

ALUVIÃO EM FUNCHAL, ILHA DA MADEIRA: ASPECTOS HISTÓRICOS, CONCEITUAIS E POTENCIAL DE DANO

ALUVIÃO IN FUNCHAL, MADEIRA ISLAND: HISTORIC ASPECTS, CONCEPTS AND POTENCIAL DAMAGE INDEX

ALUVIÃO EN FUNCHAL, ISLA DE MADEIRA: ASPECTOS HISTÓRICOS, CONCEPTUALES Y DANOS POTENCIALES

<https://doi.org/10.26895/geosaberes.v11i0.971>

HUGO FILIPE BARRETO FERREIRA DE FREITAS ^{1*}

ROBERTO FABRIS GOERL ²

GEAN PAULO MICHEL ³

¹ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Campus Trindade - Bloco E - CEP:88040-900, Florianópolis (SC), Brasil, Tel.: (+55 48) 3721.4124, hffreitas8@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-5326-0952>

*Autor correspondente

² Professor do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Campus da Trindade - Bloco A - CEP:88040-900, Florianópolis (SC), Brasil, Tel.: (+55 48) 3721.4124, roberto.fabris@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6261-7143>

³ Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre (RS), Brasil., Tel.: (+55 51) 3308.9572, gean.michel@iph.ufrgs.br, <http://orcid.org/0000-0002-7857-1941>

Histórico do Artigo:

Recebido em 12 de Maio de 2020.

Aceito em 18 de Outubro de 2020.

Publicado em 18 de Outubro de 2020.

RESUMO

O distrito de Funchal, localizado na Ilha da Madeira, é frequentemente afetado por um processo conhecido regionalmente como aluvião. Este processo tem sido registrado desde 1600, contudo o evento que causou maiores danos e prejuízos ocorreu em 2010. O Aluvião possui características tanto de fluxos de detritos como de fluxos hiperconcentrados e enxurradas. O presente artigo analisou o conceito do Aluvião e suas características, bem como propôs um índice potencial de dano que leva em conta a urbanização das bacias e a sua suscetibilidade ao Aluvião. Foram utilizadas imagens do Google Earth Pro (GE) para mapear as cicatrizes dos deslizamentos de 2010 e classificar as bacias em termos de suscetibilidade. O Enhanced Vegetation Index 2 (EVI2) foi utilizado como proxy da urbanização e a sua evolução temporal foi analisada. Por meio da revisão da literatura, notou-se que o Aluvião é tratado comumente como enxurrada, seguido de inundação e deslizamento. Com base nas imagens do GE, 123 cicatrizes foram mapeadas e as bacias classificadas quanto a suscetibilidade. O EVI2 apresentou valores típicos para a urbanização, o que permitiu avaliar a sua evolução temporal e espacial. A partir do índice de potencial de danos, pode-se classificar as bacias, indicando as mais propensas a serem afetadas pelo Aluvião. Além disso, o índice pode ser utilizado no gerenciamento dos desastres e para direcionar a urbanização para bacias com menor suscetibilidade. Por fim, a metodologia se mostrou exequível e pode ser aplicada em qualquer bacia onde há informações espaciais sobre deslizamentos e urbanização.

Palavras-chave: Deslizamentos. EVI. Funchal. Urbanização.

ABSTRACT

The district of Funchal, located on Madeira Island, is often affected by a process known regionally as Aluvião. This process has been recorded since 1600, however the event of 2010 was the most important in terms of financial loss and damage. The Aluvião has, at the same time, characteristics of debris flow, hyperconcentrated flow and floods. This paper analyzed the concept of Aluvião and its characteristics, as well as proposed a potential damage index that takes into account the urbanization of the basins and their susceptibility to Aluvião. Google Earth Pro (GE) imagery was used to map 2010 landslide scars and classify the basins in terms of susceptibility. The Enhanced Vegetation Index 2 (EVI2) was used as a proxy for urbanization and its temporal evolution was analyzed. Through the literature review, it was noted that the Aluvião is commonly treated as flood, followed by flash flood and landslide. Based on the GE images, 123 scars were mapped and the

basins classified in terms of susceptibility. The EVI2 presented typical values for urbanization, which allowed to evaluate its temporal and spatial evolution. Based on the potential damage index, the basins was classified, indicating the most likely to be affected by the Aluvião. In addition, the index can be used for disaster management and guide the urbanization to the less susceptible basin. Finally, the methodology proved feasible and can be applied in any basin where there are spatial information about landslides and urbanization.

Keywords: Landslides. EVI. Funchal. Urbanization.

RESUMEN

El distrito de Funchal, situado en la isla de Madeira, se ve a menudo afectado por un proceso conocido regionalmente como Aluvião. Este proceso se registra desde 1600, sin embargo, el evento de 2010 fue el más importante en términos de pérdidas y daños financieros. El Aluvião tiene, al mismo tiempo, características de flujo de escombros, flujo hiperconcentrado e inundaciones. En este trabajo se analizó el concepto de Aluvião y sus características, así como se propuso un índice de daño potencial que toma en cuenta la urbanización de las cuencas y su susceptibilidad a la aluvião. Se utilizaron imágenes de Google Earth Pro (GE) para cartografiar las cicatrices de deslizamientos de tierra de 2010 y clasificar las cuencas en términos de susceptibilidad. El Índice de Vegetación Mejorada 2 (EVI2) se utilizó como sustituto de la urbanización y se analizó su evolución temporal. A través de la revisión de la literatura, se observó que el Aluvião se trata comúnmente como una inundación, seguida de inundación repentina y deslizamiento de tierra. A partir de las imágenes GE, se mapearon 123 cicatrices y se clasificaron las cuencas en términos de susceptibilidad. El EVI2 presentó valores típicos para urbanización, lo que permitió evaluar su evolución temporal y espacial. Con base en el índice de daño potencial, se clasificaron las cuencas, indicando las más susceptibles de ser afectadas por el Aluvião. Además, el índice puede utilizarse para la gestión de desastres y guiar la urbanización hacia la cuenca menos susceptible. Finalmente, la metodología demostró ser factible y puede ser aplicada en cualquier cuenca donde exista información espacial sobre deslizamientos y urbanización.

Palabras clave: Deslizamientos. EVI. Funchal. Urbanización

INTRODUÇÃO

Em 2010, um evento extremo conhecido regionalmente como aluvião ocasionou danos e prejuízos em diversas localidades da Ilha da Madeira (Portugal), entre elas o distrito de Funchal. Este evento, ocorrido em 20 de fevereiro de 2010, ocasionou a morte de 45 pessoas na Ilha, das quais 22 em Funchal, e 6 pessoas foram declaradas desaparecidas (FRAGOSO *et al*, 2012). Conforme o banco de dados de desastres EM-DAT (2019) os danos estimados deste evento foram de US\$ 13,5 bilhões, afetando aproximadamente 700 pessoas.

A ocorrência dos Aluviões é frequente na Ilha da Madeira. Conforme Da Silva e Meneses (1921), em 1601 houve a ocorrência de aluviões que causaram danos nas casas e pontes em toda a ilha. Em 1803, ocorreu um dos eventos mais severos, ocasionando a morte de 1000 pessoas, o que representou 4% da população total da Ilha. Entre 1803 e 1999, foram registrados 30 Aluviões, 22 no século XX (QUINTAL, 1999).

O evento de 2010 foi originado pela formação de um anticiclone, ou uma forte atividade de um sistema frontal associado a uma depressão. Esta interação climática resultou em um choque da massa de ar polar com a massa de ar tropical. Os fatores que originaram as intensas precipitações foram as áreas de baixa pressão e as correntes de ar frio. O mês de Fevereiro de 2010 na região do Funchal ficou marcado pelos maiores valores registrados de precipitação, com o acumulado mensal de 458,47 mm, sete vezes maior do que a média histórica da região (INSTITUTO DE METEOROLOGIA, I.P, 2010).

O acumulado diário de 20 de Fevereiro nas localidades mais altas de Funchal foi de 330 mm, resultado, entre outros fatores, do efeito orográfico (NGUYEN, *et al*, 2013). Na área urbana de Funchal, situada próximo ao nível do mar, o acumulado foi de 144,3mm (INSTITUTO DE METEOROLOGIA, I.P, 2010).

A causa da severidade dos danos relacionados ao Aluvião de 2010 se deu tanto por fatores antrópicos como naturais, construídos ao longo do processo histórico de evolução da paisagem. A ocupação urbana de Funchal ocorreu sem planejamento, como observado por Aragão (1987). Além disso, após o Aluvião 1803 o Brigadeiro Oudinot, um engenheiro Francês, propôs a canalização dos três principais rios que cortam Funchal. Estas obras tiveram êxito durante um curto período, pois em 1815 um novo evento causou prejuízos e danos ao distrito de Funchal

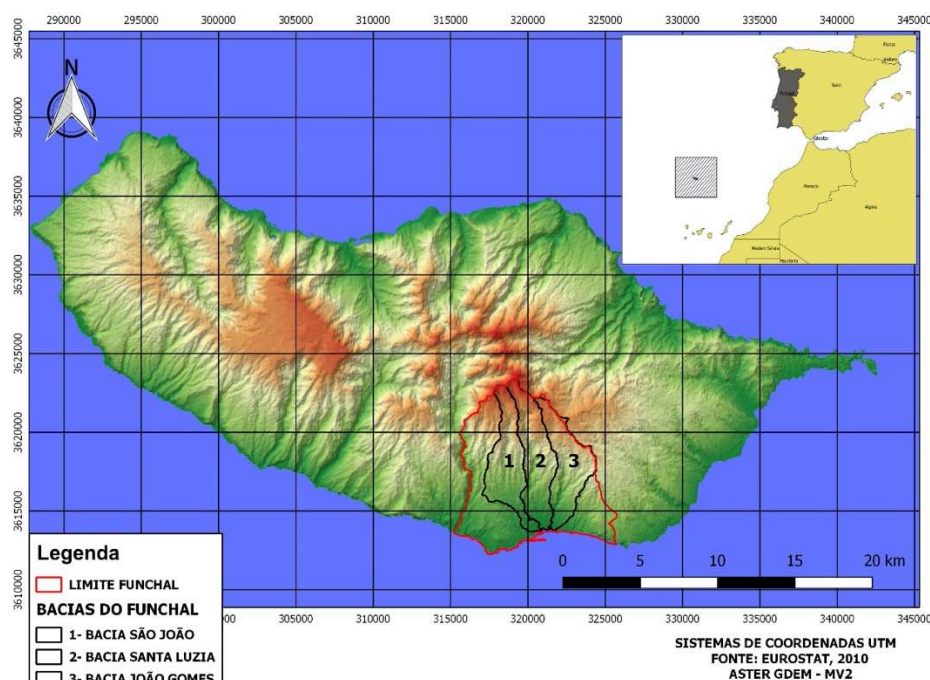
(QUINTAL,1999). Conforme Almeida e Lopes (2014), as bacias hidrográficas as quais Funchal está inserido possuem cerca de 13 km², com vales profundos e estreitos, e com tempo de concentração aproximado de 2 horas. Assim, paralelamente as ações antrópicas, a formação geológica da ilha e sua evolução geomorfológica resultaram em bacias declivosas em com pequeno tempo de concentração, fazendo-as naturalmente suscetíveis à ocorrência de eventos hidrogeomorfológicos extremos.

Intervenções antrópicas associadas a urbanização sem planejamento, modificações nos canais fluviais, somadas ao efeito orográfico e suscetibilidade hidrogeomorfológica das bacias faz com que os Aluviões sejam recorrentes e causem significativos danos e prejuízos na Ilha da Madeira, bem como em Funchal. Observa-se assim que o Aluvião é um evento complexo, resultado da interação de processos meteorológicos, hidrológicos e geomorfológicos. Além disso, como qualquer desastre natural, sua ocorrência está relacionada a ocupação de áreas suscetíveis aos mesmos. Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo analisar a evolução da ocupação urbana após o evento de 2010 nas três principais bacias do conselho de Funchal por meio de um índice espectral, bem como propor um índice de potencial de dano para classificar as bacias. Além disso, o conceito de aluvião foi discutido, pois não se encontra na classificação brasileira ou internacional algum termo que designe especificamente esta tipologia de desastre.

CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ILHA DA MADEIRA

A Ilha da Madeira (Figura 1) faz parte do arquipélago da Madeira, território português, da qual esta é a principal ilha, sendo as outras três a Ilha do Porto Santo, as Ilhas Desertas e as Selvagens, todas originadas a partir de um *Hot Spot* vulcânico. A junção destas ilhas juntamente com Açores, Canarias e Cabo Verde constituem a região biogeográfica da Macaronésia. A Ilha faz parte da placa tectônica da África, sendo mais próxima da África, cerca de 660km, do que de Portugal Continental, cerca de 980km. Seu território é limitado pelos paralelos a 32° 38'N e 32° 52'N, e meridianos 16° 39'W e 17° 16'W.

Figura 1 – Mapa da Localização da Ilha da Madeira



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A amplitude altimétrica da Ilha da Madeira é de 1860 m, variando de 0 m a 1860 m. As três bacias que compõem o conselho de Funchal possuem a altitude mínima de 0 m e máxima de 1780 m, em São João e Santa Luzia e 1590 m na bacia de João Gomes. O sul da ilha, onde está situado Funchal, é caracterizado por vales encaixados e depósitos coluvionar e aluvionar. Na região norte ocorrem grandes escarpas, erodidas pela ação dos oceanos (PRAM, 2002).

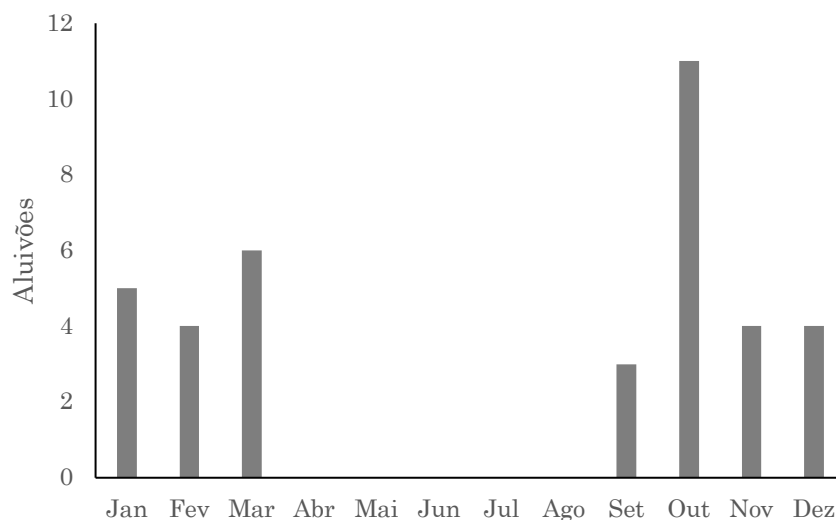
Conforme a classificação de Köppen, a Ilha da Madeira pode ser considerada como de clima mediterrânico. As localidades de maior altitude apresentam temperaturas amenas, 9°C em média, podendo em determinados períodos ser registrados mínimas próximas a 0°C. Nas altitudes mais baixas da Ilha da Madeira, incluindo Funchal, a precipitação média anual é 513 mm, enquanto que nas localidades de maior altitude a média anual é de cerca de 3000 mm (PRADA, *et al*, 2000). Em 2018, a Ilha da Madeira possuía cerca de 254.368 habitantes. Nos últimos anos, o crescimento populacional é resultado principalmente da imigração (DREM, 2018).

ALUVIÃO: HISTÓRICO E CONCEITOS

Do ponto de vista histórico, Da Silva e Meneses (1921), em sua obra *Elucidário Madeirense*, descreve dois aluviões ocorridos em 1724 e 1765, além dos descritos por Quintal (1999), e faz também menção ao Aluvião de 1601. Também foi no Aluvião de 1765 que foi registrada a primeira morte. O Aluvião que gerou mais estragos tanto em nível econômico quanto em nível social/ambiental foi o de 2010 (CAETANO, 2014).

Com base nos dados apresentados por Quintal (1999) e Caetano (2014), houve um incremento dos Aluviões registrados até o século XIX em relação ao século XX. Até 1998, foram registrados 30 aluviões, enquanto que na primeira década do século XXI foram registrados outros 7. Quanto a sazonalidade, o mês de ocorrência mais frequente é Outubro (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Frequência mensal dos Aluviões registrados em Funchal



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O processo aluvião é um termo regional que descreve um complexo evento que possui características tanto de fluxos de detritos, de fluxos hiperconcentrados bem como de enxurradas, resultado de intensas precipitações em pequenas e declivosas bacias. Conforme Nguyen *et al.* (2013), na Ilha da Madeira os deslizamentos tendem a ocorrer em áreas com declividade em torno dos 20° a 40°, e ao se propagarem pelo canal evoluem para fluxos de

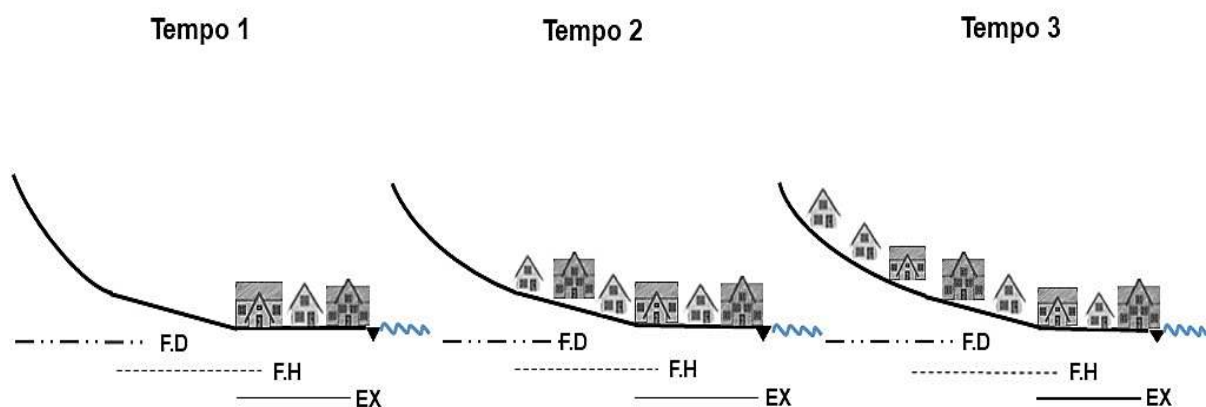
detritos. Dessa maneira, as áreas urbanas que ocuparam locais mais a montante da bacia estão propensas a esta tipologia de evento.

Com a evolução do processo, ocorre o incremento da área de contribuição, aumento da vazão e potencial diminuição da concentração de sedimentos. Assim, o fluxo de detritos evolui para fluxos hiperconcentrados (e.g. WILLFORD *et al.* 2004). Além disso, nas bacias do Funchal foram instaladas barragens para reter sedimentos (tipo SABO), 4 em cada um dos três rios principais (ALMEIDA e LOPES, 2013). Estas barragens auxiliam na retenção de sedimentos, principalmente os mais grosseiros, contribuindo para a evolução do fluxo de detritos para o fluxo hiperconcentrado. As áreas urbanas situadas no trecho médio da bacia são afetadas por este tipo de processo. Com o aumento ainda mais da área de contribuição e a potencial redução da concentração de sedimentos, o processo pode evoluir de fluxo hiperconcentrado para enxurrada.

As áreas mais altas da bacia possuem solos expostos ou com vegetação esparsa e rasteira, sendo importante fonte de sedimento. No trecho médio da bacia há a presença de floresta e arbustos, enquanto que nas partes mais baixas há a urbanização. Assim, pode haver a diminuição da disponibilidade de fontes de sedimentos desde as cabeceiras até a foz, resultando na redução da concentração de sedimentos e evolução do processo, de fluxo de detritos para enxurrada.

Cada trecho da bacia é impactado de maneira diferente pelo processo do aluvião. A Figura 2 exemplifica esta complexidade. No Tempo 1, com o início do processo de colonização da Ilha, a ocupação se deu nas áreas mais planas, próximo ao mar, em áreas mais suscetíveis a enxurradas. Com o crescimento urbano e populacional, a ocupação avançou em direção a montante, para áreas mais declivosas, mais suscetíveis a fluxos hiperconcentrados e de detritos (Tempo 2 e Tempo 3). Empiricamente pode-se inferir esta evolução do processo hidrogeomorfológico vs urbanização com base nas medidas estruturais. No início do século XIX, conforme relata Quintal (1999), as medidas adotadas para prevenir o Aluvião foram a canalização e retificação dos canais fluviais principais de Funchal. Contudo, atualmente há barragens para retenção de sedimentos, ou seja, houve uma mudança no tipo de medida adotada, passando de medidas para inundação/enxurrada para medidas adotadas para deslizamentos/fluxos de detritos.

Figura 2 – Evolução do processo do Aluvião em diferentes trechos da bacia. F.D - Fluxo de Detritos, F.H – Fluxo Hiperconcentrado, EX – Enxurrada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com base nos pressupostos apresentados pela literatura, a Figura 3 foi elaborada. Na parte alta da bacia, nota-se a deposição de bloco e sedimentos grosseiros, relacionados ao fluxo de detritos. Na parte baixa da bacia, próximo ao mar, nota-se a presença de água com elevada

turbidez, mas sem a presença proeminente de blocos. Assim, pode haver uma relação da evolução do processo do Aluvião com a área de contribuição específica da bacia e sua relação com o tipo de processo e a evolução da urbanização.

Figura 3 – À esquerda: Fluxo de Detritos (Área alta da Bacia); À direita: Enxurrada (Área baixa da Bacia)

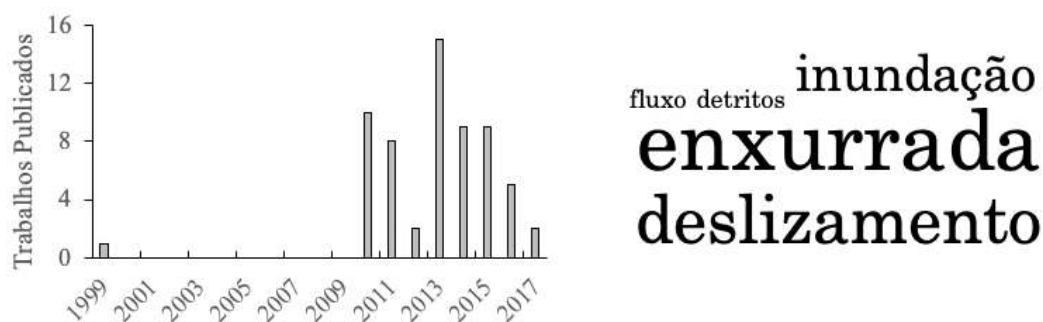


Fonte: Acervo pessoal do primeiro autor.

O Emergency Disaster Data Base (EM-DAT), classifica os desastres em dois grandes grupos, tecnológicos e naturais, sendo o último subdividido em biológicos, geofísicos, climatológicos, hidrológicos, meteorológicos. Esta é a principal classificação internacional (SCHEUREN *et al.* 2008, GOERL e KOBAYAMA, 2013). Os fluxos de detritos, hiperconcentrados, deslizamentos e enxurradas são enquadrados dentro dos desastres hidrológicos. Seguindo a classificação internacional, o Aluvião poderia estar enquadrado dentro desta primeira subdivisão, ou seja, ser considerado um desastre hidrológico. Já a classificação brasileira de desastres (COBRADE), classifica os deslizamentos e fluxos de detritos como desastres geológicos enquanto que as inundações e enxurradas como desastres hidrológicos. Com base nesta classificação, o Aluvião poderia ser enquadrado tanto como um tipo de desastres hidrológico como desastres geológico.

Devido a esta dúvida, foi realizada uma busca no Google Acadêmico com as seguintes palavras chaves: Funchal 2010 + (*flood, debris flow, debris flood, landslide*, aluvião) e Ilha da Madeira + (*flood, debris flow, debris flood, landslide*, aluvião). A pesquisa resultou em 61 artigos, dos quais foram analisados o ano da publicação e as palavras-chave. Até 1999, o único artigo publicado foi Quintal (1999), que apresentou uma descrição dos principais Aluviões ocorridos até aquela data, não sendo encontrado outro artigo entre 1999 e 2010. Após o evento de 2010, há uma maior frequência de publicações (Figura 4). Isto pode demonstrar que eventos extremos tendem a chamar mais a atenção da comunidade científica. Com base na terminologia dos desastres adotada em cada artigo, foi elaborada uma nuvem de palavras, onde o tamanho da palavra está relacionado a frequência do seu uso. Nota-se que o Aluvião é mais frequentemente denominado de enxurrada (*flash flood*), seguido de inundação (*flood*) e deslizamentos (*landslides*).

Figura 4 – Características dos trabalhos científicos relacionados ao aluvião: análise temporal a esquerda e a nuvem de palavras a direita



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

ESTUDO DE CASO

Mapeamento dos deslizamentos do Aluvião de 2010

Para caracterizar as bacias do Funchal em relação ao Aluvião, foram mapeadas as cicatrizes de deslizamento do evento de 2010 utilizando o software Google Earth Pro (GE). Foi utilizada a imagem de 29 de setembro de 2010, sete meses após o evento. A interpretação e vetorização das cicatrizes foi realizada diretamente no GE (e.g. PEREIRA *et al.* 2019; LOPES e NOGUEIRA, 2011). Os polígonos foram exportados para o QGIS e seus atributos geométricos calculados. A Tabela 1 apresenta uma síntese das cicatrizes mapeadas. Foram identificadas 123 cicatrizes, das quais 50 identificadas na bacia São João. A bacia Santa Luzia apresentou a cicatriz com maior área. A bacia de João Gomes apresentou a menor média de cicatrizes, mesmo com um total de deslizamentos semelhantes as outras bacias. Com base no evento de 2010, a bacia São João apresentou maior densidade de cicatrizes, podendo ser considerada a mais suscetível a ocorrência do Aluvião.

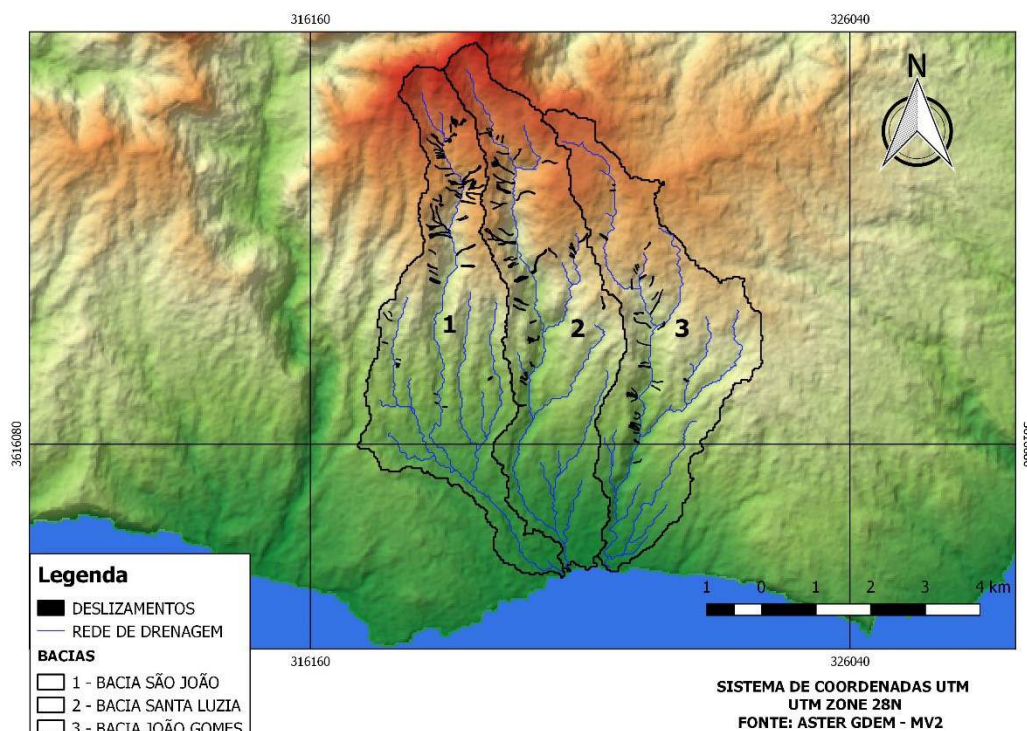
Tabela 1 - Síntese dos deslizamentos mapeados

Bacia	Cictriz.	Mín. (m ²)	Máx. (m ²)	Méd.(m ²)	Total (m ²)	Densid. Cictriz* (km ⁻²)
São João	50	538	12.604	5.363	225.004	3,46
Santa Luzia	38	625	19.280	5.552	210.976	2,49
João Gomes	35	655	6.607	2.456	85.971	2,47

*Densidade de Cicatriz refere-se a relação entre o número de cicatrizes e a área de bacia (Cicatriz/km²)

Tanto na bacia São João (1) quanto na de Santa Luzia (2), os deslizamentos se concentraram no terço superior (Figura 5), regiões mais altas e com menor cobertura vegetal. A concentração das cicatrizes nesta região pode ser explicada pelo efeito orográfico da precipitação e pela ausência de cobertura vegetal nas maiores altitudes da bacia. Ressalta-se também que as cabeceiras das bacias 1 e 2, onde há a maior concentração de cicatrizes, são locais onde incêndios florestais são recorrentes (NAVARRO *et al.* 2017). Os incêndios podem ocasionar a redução temporária das forças de coesão do solo e consequentemente aumentar a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa (GABET, 2003).

Figura 5 – Mapeamento das cicatrizes do evento de 2010



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

Evolução urbana e índice de potencial de dano.

Índices de vegetação, como Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhance Vegetation Index (EVI), entre outros, têm sido utilizados em diversos tipos de mapeamento como análise temporal da variação da cobertura vegetal, (SUN *et al.* 2011, MORAWITZ, 2006), ilhas de calor (GOU *et al.* 2012), entre outras aplicações. Uma busca no Google Acadêmico com os termos NDVI + EVI retornam 16.900 artigos, demonstrando a grande quantidade de trabalhos e aplicações envolvendo estes índices. No presente trabalho, o índice de vegetação foi utilizado como *proxy* da área urbana. Baixos valores do índice de vegetação estão associados a áreas urbanas ou solo exposto (GALLO *et al.* 2004).

O sensor Aster foi escolhido pela sua disponibilidade desde a data do evento e pela resolução espacial (15m). O pré-processamento das imagens Aster foi feito utilizando o Semi-Automatic Classification Plugin, integrado ao QGIS. Foi utilizado o EVI2 proposto por Jiang *et al.* (2008). O EVI2 foi desenvolvido como uma adaptação do EVI devido à ausência da banda azul no sensor Aster.

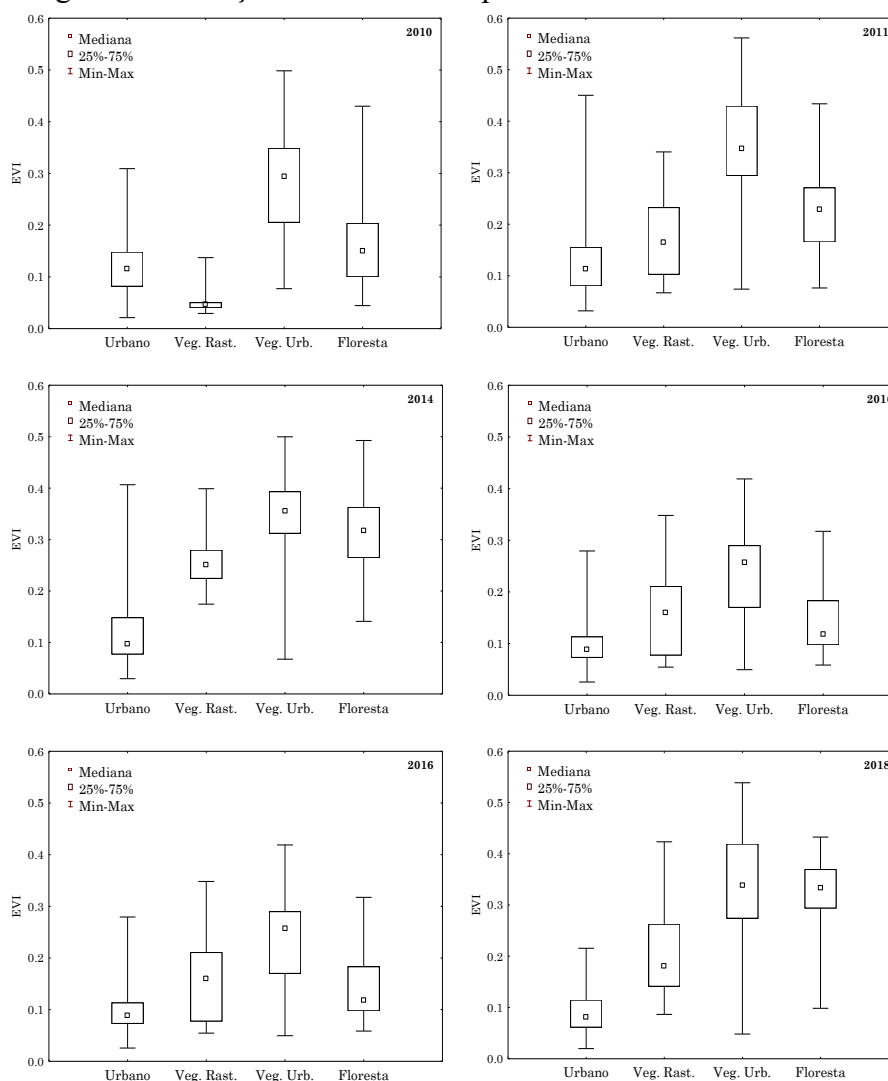
Na primeira etapa de mapeamento da evolução urbana, foi analisado se o EVI2 possui valores típicos para construções, vegetação rasteira, floresta e áreas verdes urbanas, permitindo assim a segmentação destes usos por meio do índice. Foram amostrados 45 pontos em cada uso da terra e analisadas as imagens de 2010 (26-Ago.), 2011 (31-Mar.), 2014 (10-Mai.), 2016 (19-Ago.), 2017 (22-Ago.) e 2018 (05-Out.), datas estas sem a presença de nuvem sobre a área de estudo.

Nota-se que a área urbana não apresentou grande variação na assinatura do EVI2 ao longo dos anos (Figura 6). A baixa variação dos valores do EVI2 relacionados a vegetação rasteira em 2010 são resultados do incêndio ocorrido em agosto de 2010, nas cabeceiras das bacias (FONTINHA *et al.* 2014). Em todos os anos apresentados nota-se sazonalidade relacionada ao comportamento das classes de uso. Contudo, pode-se observar que há uma diferenciação nos

valores da área urbana e vegetação urbana, podendo o EVI2 ser um método para a distinção destas duas classes.

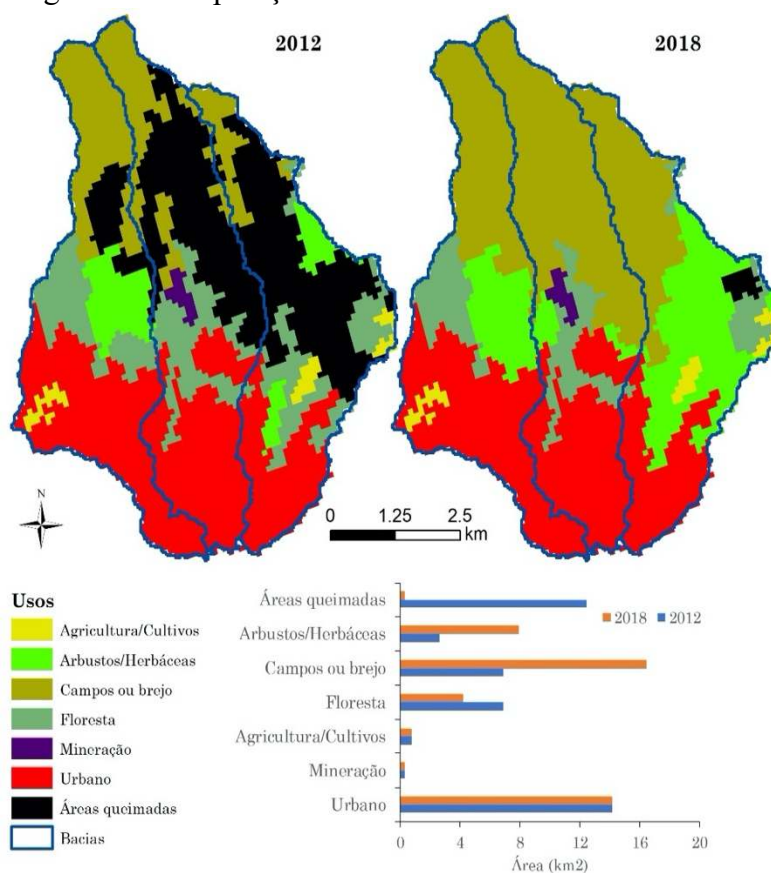
Por meio das imagens do GE, notou-se que a urbanização de Funchal está consolidada nas localidades mais próximas do mar e tem avançado em direção as cabeceiras da bacia, sem, contudo, alcançar as áreas de solo exposto e as áreas de floresta situadas no terço médio e nas cabeceiras. Além disso, espera-se a substituição das áreas verdes urbanas por construções, ou seja, um adensamento da área urbana já existente. Com base nos gráficos apresentados na Figura 6, optou-se por assumir como área urbana valores de EVI2 menores que 0,2. Devido a similaridade do comportamento do EVI2 para as outras classes, a bacia foi segmentada em duas partes. A primeira, onde historicamente houve e ainda há ocupação (Figura 7), na qual é possível segmentar pelo EVI2 o uso urbano da vegetação urbana. O remanescente da área da bacia, onde o EVI2 possui comportamento semelhante entre os usos e que, visualmente pelas imagens do Google Earth não há construções foi considerado não-urbano. Assim, as bacias foram classificadas em urbano e não urbano. Nota-se pelo mapa de uso da terra que não houve variação entre a área considerada Urbana entre 2012 e 2018. Um dos fatores se deve à escala do mapa oficial produzido pelo projeto *Copernicus Land Monitoring Service* (BÜTTNER *et al.* 2004), que mapeia usos apenas com área maior que 25 ha.

Figura 6 - Variação anual do EVI2 para os diferentes usos da terra



Fonte: elaborado pelo autor (2020).

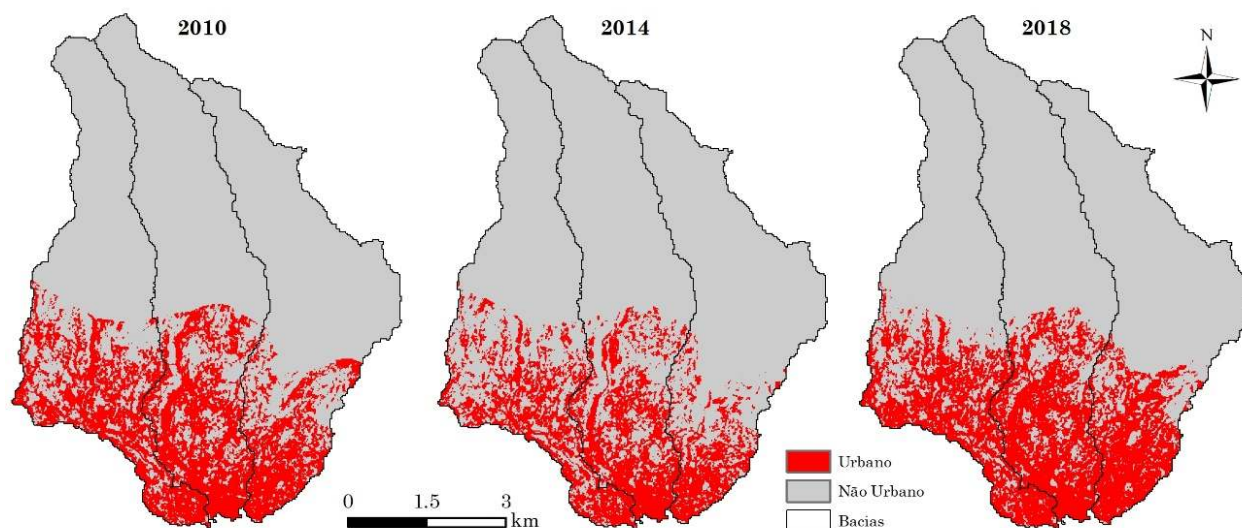
Figura 7 - Comparação entre usos da terra de 2012 e 2018.



Fonte: elaborado pelo autor (2020) com base nos dados de Copernicus Land Monitoring Service.

Com base no método proposto no presente trabalho foi elaborado o mapa de uso urbano e não urbano da terça inferior da bacia, que engloba a área mapeada como urbano pelo *Copernicus Land Monitoring Service* (Figura 8). O restante da bacia foi classificado como não urbano. Em 2010, com base no EVI2, a área urbana da bacia era de 10,2 km², havendo uma redução em 2014 e aumento em 2018 (Tabela 2).

Figura 8 – EVI2 classificado em urbano e não urbano na área de análise.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Tabela 2 – Usos urbano e não-urbano das bacias.

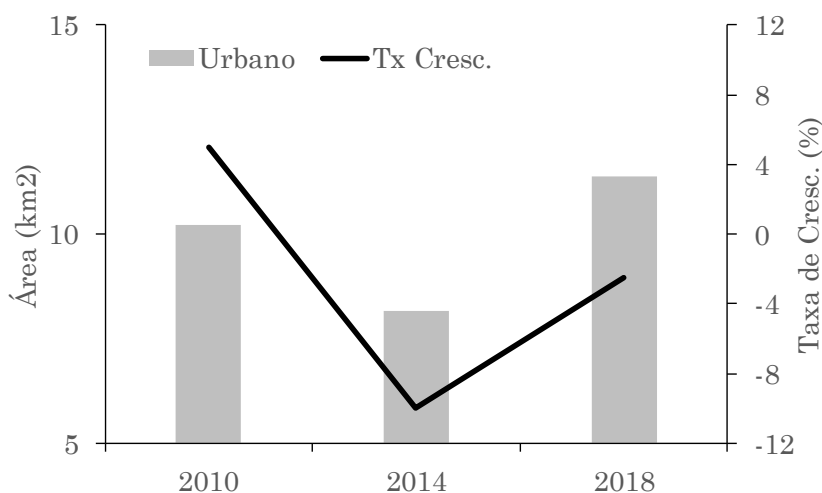
Uso (km ²)	2010	2014	2018
Urbano	10,21	8,18	11,37
Não Urbano	33,61	35,64	32,45

Fonte: elaborado pelo autor (2019).

Observa-se que o comportamento temporal da área urbana mapeado pelo EVI2 apresenta tendência semelhante com as taxas de crescimento da Ilha da Madeira (Figura 9). Em 2010, a taxa de crescimento era de 5%. Contudo, houve um decréscimo considerável, e em 2014 a taxa passou para -10%, apresentando crescimento em 2018, mas ainda negativa (-2,5%). A área urbana mapeada pelo EVI2 apresentou uma redução entre 2010 e 2014 e um aumento entre 2014 e 2018, acompanhando a redução e aumento da taxa de crescimento da Ilha. Assim, pode-se assumir que a classe urbana, mapeada pelo EVI2, apresentou tendência similar ao comportamento demográfico, podendo ser considerado um *proxy* da evolução urbana. Com base neste comportamento semelhante, um índice de Potencial de Dano foi proposto para analisar espacialmente e temporalmente as três principais bacias do conselho de Funchal (Eq. 1)

618

Figura 9 – Comparação entre a variação temporal da área urbana e as taxas de crescimento da Ilha da Madeira.



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados de DREM (2018).

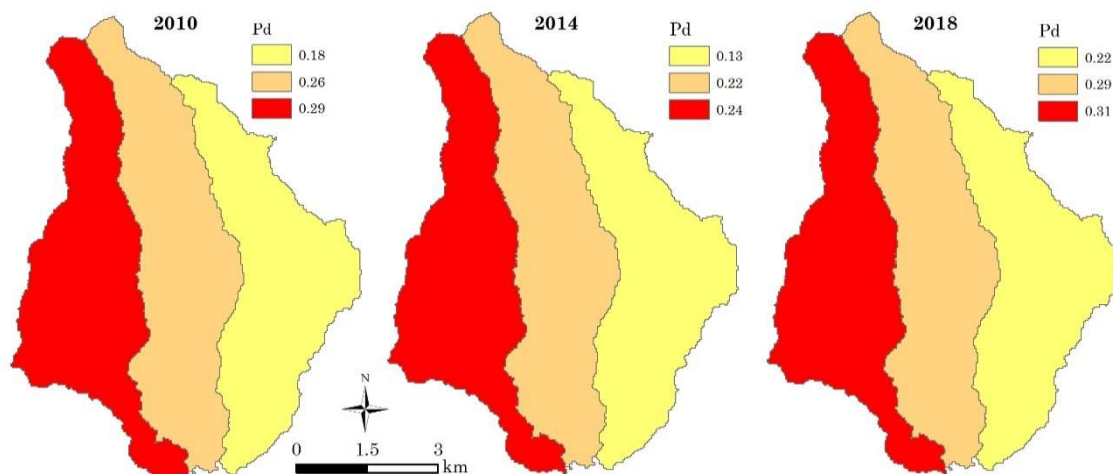
$$Pd = \frac{Ad + Aurb}{Ab} \quad (1)$$

Onde Pd é o potencial de dano, Ad é o somatório das áreas deslizadas em cada bacia, Aurb é a área urbana na bacia e Ab é a área total da bacia.

O Pd leva em consideração a suscetibilidade da bacia (quantidade de cicatrizes) e a evolução urbana. Assume-se que quanto maior a quantidade de deslizamentos e maior a área urbana, em relação a área da bacia, maior o potencial destes deslizamentos causarem impactos. A bacia São João (esquerda) é que apresentou a maior densidade de cicatrizes e a maior área urbana, seguida pela bacia Santa Luzia e João Gomes (Figura 10). Em todos os anos analisados as bacias foram classificadas da mesma maneira em relação ao potencial de dano (Pd). A bacia São João apresentou maior área urbana em relação às outras duas bacias e possuiu a maior quantidade de cicatrizes mapeadas, maior densidade de cicatriz e maior área total deslizada. Dessa maneira, esta bacia possui maior suscetibilidade a ocorrência de aluviões e também apresentou maior área urbana. Apesar do seu caráter empírico, o Pd pode ser utilizado para

indicar os locais que necessitam de maior ações de prevenção bem como direcionar a ocupação urbana no conselho de Funchal, incentivando-a para a bacia com menor Pd, ou seja, a bacia João Gomes.

Figura 10 – Espacialização e temporalidade do Potencial de Dano.



Fonte: elaborado pelo autor (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisou os Aluviões no distrito de Funchal, localizado na Ilha da Madeira. O processo de formação e evolução geológico-geomorfológico fez com que diversas bacias da ilha apresentem relevo declivoso e vales encaixados, ocasionando rápido tempo de concentração. Associado a estas características naturais tem-se o efeito orográfico que gera intensas precipitações nas cabeceiras, desencadeando processos hidrogeomorfológicos extremos, como o Aluvião. A suscetibilidade natural da bacia ao Aluvião é evidenciada pelo seu histórico de registro, desde 1600.

Devido as características fisiográficas da bacia, o Aluvião pode ser considerado um desastre natural complexo, possuindo características de fluxos de detritos, de fluxos hiperconcentrados e de enxurradas. Esta complexidade foi evidenciada por meio da literatura, demonstrando que não há consenso na comunidade científica da tipologia de evento na qual o Aluviões se enquadra. Esta complexidade pode também ser resultado dos diferentes impactos ocasionados pelo evento. No trecho superior da bacia, a alta concentração de sedimentos e a presença de grandes blocos ocasiona danos típicos de fluxos de detritos, enquanto que, no trecho médio e inferior, os impactos estão relacionados à fluxos hiperconcentrados e enxurradas, respectivamente. Está evolução do processo está relacionada tanto com a disponibilidade de sedimentos e aumento da área de contribuição como pela presença de barragens de retenção de sedimentos.

Por fim, com base no Enhanced Vegetation Index 2 (EVI2) e na suscetibilidade da bacia, um índice de potência de dano foi proposto. Este índice permitiu classificar a bacia em termos de evolução da urbanização e suscetibilidade aos Aluviões, indicando qual bacia possui maior ou menor potencial de danos. Assim, este índice pode ser um indicador aplicado no gerenciamento de desastres e na redução de riscos, contribuindo para o planejamento da urbanização.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, EDWARD A. **The Köppen classification of climates in North America**. Geographical Review, American Geographical Society, New York, USA p. 105-111, 1941.

Disponível em: < <https://www.jstor.org/publisher/ags>>. Acesso em: 15 Setembro.2019

ALMEIDA, A. B.; LOPES, S. **Novas Medidas Estruturais Para Diminuição Do Risco Hidrológico No Funchal**. In: VIII Encontro Nacional de Riscos. Guimarães, 2014.

ARAGÃO, A. Para a história do Funchal. **Secretaria Regional do Turismo e Cultura**, 1987.

BÜTTNER, G., FERANEC, J., JAFFRAIN, G., MARI, L., MAUCHA, G., & SOUKUP, T. **The CORINE land cover 2000 project**. EARSEL eProceedings, European Topic Centre on Terrestrial Environment, Universitat Autònoma de Barcelona, v. 3, n. 3, p. 331-346, 2004

Disponível em: < <https://bityli.com/eGTsG> >. Acesso em: 10 Setembro. 2019

CAETANO, C. **Avaliação do risco de Aluviões das ribeiras da Ilha Da Madeira**, (Tese de Mestrado), Técnico de Lisboa, Cidade de Lisboa, 2014.

DA SILVA, F. A.; MENESES, C. A. **Elucidário Madeirense**. Tipografia Esperança, São Miguel, Açores, 1921

DE FRANÇA, J. ALBERTO PIMENTA; DE, ANTÓNIO BETÂMIO. **Plano regional de água da madeira síntese do diagnóstico e dos objetivos**, 6º SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Cabo Verde, 2003. Disponível em: < https://www.aprh.pt/6_silusba/vol3_APRH_LF_751_818a.pdf >. Acesso em: 23 Agosto.2019

DREM - **Estatísticas Demográficas Da Região Autónoma Da Madeira**, 2018

EM-DAT, C. R. E. D. The international disaster database. **Center for Research on the Epidemiology of Disasters**. Disponível em: <https://www.emdat.be>

FONTINHA, SUSANA et al. **Vegetation recovery after a large forest fire in the Ecological Park of Funchal (Madeira Island, Portugal)**. Silva Lusitana, v. 22, n. 2, 2014.

GABET, EMMANUEL J. Post-fire thin debris flows: sediment transport and numerical modelling. **Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group**, UK, v. 28, n. 12, p. 1341-1348, 2003. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/esp.590> >. Acesso em: 5 Outubro.2019

GALLO, K. P. et al. Trends in night-time city lights and vegetation indices associated with urbanization within the conterminous USA. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 2003-2007, 2004. Disponível em: < encurtador.com.br/oxBF5 > Acesso em: 26 Setembro. 2019

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.. **Redução dos desastres naturais: Desafio dos geógrafos. natural disaster reduction: The challenge of geographers**. Ambiência, Paraná, Brasil, v. 9, n. 1, p. 145-172, 2013. Disponível em: <

<https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/1935> >. Acesso em: 15 Agosto de 2019.

PRAM - **Plano Regional De Água Da Madeira**, GOVERNO REGIONAL DA ILHA DA MADEIRA, 2002

GUO, Z. et al. **Assess the effect of different degrees of urbanization on land surface temperature using remote sensing images**. Procedia Environmental Sciences, v. 13, p. 935-942, 2012. Disponível em: < encurtador.com.br/uBCY9 > Acesso em: 18 Setembro. 2019

INSTITUTO DE METEOROLOGIA, IP PORTUGAL. (2010). **Fevereiro muito chuvoso em Portugal**. Disponível em: < http://www.meteo.pt/pt/media/noticias/newsdetail.html?f=/pt/media/noticias/arquivo/2010/Rel_Clima_FEV_2010.html > Acesso em: 15 Setembro. 2019

LOPES, E. E. E NOGUEIRA, R. E. **Proposta metodológica para validação de imagens de alta resolução do Google Earth para a produção de mapas**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil, 2011. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92563> > Acesso em: 2 Outubro. 2019

MORAWITZ, DANA F. et al. **Using NDVI to assess vegetative land cover change in central Puget Sound**. Environmental monitoring and assessment, University of Maine, USA, v. 114, n. 1-3, p. 85-106, 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-006-1679-z> > Acesso em: 13 Setembro. 2019

NAVARRO, GABRIEL et al. Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, University of Twente, Enschede, Netherlands, v. 58, p. 97-106, 2017. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243417300296> > Acesso em: 2 Agosto.2019

NGUYEN, HIEU T. et al. **Landslide hazard and cascading effects following the extreme rainfall event on Madeira Island (February 2010)**. Natural hazards, v. 65, n. 1, 2013. p. 635-652. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-012-0387-y> > Acesso em: 2 Agosto.2019

PEREIRA, L. F.; DE BARROS CRUZ, G.; GUIMARÃES, R. M. F. Impactos do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho, Brasil: uma análise baseada nas mudanças de cobertura da terra. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Universidade Federal Rural de Pernambuco v. 4, n. 2, p. 122-129, 2019.

PRADA, S. L. R. N. **Geologia E Recursos Hídricos Subterrâneos da Ilha Da Madeira**, (Tese de Doutorado), Universidade da Madeira, Funchal, 2000. Disponível em: < <https://digituma.uma.pt/handle/10400.13/118> > Acesso em 5 Agosto. 2019

QUINTAL, RAIMUNDO. **Aluviões da Madeira. Séculos XIX e XX**. Territorium, n. 6, p. 31-48, Universidade de Coimbra, Coimbra, 1999.

SCHEUREN, J. M. et al. **Annual disaster statistical review: numbers and trends 2007**. No. UCL-Université Catholique de Louvain, França, 2008. Disponível em: < <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:178842> > Acesso em 4 Outubro.2019

SUN, JINYU ET AL. **NDVI indicated characteristics of vegetation cover change in China's metropolises over the last three decades**. Environmental monitoring and assessment, University of Maine, USA, v. 179, n. 1-4, p. 1-14, 2011. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-010-1715-x> > Acesso em: 6 Outubro. 2019

WILFORD, D. J. et al. **Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics**. Landslides, Universidade de Kyoto, v. 1, n. 1, p. 61-66, 2004. Disponível em: < https://link.springer.com/article/10.1007/s10346-003-0002-0?bcgovtm=5c92f045c7-EMAIL_CAMPAIGN_2017_11_28_COPY_02 > Acesso em: 7 Agosto. 2019