



Universidade Federal de Santa Catarina

Centro de Filosofia e Ciências Humanas

Departamento de Geociências

Curso de Geografia

Hugo Filipe Barreto Ferreira de Freitas

**EVENTO EXTREMO DA ILHA DA MADEIRA 2010:  
IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS ÁREAS AFETADAS POR DESLIZAMENTOS  
DE VERTENTES NA REGIÃO DO FUNCHAL**

Hugo Filipe Barreto Ferreira de Freitas

**EVENTO EXTREMO DA ILHA DA MADEIRA 2010:  
IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS ÁREAS AFETADAS POR DESLIZAMENTOS  
DE VERTENTES NA REGIÃO DO FUNCHAL**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação  
em Geografia do Centro de Filosofia e  
Ciências Humanas da Universidade Federal  
de Santa Catarina como requisito para a  
obtenção do Título de Bacharel em Geografia.  
Orientador: Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl

Florianópolis

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da  
Biblioteca Universitária da UFSC.

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor.

Orientações em:

<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

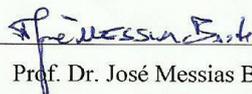
Hugo Filipe Barreto Ferreira de Freitas

**Hugo Filipe Barreto Ferreira de Freitas**

**Evento Extremo da Ilha da Madeira 2010: identificação e análise das áreas afetadas por deslizamentos de vertentes na região do Funchal.**

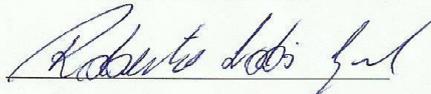
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de “Bacharel em Geografia” pela Universidade Federal de Santa Catarina e aprovada em sua forma final pelo Programa de Graduação em Geografia.

Florianópolis, 13 de novembro de 2018.

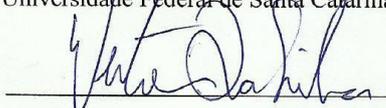


Prof. Dr. José Messias Bastos  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl (orientador)  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Everton da Silva

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Lindberg Nascimento Júnior  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais por estarem sempre ao meu lado, meus amigos e ao meu orientador por me ajudar a elaborar este trabalho. Dedico este trabalho também a todos os madeirenses afetados pelo desastre.

## RESUMO

O conselho do Funchal, localizado na Ilha da Madeira (Portugal) foi severamente afetado, em fevereiro de 2010, devido à ocorrência de um fenômeno denominado Aluvião. O Aluvião é um evento complexo, é uma junção de vários eventos seguidos e evoluindo de um em um. Primeiramente o deslizamento das vertentes, seguido pelo fluxo de detritos e depois se transformando em um fluxo hiperconcentrado que não consegue evoluir em uma enxurrada, as bacias por serem muito pequenas e alongadas fazem com que o processo seja interrompido bruscamente. As três bacias hidrográficas do Funchal sofreram impactos drásticos tanto ambientais como sociais. O desenvolvimento urbano ao longo dos anos em torno dos 3 principais rios do conselho do Funchal é um fator muito importante para que este evento seja tão destrutivo, além da declividade e das características geomorfológicas da região, por isso através de três imagens ASTER de 2010, 2011 e 2017 foi possível a criação do EVI que mostrou que a urbanização aumentou nas 3 bacias hidrográficas ao longo dos três anos. Foram criados dois índices, o Índice de Perigo (Antrópico) e o Índice de Densidade de Deslizamento (Natural) de cada bacia. Os resultados mostraram que a Bacia de João Gomes no ano de 2010 o índice de perigo rondava os 0,28, e em 2011 diminuiu para 0,25, e em 2017 aumentou para 0,27. O mesmo acontece com a Bacia de Santa Luzia o índice baixou de 2010 para 2011 com 0,19, e em 2017 passou para 0,25, e por fim a Bacia de João Gomes foi a que gerou o maior índice de perigo, de 2011 com valor de 0,13 passou para 0,23 em 2017, podendo concluir que se o Aluvião ocorrer novamente a Bacia de João Gomes é a que terá maior impacto. Por fim, o Índice de Densidade de Deslizamentos mostrou que a Bacia com o maior número de deslizamentos por Km<sup>2</sup> foi a Bacia de São João com 3,5 deslizamentos por Km<sup>2</sup>, em seguida a Bacia de Santa Luzia com 2,6 deslizamentos por Km<sup>2</sup>, e por fim a menos Bacia a Bacia de João Gomes com cerca de 2,5 deslizamentos por Km<sup>2</sup>.

**Palavras-chave:** Aluvião. Urbanização. Deslizamentos. Índice de Perigo. Índice de Densidade de Deslizamentos

## ABSTRACT

The Funchal council, located on Madeira Island (Portugal) was severely affected, in February 2010, due to the occurrence of a phenomenon denominated Aluvião. The aluvião is a complex event. It is a junction of several events followed and evolving one by one. First the landslides, followed by debris flow and then transforming into a hyperconcentrated stream that can not evolve in a flash flood, the problem is that the basins are too small and elongated that causes a unfinished process that stoppes abruptly. The three catchment areas of Funchal have suffered drastic environmental and social impacts. The urban development over the years around the 3 main rivers of the Funchal council is a very important factor for this event to be so destructive, besides the slope and the geomorphological characteristics of the region. That is why was used three images ASTER 2010, 2011 and 2017, it was possible to create the EVI that showed that urbanization increased in the three hydrographic basins over the three years. Were created two indexes, the Danger Index (Anthropic) and the Density of Landslides Index (Natural) of each basin. The results showed that the João Gomes Basin in 2010 had a hazard index of 0,28 and in 2011 it decreased to 0,25 and in 2017 it increased to 0,27. The same happens with the Santa Luzia Basin, the index decreased from 2010 to 2011 with 0,19, and in 2017 turned to 0,25, and finally the João Gomes Basin generated the highest danger index, in 2011 with a value of 0,13, increased to 0,23 in 2017, and this shows that if the Aluvião occurs again the João Gomes Basin is the one that will have the greatest impact. Finally, the Density of Landslides Index showed that the Basin with the largest number of landslides per Km<sup>2</sup> was the São João Basin with 3,5 landslides per Km<sup>2</sup>, followed by the Santa Luzia Basin with 2,6 landslides per Km<sup>2</sup>, and finally the least the João Gomes Basin with about 2,5 landslides per km<sup>2</sup>.

**Keywords:** Aluvião. Urbanization. Landslides. Danger Index, Density of Landslides Index.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).....	16
Figura 2 - Aumento do nível do rio em função das chuvas, desde nível normal a inundaçã.....	17
Figura 3 - Processo completo em uma Bacia teoricamente grande.....	20
Figura 4 - Processo incompleto em uma Bacia teoricamente pequena e alongada.....	21
Figura 5 - Localização Geográfica da Ilha da Madeira.....	30
Figura 6 - Complexos Geológicos da Ilha da Madeira.....	31
Figura 7 - Precipitação Anual Média.....	33
Figura 8 - Mapa Hipsométrico.....	35
Figura 9 - Declividade do Conselho do Funchal.....	36
Figura 10 - Identificação do corte e do perfil topográfico nas três bacias.....	37
Figura 11 - Esquema Metodológico.....	40
Figura 12 - Deslizamentos nas Bacias.....	41
Figura 13 - Bacia de São João.....	43
Figura 14 - Bacia Santa Luzia.....	43
Figura 15 - Bacia João Gomes.....	44
Figura 16 - Índice da Densidade de Deslizamentos das bacias.....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Número de trabalhos sobre o fenómeno Aluvião.....	21
Gráfico 2 - Índice de Perigo da Bacia de São João.....	42
Gráfico 3 - Índice de Perigo da Bacia de Santa Luzia.....	47
Gráfico 4 - Índice de Perigo da Bacia de João Gomes.....	47

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Dados da Definição do Aluvião .....	23
Tabela 2 - Dados de cada aluvião da região do Funchal .....	24
Tabela 3 - Dados das principais bacias hidrográficas do Funchal.....	34
Tabela 4 - Dados dos deslizamentos por bacia.....	42

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

PRAM – Plano Regional de Água da Madeira

PDM – Plano Diretor Municipal

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	14
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
3.1 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO DE DESASTRES NATURAIS .....	15
3.2 ALUVIÃO .....	18
3.3 O HISTÓRICO DOS ALUVIÕES NO FUNCHAL .....	23
<b>4 O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NO FUNCHAL .....</b>	<b>25</b>
4.1 OCUPAÇÃO E EVOLUÇÃO NO FUNCHAL.....	26
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
5.1 ÁREA DE ESTUDO .....	29
5.2 GEOLOGIA .....	30
5.3 GEOMORFOLOGIA .....	32
5.4 CLIMA .....	33
5.5 AS TRÊS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO FUNCHAL .....	34
5.6 MAPEAMENTO DAS CICATRIZES DE DESLIZAMENTOS .....	37
5.7 EVOLUÇÃO URBANA (EVI) .....	38
5.8 ÍNDICES .....	39
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
6.1 CARACTERÍSTICAS DOS DESLIZAMENTOS .....	41
6.2 DADOS DA EVOLUÇÃO URBANA .....	42
6.3 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES .....	44
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A Ilha da Madeira, localizada nas proximidades da costa de África, mais precisamente do país de Marrocos e do arquipélago das Ilhas Canárias, no oceano Atlântico. Território português desde 1419, é conhecida mundialmente pela sua beleza e, relacionada principalmente ao seu processo formativo.

Um grande evento climático ocorrido em 2010 desencadeado principalmente por intensas precipitações, deflagrou um processo conhecido em Portugal mais precisamente na Ilha da Madeira como Aluvião. Este evento severo de 2010 causou prejuízos financeiros, danos e mortes em algumas regiões da Ilha da Madeira, deixando cerca de 600 desalojados e aproximadamente 300 mortos e feridos (IST, UMA, e LREC, 2010).

Ao longo dos anos a urbanização e os meios de produção foram aumentando a sua demanda, ocupando uma área cada vez maior das três bacias hidrográficas do conselho do Funchal. No mês de fevereiro do ano de 2010 ocorreu um dos mais violentos Aluviões já registrados na Ilha da Madeira, e o conselho do Funchal que, é a área de interesse deste trabalho foi gravemente afetado.

A proposta deste estudo foi analisar por meio de imagens de satélites uma eventual mudança urbana na localidade do Funchal para os anos de 2010, 2011 e 2017. Dessa maneira, buscou-se identificar se houve um aumento da urbanização nas áreas suscetíveis a ocorrência de aluviões, utilizando imagens de satélite de três diferentes anos. Este trabalho realizou também uma análise histórica dos Aluviões ocorridos na Ilha da Madeira, pois conforme retrata Quintal (1999), os aluviões vem sendo registrados desde o ano de 1803 em diversas partes da ilha.

O fenômeno estudado neste trabalho é um desastre natural, pois ao se considerar a causa do evento, nota-se que o agente deflagrado é uma intensa precipitação, ou seja, são eventos provenientes da dinâmica dos processos superficiais. Contudo, a natureza não foi o único fator para que este evento se tornasse num dos mais mortais da Ilha da Madeira. As ações antrópicas levaram ao agravamento deste fenômeno. Assim, designamos este desastre não só natural, mas sim um desastre misto (socio/natural), uma vez em que existem fatores internos e externos concorrentes para provocar e/ou agravar os eventos adversos.

O interesse do tema proposto neste trabalho, parte da consideração de toda a problemática tanto social, como ambiental em torno deste processo extremo. De maneira geral a sociedade habita em regiões que possam não ser seguras do ponto de vista de eventos naturais extremos, trazendo tanto problemas para si, como também desencadeando problemas ambientais devido as intervenções antrópicas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar a evolução da ocupação urbana em três bacias do Funchal, afetadas pelos eventos do aluvião em 2010.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Caracterizar o processo hidrogeomorfológico do aluvião sob a ótica dos desastres naturais.

Mapear as cicatrizes de deslizamentos nas três bacias do Funchal.

Analisar a evolução urbana a partir de imagem Aster, por meio do Enhanced Vegetation Index (EVI).

Desenvolver e aplicar um índice de densidade de deslizamentos com base nas cicatrizes e o índice de perigo com base na evolução urbana.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO DE DESASTRES NATURAIS

Qualquer evento natural como um terremoto, enxurrada ou inundação, quando ocorre sem causar danos, não é considerado um desastre, tratando-se apenas de um processo geológico e geomorfológico inerente a dinâmica endógena e exógena da Terra. Um evento natural transforma-se em um desastre quando ocorrem danos tanto materiais, humanos e socioeconômicos (Kobiyama, et,al 2006). A ação antrópica, como a modificação na bacia hidrográfica é um agente intensificador para esses eventos, podendo aumentar drasticamente o seu potencial de destruição.

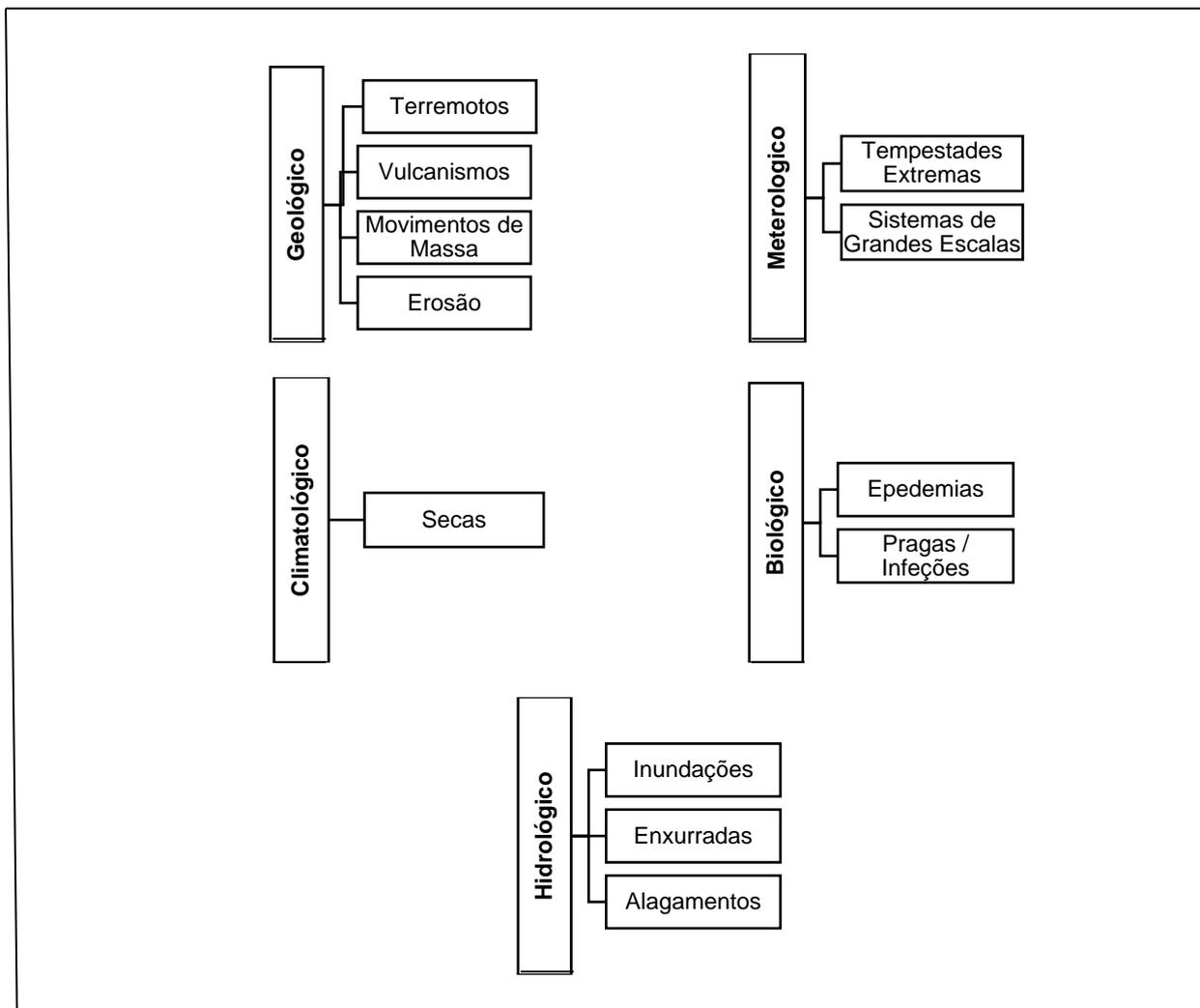
Entende-se por desastre as consequências de algum evento adverso podendo ser provocado pelo homem ou pela natureza, que excede a capacidade de resposta do sistema social atingido (VARGAS, 2010).

Inundações, escorregamentos, secas, furacões, entre outros, são fenômenos naturais severos, fortemente influenciados pelas características regionais, tais como, rocha, solo, topografia, vegetação, e condições meteorológicas. Quando estes fenômenos intensos ocorrem em locais onde os seres humanos vivem, resultando em danos (materiais e humanos) e prejuízos (socioeconômicos), são considerados como “desastres naturais” (Kobiyama et al, 2006).

De um modo geral existem vários tipos de desastres naturais, classificados no Brasil com base na Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE). A COBRADE classifica em um primeiro nível, desastres com base na sua tipologia, podendo ser, geológico, meteorológico, hidrológico, climatológico e por último um evento biológico.

Dentro do desastre geológico temos o exemplo de vários tipos de eventos como os terremotos, vulcanismos, movimentos de massa, e a erosão. Logo a seguir temos o desastre meteorológico, que conta com eventos como tempestades extremas e sistemas de grandes escalas. O desastre climatológico tem como exemplo as secas, e o biológico as epidemias e as pragas/infestações. O desastre hidrológico que é o foco deste trabalho contém eventos como inundações, enxurradas e alagamentos

Figura 1: Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)



Fonte: COBRADE

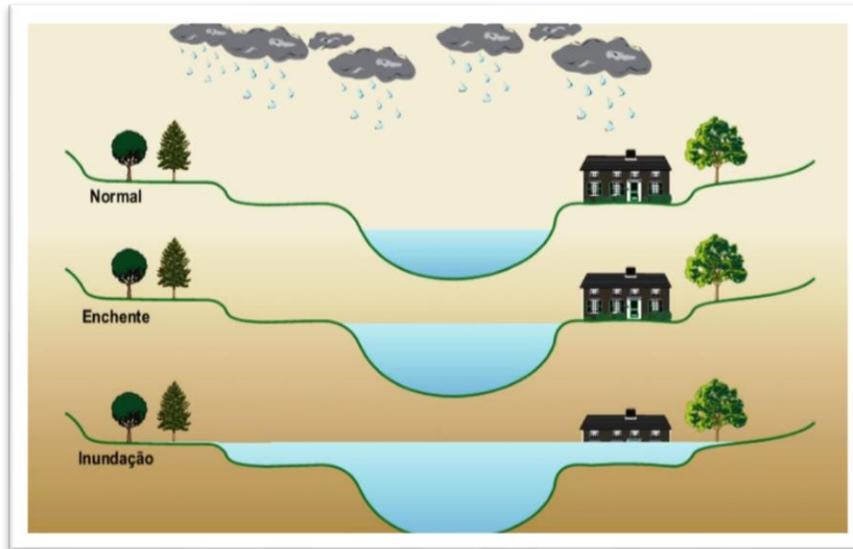
Os desastres hidrológicos são compostos por vários eventos dentro deles: Enchentes, Alagamentos, Inundações, Enxurradas e no caso do presente trabalho, o Aluvião.

A enchente se dá pelo aumento temporário do nível de água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, assim atingindo a cota máxima do canal, tendo em atenção que não ocorre o transbordamento do canal. “Quando as águas do rio se elevam até a altura de suas margens, contudo sem transbordar nas áreas adjacentes, é correto dizer que ocorre uma enchente” (Goerl e Kobiyama, 2005).

A inundação pode ser considerada como uma evolução da enchente (Figura 2), ou seja, ocorre a inundação a partir do momento em que as águas transbordam do canal de drenagem, atingindo assim as áreas marginais (planície de inundação

ou área de várzea). Conforme citado por Tominaga (2011), “a inundação abrange o transbordamento d’água do curso fluvial atingindo a planície de inundação ou área de várzea”.

Figura 2: Aumento do nível do rio em função das chuvas, desde nível normal a inundação



Fonte: GOERL; KOBIYAMA,2005

Os alagamentos se dão por conta de inúmeros fatores e um deles é a deficiência na realização das obras de drenagem, ou seja, cidades mal planejadas onde os rios são canalizados e as galerias recebem toda essa água do escoamento superficial, aumentando sua vazão podendo originar os alagamentos e até mesmo as enxurradas. Outro fator que leva aos alagamentos é a deficiência do planejamento urbano, tanto a falta de áreas verdes para conseguir absorver toda essa água que pode ser um problema, e a impermeabilização da cidade alavanca o escoamento superficial originando os alagamentos (CEPED, 2013).

A Enxurrada (Flash Flood), é definida como uma inundação brusca. Segundo Tominaga (2011) a enxurrada é caracterizada pelo escoamento superficial concentrado com alta energia de transporte, podendo estar ou não associada a áreas de domínios dos processos fluviais.

### 3.2 ALUVIÃO

O fenômeno conhecido e chamado como Aluvião na Ilha da Madeira é um evento complexo, pois não é composto por apenas uma condicionante, mas sim por inúmeros e diversos fatores.

O Aluvião se inicia quando uma precipitação intensa proveniente de uma nuvem, geralmente do tipo nimbos, atinge uma área específica, assim provocando um forte escoamento superficial transportando matérias com grandes dimensões.

O fator climático/meteorológico é o ponto principal para que o “aluvião” se desencadeie. A origem deste fenômeno se dá pela formação de anticiclone, ou por uma forte atividade de um sistema frontal associado a uma depressão, podendo resultar em um choque da massa de ar polar com a massa de ar tropical, dando assim, origem a uma superfície frontal, que com a ajuda da alta superfície da água do oceano origina uma rápida condensação ocorrendo assim uma precipitação intensa em curto espaço de tempo. (INSTITUTO DE METEOROLOGIA DA MADEIRA, 2010).

O que faz com que o Aluvião seja tão intenso, está relacionado à canalização da rede de drenagem que transporta sedimentos grosseiros até as áreas mais baixas. Além disso, no caso específico da Ilha da Madeira, a geomorfologia é um outro fator, que contribui para a ocorrência deste evento, pois os vales são profundos na região do Funchal onde se situam as 3 bacias hidrográficas a Ribeira de São João, Ribeira de Santa Luzia e a Ribeira de João Gomes.

Outra condicionante é que as bacias hidrográficas, onde ocorreram o evento de 2010, são bacias com áreas relativamente pequenas e declivosas, o que sugere que as bacias apresentam um pequeno tempo de concentração, ou seja, são mais propensas a desencadear eventos súbitos como aluviões e enxurradas.

Considerar o Aluvião como uma Enxurrada, seria simplificar um processo complexo. No caso do Aluvião, que carrega consigo uma grande quantidade de sedimentos, este conjunto de materiais nas linhas de água originam fluxos de detritos e fluxos hiperconcentrados que se desenvolvem nas principais ribeiras da Madeira e assim, determinaram a destruição nas zonas baixas (RODRIGUES; TAVARES; ABREU; 2010).

Considera-se assim, que o fenômeno Aluvião possui características de diferentes processos hidrogeomorfológicos, como Flash Floods (Enxurradas),

Landslides (Deslizamentos de Vertentes), Flood (Enchentes) e Debris Flow (Fluxos de Detritos) todas produzidas em curto período em consequência de uma chuva intensa.

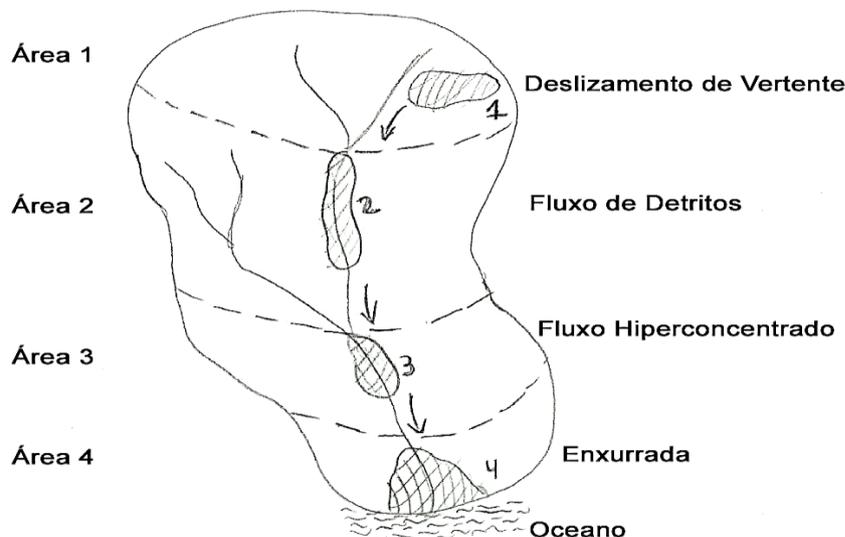
Os fluxos de detritos conseguem ter picos de descargas muito maiores que uma enxurrada, levando assim, sedimentos de dimensões muito grandes. (WILFORD, et al; 2004).

Como já mencionado anteriormente, a geomorfologia e outros fatores das bacias hidrográficas, são os principais motivos para que o Aluvião seja tão intenso. Conforme Gomi et al (2002), existe uma relação entre a ocorrência de processos hidrológicos e geomorfológicos e a sua localização na bacia. Espera-se que deslizamentos ocorram próximos as cabeceiras e rios de primeira ordem, e ao se conectar com o canal, os mesmos se transformem em fluxos de detritos. Como existe uma relação entre vazão e área de bacia, a concentração de sedimentos diminui conforme vai aumentando a ordem dos canais, conforme proposto por Wilford et al (2004). Assim, espera-se uma evolução do processo com base no aumento da ordem do canal e aumento da área de contribuição. Dessa maneira, um deslizamento pode ser transformado num fluxo de detritos, e ao ser propagado ao longo da bacia ser transformado num fluxohipercocentrado e posteriormente numa enxurrada.

Contudo, em Funchal, as bacias desaguam diretamente no oceano, não havendo tempo de percurso o suficiente para que o processo, que nasce como um deslizamento de encosta se transforme numa enxurrada. As figuras 3 e 4 exemplificam esse caso.

Espera-se que um processo hidrogeomorfológico inicia com deslizamentos de vertentes na cabeceira da bacia (área 1), ao progredir na área 2 se originam os fluxos de detritos que conforme vão avançando ao longo do canal se transformam em fluxos hiperconcentrados (área 3), assim, na última etapa do processo ao final da bacia esses fluxos viram enxurradas (área 4), tudo isto está relacionado com o tempo que o processo leva a ser formado e a área de contribuição em questão. Se a urbanização apenas se concentrasse na Área 4 da bacia, essa população iria apenas sofrer com o impacto da Enxurrada e não com os outros processos.

Figura 3: Processo completo em uma Bacia teoricamente grande

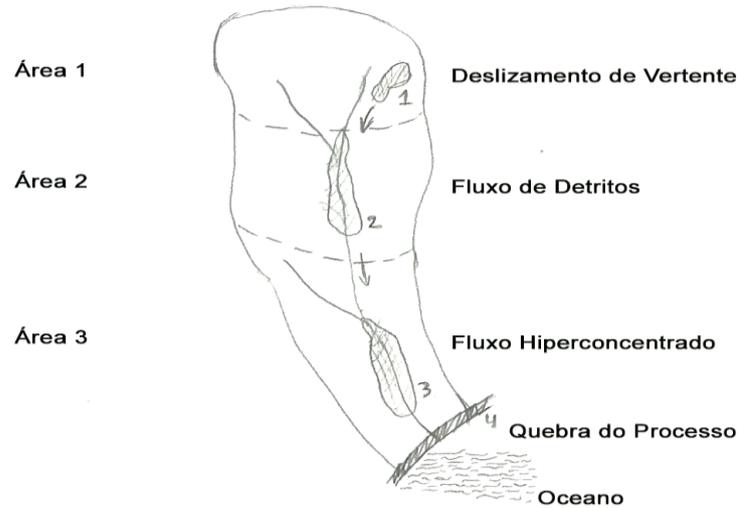


Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

As características das três bacias hidrográficas do Funchal fazem com que esse processo não se complete (Fig.4), pois, elas são alongadas e relativamente pequenas e que desaguam abruptamente no mar. O tempo e a área de contribuição necessária para o processo acontecer não são suficientes e a geomorfologia intensifica esse processo mais ainda. Com os vales muito encaixados e a declividade acentuada, o fluxo de detritos passa a ter um maior fluxo de água se transformando assim em um fluxo hiperconcentrado (Área 3), carregando um maior volume de água e um menor número de sedimentos, sedimentos menores não tão grandes quanto aos do fluxo de detritos.

Assim a área de contribuição da bacia é pequena, fazendo com que o Processo 3 não se transforme em Enxurrada, que para ocorrer era necessário uma área de contribuição maior, ou seja, uma área larga e maior, portanto o processo é quebrado (número 4), mostrando assim o porquê o Aluvião é complexo e tão intenso. O fator de Urbanização no Funchal não ocorre apenas onde seria a Área 4, ela evoluiu até a Área 2, por esse fato a Urbanização sofre tanto impacto de inúmeros processos, como de um lado Fluxo de Detritos e outro um Fluxo Hiperconcentrado, e não apenas como no exemplo da Figura 3.

Figura 4: Processo incompleto em uma Bacia teoricamente pequena e alongada



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Devido à complexidade do fenômeno e a falta de definição de Aluvião, foi realizada uma revisão bibliográfica no google acadêmico buscando os seguintes termos: Enxurrada, Aluvião, Deslizamentos de 2010, Ilha da Madeira, tanto em português como em inglês. Observa-se que na literatura os estudos do Aluvião na Ilha da Madeira iniciaram em 1999. Ainda, após 2010, a frequência de trabalhos acadêmicos aumentou (Gráfico 1).

Gráfico 1: Número de trabalhos sobre o fenômeno Aluvião



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Dos 61 trabalhos analisados percebe-se um certo padrão de áreas dos trabalhos científicos. Por exemplo o número de trabalhos para o âmbito da engenharia e de ordenamento de território são praticamente os mesmos, numa média de 14 trabalhos para cada área. Os trabalhos relacionados a Meteorologia vêm logo atrás, em torno de 9 trabalhos acadêmicos.

Em relação aos demais trabalhos, alguns deles são voltados para a uma visão mais física, tanto da parte de geomorfologia quanto da geologia. Os demais por outro lado, abrangem as demais áreas como por exemplo, História, Arqueologia, Psicologia, Ciências Humanas, e por último o Turismo, pois 90% da economia da Ilha da Madeira é voltada para ele, trazendo grandes problemas para a economia da região. Assim, este trabalho terá seu diferencial, buscando entender se existiu ou não uma reocupação nas bacias afetadas pelo Aluvião, trabalhando assim a reestruturação urbana.

A partir da revisão bibliográfica, foram analisadas também as palavras chave dos 61 artigos. Uma grande parte destes artigos o denomina como sendo um Flash Flood (Tabela 1), ou seja, uma enxurrada. Dessa maneira, com base nas publicações, o evento da Ilha da Madeira é mais conhecido mundialmente como uma Enxurrada (Flash Flood).

Contudo, ainda não há um consenso sobre a terminologia oficial para o processo Aluvião. A Tabela 1 apresenta o termo que cada autor denomina para o evento Aluvião, mostrando que existe uma divergência nos trabalhos em relação a definição/denominação. Como mencionado, muitos deles trazem à tona o evento como um Flash Flood, mas outros autores denominam este fenômeno como Debris Flow. Fernandes (2017) demonstrou também a falta de consenso na terminologia.

“Após o aluvião e face à transmissão de imagens/reportagens nos media durante dias, o 20 de fevereiro de 2010 foi amplamente mediatizado tendo tido implicações ao nível da imagem da região. Numa pesquisa rápida ao canal youtube e tendo por referência os termos de pesquisa “Madeira flashfloods”, “20 de fevereiro de 2010” ou “madeira floods” surgem 3030, 10600 e 10500 resultados, respetivamente” (Felipa Fernandes, 2017).

Tabela 1: Dados da Definição do Aluvião

<b>Tipo de Fenômeno</b>	<b>Definição de Trabalhos</b>
Enxurrada (Flash Flood)	17
Inundação (Flood)	12
Chuva Intensa (Heavy Rain)	9
Deslizamentos de Terra (Landslides)	8
Fluxo de Detritos (Debris Flow)	4
Enxurrada/ Deslizamentos	3
Deslizamentos/Inundação	2
Sheet Flow	1
Enxurrada/ Deslizamentos / Inundação	1
Fluxo de Detritos / Deslizamentos / Enxurrada	1
Enxurrada/ Sheet Flow	1
Enxurrada/ Fluxo de Detritos	1
Deslizamentos/ Fluxo de Detritos	1

Neste sentido, o presente trabalho define o Aluvião como um conjunto de fenômenos em um só, começando com uma chuva muito intensa (Heavy Rain), que desenvolve vários deslizamentos de vertentes (Landslide), responsáveis pelo assoreamento das ribeiras, podendo estas extravasar (Flash Flood), conforme a vazão da água nas ribeiras faz com que estas transportem esses sedimentos grandes em alta velocidade (Flash Flood ou Debris Flow), dependendo da potência e quantidade de sedimentos existentes.

### 3.3 O HISTÓRICO DOS ALUVIÕES NO FUNCHAL

O Aluvião de 2010 não foi o primeiro e único evento desse tipo registrado na Ilha da Madeira e na área do Funchal. Existe um registro de 30 aluviões na Ilha da Madeira até 1998, sendo o primeiro registrado em 1601.

“O aluvião de 1724 não foi o primeiro que causou prejuízos, pois que Mouquet que esteve aqui em 1601, diz, embora não precise datas, que as águas que descem das montanhas algumas vezes destroem pontes e casas em toda a ilha. (Elucidário Madeirense, Vol. I, pág. 207)”.

Dos 30 Aluviões registrados até 1998, 14 deles atingiram a área do Funchal, sendo o mais violento o de 1803, que registou 600 mortos e mais de 1000 desaparecidos, cerca de 4% dos 25,000 habitantes da época. Mas este Aluvião de 1803, foi importante para a cidade do Funchal, pois foi por conta dele que o senhor Brigadeiro Oudinot, um engenheiro Francês, que chegou na Ilha da Madeira para propor uma canalização das três principais ribeiras que passavam na cidade do Funchal (QUINTAL, 1999).

Em dezembro de 1806, após mais um Aluvião, o Brigadeiro Oudinot escreveu a Visconde de Anadia, dando conta da forma positiva como se tinham portado as suas obras. Mas a sua felicidade pelas obras construídas não durou por muito tempo, pois se em 1806 o Brigadeiro Oudinot manifestara a sua felicidade pelo facto das novas muralhas terem impedido que as águas revoltas invadissem as ruas do Funchal, em 1817 Paulo Dias de Almeida apontava o dedo acusador às causas que estiveram na origem da aluvião de 1815 que destruiu a cidade do Funchal. (QUINTAL, 1999).

O Aluvião que trouxe mais estragos tanto a nível econômico quanto a nível social/ambiental do Séc XX foi o de 2010, em que seus números estimados de vítimas (mortos e desaparecidos) ronda em cerca de 301 e o número de desalojados foi relativamente alto rondando cerca de 600 (Tabela 2).

Tabela 2: Dados de cada Aluvião da região do Funchal

<b>DATA DO EVENTO</b>	09/10/1803	26/02/1920	21/09/1972	20/02/2010
<b>NUMERO DE MORTOS</b>	1000	5	2	301
<b>NUMERO DE DESALOJADOS</b>	0	0	0	600

Fonte: Caetano, 2014

#### 4 O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NO FUNCHAL

A baixa do Funchal se dividia em duas zonas urbanas bem distintas, uma (a primitiva) que se estendia desde as Ribeiras de Santa Luzia e João Gomes até ao forte de S. Tiago, e a outra que surgiu mais tarde, prolongava-se desde as mencionadas Ribeiras até à Ribeira de S. João e ia até ao norte, pelos arrifes do Convento de Santa Clara. Atualmente não existe mais nenhum resquício desde primeiro núcleo populacional funchalense. Em 1425 se desenvolveu uma modesta concentração urbana na Zona de Santa Maria do Calhau, que continha construções simples, casas em geral térreas ou raramente sobrados e cobertas de palha. Nestas habitações viviam gente laborial ligados à prática de variados ofícios, uns carpinteiros, pedreiros, ferreiros, sapateiros e pescadores, esta população afinal não passava de um povoado de artesãos (Aragão, 1979).

Por volta de 1455 habitavam cerca de 3 mil pessoas na Ilha da Madeira, mas ocorreu um aumento populacional na ilha quando a igreja de Santa Maria construída em 1430 sofreu umas obras de ampliação em 1458. Passados alguns anos se deu também a construção do primeiro hospital, chamado de Santa Maria do Calhau, e ao lado deste hospital cresceu a primeira rua da Madeira (Santa Maria). Com o passar do tempo foram surgindo algumas diminutas ruas, becos, travessas, onde se iniciavam umas casas dispersas, maioria delas térreas, não estaria longe da primitiva composição urbana surgida no Funchal (Aragão, 1979).

Por volta de 1450 o povoado de Santa Maria era dominado por artesãos, mas com a construção do Hospital a sua administração da confraria só poderiam fazer parte desta as pessoas pertencentes aos mestres. Basicamente foram criados dois aparelhos administrativos quando o Funchal subiu à condição de vila nos anos 1450, além da assembleia da mencionada confraria do hospital, reunia-se também a assembleia camarária do Funchal. Ao longo destas evoluções jurídicas, os senhores de ofício não tinham mais voz para participar da assembleia camarária, sendo assim, os que tinham voz eram os que faziam parte da assembleia, os juizes, os vereadores e procuradores (Aragão, 1979).

A partir deste momento, a vila do Funchal começou a criar uma distinção de qualidade entre os seus moradores. De um lado aqueles que possuíam qualificação suficiente para serem lançados “os homens bons do conselho” (sendo assim poderiam exercer a governança) nos quais se inseriam os lavradores, senhores de

terras dadas ou gente privilegiada), e de outro lado os que não possuíam tal qualificação, sendo assim estes não podiam governar, nos quais se inseriam os de baixa condição ou sem qualidade, gente obrigada a viver de trabalho braçal dos seus misteres ou ofícios. Enquanto a vila do Funchal passa a ser dominada pela fidalguia e pela burguesia de mercadores e senhores fundiários enriquecidos pelo comércio do açúcar, o povo humilde dos artesões de Santa Maria desprezado afasta-se para ao redor de uma igreja conhecida como Sé Catedral, se estabelecendo e se desenvolvendo irresistivelmente. Assim a cidade do Funchal 1508 (ano em que o Funchal passou à categoria de cidade) tem um ascendente domínio social exercido pela nova classe enriquecida na vida administrativa local (Aragão, 1979).

O grande impulso econômico e social na cidade do Funchal se dá depois de 1466, ano em que o duque D. Fernando baixa a  $\frac{1}{4}$  o imposto lançado sobre a produção de açúcar, assim uma nova era econômica irá subverter as estruturas sociais, até então muito comprometidas com a débil economia de subsistência. A Ilha da Madeira passou a ser uma rota comercial obrigatória da Europa por conta do açúcar. Mercadores de várias nações aportavam na baía do Funchal em busca do precioso “ouro branco”, isto tudo levou a mais uma importante modificação na vida local, os convencionais padrões da sociedade transformam-se, e novos processos de trabalho são introduzidos (Aragão, 1979).

A acumulação da riqueza, propriedades de canaviais, e engenhos, estavam nas mãos de poucos privilegiados, as plantações de açúcar se alastraram substituindo assim as plantações de trigo, quase atingindo a monocultura (apenas cana de açúcar). Porém este desequilíbrio financeiro da cidade do Funchal entre os artesões e a nova classe enriquecida de mercadores e produtores, ocasionaram buracos profundos a nível econômico e conseqüentemente social. O açúcar começa a dominar as mentes e as relações de vida, pensa-se e vive-se em termos quase de absoluta dependência da produção e do comércio dos açucares (Aragão, 1979).

#### 4.1 OCUPAÇÃO E EVOLUÇÃO NO FUNCHAL

A cidade do Funchal teve três fases na sua urbanização, uma primeira fase linear, como vimos a cidade começou a se desenvolver ao largo/ próximo ao mar e assim puxando a vila/cidade para o campo, outra fase foi uma urbanização irradiante

havendo um acréscimo de novas artérias que, partindo do primitivo alinhamento urbano, irão subir a vertente no sentido das linhas das ribeiras, e por último, a fase de crescimento urbano reticular. (Silva, 1995).

Sendo assim a cidade do Funchal é considerada uma cidade dual, ou seja, esta apresenta duas zonas sociológicas bem distintas, de um lado a cidade do açúcar, onde se localizam as pessoas ligadas à produção da cana-sacarina, e do outro lado, os artesões, os pescadores e outros que “vivem do seu trabalho” (Silva, 1995).

O desenvolvimento populacional levou a urbanização/ocupação para as áreas mais íngremes, o que ocorreu desde o século XVI, motivo o qual foi para aumentar a produção do açúcar e outros alimentos. O solo na baía do Funchal já estava saturado, e foi necessária essa procura por novos solos para aumentar a produção. Ou seja, a cidade do Funchal se urbanizou de forma errada desde cedo, onde a cidade e as residências cresceram ao lado das três principais ribeiras do Funchal, áreas que são sujeitas a transbordamentos e inundações.

A urbanização na cidade do Funchal vem crescendo exponencialmente e desordenadamente, por inúmeros fatores, a urbanização vem se destacando deste modo trazendo risco para a população, e para que os desastres ambientais tais como o Aluvião ganhem mais força e gerando mais impactos ao ambiente e à população. A destruição da vegetação e dos solos desencadeiam uma resposta rápida das ribeiras aos episódios de precipitação intensa e, conseqüentemente, à ocorrência desse fenômeno.

A ocupação do território do Funchal esqueceu as questões físicas e biológicas da localidade, levando riscos à tona. Esses fatores variam desde a ocupação das vertentes, trazendo condições favoráveis aos deslizamentos, o desmatamento para a agricultura ou a destruição dos solos para a construção de residências, aumenta o escoamento superficial, fazendo com que as ribeiras aumentem seu fluxo e transporte de sedimentos, podendo aumentar a chance de ocorrer um Aluvião. Além disso, a ocupação de leitos de cheia estrangulou o escoamento, que para atingir o mar tem que remover o que está no seu caminho. Dessa maneira o escoamento engloba não só a água, mas também a carga sólida dos cursos de água, a capacidade de transporte das ribeiras fortalece a sua capacidade de erosão das bases das vertentes, elevando a sua instabilidade, o que faz com que a precipitação

seja o elemento desencadeante da grande maioria dos movimentos de massa (POLICARPO, 2012).

A urbanização no Funchal vem aumentando nas áreas com mais declividade, não só por conta da produção agrícola, mas também por conta do poder imobiliário na região. O turismo é muito forte na cidade do Funchal, aumentando assim os aluguéis nas regiões mais próximas do centro da cidade, fazendo com que as pessoas procurem (outros conselhos) regiões mais distantes do centro do Funchal. Ressaltando novamente, que isto tudo são fatores para que as chances de uma ocorrência de desastre relacionado ao Aluvião aumentem drasticamente, ou seja, o fator de ocupação desordenada/ inconsciente do território.

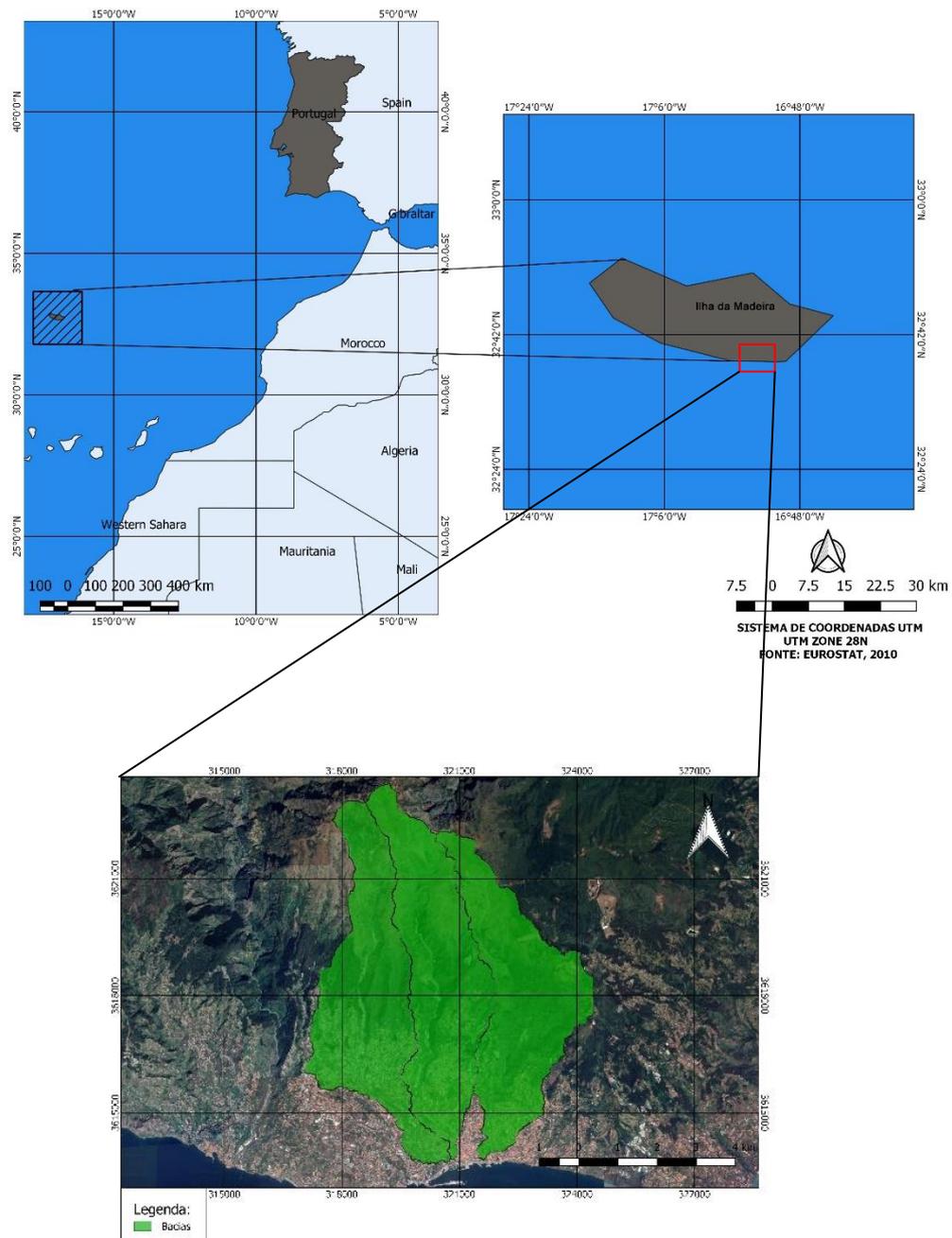
## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 ÁREA DE ESTUDO

A Ilha da Madeira faz parte do arquipélago da Madeira, da qual esta é a principal ilha, sendo as outras três a Ilha do Porto Santo, as Ilhas Desertas e as Selvagens, todas sendo originadas por um Hot Spot. A junção destas ilhas juntamente com Açores, Canarias e Cabo Verde constituem a região biogeográfica da Macaronésia. A Ilha da Madeira se localiza no Oceano Atlântico fazendo parte da placa de África, sendo mais próxima de África cerca de 660km de distância, do que Portugal Continental que se localiza a cerca de 980km. Seu território é limitado pelos paralelos a 32° 38' e 32° 52', de latitude norte, e meridianos 16° 39' e 17° 16', de longitude oeste de Greenwich.

A ilha por ser de origem vulcânica apresenta um relevo muito acentuado, com o seu pico mais alto chegando a 1.862m de altitude, contendo vales profundos e escarpas abruptas. A ilha tem duas vertentes a Norte e a Sul, uma é completamente diferente da outra. A vertente Norte é constituída por um litoral escarpado, enquanto que na vertente Sul inclui um litoral mais suavizado, sendo uma localidade de deposição de sedimentos aluviais. (PRAM, 2002).

Figura 5: Localização Geográfica da Ilha da Madeira



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

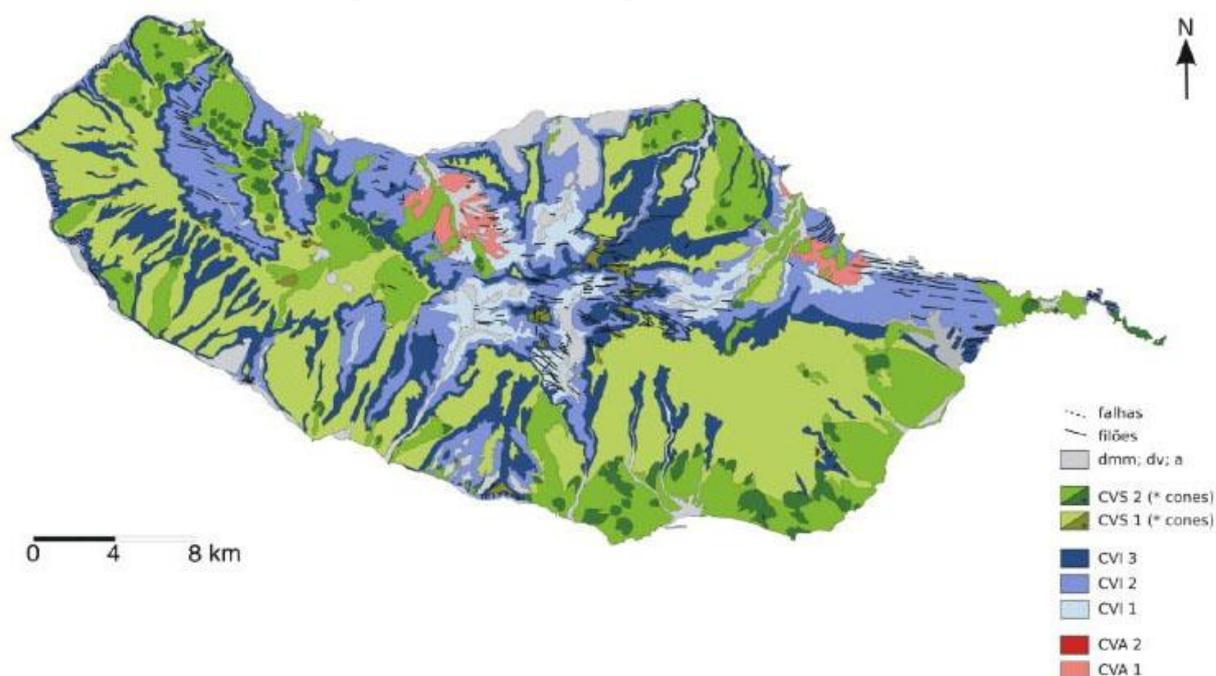
## 5.2 GEOLOGIA

A Ilha da Madeira se formou um pouco antes do Mioceno a mais de 5 milhões de anos (Ma, FERREIRA et al, 1988). A Ilha se traduz em uma estratigrafia composta por três complexos vulcânicos principais (BRUM DA SILVEIRA et al., 2010). Cada complexo, como a figura a seguir demonstra (Figura 6), reflete descontinuidades na sucessão estratigráfica e estágios distintos na evolução do

edifício vulcânico, no que respeita a sua relação geométrico – temporal. Sendo assim, cada complexo destes é composto por várias unidades estratigráficas delimitadas por inconformidades regionais. Organizados da base para o topo, o primeiro complexo é o Complexo Vulcânico Inferior (CVI) com aproximadamente mais de 5 milhões e meio de anos, em seguida temos o Complexo Vulcânico Intermédio (CVM) que ronda em torno dos 5 milhões até 1 milhão de anos, e por último temos o Complexo Vulcânico Superior (CVS) com aproximadamente 1 milhão a meio milhão de anos.

A área de estudo neste trabalho se localiza no (CVS), o Funchal se situa numa formação onde resultou da etapa de vulcanismo pós-erosão, isto é, contemporâneo da morfologia atual.

Figura 6: Complexos Geológicos da Ilha da Madeira



Fonte: Carta Geológica da Ilha da Madeira

A Ilha da Madeira com a sua beleza traz consigo os perigos naturais de natureza geológica, sendo estes as instabilidades das vertentes, movimentos de massa, e enxurradas. As formações sedimentares da Ilha da Madeira são muito importantes, pois mostram um histórico por exemplo, um grande desastre ambiental como o caso dos aluviões que é o foco deste trabalho. Estas formações se baseiam em terraços, aluviões, depósitos de vertente, enxurradas, areias da praia, calcários e calcarenitos fossilíferos (CARTA GEOLÓGICA DA ILHA DA MADEIRA, 2010).

### 5.3 GEOMORFOLOGIA

Como já foi mencionado anteriormente a Ilha da Madeira foi formada por um “hotspot”, que corresponde ao revelo vulcânico que ascende do fundo do oceano, fazendo assim com que a Ilha sejam os pontos mais elevados que ultrapassaram o nível do mar. A Ilha da Madeira apresenta muita diferença geomorfológica da Vertente Norte para a Vertente Sul, o Norte da ilha apresenta um litoral com grandes escarpas, estas que são erodidas num processo bem rápido pelo mar, pois existe uma grande dinâmica hidráulica sobre as rochas, cuja velocidade do recuo dessas escarpas normalmente é maior que a velocidade de erosão.

A Ilha da Madeira apesar de ser pequena com os seus 736 km<sup>2</sup> concentra grande parte da sua área acima dos 1000 metros de altitude e declives elevados, tendo cerca de 65% da sua superfície declives superiores a 25% (CEEETA, 1989). Sendo a ilha bastante declivosa, existe um grande número de deslizamentos de grandes dimensões nestas encostas. As bases destas encostas são inteperizadas pela forte erosão hidráulica, sendo assim, essas escarpas se aguentam até que a base seja erodida o suficiente para que a parte que fica em sustentação acabe por ruir. Assim como a nível geológico a nível geomorfológico a Ilha da Madeira pode ser também dividida em três relevos principais.

Primeiramente temos o Maciço Central, e como o próprio nome indica, este maciço se situa na parte central da ilha, área que concentra os locais mais íngremes da ilha, chegando a 1800 metros de altitude, contendo assim, profundas depressões e vales dissecados, incorporando muitos exemplos de erosão diferencial.

Em seguida temos o Planalto do Paul da Serra, que ronda cerca de 1400 metros de altitude. Este Planalto na verdade nada mais é que uma plataforma estrutural e é uma continuação do Maciço Central separado pelo recuo das cabeceiras das principais ribeiras. Em época de intensas chuvas, o pouco declive possibilita a formação de lagoas temporárias, sendo assim a localidade da Ilha que armazena maiores quantidades de água. Esta área foi originada por uma série espessa de mantos sub-horizontais.

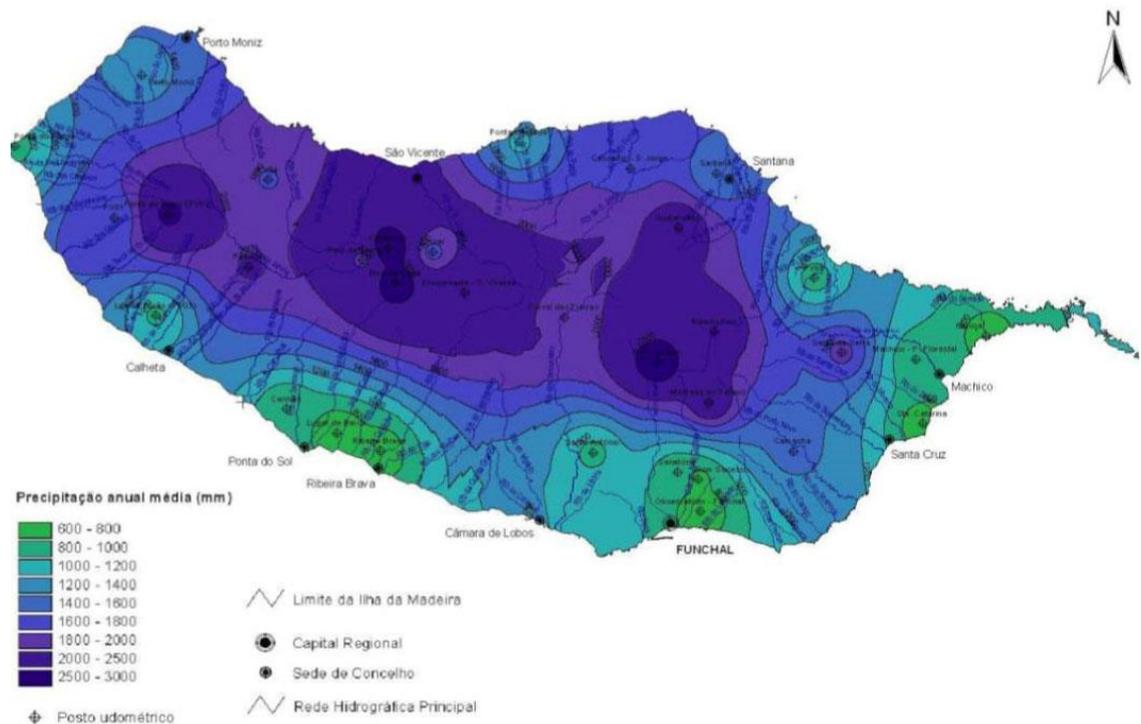
E por último temos o relevo da Ponta de São Lourenço, esta área é uma península curvada, que é extremamente erodida pelo oceano. Esta região se diferencia de toda a ilha nos demais elementos naturais como a vegetação, o clima e o relevo (PRADA, 2000).

## 5.4 CLIMA

A Ilha da Madeira tem um clima temperado geralmente ameno, contudo neste caso não estamos a falar das áreas mais altas onde a temperatura é muito mais baixa e, os seus valores médios rondam cerca de 9°C chegando até 0°C frequentemente. Enquanto que nas regiões mais próximas ao mar rondam em cerca de 18°C.

Características variando de seco a húmido e de moderadamente chuvoso a excessivamente chuvoso com o aumento de altitude. Acima dos 1500 m torna-se, no entanto, frio (embora no limite para temperado) e quanto à humidade do ar, volta a ser seco. Na parte norte da ilha comparativamente à parte sul, para as mesmas altitudes, o clima é sempre mais chuvoso e caracteriza-se por temperaturas mais baixas (MACHADO, 1970).

Figura 7: Precipitação Anual Média



Fonte: PRAM, 2002

Novamente focando no relevo, pois este é um grande agente para este clima, além do efeito de altitude que este proporciona, este relevo está perpendicular à direção do vento, levando assim que os níveis de precipitação e temperaturas do ar possam ser completamente diferentes na mesma cota. Na área do Funchal que é o

foco deste trabalho os valores de precipitação anual giram em torno dos 513mm por ano, enquanto que em outras áreas da ilha a precipitação pode chegar os 2966mm/ano. (PRADA; et al. 2000). A orientação das encostas relativamente às direções preferenciais de avanço das massas ar húmido, o afastamento à linha de costa e a orientação dos vales, poderão também contribuir para justificar as correlações verificadas entre acréscimos de precipitação e de altitude. (RODRIGUES,1995). A figura 7 mostra esses dados de precipitação ao longo do ano na Ilha da Madeira.

### 5.5 AS TRÊS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO FUNCHAL

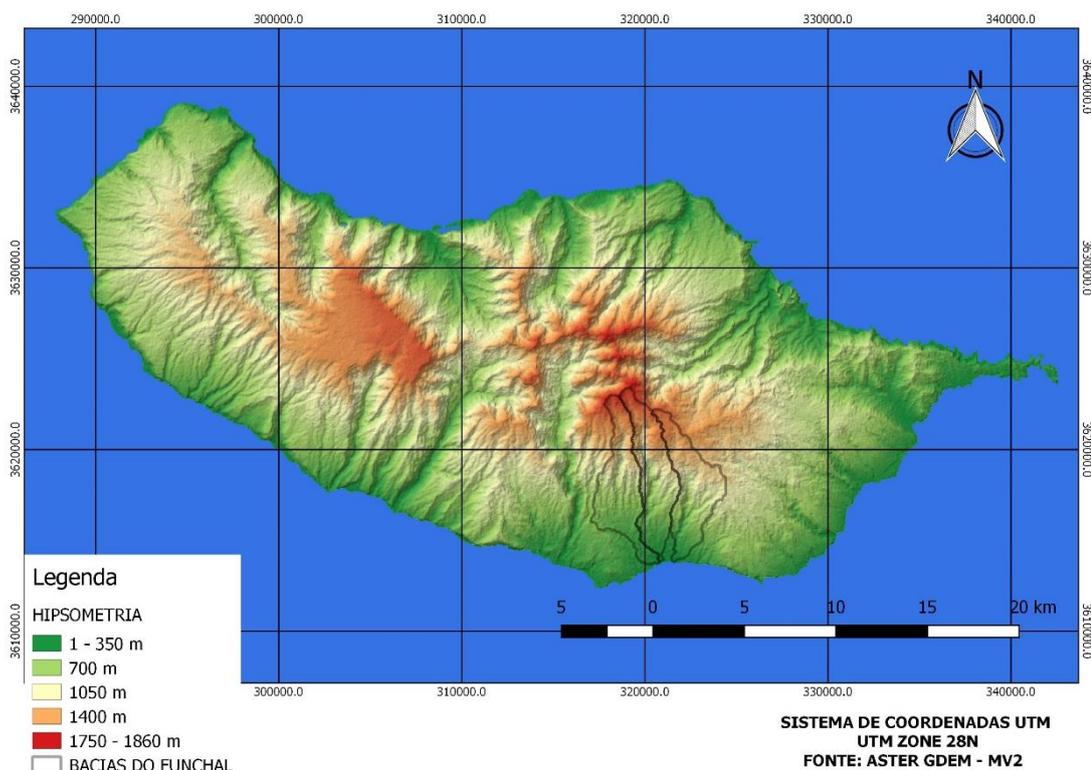
O foco do estudo deste trabalho está localizado nas três bacias hidrográficas do conselho do Funchal (Ribeira São João, Ribeira de Santa Luzia e Ribeira João Gomes), a Tabela 3 apresenta suas principais características.

Tabela 3– Dados das principais bacias hidrográficas do Funchal

Nome das Bacias	Área Km <sup>2</sup>	Perímetro da Bacia (m)	Altitude Máxima (m)	Declive Máxima (°)	Densidade de drenagem em função da área mínima a montante (Km/Km <sup>2</sup> )	
					A > 1 ha	A > 1 Km <sup>2</sup>
Ribeira São João	14,4	24,21	1763	65	5,64	1,33
Ribeira Santa Luzia	14,5	23,109	1785	71	5,90	1,28
Ribeira João Gomes	13,9	22,82	1595	60	5,30	1,35

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

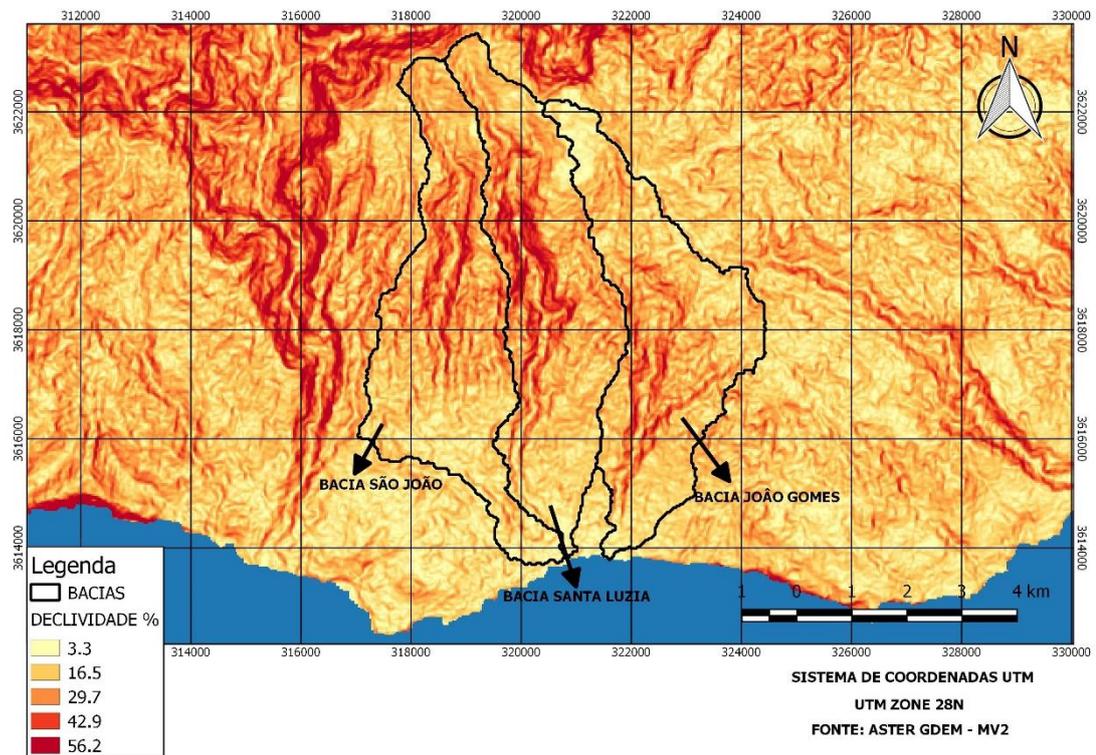
Figura 8: Mapa Hipsométrico



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Como podemos perceber na figura 8 a seguir, a declividade no conselho do Funchal é alta, variando de  $3.3^\circ$  até mais de  $56.2^\circ$ . A área de menor declive ( $3.3^\circ$ ) é a que contém maior urbanização, infraestruturas e serviços, por outro lado, as regiões que têm cerca de  $16.5^\circ$  são designadas áreas por declives moderados contendo uma crescente urbanização mais recente. Antigamente esta região continha residências pequenas, e eram utilizadas para agricultura. Em seguida, as áreas que contém um declive já considerado elevado de classe,  $29.7^\circ$ , foram urbanizadas consideravelmente a partir dos anos 60. E por último as regiões de declives superiores a  $42.9^\circ$ , são consideradas localidades muito acentuadas, onde a urbanização é bem pouca, mesmo assim existem residências nessas localidades

Figura 9: Declividade do conselho do Funchal

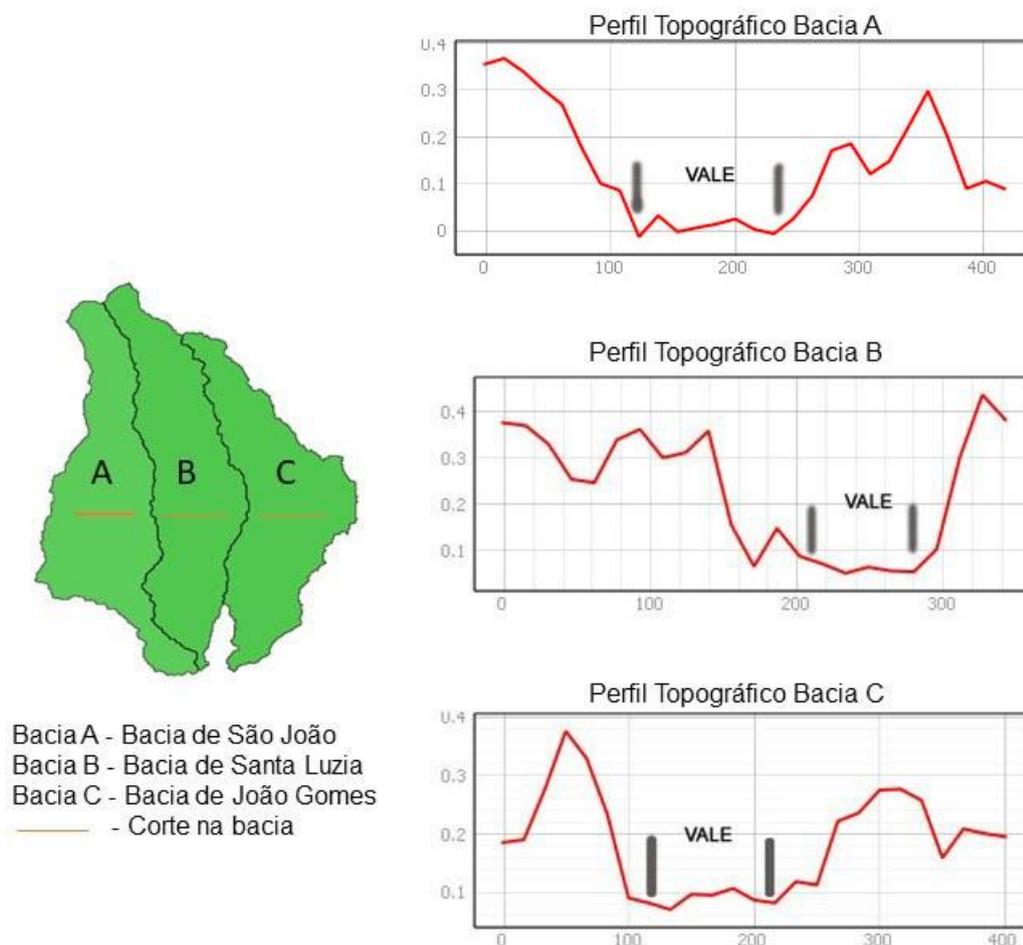


Fonte: Elaborada pelo próprio Autor

Esse desenvolvimento urbano nas 3 bacias hidrográficas na cidade do Funchal, se consolidando em encostas e em fundos de vale, são relativamente importantes para o surgimento desses fenômenos (Aluviões), não só a urbanização, mas também como a geologia e a geomorfologia são fatores muito importantes para que estes eventos sejam muito mais brutais e de uma enorme importância ambiental e social.

Em seguida (Figura 9) é possível observar o corte realizado nas três bacias, os perfis topográficos atravessando horizontalmente e o vale das três bacias hidrográficas.

Figura 10: Identificação do corte e do perfil topográfico nas três bacias



## 5.6 MAPEAMENTO DAS CICATRIZES DE DESLIZAMENTOS

O Google Earth Pro foi utilizado, para a identificação e mapeamento das cicatrizes de deslizamento do evento de 2010, identificação realizada visualmente, assim realizando o reconhecimento dos polígonos um por um em cada bacia, para depois salvar esses polígonos em formato KML para abrir no QGIS e assim calcular as características geométricas como área.

## 5.7 EVOLUÇÃO URBANA (EVI)

Como método para estimativa da evolução urbana utilizou-se o Enhanced Vegetation Index (EVI). Para isto, utilizou-se imagens ASTER L1T dos anos, 2010 do mês de Agosto do dia 26, ou seja, 6 meses após o Aluvião, e do 2011 do mês de Março do dia 31, e por fim no ano de 2017.

O pré-processamento das imagens foi realizado no QGIS utilizando o Semi – Automatic Classification Plugin. Em seguida foi realizada a criação do EVI (Enhanced Vegetation Index II) para a identificação da área urbana nas três bacias, através da seguinte equação 1 abaixo. Os valores 2.5 e 2.4 são coeficientes padrão, onde o 2.5 é um fator de ganho e o 2.4 é um coeficiente da resistência do aerossol, enquanto a B3 e B2 são duas bandas distintas, a B2 que ocupa um intervalo entre 0.63 – 0.69 corresponde à faixa do vermelho, e a B3 ocupa o intervalo entre 0.78 – 0.86 corresponde à faixa de infravermelho próximo. Os EVI's são usados para uma variedade de aplicações, principalmente para a monitoração da evolução da vegetação do planeta Terra a partir do espaço (Zhangyan; et al, 2008).

Equação 1:

$$EVI = 2,5 \frac{(B3 - B2)}{(B3 + 2.4 * B2 + 1)}$$

O EVI aumenta a sensibilidade de regiões com alta biomassa, excluindo assim as influências do solo e da atmosfera.

Como o presente trabalho tem por objetivo analisar a evolução urbana, foi adotado um limiar entre urbano e não-urbano: Urbano: (Mínimo < 0,21); Não – Urbano (0,21 > Máximo).

Esse limiar foi escolhido por meio de uma análise visual, variando diversos intervalos em sobreposição com o Google Earth (imagem de 2010) até a escolha de um que contemplasse a área urbana e excluísse os demais usos.

## 5.8 ÍNDICES

Para classificar a bacia em termos de suscetibilidade a deslizamento e em termos de evolução urbana, um índice foi proposto e aplicado nas bacias.

O índice natural que foi chamado de Índice de Densidade de Deslizamento da bacia, foi criado para analisar qual bacia é a mais suscetível a ocorrência de deslizamentos (Equação 2), ou seja, a possível ocorrência de um número X de deslizamentos para cada Km<sup>2</sup> da bacia. Sendo calculada através do número de deslizamentos dividido sobre a área da bacia (Km<sup>2</sup>). A criação deste Índice foi baseado no trabalho do (Christofoletti, 1980). Onde o Dd é a Densidade de Deslizamentos, o Nd é o número de deslizamentos para cada bacia, e por fim o Ab são as áreas da bacia.

Equação 2:

$$Dd = Nd/Ab$$

O índice não-natural que foi chamado de Índice de Perigo de cada bacia, foi criado para analisar qual a porcentagem de urbanização referente a cada um dos três anos de interesse, sendo assim, tendo uma referência da evolução urbana e analisar qual bacia será a mais afetada pela questão antrópica, recebendo um maior impacto quando o Aluvião ocorrer novamente (Equação 3).

Este índice contempla tanto aspectos físicos como aspectos antrópicos. Onde o IP é o Índice de Perigo, Ad é a área de deslizamento, Ab a área da bacia e a Aurb é a área de urbanização.

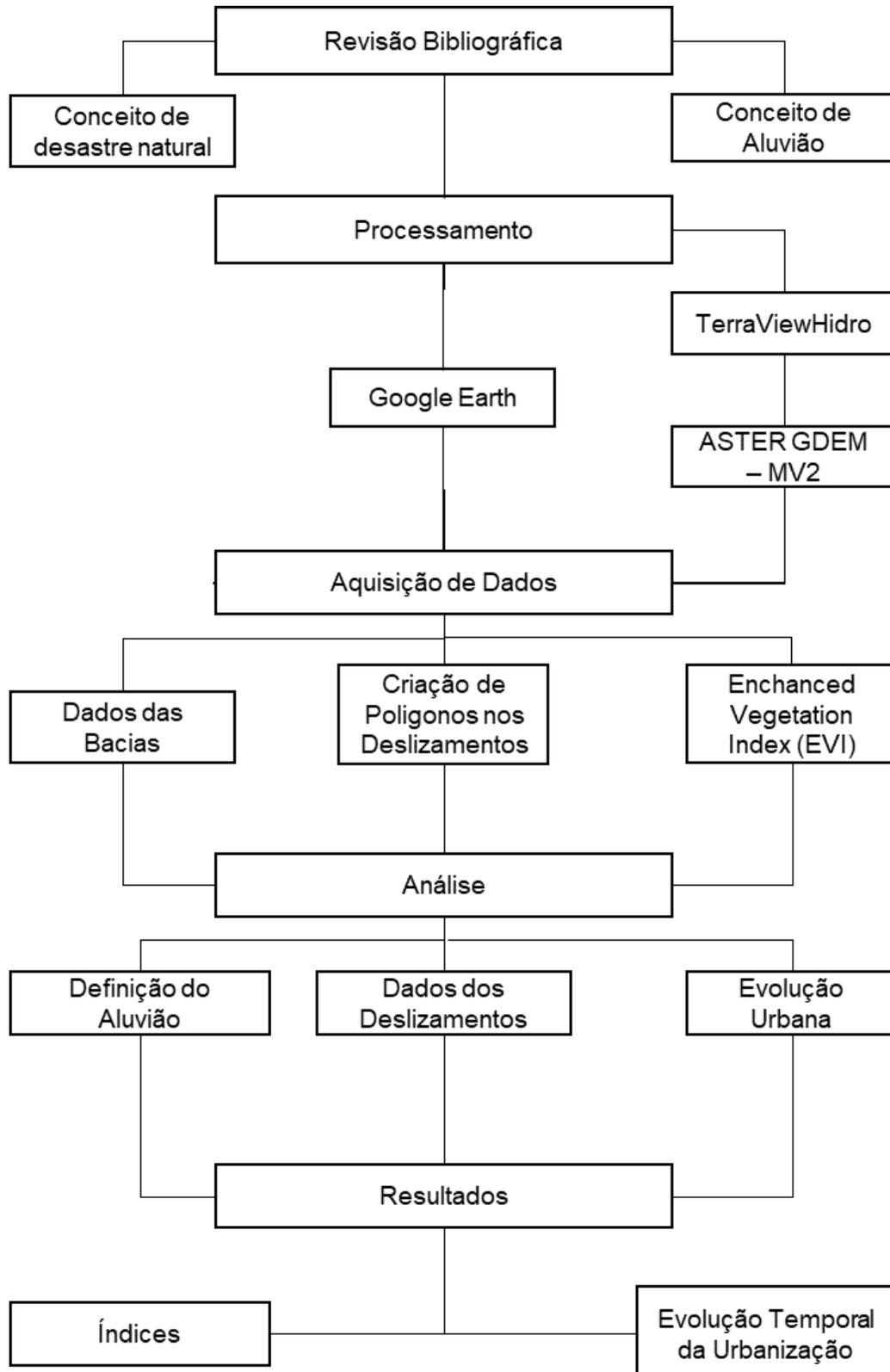
Equação 3:

$$IP = \frac{\sum Ad}{Ab} \times A_{urb}$$

O Fluxograma (Figura 10) mostra o passo a passo realizado neste trabalho desde o seu início até à sua conclusão, demonstrado desde os programas

realizados e como chegar aos dados até aos seus resultados e análise. Assim finalizando a metodologia deste trabalho.

Figura 11: Esquema Metodológico

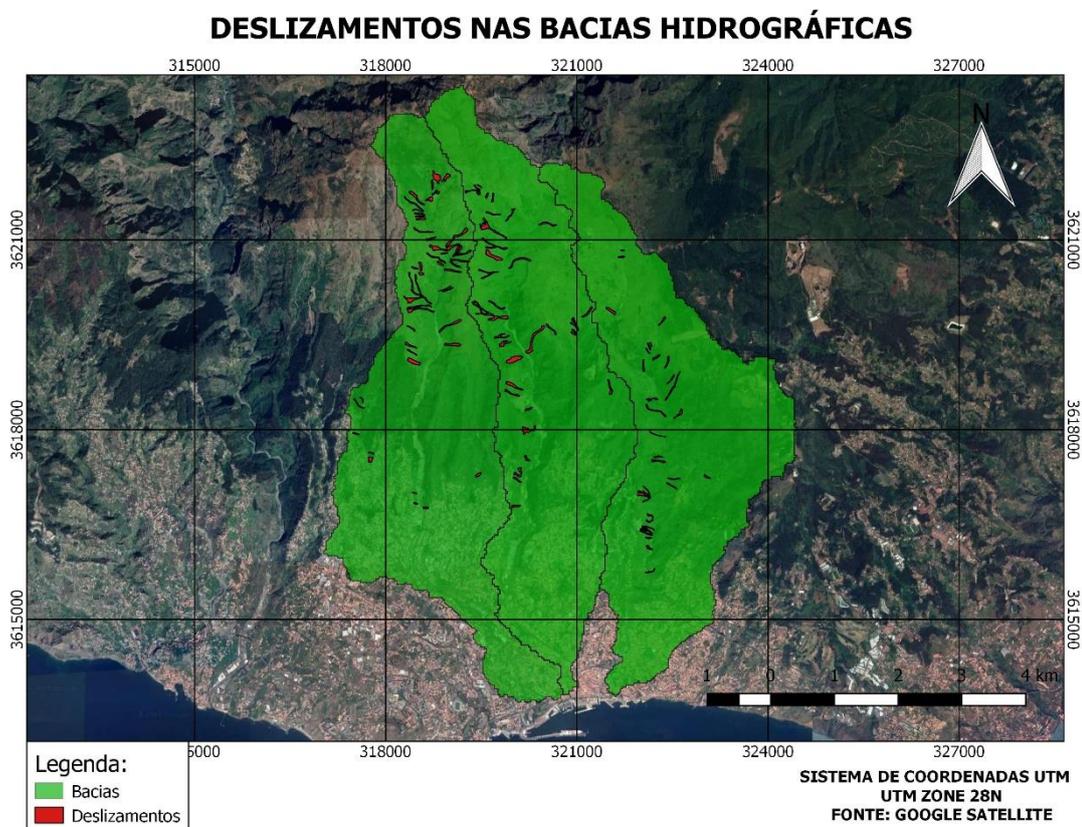


## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 CARACTERÍSTICAS DOS DESLIZAMENTOS

Após criar os polígonos para os deslizamentos de terra em cada uma das bacias hidrográficas, através do Qgis foi possível obter os dados necessários em relação aos deslizamentos em cada uma das bacias (Figura11).

Figura 12: Deslizamentos nas Bacias



Fonte: Elaborada pelo Autor

Através dos dados é possível concluir que a Bacia de São João é a que tem maior número de deslizamentos, seguida da Bacia de Santa Luzia e pôr fim a de João Gomes. A Bacia de São João praticamente tem a mesma área que a bacia de Santa Luzia, não é a bacia com maior declividade, mas é a que tem maior urbanização. A urbanização e a agricultura nas encostas estão ligadas diretamente à modificação e erosão do solo, fazendo com que o escoamento superficial seja maior trazendo consigo os deslizamentos de vertentes mais conhecidos como corridas de massa, por serem desencadeados pelo intenso fluxo de água e serem altamente destrutivos.

A bacia que contém uma maior média de área de deslizamentos é a bacia de Santa Luzia, então, não necessariamente tem de ser a bacia com mais deslizamentos para ter uma maior média. Por fim a menor bacia a de João Gomes que tem a maior área de deslizamento mínimo em relação as outras duas com cerca de 655m<sup>2</sup>. Todos estes resultados estão apresentados na tabela a seguir (Tabela 4).

Tabela 4: Dados dos Deslizamentos Por Bacia

	Mínimo/ m <sup>2</sup>	Máximo/ m <sup>2</sup>	Média/m <sup>2</sup>	Total/ m <sup>2</sup>	Nº total
<b>BACIA SÃO JOÃO</b>	641,631	15022,52	5362,98	268149,2	50
<b>BACIA SANTA LUZIA</b>	625	19280	5552,00	210976	38
<b>BACIA JOÃO GOMES</b>	655	6607	2456,31	85971	35

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Inclusive nas áreas em que ocorreram a grande parte dos deslizamentos das bacias de São João e Santa Luzia, ou seja, no terço superior de cada bacia onde se encontram os rios de 1º ordem, é onde ocorre uma taxa de precipitação elevada anualmente como é possível observar na figura 7, valores que rondam em média entre 1600 – 1800mm por ano.

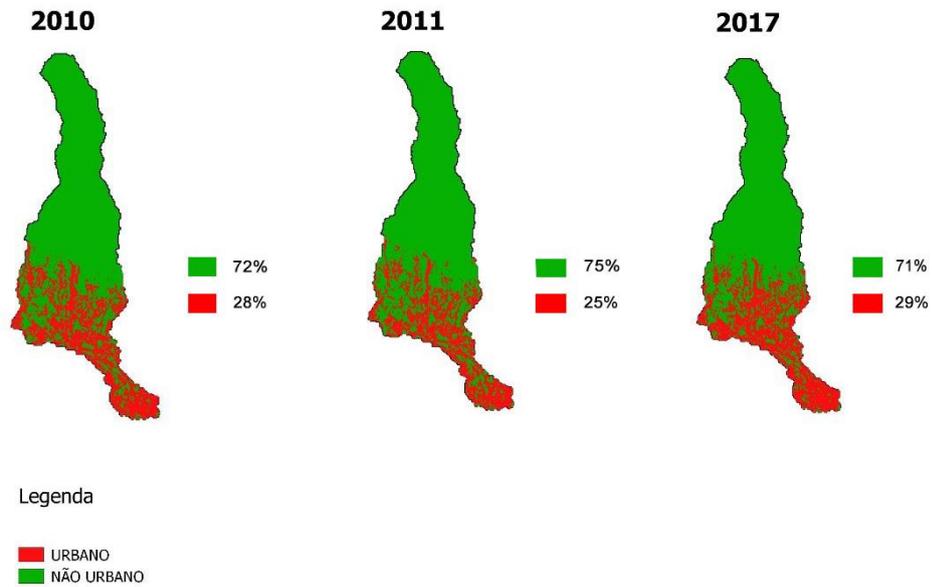
## 6.2 DADOS DA EVOLUÇÃO URBANA

Após a reclassificação do EVI, foi possível por fim identificar a evolução urbana nos anos de 2010, 2011 e 2017 para cada uma das bacias.

Com estes resultados é possível perceber que do ano de 2010 para 2011 a bacia hidrográfica que apresentou uma diminuição da urbanização foi a Bacia de São João, lembrando que esta bacia é a que contém o maior número de deslizamentos como foi anteriormente demonstrado, tornando-a conseqüentemente a mais afetada pelo aluvião tendo várias áreas destruídas.

Portanto, algumas dessas áreas ficaram desabitadas durante alguns anos e posteriormente como é possível observar em 2017 houve uma expansão urbana, aumento que se alargou nas áreas que anteriormente tinham sido afetadas pela aluvião, e em novas áreas na bacia onde a declividade é alta o que faz com a bacia fique mais propensa a riscos ambientais.

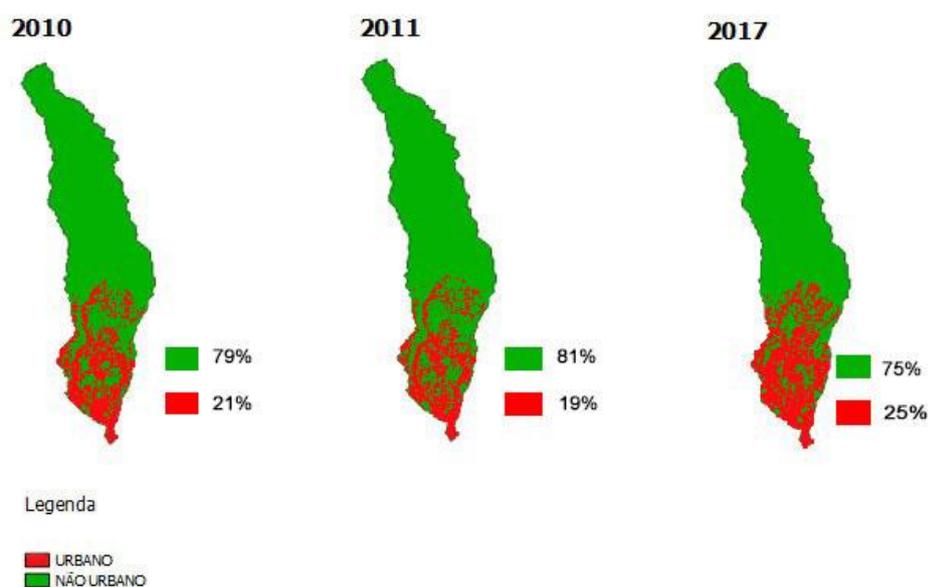
Figura 13: BACIA SÃO JOÃO



Fonte: Elaborada pelo próprio Autor

A Bacia de Santa Luzia não é diferente da bacia anteriormente discutida, onde ocorreu uma diminuição da urbanização após 2010 até 2011 pelos mesmos motivos pós aluvião, e em 2017 é possível observar uma reurbanização novamente já em áreas anteriormente ocupadas e em novas áreas com uma maior declividade.

Figura 14: BACIA SANTA LUZIA

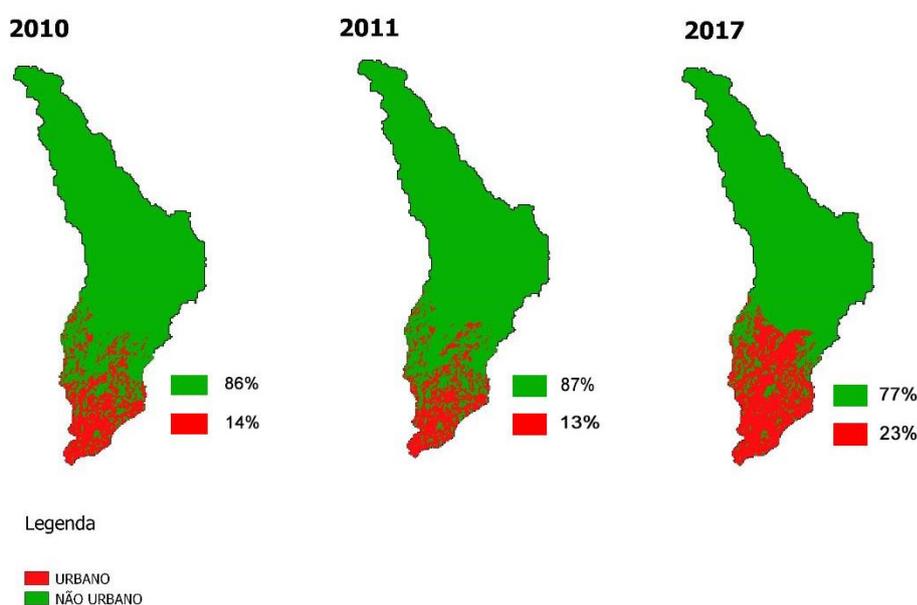


Fonte: Elaborada pelo próprio Autor

A Bacia de João Gomes é mais singular, pois ela sempre foi das três bacias a que continha menos urbanização, mas de 2011 até 2017 ocorreu uma grande expansão urbana na bacia, alguns desses empreendimentos são indústrias e outros habitações. As outras bacias já estão ficando lotadas pela questão da expansão urbana, então essa expansão se deslocou para a bacia de Santa Luzia porque tinha mais espaço livre para tal desenvolvimento mesmo.

Este procedimento de expansão desordenada trará problemas sociais e ambientais futuros para esta bacia, deixando-a mais impermeabilizada e mais suscetível a deslizamentos e fluxos de água mais intensos.

Figura 15: BACIA JOÃO GOMES



Fonte: Elaborada pelo próprio Autor

### 6.3 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES

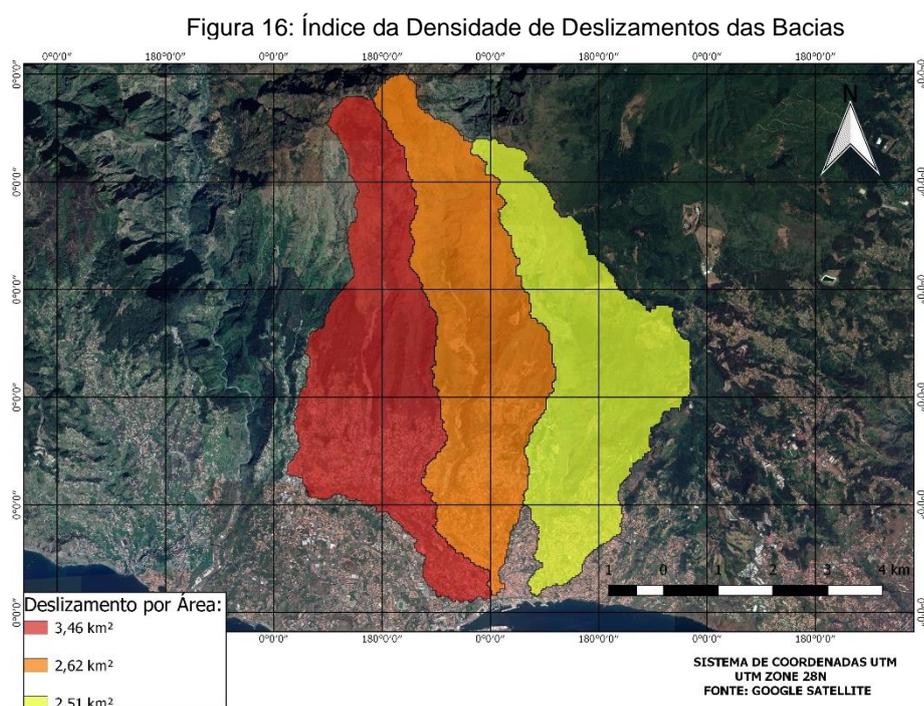
Os resultados do Índice da Densidade de Deslizamento, lembrando que este é um índice natural, pois não está incluído o agente antrópico, os valores mostraram qual é a bacia mais suscetível a deslizamentos de vertentes, ou seja, a bacia mais propensa ao primeiro fenômeno do Aluvião.

A Bacia de São João foi a bacia com o maior número de deslizamentos por Km<sup>2</sup>, com cerca de 3,46Km<sup>2</sup>, ou seja, são cerca de 3 deslizamentos e meio para cada km<sup>2</sup> da bacia. É relevante perceber que esta bacia, não é a bacia com maior declividade e mesmo assim foi a que gerou o maior resultado. É também

interessante perceber que grande parte dos deslizamentos ocorreram na parte superior da bacia, onde a cobertura vegetal é muito limitada, criando uma certa instabilidade do solo e a questão da erosividade da chuva intensa mostra que o solo é rapidamente encharcado e erodido.

Em seguida a Bacia de Santa Luzia, a que apresenta maior declividade, tem um resultado em volta de 2,62 deslizamentos para cada km<sup>2</sup>, lembrando que os deslizamentos foram mais distribuídos pela área da bacia em comparação com a Bacia de São João, provavelmente pelo vale ser de maior comprimento, fazendo com que os deslizamentos acontecessem em um nível de melhor distribuição.

Por fim a Bacia de João Gomes, a bacia com menor área e a com menor declividade, foi a bacia com menos deslizamentos apresentando valores em cerca de 2,5 deslizamentos por km<sup>2</sup>.



Fonte: Elaborada pelo próprio Autor

Após inserir os valores na fórmula do Índice de Perigo é possível obter os resultados que mostram o quanto % a Urbanização aumentou e/ou diminuiu ao longo dos três anos de interesse.

Sem estes valores, os mapas de evolução urbana (Fig:12,13,14) ficariam apenas com as imagens da evolução sem os valores, portanto, não seria possível saber o quanto % de Urbanização ocorreu em cada uma das bacias.

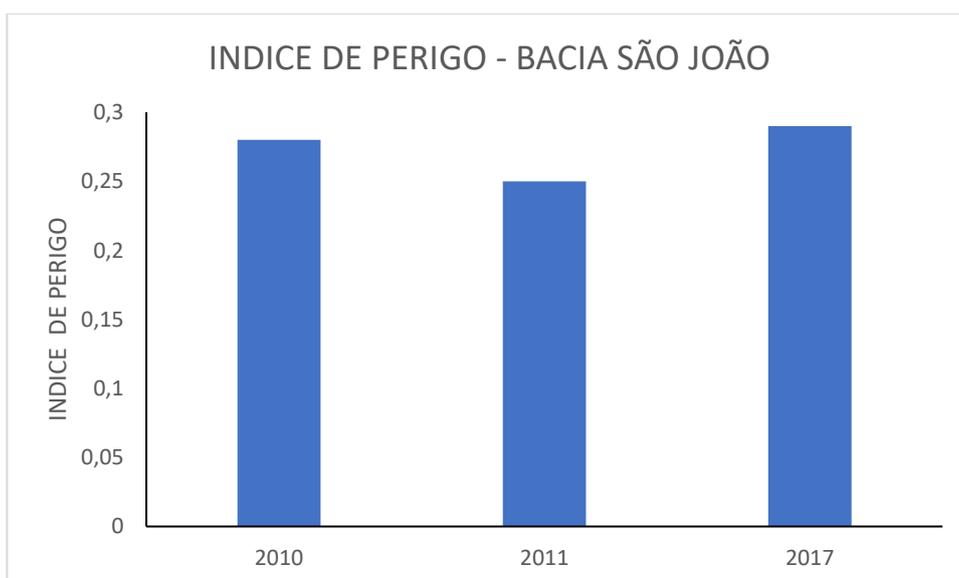
Os gráficos a seguir mostram a % da evolução urbana em cada uma das bacias. Em 2017 os valores de urbanização aumentaram drasticamente para cada uma das três bacias. É notável de ver que as áreas que foram afetadas pelo Aluvião voltaram a ser ocupadas.

O gráfico a seguir (gráfico 2), mostra a evolução urbana na Bacia de São João, ou seja, o Índice de Perigo da bacia para o desenvolvimento do aluvião, com o desenvolvimento tão intenso na bacia de São João, lembrando que esta bacia foi mais afetada pelo aluvião, este progresso urbanístico faz com que ela seja a bacia com mais risco de ocorrência do Aluvião, pelos motivos já anteriormente discutidos neste trabalho.

Todas as 3 bacias do conselho do Funchal estão com um maior nível de Perigosidade por conta dessa expansão urbana de 2011 até 2017, tanto a Bacia de Santa Luzia como a de João Gomes que apesar da sua área ser pequena um grande boom urbano ocupou áreas potencialmente propensas a deslizamentos de vertentes e cheias.

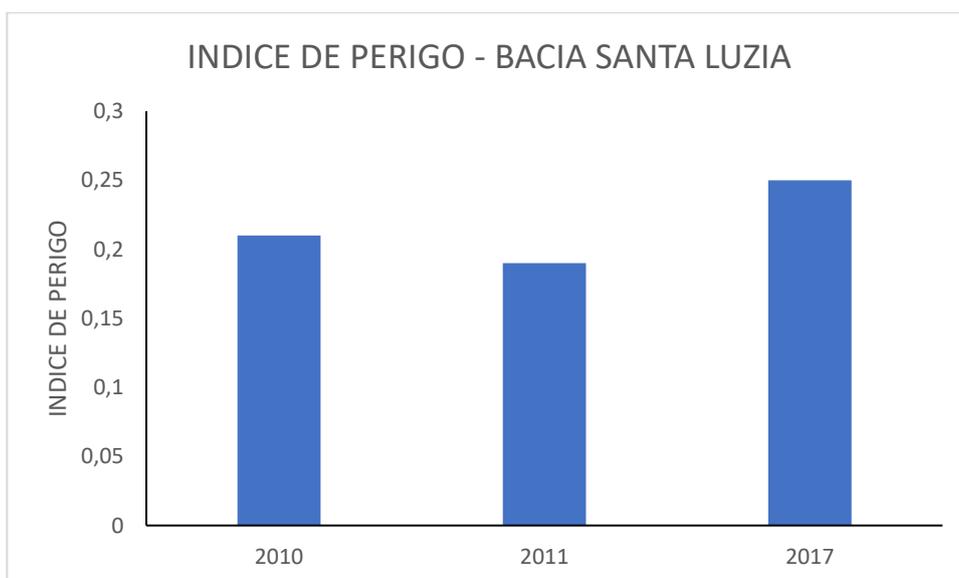
Em seguida está demonstrado o Índice de Perigo de cada bacia em cada um dos três anos, ou seja, a porcentagem (%) de urbanização por bacia e por ano.

Gráfico 2: Índice de Perigo da Bacia de São João



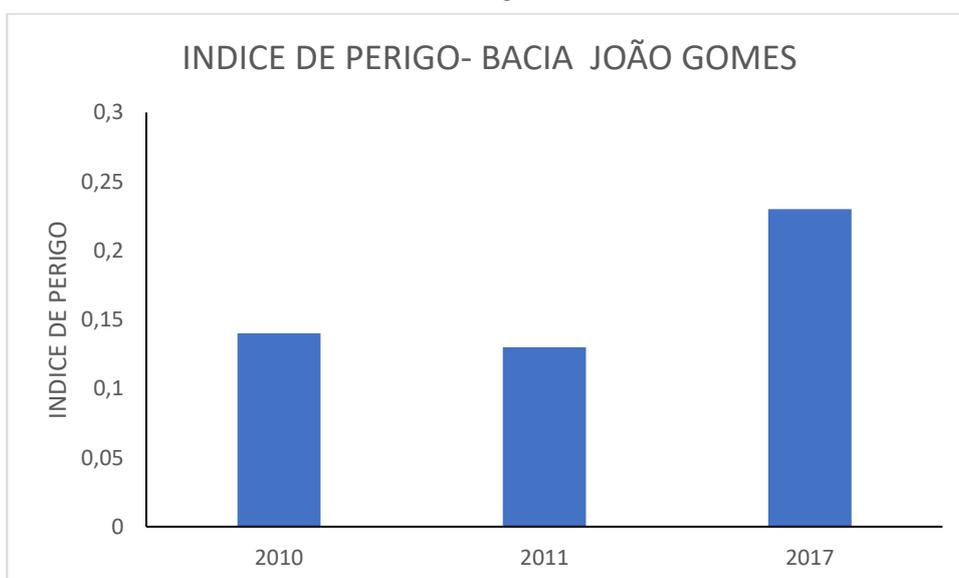
Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Gráfico 3: Índice de Perigo da Bacia de Santa Luzia



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Gráfico 4: Índice de Perigo da Bacia João Gomes



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

No final do ano de 2018 terá uma nova reunião em relação ao plano diretor do conselho do Funchal, pelo que dá para perceber áreas de risco e áreas suscetíveis a cheias foram mesmo assim ocupadas passados 7 anos do evento do Aluvião, tanto por indústrias como por habitações.

As medidas de prevenção social não foram atendidas, como por exemplo realocar as populações em outros locais não suscetíveis a deslizamentos e enchentes, entre outros fatores. O que mais foi realizado para que se o aluvião

retornasse foram medidas de prevenção, ou seja, aumentar a profundidade das ribeiras até chegarem no oceano, e a construção de barragens ao do leito da ribeira desde o começo da bacia até ao seu final, uma barragem que barra os detritos e deixa a água passar (PDM, 2018).

As novas pautas para o novo plano diretor (PDM) são bem interessantes para que quando o Aluvião voltar seja com menos impacto social. As medidas vão desde operações urbanísticas para relevos de alto nível de declividade até níveis de baixa declividade -Art.72, e as áreas ameaçadas por cheias -Art.70 (PDM, 2018).

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise das três bacias hidrográficas foi possível chegar a um conceito mais detalhado do que realmente é o Aluvião, evento complexo e um fenômeno que precisa e deve ser estudado detalhadamente para ajudar a população e tomar medidas preventivas para tal.

Como foi possível perceber, atrás nos métodos utilizados, o aumento exponencial da urbanização nas 3 bacias hidrográficas desde 2011 até a atualidade, é preocupante, fazendo com que o conselho do Funchal necessite rapidamente de medidas preventivas para que essa urbanização não se espalhe para áreas de risco.

Os Índices criados fazem com que tenhamos uma atenção maior para cada uma das bacias, portanto para uma questão mais natural porquanto para uma questão mais antrópica. O conselho do Funchal está chegando ao seu limite de urbanização horizontal, novamente ressaltando, se não houverem medidas provisórias para entender o aluvião e seus problemas e o quanto as bacias hidrográficas principais aguentam esse desenvolvimento desordenado, será impossível assim diminuir os danos ambientais e sociais da próxima vez que o Aluvião retornar para essa região.

O conselho do Funchal começou a sua urbanização inteiramente desordenada, pois a cidade cresceu em torno dos 3 rios principais, hoje conhecidas como as ribeiras, sendo assim é muito complicado reverter essa situação, mas existem outras formas para que esses efeitos sejam minimizados.

O reflorestamento das áreas por espécies nativas onde foram identificados os deslizamentos, seria uma boa opção para que esses deslizamentos não fossem tão potentes. A agricultura e gado em vertentes de alta declividade não são uma boa opção, pois trazem problemas de impermeabilidade do solo, sendo assim mais um fator de aumento do escoamento superficial. As ribeiras precisam ser revisadas pois elas estrangulam o fluxo de água e deixam os detritos “entupindo” o canal, assim fazendo com esta extravase com facilidade. As ribeiras bem estruturadas são um grande fator para que os efeitos do Aluvião diminuam e não causem tantos estragos à cidade.

Este trabalho consegue ter sua importância para o conselho do Funchal, pois com ele é possível entender mais o que realmente é o Aluvião e ver os problemas

que cada Bacia Hidrográfica contém como a sua Perigosidade e a sua Densidade de Deslizamentos.

O Índice de Perigo criado exclusivamente pra este trabalho mostra que a Bacia de João Gomes irá precisar de uma atenção maior de planejamento urbano e de preservação da floresta por conta do aumento da Urbanização na região, o Aluvião trará mais problemas do que antigamente para a Bacia.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. B. et al. Estudo de avaliação do risco de aluviões na Ilha da Madeira. **Relatório Técnico. Secretaria Regional do Equipamento Social da Região Autónoma da Madeira, Instituto Superior Técnico, Universidade da Madeira, Laboratório Regional de Engenharia Civil**, 2010.

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

BRUM DA SILVEIRA, A. Notícia Explicativa da Carta Geológica da ilha da Madeira, na escala 1: 50.000, folhas A e B. **Edição da Secretaria Regional do Ambiente e Recursos Naturais, Região Autónoma da Madeira e Universidade da Madeira**, 2010.

CAETANO, Claudia. **AVALIAÇÃO DO RISCO DE ALUVIÕES DAS RIBEIRAS DA ILHA DA MADEIRA**, p. 118, Técnico de Lisboa, 2014. Tese de Mestrado.

CAMERA MUNICIPAL DO FUNCHAL, **INSTITUTO DE METEOROLOGIA DA MADEIRA**, 2010

CAMERA MUNICIPAL DO FUNCHAL, **PLANO DIRETOR MUNICIPAL DO FUNCHAL**, 2018

CEEETA, 1989. **Centro de Estudos em Economia da Energia dos Transporte e do Ambiente. Plano energético da região autónoma da Madeira**. Relatório base

CEPED, UFSC. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres 2 a. Ed. **Florianópolis: CEPED UFSC**, v. 126, 2013.

DA SILVA, Fernando Augusto; DE MENESES, Carlos Azevedo. **Elucidário madeirense**. Tipografia Esperança, 1921.

DEFESA CIVIL; **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres**

DOS SANTOS, Agenor Micaeli et al. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n. 3, 2012.

FERNANDES, Filipa. Desastres naturais, destinos turísticos e estratégias de recuperação: o caso do 20 de fevereiro de 2010 na ilha da Madeira. **Revista Turismo & Desenvolvimento**, v. 1, n. 27/28, p. 1689-1697, 2018.

FERREIRA, M.P.; MACEDO, C.R. E FERREIRA, J.F. (1988) - **K-Ar geochronology in the Selvagens, Porto Santo and Madeira islands (Eastern Central Atlantic)**: A 30 m.y. spectrum of submarine and subaerial volcanism.

FRAGOSO, M. et al. The 20 February 2010 Madeira flash-floods: synoptic analysis and extreme rainfall assessment. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 12, n. 3, p. 715-730, 2012.

GOERL, Roberto Fabris; KOBAYAMA, Masato. Considerações sobre as inundações no Brasil. **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2005.

GOMES, Emerson et al. **Oficina didática sobre os conceitos de inundações, enchentes, alagamentos e enxurradas**, 2015.

GOMI, Takashi; SIDLE, Roy C.; RICHARDSON, John S. Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. **AIBS Bulletin**, v. 52, n. 10, p. 905-916, 2002.

Governo Regional da Ilha da Madeira, **PLANO REGIONAL DE ÁGUA DA MADEIRA (PRAM)**, 2002

Imagens ASTER 15m: Aprenda a realizar a Composição Colorida RGB no ArcGIS 10.4, Processamento Digital Canal de Conteúdo Geo, 2016

JIANG, Zhangyan et al. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote sensing of Environment**, v. 112, n. 10, p. 3833-3845, 2008.

KOBAYAMA, Masato et al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.

MACHADO, M. J. S. S. Balanço Hídrico e Clima da Ilha da Madeira. **Serviço Meteorológico Nacional**, 1970.

POLICARPO, Nancy Odete da Silva Gouveia. **Susceptibilidade aos movimentos de vertente e vulnerabilidade no Concelho do Funchal**. 2012. Tese de Doutorado.

PORTELA, Maria Manuela; SILVA, Artur Tiago. **CARACTERIZAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES INTENSAS NA REGIÃO DO FUNCHAL**.

PRADA, Susana et al. Recursos hídricos da ilha da Madeira. **Comunicações do Instituto Geológico e mineiro**, v. 90, p. 125-142, 2003.

PRADA, Susana Luísa Rodrigues Nascimento. **Geologia e recursos hídricos subterrâneos da ilha da Madeira**. 2000.

QUINTAL, Raimundo. Aluviões da Madeira. Séculos XIX e XX. **Territorium**, n. 6, p. 31-48, 1999.

RODRIGUES, Domingos; TAVARES, Alexandre; ABREU, U. **Movimentos de vertente na ilha da Madeira. Eventos de Dezembro 2009 e de fevereiro de 2010**. **e-Terra**, n. 7, 2010.

SILVA, José Manuel Azevedo; MADEIRA, A. a Construção do Mundo Atlântico. 1995.

TEIXEIRA, Hugo Miguel Moniz. **Caracterização hidráulica, hidrológica e de transporte sólido do evento de 20 de fevereiro de 2010 na Ribeira de São João– Ilha da Madeira**. 2014. Tese de Doutorado.

TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. 1.ed/2º reimpressão. São Paulo: Instituto Geológico, 2011. 196 pp.

VARGAS, H.R.A. (2010) **Guia Municipal para la Gestión del Riesgo, Banco Mundial, Programa de Reduccion de la Vulnerabilidad Fiscal del Estado frente a Desastres Naturales**, Republica de Colombia, Bogotá

WILFORD, D. J. et al. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. **Landslides**, v. 1, n. 1, p. 61-66, 2004.

ZBYSZEWSKI, Georges. **Carta geológica de Portugal na escala de 1: 50 000: notícia explicativa das folhas A e B da Ilha da Madeira**. 1975.