possível a evacuação da área de risco de deslizamento de terra (Rodrigues, 2019). Especificamente em relação a esses sinais

Os alertas são emitidos para os responsáveis pelas ações de prevenção e mitigação, após avaliações realizadas com testes rigorosos de probabilidades. Acoplado a este sistema, há uma base de dados geográficos adicionais para permitir o cruzamento e visualização de qualquer mapa ou imagem que possam auxiliar na tomada de decisão, como por exemplo, apontar vias de acessos, avarias em dutos, ou outras infraestruturas, que possam ser afetadas por determinado fenômeno natural em áreas de risco associada a deslizamentos ou enchentes (Magnoni, et al., 2012, p. 275).

Atualmente, as tecnologias *wireless* e a implantação de redes de sensores sem fio em áreas de encostas, representam uma facilidade no monitoramento de possíveis desastres ambientais. Essas tecnologias trazem inúmeras vantagens como a eliminação dos custos com cabos, o menor custo de instalação e a eliminação de centros de controle a partir da interligação desses sensores por mecanismos de conectividade e rede (Lima, 2022).

Todavia, para a implantação desses sistemas de monitoramento em áreas passíveis de deslizamentos, é importante realizar a análise das características geológicas do solo, da distância mínima e máxima entre esses sensores para o adequado funcionamento da rede e uma captação segura de dados, e do tempo de duração das baterias dos sensores (Lima, 2022).

Outro meio de realizar esse monitoramento, o qual representa uma solução de baixo custo, possibilitando sua instalação em todos os municípios brasileiros, é por meio do uso de fibras ópticas instaladas em estacas de madeira fincadas ao solo, sendo que o movimento e o rebaixamento da altura da fibra produzem sinais

enviados a um *hardware* que processa essas informações recebidas e analisa o risco de eventual deslizamento de terra (Faria Júnior; et al, 2016).

O sistema de geoprocessamento, também, é uma importante técnica capaz de prevenir os desastres decorrentes de deslizamentos de terra. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) criou o TerraMA² (*Terra Modeling, Analysis and Alert*), o qual é responsável por emitir alertas a respeito de situações de risco iminente.

Esse software utiliza as informações coletadas por um Sistema de Informação Geográfica (SIG) o qual associa os dados ambientais, climáticos e hidrológicos do local com dados estatísticos e informações cartográficas. A partir de um algoritmo criado, são detectadas situações de calamidade, sendo comunicados os ocupantes da região de risco via e-mail ou aplicativos de celular, criando, simultaneamente, um mapa das áreas de risco em cores distintas para indicar a intensidade do perigo e ensejar a evacuação a tempo (Leite; et al, 2019).

O Centro Nacional de Monitoramento de Alertas de Desastres Naturais criou no Brasil o ‘Projeto Pluviômetros nas Comunidades’ o qual conta com o engajamento e a capacitação dos moradores em áreas de risco para que consigam operar um *software* que coleta informações a partir de pluviômetros semiautomáticos, sendo capazes de compilar os dados coletados e oferecer respostas céleres para proteção da população. Por esse Projeto, as comunidades se mobilizam na coleta, leitura e interpretação dos dados, proporcionando a percepção dos riscos e a importância de evacuar as áreas quando necessário (CEMADEN, 2022).

Outro projeto de destaque do CEMADEN é a pesquisa ‘Prevenção de deslizamentos se aprende na escola: ciência cidadã em redução de riscos de desastres’ que tem papel crucial, principalmente no desenvolvimento de tecnologias e estratégias para monitorar e prevenir o risco de deslizamentos (CEMADEN, 2023c).

Ademais, os impactos causados por esses eventos de consequências catastróficas, poderiam ser reduzidos ao impedir o surgimento ou o crescimento nessas áreas de risco, levando-se em consideração, para a ocupação do solo, as características do terreno (Santos, et al., 2022). Há relação inversamente proporcional entre o nível de intervenção humana em áreas de risco e os impactos

causados pelas chuvas intensas, pois, quanto menor a presença e a interferência do homem em áreas de encostas, mais preservada estará a vegetação da área e, consequentemente, os temporais não terão impactos tão sérios e catastróficos, uma vez mantida a permeabilidade do solo.

Muitos brasileiros são vítimas dos deslizamentos de encostas e a falta de planejamento urbanístico é um dos grandes fatores que contribuem para essas circunstâncias, não apenas pelo fato de ocuparem áreas de risco, como também por adotarem medidas de contenção momentâneas, como, por exemplo, a colocação de escoras de concreto em reforço a estrutura.

Nesses terrenos uma medida a longo prazo que impactaria de forma positiva para evitar eventos catastróficos nessas áreas, seria o reforço da cobertura vegetal, uma vez que essa seria capaz de evitar a erosão do solo, além de proporcionar a infiltração das águas das chuvas, aumentando a permeabilidade do terreno. Dessa forma, a manutenção da infraestrutura natural ou verde do terreno ajuda a criar um bloqueio natural aos impactos de um desastre (Martins; Ritter, 2022).

Dessa forma, inúmeras medidas podem ser adotadas para a prevenção aos deslizamentos de terra em áreas de risco, sendo que as novas tecnologias e o planejamento urbanístico têm um papel de destaque, sendo capazes de evitar, ou pelo menos minorar, os efeitos danosos derivados de catástrofes ambientais.

CONSIDERAÇÕES

Com a intensificação das mudanças climáticas e da ação humana depredatória ao meio ambiente, os desastres ambientais têm se tornado cada vez mais frequentes, entre os quais, destacam-se deslizamentos de terra em áreas de encostas. Esses eventos se relacionam à intensificação das chuvas em determinados meses do ano (derivadas do aquecimento da temperatura atmosférica, provocado pelo aumento das atividades de emissão de gases de efeito estufa) que são associados à ocupação do homem em áreas consideradas de risco, provocam danos irreparáveis não apenas aos seres humanos, como também, ao meio ambiente.

Compreender as fases do ciclo dos desastres é de extrema relevância para que sejam adotadas medidas eficazes aptas a impedir maiores consequências

danosas desses episódios naturais. O estágio da prevenção, que surge previamente à efetiva ocorrência desses eventos adversos, é a fase que, em tese, deveria ensejar uma maior atuação da sociedade e do estado, uma vez que se rompendo o ciclo já nesse estágio inicial, dos efeitos das catástrofes ambientais seriam minorados. Todavia, analisando-se os últimos acontecimentos naturais no Brasil, percebe-se que o país acaba, muitas vezes, tendo que atuar mais incisivamente nas fases pós-desastre (resposta de emergência, compensação e reconstrução), diante da insuficiência das medidas de prevenção adotadas.

As novas tecnologias têm papel de destaque na prevenção e mitigação desses eventos catastróficos, uma vez que elas são utilizadas para monitorar possíveis deslizamentos de encostas e alertar a população para evacuar a área em situações de extrema urgência. Sensores conectados via *wifi* ou *bluetooth* e sistemas de alertas integrados à aplicativos de *smartphones* são alguns instrumentos tecnológicos que devem ser, cada vez mais, aperfeiçoados e implementados para que sejam minorados e evitados os desastres ambientais em áreas de encostas, os quais são recorrentes no Brasil e cujos efeitos são similares a cada ano.

É notória a aplicação e o desenvolvimento de ferramentas de tecnologias da informação e comunicação na prevenção de desastres ambientais no Brasil. Desde 2011, o país possui um órgão vinculado ao MCTI, o CEMADEN, o qual tem um papel relevante na implantação de medidas tecnológicas de prevenção e gerenciamento diante da ocorrência de desastres ambientais. Todavia, embora esse órgão federal represente um avanço na maneira como o Estado e a sociedade atuam diante de eventos catastróficos, não consegue, sozinho, atuar na conscientização da comunidade sobre riscos, causas e consequências danosas dos eventos adversos da natureza.

No Brasil a máxima ‘prevenir é melhor do que remediar’ ainda não é a regra, sendo necessário haver mudança de paradigmas, principalmente, considerando-se o ciclo dos desastres. As novas tecnologias, associadas a medidas de planejamento urbanístico, são capazes de proporcionar gerenciamento dos riscos, possibilitando a atuação preventiva diante de situações que possam ter efeitos danosos irreparáveis ao meio ambiente e aos seres humanos. Assim, deve ser cada vez mais difundido e incentivado o desenvolvimento de tecnologias, softwares

e aplicativos capazes de auxiliar no monitoramento do ciclo dos desastres, pois isso seria primordial para reduzir a recorrência dessas catástrofes ambientais.

REFERÊNCIAS

- Albino, P. L; Vieira, R. S. As cidades inteligentes e os desastres: como um modelo de urbanização sustentável pode minimizar os riscos ambientais. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UNIRIO**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 07-31, jul./dez. 2019. Disponível em: <http://seer.unirio.br/rdpp/article/view/9405/8537>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- Carvalho, D. W. de. As mudanças climáticas e a formação do Direito dos Desastres. **Revista Novos Estudos Jurídicos**, Itajaí, v. 18, n. 3, p. 397-415, set./dez. 2013. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/nej/article/view/5130>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- Carvalho, D. W. de. Instrumentos de Prevenção a Desastres: as medidas não estruturais e a construção de cidades resilientes. **Revista Novos Estudos Jurídicos**, Itajaí, v. 20, n. 1, p. 34-58, jan./abr. 2015. Disponível: <https://periodicos.univali.br/index.php/nej/article/view/7194>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- CEMADEN. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2023a. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Perguntas Frequentes**, 2023b. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/perguntas-frequentes/>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Projeto Pluviômetros nas Comunidades**, 16 mar. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas-1/projeto-pluviometros-nas-comunidades>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- CEMADEN. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Projeto prevenção de deslizamentos se aprende na escola**, 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas-1/projeto-prevencao-de-deslizamentos-se-aprende-na-escola>. Acesso em: 16 jul. 2023.
- Damacena, F. D. L. **A formação sistêmica de um Direito dos Desastres**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Direito). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Direito, São Leopoldo, 2012. Disponível em:

<http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/3937>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Farber, D. A. Catastrophic Risk, Climate Change, and Disaster Law. **Asia Pacific Journal on Environmental Law**, v. 16, p. 37-54, 2013. Disponível em: <https://lawcat.berkeley.edu/record/1125796/files/fulltext.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Faria Júnior, I. F. de; Beraldo Filho, G; Celaschi, S. Monitoramento de deslizamento de terra usando sensor simples de fibra óptica. **II Encontro sobre Impactos Potenciais de Desastres Naturais em Infraestruturas de Transporte e Mobilidade Urbana (IPTMU)**. São José dos Campos, p. 1-3, out. 2016. Disponível em: http://www2.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2016/09/Revisado_IPTMU_IIdefonso.pdf. Acesso em: 16 jul. 2023.

Ferraresi, C. S; Engelmann, W. **O direito à cidade (inteligente) e as smart cities**: a tecnologia como fio condutor para a (re)organização de espaços urbanos sustentáveis. 2021. 19 f. Disponível em: <https://www.unifor.br/documents/20143/4845162/GT2-Camilo+Stangerlim+Ferraresi+e+Wilson+Engelmann.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Ferreira, Y. Chuvas em Petrópolis, MG, SP e Bahia: emergência climática potencializa mortes por ausência de política socioambiental. **Hypeness, Sustentabilidade**, 12 fev. 2022. Disponível em: <https://www.hypeness.com.br/2022/02/chuvas-em-petropolis-mg-sp-e-bahia-emergencia-climatica-potencializa-mortes-por-ausencia-de-politica-socioambiental/>. Acesso em: 16 jul. 2023.

G1, **Jornal Nacional**. Tempestades no Brasil ficaram muito mais fortes e frequentes nos últimos dois anos., 21 fev. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2023/02/21/tempestades-no-brasil-ficaram-muito-mais-fortes-e-frequentes-nos-ultimos-dois-anos.ghtml>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Ganem, R. S. Cidades inteligentes e desastres – fortalecendo a prevenção. In: Júnior, F. (coord.), et al. **Cidades inteligentes**: uma abordagem humana e sustentável. 1. ed. Série estudos estratégicos, n. 12. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2021, p. 325-338. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/aca-camara/estruturaadm/altosestudos/pdf/cidades_inteligentes.pdf. Acesso em: 16 jul. 2023.

Kokke, M. Desastres Ambientais e o Papel do Direito. In: Brasil, D. R; Carvalho, D. W. de; Silva, R. F. T. da (Org.). **A emergência do Direito dos Desastres na sociedade de risco globalizada**. Belo Horizonte: Conhecimento, 2020, p. 193-210.

Leite, G. T. D; Pinheiro, R. Z. G; Pamboukian, S. V. D. Monitoramento de áreas de risco com a utilização de técnicas de geoprocessamento. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 28-47, 2019. Disponível em: <http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/11000/7749>. Acesso em: 16 jul. 2023.

LIMA, K. T. B. de. **Simulação de redes de sensores sem fio para o monitoramento de deslizamentos de terra**. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45134/tde-03052023-213718/pt-br.php>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Magnoni, A. F; et al. O monitoramento climático e o alerta de desastres naturais na Era da Comunicação Digital. **Ciência Geográfica, Bauru**, v. XVI, n. 2, p. 268-279, jan. /dez. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/134972/ISSN1413-7461-2012-16-02-268-279.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 jul. 2023

Marques, J; et al. Brasil tem quase 4 mil mortes por deslizamentos de terra. Terra, Cidades, 22 fev. 2022. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/brasil/cidades/brasil-tem-quase-4-mil-mortes-por-deslizamentos-de-terra,43b8e0c71f1d32c1a69b88fbcc4b0ede40xtezym.html#:~:text=Conforme%20o%20Atlas%20Digital%20de,67%2C516%20milh%C3%B5es%20de%20pessoas%20afetadas>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Martins, E. J; Ritter, E. da S. Reconfigurações Socioambientais no Antropoceno: perspectivas do Direitos dos Desastres a partir da gestão de riscos. **Anais do 6º Congresso Internacional de Direito e Contemporaneidade**: mídias e direitos da sociedade em rede. Santa Maria, p. 1-22, out. 2022. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/563/2022/11/4.7.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Mendes, R. M., et al. Proposição de limiares críticos ambientais para uso em sistema de alertas de deslizamentos. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 40, ISSN 2236-2878, p.61-77, 2020. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/165390/166516>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Oliveira, M. de. **Manual Gerenciamento de Desastres**: Sistema de Comando em Operações. Florianópolis: Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, 2009. Disponível em: <https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2014/09/Manual-de-Gerenciamento-de-Desastres.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Rodrigues, A. B. **Sistema de monitoramento da umidade do solo para previsão de deslizamentos**. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Faculdade de Tecnologia,

Universidade de Brasília. Brasília, jul. 2019. Disponível em:
https://bdm.unb.br/bitstream/10483/28410/1/2019_AndersonBarrosRodrigues_tcc.pdf. Acesso em: 16 jul. 2023.

Santos, R. C. dos, et al. Cidades Inteligentes: panorama mundial da resiliência a desastres. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 11, n. 7, e46411730327, p. 1-13, 2022. Disponível em:
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/30327/26058>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Souza, G. B. de. Tragédia no litoral de SP e a relação com expansão urbana e mudanças climáticas. **Aprova Total**, 24 fev. 2023. Disponível em:
<https://aprovatotal.com.br/temporais-em-sp-entenda-por-que-estao-cada-vez-mais-fortes/>. Acesso em: 16 jul. 2023.

Souza, Guilherme H. M. de. Uma reflexão sobre as novas configurações do direito e do estado na prevenção dos desastres ambientais. **Revista Acadêmica Escola Superior do Ministério Público do Ceará**, a. 11, n. 1, p. 89-106, jan./jun. 2019. Disponível em: <https://revistaacademica.mpce.mp.br/revista/article/view/67>. Acesso em: 16 jul. 2023.