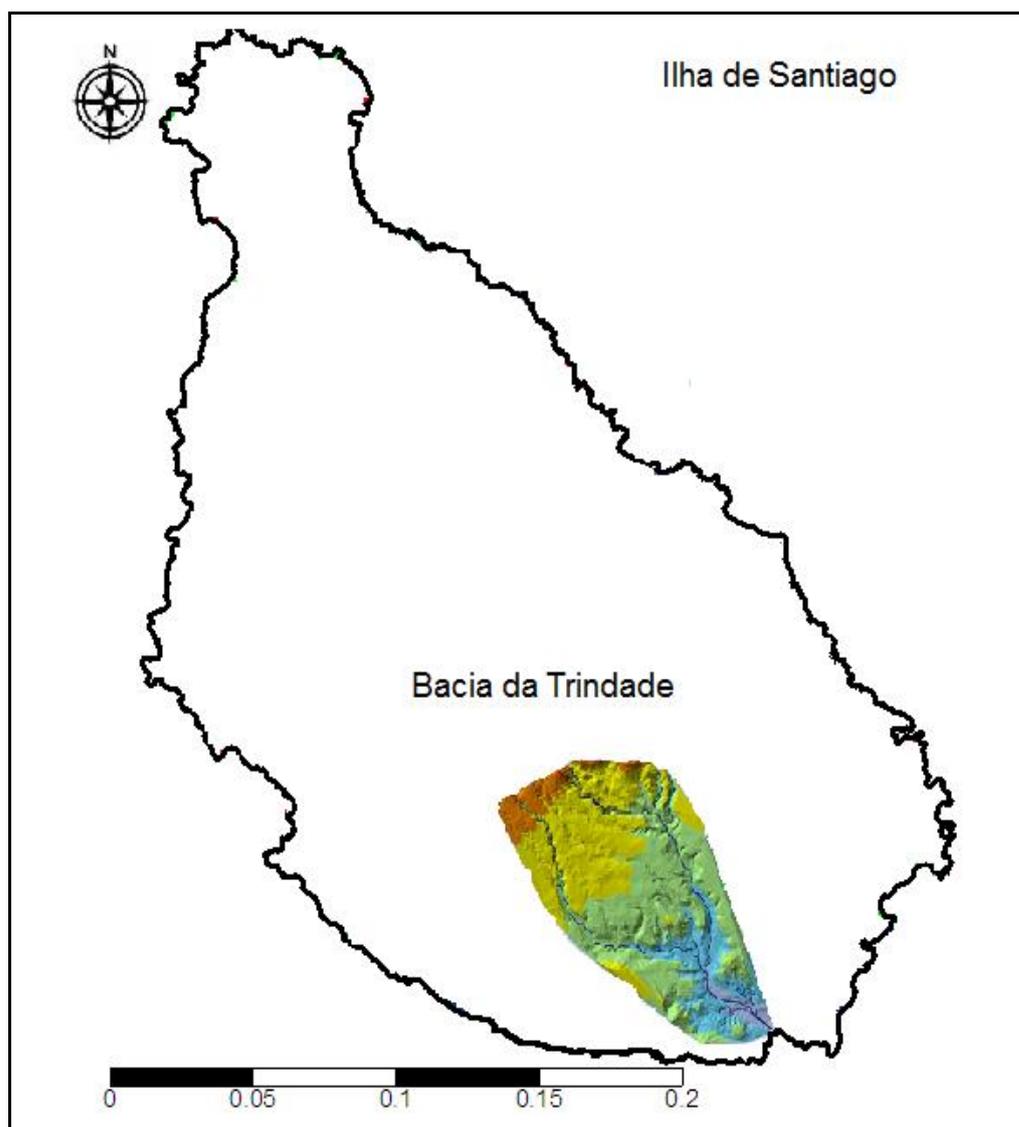


BACIA DA TRINDADE: ANÁLISE DOS RISCOS HIDROLÓGICOS PARA A CIDADE DA PRAIA



MOISÉS ANTÓNIO DO ESPÍRITO SANTO TAVARES BORGES

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À UNIVERSIDADE DE CABO VERDE PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE



UNIVERSIDADE DE CABO VERDE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

BACIA DA TRINDADE: ANÁLISE DOS RISCOS HIDROLÓGICOS PARA A CIDADE DA PRAIA

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Ordenamento e Desenho do Território da Universidade de Cabo Verde em Parceria com a Universidade Federal de Rio Grande do Sul – Brasil, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de Grau de Mestre.

Proponente:

MOISÉS ANTÓNIO DO ESPÍRITO SANTO TAVARES BORGES

Orientadores:

PROFESSOR DOUTOR JOEL GOLDENFUM – UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO GRANDE DO SUL

PROFESSOR DOUTOR FERNANDO DORNELES – UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO GRANDE DO SUL

AGRADECIMENTOS

- Agradeço acima de tudo a Deus, por permitir a conclusão deste trabalho de dissertação.
- Ao meu orientador Professor Doutor Joel Goldenfum pela sua infinita sapiência e dedicação, apesar das imensas atribuições profissionais.
- Ao Professor Doutor Fernando Dornelles pelo apoio e chamadas de atenção sistemáticas e pertinentes durante esta pesquisa.
- Ao Professor Doutor Benamy Turkienicz por ter acreditado e empenhado pessoalmente para a realização e conclusão deste curso de mestrado.
- À minha família (Samira Borges e filhos Maria Inês e Mateus Moisés) pelo Amor e apoio incondicionais.
- Aos meus pais (Inês Tavares e António Borges) e irmãos (Nina, Sara e Abraão) pela força e apoio de sempre.
- Ao SIMLAB pelo apoio académico que recebi na minha deslocação a Porto Alegre – Brasil.
- Ao Rodrigo do SIMLAB pelas orientações com a ferramenta ARCGIS.
- Aos colegas João Vieira e Anna Riga pelo companheirismo e apoio mútuo.
- Ao amigo Eng. Nilton Correia pelo apoio com os cálculos hidráulicos.
- A todos os colegas do curso de mestrado em Ordenamento e Desenho do Território pela força e amizade que sempre me dispensaram.
- Aos Professores da Universidade Federal de Rio Grande do Sul pela amabilidade de terem participado com as suas elevadas competências neste curso de mestrado.
- À Universidade de Cabo Verde pela iniciativa e oportunidade concedida para participar neste curso de mestrado.
- À Universidade de Rio Grande do Sul e à CAPES por se terem associado à iniciativa da Universidade de Cabo Verde de levar adiante este curso de mestrado.

RESUMO

A inundação urbana é um evento tão antigo quanto as cidades ou aglomerações urbanas. Este evento pode ocorrer devido ao comportamento natural dos cursos de água, quando o excesso do volume da chuva que não consegue ser drenado ocupa a várzea e inunda, em função da topografia, as áreas próximas aos cursos de água (inundações ribeirinhas), ou pode ocorrer pelo efeito da alteração produzida pelo homem através da urbanização devido à impermeabilização das superfícies e canalização dos rios.

Um conjunto de factores pode ser relacionado quanto à ocorrência das inundações. Certamente, um dos mais preocupantes é a falta de planeamento para ocupação de bacias hidrográficas, resultando a ocupação de áreas consideradas de risco de inundação. A população de maior poder aquisitivo tende a habitar os locais seguros ao contrário da população carente que ocupa as áreas de alto índice de inundação, provocando problemas sociais que se repetem por ocasião de cada cheia na região. A cidade da Praia, enquanto cidade ribeirinha, está sujeita a riscos de inundações de certas áreas que hoje estão ocupadas. Esta tese é reforçada pelo facto de Cabo Verde se situar numa zona de influência de um clima muito instável, podendo em curtos períodos de tempo produzir precipitações de tal forma intensas com consequências imprevistas.

Neste trabalho fez-se uma análise da problemática de inundações em áreas ribeirinhas a jusante da bacia hidrográfica da Trindade, onde está localizada a cidade da Praia, a capital administrativa de Cabo Verde, cuja população sofre ocasionalmente com a força dos cursos de água que desaguam no Oceano Atlântico, à luz de uma proposta de construção de uma barragem de retenção de águas superficiais desenvolvida em 1992.

Buscou-se, portanto, soluções práticas e eficientes para o melhor aproveitamento das áreas a fim de evitar transtornos, possibilitando melhor qualidade de vida para o meio urbano da capital do país, para além de se ter apresentado propostas de aproveitamento dos recursos hídricos da bacia da Trindade para utilização diversa.

Conclui-se com a realização deste trabalho que os riscos hidrológicos associados à bacia da Trindade são neste momento bastante consideráveis quando se consideram os dados dos cálculos hidrológicos para períodos de retorno acima de

50 anos pois, os níveis de inundações seriam tais que punham em risco habitações e infra-estruturas na cidade da Praia localizadas na zona jusante da bacia.

A falta de planeamento e a ausência de uma gestão integrada dos recursos hídricos na bacia hidrográfica da Trindade são factores que contribuem potencialmente para um aumento nos prejuízos associados a evento chuvoso. É importante ressaltar que, as soluções para a protecção e o controlo das inundações devem ser incorporadas nos Planos Directores Municipais através de Planos Directores de Drenagem.

A bacia da Trindade, pela sua dimensão e contributo para fenómenos de enchentes, deveria ser alvo de uma abordagem integrada e sistémica de modo a perceber melhor o comportamento hidráulico no seu interior e, delinear um plano de intervenção que permita minimizar os impactos negativos desse tipo de fenómenos sobre as populações com base em estudos aprofundados que permitam o dimensionamento do conjunto das infra-estruturas a serem construídas.

PALAVRAS-CHAVES: Bacia hidrográfica da Trindade, inundações urbanas, medidas de protecção e controle

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Município da Praia	16
Figura 2 – Localização de Cabo Verde.....	20
Figura 3 – Inundações de áreas ribeirinhas.....	34
Figura 4 – Hidrograma hipotético.....	34
Figura 5 – Distribuição da Precipitação no contexto da bacia da Trindade	35
Figura 6 – Tendência das Precipitações Médias (1976 – 2005)	38
Figura 7 – Estágios da transferência das enchentes por canalização	42
Figura 8 – Amortecimento em reservatórios urbanos	44
Figura 9 – Relação entre área de drenagem, produção de sedimentos e actividade de construção	45
Figura 10 – Desenho representativo do reservatório de amortecimento	50
Figura 11 – Bacia da Trindade no contexto da Ilha de Santiago	57
Figura 12 – Pluviometria máxima diária (1976 – 2005) Bacia da Trindade.....	60
Figura 13 – índice de pluviometria máxima diária (1976 a 2005)	60
Figura 14 – Pluviometria média anual (1976 – 2005) – Bacia da Trindade	62
Figura 15 – Distribuição das precipitações na Ilha de Santiago	63
Figura 16 – Cruzamento de Informações de Declividades com Linhas de Agua – Bacia da Trindade.....	64
Figura 17 – Cruzamento de Informações de Declividades com Edificações – Bacia da Trindade.....	66
Figura 18 – Carta Geológica da Bacia da Trindade	67
Figura 19 – Cruzamento de Informações de Geologia com as Principais Linhas de Agua – Bacia da Trindade	69
Figura 20 – Distribuição da Vegetação na bacia da Trindade	72
Figura 21 – Cruzamento de Informações de Geomorfologia com as Edificações – Bacia da Trindade.....	73

Figura 22 – Cruzamento de Informações de Geomorfologia com as Principais Linhas de Água – Bacia da Trindade	75
Figura 23 – Tendência da ocupação do solo urbano e impacto	77
Figura 24 – Perfil Longitudinal da Bacia da Trindade	81
Figura 25 – Corte transversal do ponto 1.....	83
Figura 26 – Curva do Escoamento Superficial em função do Caudal.....	83
Figura 27 – Corte transversal do ponto 2.....	84
Figura 28 – Altura do Escoamento Superficial em função do Caudal.....	85
Figura 29 – Áreas susceptíveis de inundação com uma cheia de 1 metro na cidade da Praia.....	86
Figura 30 – Áreas susceptíveis de inundação com uma cheia de 3 metro na cidade da Praia	87
Figura 31 – Carta de Risco de Algumas Infra-estruturas Colectivas com subida de 3 metros	88
Figura 32 – Área proposta para a localização da barragem da Sub-bacia da Trindade.....	94
Figura 33 – Enquadramento geomorfológico da barragem da Sub-bacia da Trindade.....	95
Figura 34 - Enquadramento geológico da barragem da sub-bacia da Trindade	96
Figura 35 – Área Proposta para a localização da barragem da Sub-bacia de Laranjo.....	98
Figura 36 – Enquadramento Geomorfológico da barragem da Sub-bacia de Laranjo.....	99
Figura 37 – Enquadramento Geológico da barragem da Sub-bacia de Laranjo	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros da curva de IDF (Intensidade, Duração e Frequência) da cidade de DAKAR	24
Tabela 2 – Parâmetros da curva de IDF (Intensidade, Duração e Frequência) da cidade da PRAIA	24
Tabela 3 – Valores do coeficiente de escoamento	27
Tabela 4 - Medidas não-estruturais para controlo de inundações	53
Tabela 5 - Principais factores que afectam o risco de inundação	55
Tabela 6 – Precipitações máximas diárias em 4 estações da Bacia da Trindade (1976 – 2005)	59
Tabela 7 – Precipitações médias anuais em 4 estações da Bacia da Trindade (1976 – 2005)	61
Tabela 8 – Análise estatística da Pluviometria (média anual).....	78
Tabela 9 – Dimensões de 4 pontos na parte canalizada da bacia.....	79
Tabela 10 – Análise estatística da Pluviometria (Valores das Precipitações Máximas Diárias)	82

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	3
Resumo	4
Lista de Figuras	6
Lista de Tabelas	8

I

Introdução	11
Objectivo	13
Breve Descrição do Trabalho	14

II

Enquadramento	15
Localização Geográfica de Cabo Verde	19

III

Metodologia aplicada	21
Dados de Base	22

IV

Enchentes e Inundações Urbanas	33
Tipologia de Enchentes/Inundações	33
Causas, Impactes e Controlos Quantitativos de Enchentes	39
Construção de Mapas de Inundações	54

V

Caracterização e diagnóstico da Bacia Hidrográfica da Trindade	57
Hidrologia	58
Declividades	64
Geologia	67
Vegetação	71
Altimetria, Edificações e Rede Hidrográfica.....	73

VI

Discussões e Propostas	78
Drenagem Artificial das Águas Pluviais	79
Barragem da Trindade.....	92
Sub-bacia da Trindade	94
Sub-bacia de Laranjo	98

VII

Conclusões e Recomendações	102
Conclusões.....	102
Recomendações.....	106
Referências Bibliográficas	107

I

INTRODUÇÃO

A inundação urbana é um evento tão antigo quanto as cidades ou aglomerações urbanas. Este evento pode ocorrer devido ao comportamento natural dos cursos de água, quando o excesso do volume da chuva que não consegue ser drenado ocupa a várzea e inunda, em função da topografia, as áreas próximas aos cursos de água (inundações ribeirinhas), ou pode ocorrer pelo efeito da alteração produzida pelo homem através da urbanização devido à impermeabilização das superfícies e canalização dos rios.

As inundações em áreas urbanas representam um grave problema para algumas cidades cabo-verdianas, uma vez que atingem áreas ocupadas, ocasionando prejuízos consideráveis para as populações.

Um conjunto de factores pode ser relacionado quanto à ocorrência das inundações. Certamente, um dos mais preocupantes é a falta de planeamento para ocupação de bacias hidrográficas, resultando a ocupação de áreas consideradas de risco de inundação. A população de maior poder aquisitivo tende a habitar os locais seguros ao contrário da população carente que ocupa as áreas de alto índice de inundação, provocando problemas sociais que se repetem por ocasião de cada cheia.

Quando a frequência das inundações é baixa, a população tende a desprezar o risco, aumentando significativamente a ocupação e a densificação das áreas inundáveis.

O problema das inundações urbanas é complexo, uma vez que envolve acções multidisciplinares e abrangentes sobre a bacia hidrográfica como um sistema integrado e dinâmico. Acções isoladas podem apenas transferir de uns pontos para outros as inundações. Para a mitigação de inundações em bacias urbanizadas, diversas alternativas estruturais associadas a acções não-estruturais podem ser aplicadas, desde o reassentamento das populações até o próprio convívio com o problema.

Desta forma, a elaboração de Planos de Controle de Enchentes de uma cidade ou região deve considerar as bacias hidrográficas sobre as quais a urbanização se desenvolve. Diversos meios associados podem garantir um desenvolvimento sustentável e racional, possibilitando um crescimento urbano adequado e consequente melhoria de vida para a população.

A cidade da Praia, enquanto cidade ribeirinha, está sujeita a riscos de inundações de certas áreas que hoje estão ocupadas. Esta tese é reforçada pelo facto de Cabo Verde se situar numa zona de influência de um clima muito instável, podendo em curtos períodos de tempo ocorrerem precipitações de tal forma intensas com consequências imprevisíveis.

As acções públicas têm-se mostrado indevidamente voltadas para medidas estruturais com aplicação pontual. A canalização tem sido uma medida utilizada extensamente para transferir o problema de um ponto a outro na bacia (dentro da cidade), sem que sejam avaliados os efeitos para jusante ou os reais benefícios das obras. Esse tipo de processo é prejudicial aos interesses públicos, representando prejuízos potenciais extremamente alto para toda a sociedade.

Em 1992, foi desenvolvido um estudo hidrológico da bacia da Trindade com duplo propósito. Por um lado, via-se nessa barragem uma forma de mobilizar água para o abastecimento da cidade, reduzindo o grande deficit que se verificava na altura, através de perfurações e bombagens, para além da disponibilização de um grande volume de água para a prática da agricultura. A outra função da Barragem da Trindade seria reduzir a água de escorrência superficial, minimizando os riscos de inundação preconizados na altura.

Apesar de os municípios serem obrigados por lei de elaborarem os respectivos Planos Directores Municipais, a grande maioria não dispensa a necessária atenção à ocupação dos espaços de risco de enchentes. Para a implementação de medidas, sejam elas estruturais ou não-estruturais, diversos factores devem ser levados em consideração: aspectos ambientais, hidrológicos, uso e ocupação do solo, características sócio-económicos. Estes factores garantem uma gestão adequada e

eficiente considerando seus aspectos naturais e locais possibilitando, assim, uma melhor convivência com tais fenómenos.

Neste trabalho foi abordado uma análise da problemática de inundações em áreas ribeirinhas a jusante da bacia hidrográfica da Trindade, onde está localizada a cidade da Praia, a capital administrativa de Cabo Verde, cuja população sofre ocasionalmente com a força dos cursos de água que correm para o Oceano Atlântico, à luz de uma proposta de construção de uma barragem de retenção de águas superficiais desenvolvida em 1992.

Um pacote de medidas que considere os aspectos de prevenção contra a ocupação dos espaços de riscos de enchentes, através de medidas estruturais e/ou não-estruturais, associadas ou não, foi contemplado.

Diversos problemas estão associados quanto à ocorrência de enchentes: ocupação inadequada dos leitos das ribeiras; falta de recursos para moradia e saneamento; e falta de planeamento de ocupação do espaço urbano.

Buscou-se, portanto, soluções práticas e eficientes para o melhor aproveitamento das áreas a fim de evitar transtornos, possibilitando melhor qualidade de vida para o meio urbano da capital do país, para além de se propor o aproveitamento dos recursos hídricos da bacia da Trindade para utilização diversa.

OBJECTIVO

Este trabalho pretende analisar os riscos hidrológicos inerentes à Ribeira da Trindade, enquanto elemento estruturador de todo o sistema hidrológico que afecta a cidade da Praia. Assim se considera como objectivo principal o seguinte:

OBJECTIVO PRINCIPAL

Avaliar os riscos hidrológicos dos bairros que ficam a jusante da bacia da Trindade e discutir a viabilidade de intervenções para a retenção de água a montante da cidade da Praia, com soluções de carácter integrado, de modo a reduzir o volume de água que circula na ribeira principal.

BREVE DESCRIÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em oito capítulos sendo que o primeiro diz respeito à uma introdução, os objectivos e esta breve descrição do trabalho, seguido de um segundo capítulo de enquadramento onde se apresentou a área de estudo e a metodologia seguida. No Terceiro capítulo procedeu-se à caracterização e diagnóstico da bacia da Trindade do ponto de vista da rede hidrológica e da precipitação, da geologia e das declividades, da área vegetalizada e das infra-estruturas mecânicas de conservação de solo e água, da rede viária e do tecido construído através de elaboração de cartas produzidas a partir de ferramentas de geoprocessamento. No quarto capítulo foi feita uma revisão bibliográfica de modo a enquadrar o trabalho com a linha de pesquisa em que se insere. O quinto capítulo foi dedicado a apresentação da metodologia proposta neste trabalho, enquanto no sexto capítulo foram elaborados os cruzamentos dos dados e a respectiva discussão, tendo como pano de fundo os riscos hidrológicos da parte jusante da bacia da Trindade. Ainda neste capítulo foram feitas as análises da viabilidade da construção de uma barragem a montante da cidade da Praia para retenção da água de escoamento pluvial e avançaram-se algumas propostas de soluções alternativas. Finalmente, no capítulo sétimo foram apresentadas as principais conclusões e recomendações decorrentes das análises efectuadas e as referências bibliográficas.

II

ENQUADRAMENTO

A origem da cidade da Praia está intimamente associada à sua geomorfologia. Os primeiros ocupantes procuraram, por motivos de defesa, os planaltos para usufruírem das melhores vistas e garantir a segurança da cidade. Nessa primeira fase foram ocupadas áreas como o Platô e a Achada Santo António que localizam-se em pequenos planaltos no contexto da cidade. Entretanto, com o passar do tempo, diminuindo os interesses dos piratas pelas riquezas acumuladas pela cidade e, por conseguinte os riscos associados à insegurança daí advenientes, os praienses começaram a ocupar as planícies, as encostas e as zonas baixas. Porém, esta ocupação não foi regrada, aparecendo construções nas encostas, no leito das ribeiras, sem respeito pelas margens de segurança referente a fenómenos de cheia.

Se, por um lado, a inserção climática do país na faixa de clima tropical seco provoca períodos de secas prolongadas, não é menos verdade que essa condição climática tem produzido episódios de chuvas intensas, que ultrapassa rapidamente a capacidade de infiltração do solo e provoca grande escoamento superficial. A cidade da Praia localiza-se numa área de confluência de um sistema hidrológico formado por três bacias hidrográficas, sendo uma (a maior) a bacia da Trindade, objecto de estudo deste trabalho.

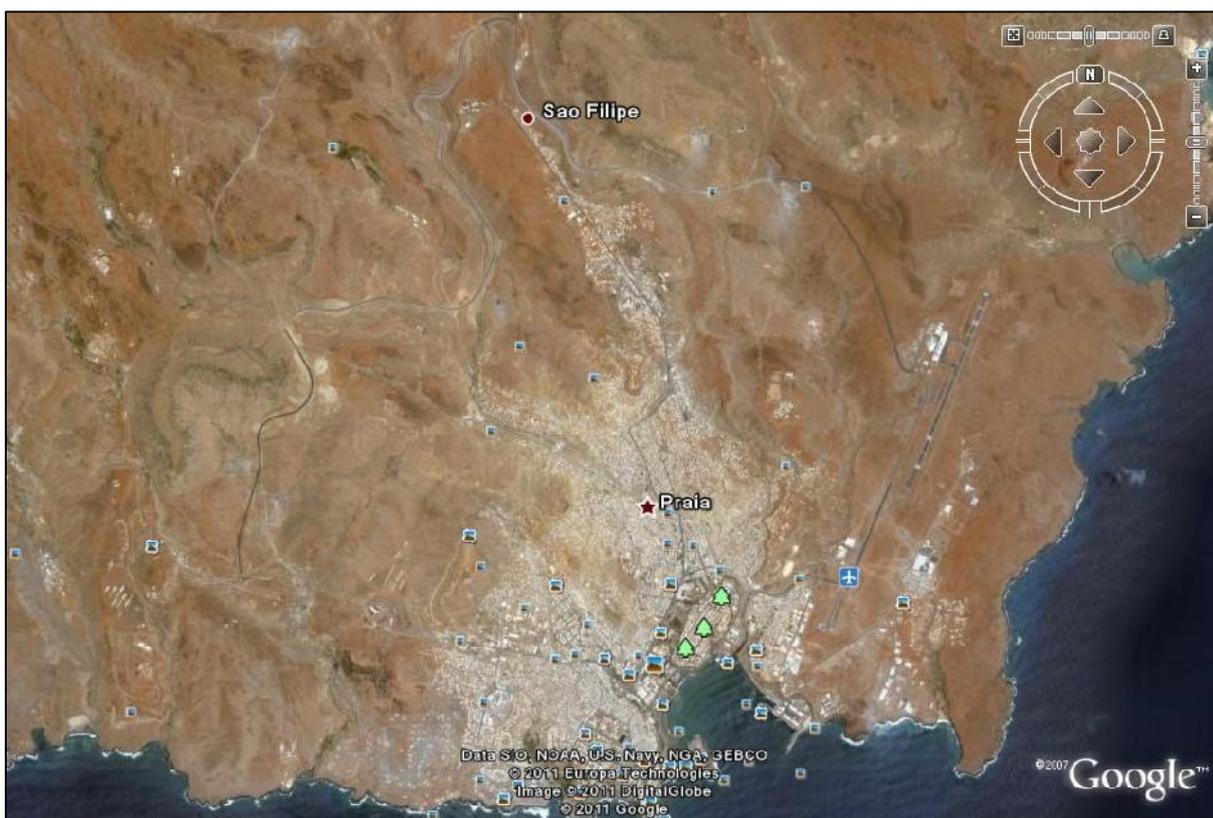
As estruturas urbanas (habitações, rede viária, equipamentos sociais) construídas na ausência de planos integrados de desenho e ordenamento do território, que não acautelaram de um modo geral as condicionantes naturais como sejam as condições geotécnicas, as linhas de água, as declividades e a geomorfologia, estão sujeitas permanentemente a riscos naturais como inundações e deslizamento de terras.

Nas últimas décadas, a cidade da Praia recebeu boa parte da população do interior da ilha de Santiago e das outras ilhas do país. Por outro lado, Cabo Verde tornou-se também no mesmo período um pólo atractivo para a população da costa ocidental africana, contribuindo para um crescimento rápido da população da cidade da Praia. Esse aumento da população teve reflexos territoriais que manifestam-se na

expansão da cidade, particularmente ao longo dos principais eixos viários como mostra a figura 1. O nível de rendimento económico das famílias que chegam à Praia é, normalmente, muito baixo e isso leva-as a procurarem áreas marginais de baixo valor e associadas a condição de riscos naturais como inundações e deslizamento de terras. As áreas ocupadas foram principalmente encostas de declividades acentuadas e leito de ribeiras, para além das planícies com altitudes de dois a quatro metros em relação ao nível do mar.

Os riscos associados à hidrologia e seus efeitos derivam do tipo de solo que constituem as encostas, que associado aos declives acentuados e às intervenções antrópicas podem desestabilizar e provocar episódios de deslizamento de material. Por outro lado, a construção no leito das ribeiras, que não respeitaram os níveis de cheias, sujeitam-se a riscos de inundações em cenários de chuvas torrenciais.

Figura 1 – Município da Praia (Google Earth)



Se por um lado, do ponto de vista teórico, a remoção da vegetação e a intensificação das edificações, diminuem a capacidade de infiltração do solo e

precipita o escoamento superficial, aumentando deste modo o caudal das cheias, por outro, o sistema de drenagem urbana deve estar preparado para absorver o excedente de água que daí resulta.

A mancha urbana da cidade de Praia está localizada na zona costeira próxima à foz das ribeiras que desembocam no mar. A impermeabilização causada pela urbanização tem pouca influência no incremento da magnitude das inundações ribeirinhas, entretanto, a cobertura e uso do solo a montante podem afectar este fenómeno, tanto ampliando a cheia quanto reduzindo. Os problemas causados pelas cheias da ribeira Trindade são provenientes de um sistema de drenagem insuficiente e com falta de uma manutenção preventiva, e principalmente, pela ocupação da faixa de passagem da onda de cheia.

Outro factor que pode influenciar os riscos hidrológicos diz respeito às infra-estruturas de conservação de solo e água a montante das ribeiras que chegam à cidade da Praia e das encostas das mesmas ribeiras. A construção de diques, socialcos, banquetas, barragens, entre outras infra-estruturas rurais a par da vegetalização das encostas desempenha um papel determinante na fixação do solo e na melhoria da capacidade de infiltração, retardando o escoamento superficial.

A cidade da Praia, enquanto cidade ribeirinha, localizada numa área plana e, por conseguinte está sujeita aos riscos hidrológicos. De resto essa situação não é exclusiva desta cidade pois, Gonçalves G. *et al* 2007 refere que “(...) os riscos naturais são um problema para as nossas sociedades. Evitar que ocorram é difícil ou mesmo impossível, contudo, através da ciência, podemos maximizar o bem-estar social e económico sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais. Há necessidade de estudar metodologias e modelos que nos garantam uma gestão mais equilibrada dos riscos que daí podem advir”.

Segundo o documento estratégico do Governo de Cabo Verde intitulado “**Política Nacional de Saneamento**” CNAG 2007, o país ainda não possui um sistema eficiente de drenagem de águas pluviais. “A drenagem das águas pluviais constitui uma prática quase inexistente em nível nacional, resultado da não inclusão dos

canais de drenagem e de sumidouros na fase inicial do processo de construção das vias de comunicação em geral. Assim, durante a época das chuvas, ocorre uma significativa acumulação e estagnação de lençóis de água nas zonas baixas das localidades, com proliferação de mosquitos e a conseqüente perturbação para a população, situação que se faz sentir com maior gravidade nas zonas mais carenciadas, não contempladas por redes de drenagem das águas residuais, estradas ou ruas pavimentadas, ou por um sistema de deposição e recolha regular dos resíduos sólidos. Os poucos sistemas de drenagem de águas pluviais existentes no País não são contemplados por acções regulares de limpeza e manutenção, pelo que não funcionam adequadamente.”

Temos assistido ao longo dos tempos e, ultimamente com mais intensidade, a construção de obras de correcção torrencial nas encostas e ribeiras. “Normalmente, onde há ocorrência de cheias e/ou inundações com alguma frequência o homem desde os tempos remotos tenta solucionar com a construção de diques e muros de contenção ao longo dos cursos de água (...) Como forma de gestão de riscos naturais, a reunião de um conjunto de dados que permita a delimitação de áreas com diferentes graus de risco é essencial para que se possa criar um mapa de riscos para cada município” Gonçalves G. *et al* 2007.

A ocupação indisciplinada do solo na cidade da Praia acarreta efeitos hidrológicos negativos na foz das ribeiras, havendo necessidade de se proceder a obras de correcção. Como assinala Ross *et al* 2001 em condições naturais, as planícies e fundos de vales estreitos, já apresentavam problemas de escoamento superficial das águas das chuvas, à medida que a urbanização/impermeabilização vai aumentando, as dificuldades de escoamento vão-se acentuando, apesar de todas as medidas de engenharia adoptadas.”

Os fenómenos de desastres naturais com episódios de inundações, deslizamento de terras acontecem um pouco por todo o mundo, onde a ocupação do território se faz sem acautelar os riscos hidrológicos, com prejuízos para as sociedades. Segundo Tucci *et al* 2003 (...) “Estes prejuízos normalmente ocorrem pela ocupação das zonas de riscos em anos de pequenas inundações e quando voltam a ocorrer

eventos extremos, os prejuízos são inevitáveis. A percepção do risco é pequena e se resume aos poucos anos no passado”. Na cidade da Praia, devido às secas prolongadas, as pessoas começaram a ocupar os leitos das ribeiras, inclusive no leito de cheia, submetendo-se, inconscientemente aos riscos hidrológicos inerentes.

Durante a década de 1990 e princípios da primeira década de 2000, desenvolveu-se uma intensa discussão sobre a viabilidade de construção de uma barragem na bacia da Trindade e que, teria duas funções básicas: Minimizar os efeitos das inundações que anualmente acontecem nas zonas mais baixas da cidade, retendo a água numa zona a montante da cidade da Praia e, permitiria o armazenamento de uma grande quantidade de águas pluviais que seriam aproveitadas para irrigar áreas agrícolas a serem criadas aumentando assim a produção, reconvertendo a agricultura de sequeiro para regadio, beneficiando algumas famílias da região. Por motivos que se desconhecem, essa discussão perdeu-se e, este trabalho propõe-se retomá-la e analisar do ponto de vista técnico e financeiro a sua viabilidade hoje, tomando como argumento central os riscos hidrológicos dos bairros da cidade da Praia a jusante da bacia hidrográfica da Trindade e que se sujeitam a problemas de inundação.

A retoma da discussão a respeito da viabilidade da construção exige uma análise comparativa das vantagens e desvantagens da retirada e realocação das habitações e famílias que vivem nas zonas de risco potencial de inundação e da realização dos estudos e construção da barragem de retenção da bacia da Trindade a fim de minimizar os efeitos das cheias.

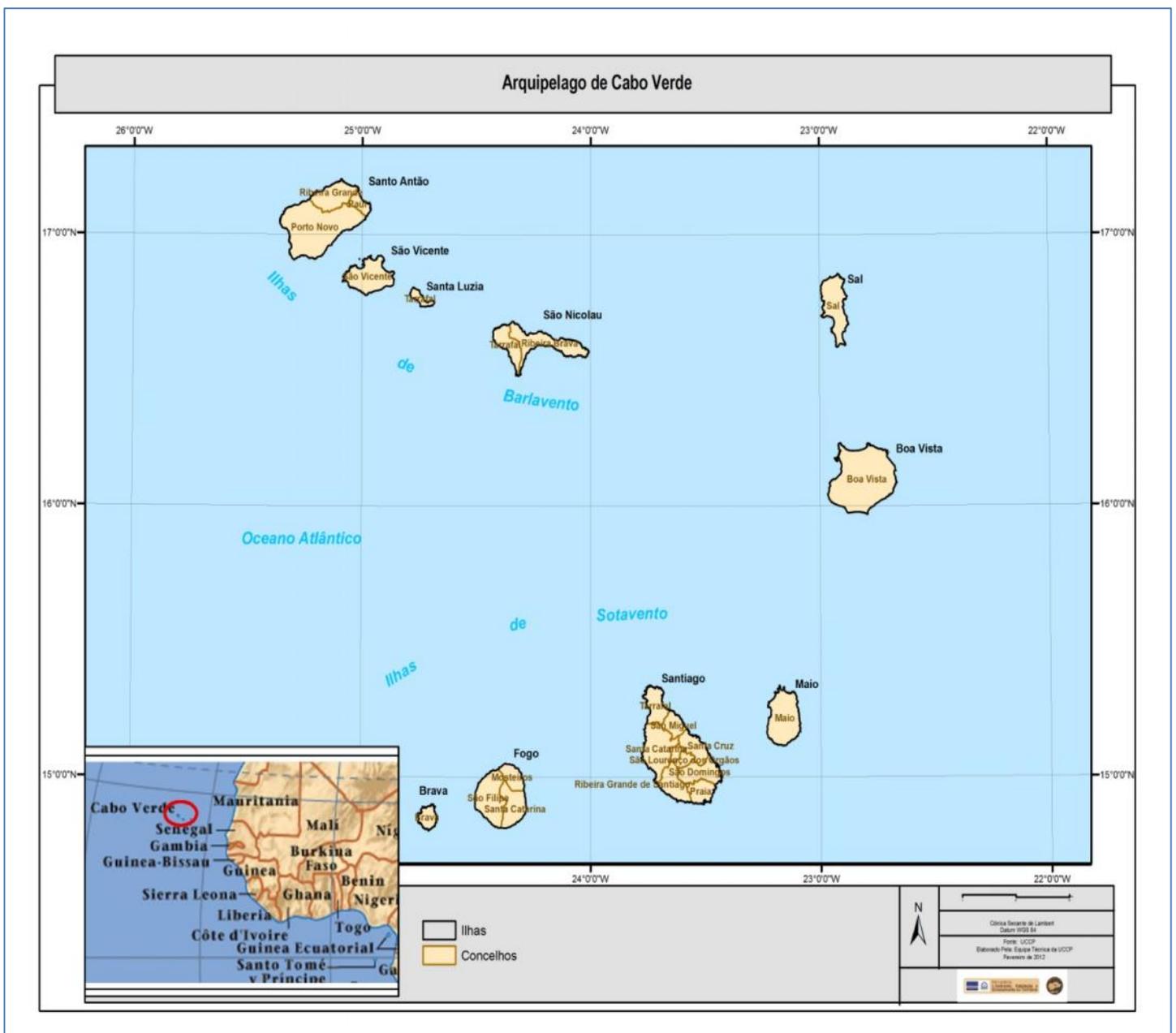
LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DE CABO VERDE

O arquipélago de Cabo Verde é constituído por dez ilhas e vários pequenos ilhéus, e encontra-se localizado entre as latitudes 14°28'N e 17°12'N e as longitudes 22°40'W e 25°22'W, a uma distância de, aproximadamente, 500 km da costa ocidental africana, ao largo do Senegal (Figura 2).

As ilhas, de acordo com as suas posições em relação aos ventos dominantes de N.E., encontram-se divididas em dois grupos: Barlavento e Sotavento. O grupo de

Barlavento é constituído pelas ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boavista, e o grupo de Sotavento pelas ilhas de Brava, Fogo, Maio e Santiago, onde se situa a bacia da Trindade, área objecto deste estudo. As ilhas são de origem vulcânica, dispersas, de tamanho relativamente reduzido, e estão inseridas na franja do clima saheliano caracterizado por uma elevada aridez. No seu conjunto, o arquipélago compreende uma superfície total emersa de 4.033 Km².

Figura 2 – Localização de Cabo Verde (Unidade de Coordenação de Cartografia e Cadastro)



III

METODOLOGIA APLICADA

A metodologia utilizada para elaboração desta dissertação passou por uma introdução do trabalho e apresentação dos objectivos (capítulo I).

No capítulo II fez-se um enquadramento da Cidade e do Concelho da Praia no contexto da ilha de Santiago, bem como se avançou com o enquadramento da problemática das inundações urbanas e se apresentou a localização geográfica de Cabo Verde.

O presente capítulo III foi dedicado à apresentação da metodologia aplicada.

A caracterização física da área de estudo onde se apresentou as informações morfológicas e geológicas da bacia da Trindade, bem como a ocupação de áreas pela vegetação e a análise dos dados pluviométricos e hidrológicos e a sua relação com o edificado foi feito no capítulo IV. Ainda no capítulo IV, através da sobreposição das diferentes cartas temáticas obtidas a partir da utilização de uma ferramenta de geoprocessamento, se analisou como a vegetação interfere ou pode interferir no escoamento superficial no contexto da área de estudo, da mesma forma que se procurou relacionar o edificado com as linhas de água na mesma área.

A análise da geologia e das declividades e a sua inter-relação com o escoamento superficial também foi contemplada no capítulo IV.

A ocupação antrópica e a sua relação com a morfologia da área também foi objecto de abordagem no capítulo IV de modo a perceber como é que essa conjugação constitui factor de risco de inundação para as edificações em função das quedas pluviométricas e da morfologia do terreno ocupado.

No capítulo V, Analisou-se do ponto de vista teórico um conjunto de tipologia de enchentes e inundação referenciadas pela bibliografia recomendada e a sua transposição para o contexto da área de estudo. Por outro lado dissecou-se sobre as

causas e os impactos das enchentes para se aferir por exemplo, de que forma a urbanização pode ou não influenciar inundações no contexto específico da bacia da Trindade.

As medidas de controle (estruturais e não estruturais) de inundação foram analisadas (capítulo V) na perspectiva de se encontrar as mais adequadas e melhor adaptadas para as áreas sob risco a jusante da bacia da Trindade, para além da abordagem dos impactes ambientais potenciais associados aos fenómenos de enchentes e inundações, particularmente em relação à área de estudo.

Procedeu-se ainda no capítulo V à uma análise teórica do processo de construção de mapas de inundação, as tipologias e o grau de risco de inundação. A elaboração das cartas de susceptibilidade no âmbito deste estudo teve a intenção de representar a incidência espacial dos perigos, Identificar as áreas com propensão para serem afectadas por determinado nível de inundação num tempo determinado.

O capítulo VI foi dedicado a discussões e apresentação de propostas concretas para minimizar os impactes de fenómenos de inundação nas áreas localizadas a jusante da bacia da Trindade.

As conclusões e recomendações foram apresentadas no capítulo VII.

DADOS DE BASE

Os dados de base para a elaboração dos cálculos hidrológicos e o mapeamento das zonas de risco de inundação, consiste no seguinte:

DADOS CARTOGRÁFICOS

Os dados cartográficos utilizados no estudo, foram produzidos pelo Ministério da Descentralização, Habitação e Ordenamento do Território).

DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos utilizados no estudo são dados oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG). A serie cronológica dos dados pluviométricos utilizados neste estudo vai dos anos 1960 a 2005.

ESTUDOS HIDROLÓGICOS

DETERMINAÇÃO DA CHUVA DE PROJECTO

A chuva do projecto foi determinada a partir do método superficial elaborado por Caquot em 1949 e que é utilizado para o cálculo da intensidade da pluviometria. A expressão da intensidade conhecida pela lei de Montana é:

$$I(t,T)=a(T)t^{-b(T)} \quad \text{Onde:}$$

$I(t,T)$: intensidade maximal média do período de retorno T observado numa duração t .

$a(T)$, $b(T)$: parâmetros de ajustamento obtidos a partir das curvas IDF pela regressão linear com o método dos mínimos quadrados lineares directos.

Tendo em consideração que em Cabo Verde, de um modo geral, os dados da precipitação são recolhidos de forma simplista, ou seja, através de simples medições dos quantitativos sem se considerar outros parâmetros como a intensidade da chuva por exemplo, neste estudo optou-se pela utilização da curva de Intensidade, Duração e frequência (IDF) da cidade de Dakar, no Senegal, cujos dados climatológicos se aproximam dos de Cabo Verde por estarem ambos inseridos na região do SAHEL.

Entretanto, os parâmetros a e b foram maximizados em relação aos parâmetros da cidade de DAKAR (tabela 1) para garantir que reflitam melhor a realidade local por Correia N. (2010) no âmbito dos estudos técnicos do “*Projecto Hidrológico-hidráulico – Sistema de Drenagem das Águas Pluviais da Encosta de Vila Nova – Praia*”, pois que, a análise de uma série climática de trinta anos das duas cidades mostra que os dados de pluviometria da cidade da Praia são ligeiramente superiores aos de Dakar.

Assim, a partir dos dados de Dakar, extrapolou-se os parâmetros para a curva IDF da cidade da Praia (tabela 2).

Tabela 1 – Parâmetros da curva de IDF (Intensidade, Duração e Frequência) da cidade de DAKAR

Duração	Cidade de Dakar		
	a por T = 1 ano	a por T = 10 anos	b
Duração < 1 hora	4,1	11,9	0,5
Duração > 2 horas	19,5	36,6	0,8

Fonte: Correia N. 2010

Tabela 2 – Parâmetros da curva de IDF (Intensidade, Duração e Frequência) da cidade da PRAIA

Duração	Cidade da Praia		
	a por T = 1 ano	a por T = 10 anos	b
Duração < 1 hora	4,1	13,5	0,5
Duração > 2 hora	19,5	38,6	0,9

Fonte: Correia N. 2010

A duração da Pluviometria utilizada é inferior a uma hora segundo os dados observados na cidade da Praia. Por uma questão de segurança os cálculos foram efectuados com os dados de período de retorno de T= 10 anos.

ANÁLISE ESTATÍSTICAS DAS PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS

As precipitações máximas diárias foram determinadas a partir da serie cronológica da Pluviometria de 1960 a 2005 (dados oficiais do INMG).

A interpretação estatística da distribuição das precipitações máximas diárias foi feita pela aplicação da lei de Gumbel, cuja densidade de probabilidade e a função de distribuição têm respectivamente as seguintes equações:

Lei de Gumbel:

$$f(x) = \alpha e^{-\alpha(x-x_0)} \exp[-e^{-\alpha(x-x_0)}]$$

$$F(x) = \exp[-e^{-\alpha(x-x_0)}]$$

A média μ e a variância σ , de distribuição são respectivamente, $\mu = x_0 + 0.577/\alpha$ e $\sigma^2 = \pi^2/6\alpha^2$. O parâmetro, x_0 , corresponde a moda.

A lei de distribuição de Laplace-Gauss apresenta como densidade de probabilidade e função de distribuição as seguintes equações matemáticas:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-1/2z^2}$$

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-1/2z^2}$$

Em que:

$f(z)$ = densidade de probabilidade;

$F(z)$ = função de distribuição;

$z = (P_{pt} - \bar{P}_{pt}) / \sigma_{pt}$ = variável reduzida de Gauss;

\bar{P}_{pt} = média da distribuição;

σ_{pt} = desvio padrão de distribuição

A probabilidade, Pr (ou período de retorno, Tr) que corresponde a uma precipitação P_{pt} , geradora da cheia máxima é dada por:

$$Pr = 1 - F(P_{pt}) = 1/Tr.$$

De acordo com a literatura específica, o intervalo de confiança na aplicação da Lei de Gumbel é de 95%.

DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

A área e o perímetro foram determinados com base em ferramentas de geoprocessamento.

ALTITUDE MÉDIA

A altitude média é a relação da soma da superfície elementar pela altitude correspondente a área total da bacia.

$$H_{moy} = \sum \frac{H_i a_i}{A} \quad \text{Onde,}$$

H_i : Altitude média entre duas curvas de níveis (m)

a_i = Área elementar entre duas curvas de níveis (Km²)

A : Área da bacia (km²)

As seguintes altitudes são tiradas da curva hipsométrica:

H5%

H50% (média)

H96%

DECLIVE SIMPLES “D”

O declive simples “D” é representado pela fórmula seguinte:

$$D = H5\% - H95\%$$

ÍNDICE GLOBAL DE INCLINAÇÃO

A inclinação é o factor capital que favorece o escoamento. A I_G é a relação do declive entre a altitude excedida por 5% e a excedida a 95% da área, ao comprimento do rectângulo equivalente.

$$I_G = \frac{D}{L} \text{ Onde,}$$

D: Declive simples (m);

L: Comprimento do rectângulo equivalente (m)

ESTUDOS HIDRÁULICOS

DETERMINAÇÃO DO CAUDAL DO PROJECTO

A determinação do caudal do projecto implica a determinação de alguns parâmetros tais como:

COEFICIENTE DE ESCOAMENTO

O coeficiente de escoamento utilizado nos cálculos dos caudais pelo método racional é em função do tipo de ocupação do solo da bacia em estudo. Como se demonstrou anteriormente, apenas aproximadamente 22% da bacia da Trindade se encontra vegetalizada e a área ocupada com habitação e vias de acesso não ultrapassam os 5% no contexto da bacia. Deve-se por conseguinte tomar como valores médios de coeficiente de escoamento os característicos das áreas rurais, particularmente os coeficientes de escoamento de áreas montanhosas e de solos expostos.

No presente estudo foram utilizados como referência os coeficientes de escoamento apresentado na tabela 3 a baixo.

Tabela 3 – Valores do coeficiente de escoamento

Uso do Solo	Período de retorno	
	2 Anos	10 Anos
Sistema viário		
Vias pavimentadas	0,75	0,85
Vias não pavimentadas	0,6	0,7
Áreas industriais		
Leves	0,6	0,7
Pesadas	0,7	0,8
Áreas comerciais		
Centrais	0,75	0,85
Periféricas	0,55	0,65
Áreas residenciais		
Gramado plano	0,1	0,25
Gramados íngremes	0,25	0,4
Condomínios c/ lotes de 300 m2	0,3	0,04
Residenciais unifamiliares	0,45	0,55
Uso misto-denso	0,5	0,6
Prédios/Conjunto de apartamentos	0,6	0,7
Áreas rurais		
Áreas agrícolas	0,1	0,2
Solo exposto	0,2	0,3
Terreno montanhoso	0,6	0,8
Telhados	0,8	0,9

O TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (T_c)

O T_c é determinado pela fórmula:

$$T_c = T_r + T_e \text{ Onde,}$$

T_r : tempo de escoamento

T_e : tempo de escoamento

O TEMPO DE ESCORRIMENTO (TR)

O Tr é determinado pela fórmula:

$$T_r = \frac{1.48 * (1.48 - C) * L^{1/2}}{J^{1/2}} \quad \text{Onde,}$$

C : Coeficiente de escoamento

L : Comprimento do maior percurso hidráulico da água (m)

J : Inclinação média da bacia (%)

TEMPO DE ESCOAMENTO (TE)

O Te é determinado pela fórmula:

$$T_e = \frac{L}{60 * V} \quad \text{Onde,}$$

Te : tempo de escoamento (mn)

L : Comprimento do troço (m)

V : Velocidade (m/s)

É importante de notar que o cálculo do Te implica previamente a fixação de uma velocidade presumida de escoamento compreendida entre 1.5 a 15 m/s.

A velocidade determinada pela fórmula de Manning Strickler

A velocidade (V) é determinada pela fórmula:

$$V = K_s * J^{1/2} * \left(\frac{H}{2}\right)^{2/3} \quad \text{Onde,}$$

V: Velocidade do escoamento (m/s)

J : Declive do troço de drenagem (m/m)

H : Altitude do canal (m)

CAUDAL DO PROJECTO

Sendo as sub-bacias relativamente pequenas o dimensionamento da rede de drenagem teve como base o Método Racional para a estimativa da vazão de

projecto. Este é um método conceptual, amplamente utilizado para bacias de dimensão até 200 km².

A função do método racional é estimar a vazão de projecto, considerando um determinado período de retorno e uma chuva de projecto (com duração crítica).

As hipóteses centrais do método são as seguintes:

- O tempo de duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia;
- As condições de permeabilidade do solo e superfícies permanecem constantes durante a chuva.
- A vazão de pico ocorre quando toda a área de drenagem passa a contribuir para o escoamento. Essa vazão é calculada através da fórmula a seguir:

$$Q = \frac{c \times i \times A}{3,6} \quad \text{Onde,}$$

$Q_{(10)}$: Caudal de duração de retorno de 10 anos (m³/s)

C : Coeficiente de escoamento (%)

I : Intensidade da Pluviometria (mm/h)

A : Área da bacia (ha)

DETERMINAÇÃO DA DIMENSÃO DOS CANAIS

A altura do canal

A altura (H) é determinada pela fórmula:

$$H = 0,917 * \left(\frac{Q}{K_s J^{1/2}} \right)^{3/8} \quad \text{Onde,}$$

H: Altura do canal (m)

Q: Caudal (m³/s)

Ks: coeficiente de Manning Strickler

J: Inclinação do troço de drenagem (m/m)

A BASE DO CANAL

A base do canal (B) é determinada pela fórmula:

$$B = 2H \text{ Onde,}$$

B: Base do canal (m)

H: Altura do canal (m)

De concreto, os passos dados foram os seguintes:

- Levantamento de dados e informações: ocorrência de eventos chuvosos na região ao longo dos últimos anos; obtenção de informações relativas às inundações, através de entrevistas directas com a população local a fim de identificar marcas de cheias e prejuízos decorrentes; Dados complementares provenientes da Câmara Municipal e do Serviço Nacional de Protecção Civil sobre as enchentes e seus efeitos.
- Obtenção dos dados de pluviometria: os dados observados de precipitação e vazão foram obtidos junto do INMG – Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica e do INGRH – Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos de Cabo Verde.
- Obtenção do mapa topográfico e de inundação: foram utilizadas como base as cartas topográficas – Carta Militar de Cabo Verde a escala 1/50.000, em formato digital, com curvas de nível equidistantes de 40m. Para este estudo, foi elaborado, também, o Modelo Digital de Elevação da bacia da Trindade.
- Proposta de Medidas e acções mecânicas de Controlo de inundações: estas medidas têm por objectivo assegurar a retenção da água de escoamento superficial a montante da cidade da Praia e, contribuir com subsídio para os

poderes públicos numa eventual preparação de uma proposta de Plano Director de Drenagem Urbana da cidade da Praia.

Esta abordagem tem como ideia principal a elaboração de um conjunto de medidas ou propostas de soluções visando os aspectos de prevenção e controlo de inundações em áreas de risco, de modo a permitir aos poderes públicos subsídios para a gestão e tomada de decisão para amenizar os efeitos provenientes das acções antrópicas desajustadas no meio urbano. Os dados de base para a elaboração dos cálculos hidrológicos e o mapeamentos das zonas de risco de inundação foram trabalhados de acordo com o modelo utilizado por Gomes M. *et al* no âmbito do estudo de “Localização e Estudos de Sítios de Construção de Barragens em Cabo Verde” realizado em 2010 para o Ministério do Ambiente, Desenvolvimento Rural e dos Recursos Marinho, em que uma das bacias hidrográficas contempladas foi a bacia de Figueira Gorda, localizada nas proximidades da bacia de Trindade, cujos cálculos serviram para a construção da barragem de Figueira Gorda na ilha de Santiago.

Esta metodologia permite:

- Analisar os dados de precipitação na bacia hidrográfica da Trindade que desagua na Praia;
- Apresentar a situação da drenagem natural;
- Conhecer o sistema de drenagem artificial;
- Apresentar um diagnóstico da situação actual em termos de ocupação antrópica e sua relação com a drenagem natural e artificial dentro da bacia da Trindade;
- Elaborar cartas e delimitar as áreas de potencial risco de inundações;
- Analisar comparativamente cartas de riscos elaboradas e cartas de ocupação antrópica da cidade;
- Propor medidas de correcção torrencial (mecânicas e biológicas) e de conservação de solos e água a montante da bacia da Trindade para minimizar o caudal de escorrência superficial que chega a cidade;

- Avaliar o projecto proposto do barramento quanto a sua localização e capacidade de amortecimento do pico de vazão da ribeira Trindade;
- Avançar com propostas alternativas para minimizar o impacto das inundações na cidade da Praia.

Algumas incertezas podem ser apontadas na aplicação desta metodologia pois, não se apresentou o volume de reservação das duas maiores infra-estruturas propostas (Barragens das Sub-bacias de Laranjo e Trindade), nem se avançou o respectivo método de propagação das vazões nos reservatórios após a construção dos mesmos, relegando esses cálculos para estudos de projectos mais detalhados, sem contar que apenas se utilizaram duas secções batimétricas já no contexto da cidade.

Entretanto, ter-se-á de esperar por ocorrência de precipitações com períodos de retorno superior a 20 anos, com precipitações médias diárias superiores a 190 mm, que provocam caudais acima dos 800 m³/s, para se avaliar com maior propriedade se a metodologia aplicada se revela eficaz.

De acordo com Chow *et al* (1988) as incertezas hidrológicas podem ser separadas em três categorias: incertezas naturais, as quais resultam da variabilidade aleatória dos fenómenos hidrológicos; incertezas do modelo, que são referentes às aproximações e hipóteses assumidas para representarem os fenómenos físicos e; incertezas nos parâmetros, as quais originam-se da falta de conhecimento dos coeficientes das equações.

A literatura aponta diversas metodologias para a avaliação de incertezas, como o Princípio de Máxima Incerteza (Klir, 1989), os métodos do tipo Monte Carlo e os métodos analíticos e numéricos a partir da expansão de séries de Taylor. Tais métodos baseiam-se na estimativa dos intervalos de confiança de uma variável dependente a partir de variáveis independentes. Entretanto, uma vez que se considera o modelo adequado para a representação de um processo físico essa estimativa depende essencialmente dos valores dos parâmetros.

IV

ENCHENTES E INUNDAÇÕES URBANAS

Este capítulo trata: (1) das características quanto às tipologias e processos de inundação em áreas ribeirinhas e em áreas urbanizadas; (2) dos princípios de abordagem do controle de inundação; (3) os impactos ambientais.

TIPOLOGIA DE ENCHENTES/INUNDAÇÕES

ENCHENTES URBANAS

Segundo Tucci *et al* (1995), as enchentes em áreas urbanas são consequência de dois processos, que ocorrem isoladamente ou de forma integrada:

Enchentes em áreas ribeirinhas - as enchentes naturais que atingem a população que, ocupa os leitos de rios por falta de planejamento do uso do solo;

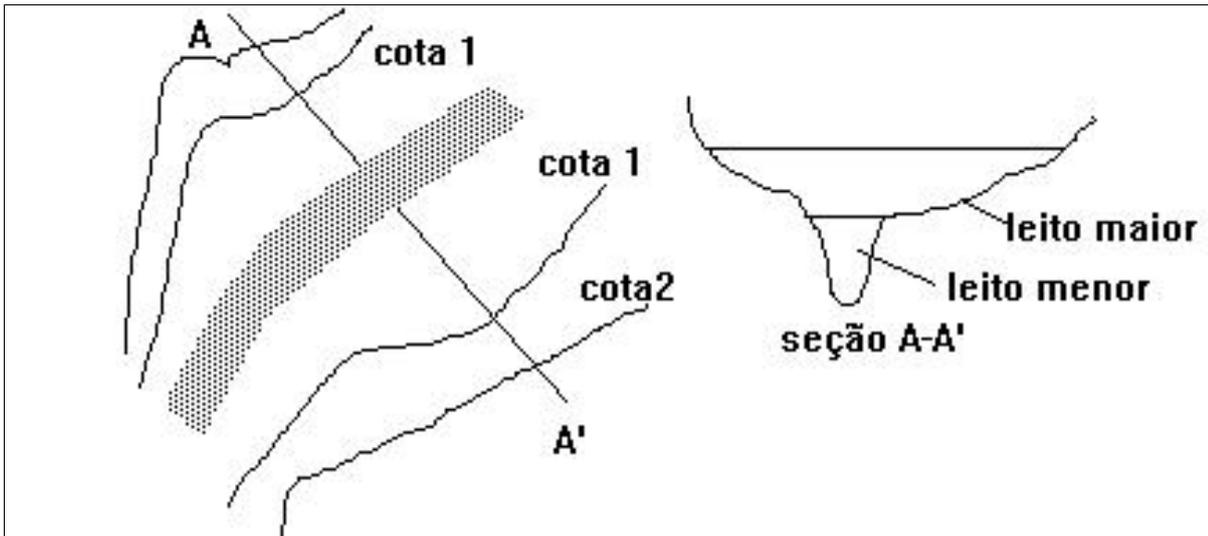
Enchentes devidas à Urbanização - são as enchentes provocadas pela urbanização.

ENCHENTES EM ÁREAS RIBEIRINHAS

Essas enchentes ocorrem, principalmente, pelo processo natural no qual o curso de água ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos chuvosos extremos, em média com período de retorno superior a dois anos. Esse tipo de enchente, segundo Tucci *et al* (1995) normalmente, ocorre em bacias grandes (> 1000 km²) e é decorrência do processo natural (Figura 3).

Os impactos sobre a população são causados, principalmente, pela ocupação inadequada do espaço urbano, resultante por um lado, da não restrição para a ocupação das áreas de risco por não estarem devidamente identificadas no exercício da planificação, por outro, pela ocupação das áreas ribeirinhas pertencentes aos poderes públicos pela população migrante de baixa renda.

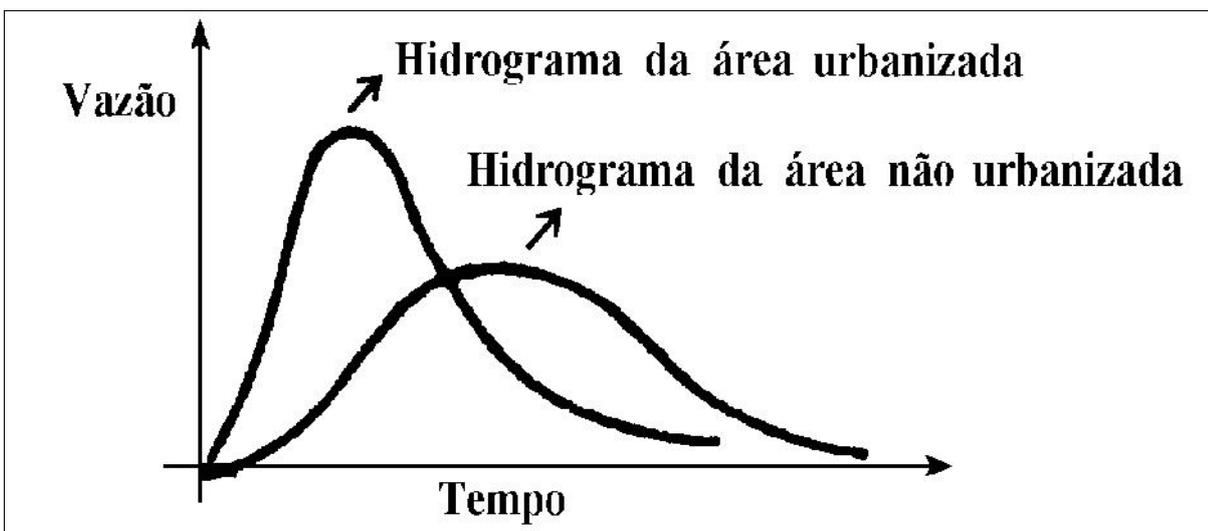
Figura 3 – Inundações de áreas ribeirinhas (adaptado Tucci *et al* 1995)



ENCHENTES DEVIDO À URBANIZAÇÃO

Com o desenvolvimento urbano, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, entre outros. Dessa forma, a parcela da água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das secções. O hidrograma típico de uma bacia natural e aquele resultante da urbanização são apresentados na figura 4.

Figura 4 – Hidrograma hipotético (adaptado Tucci *et al* 1995)

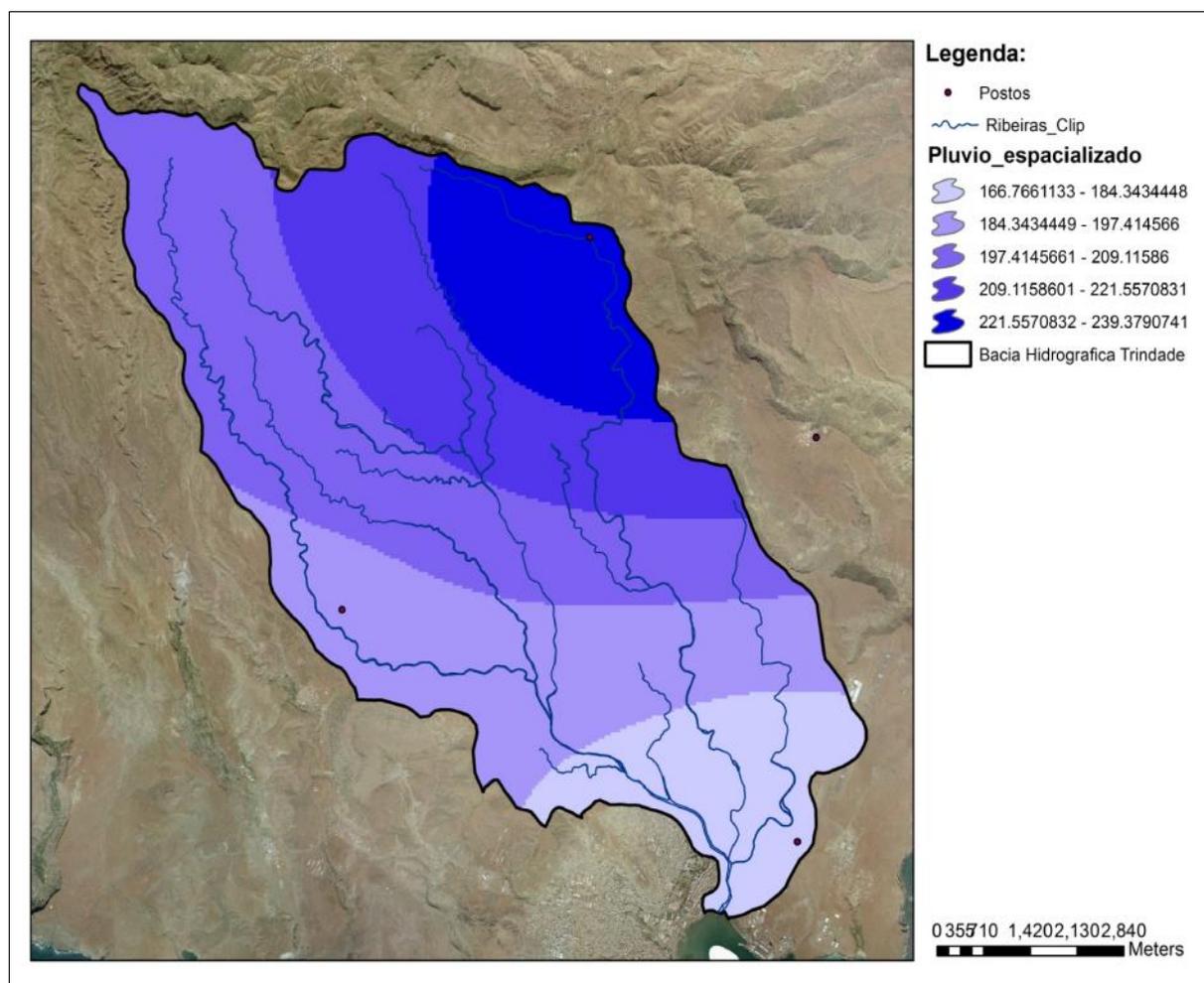


Os efeitos principais da urbanização são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial. (Tucci *et al* 1995).

Entretanto, como já foi anteriormente mencionada, esse fenômeno não ocorre no contexto da nossa área de estudo, por um lado pela exiguidade da área urbanizada em relação à totalidade da bacia e, por outro pela própria localização dessa área a jusante da bacia da Trindade.

Mais, da análise da distribuição da precipitação no contexto da bacia da Trindade (figura 5), pode-se notar que, a área mais intensamente ocupada é aquela que recebe menor quantidade de precipitação.

Figura 5 – Distribuição da Precipitação no contexto da bacia da Trindade por extrapolação – Correia N. 2011



Assim, não se pode apresentar a urbanização como uma das causas de inundação no contexto da bacia da Trindade. Portanto as inundações ribeirinhas da cidade da Praia acontecem essencialmente pelo efeito cumulativo resultante do escoamento superficial de montante, onde se verificam valores mais elevados de precipitação em função da altitude.

Contudo, a bibliografia específica referencia outros tipos de inundações como a seguir se apresenta e que devem ser tidos em devida conta pelas autoridades nacionais pois, Cabo Verde não está completamente imune a esse tipo de fenómeno, devido à sua origem vulcânica que provoca grandes diferenças de altitude e, particularmente nesse contexto actual de mudanças climáticas:

INUNDAÇÕES LOCALIZADAS

Segundo Tucci *et al* (1995), as inundações localizadas podem ser provocadas por três tipos de factor a saber:

- Estrangulamento da secção do curso de água devido a aterros e pilares de pontes, estradas, aterros para aproveitamento da área, assoreamento do leito do rio e lixo;
- Remanso devido a macro-drenagem, rio principal, lago, reservatório ou oceano;
- Erros de execução e projecto de drenagem de rodovias e avenidas, entre outros.

Normalmente, esses problemas disseminam-se nas áreas urbanas, na medida que existe pouco controle sobre as diferentes entidades que actuam na infraestrutura urbana. Adutoras, pontes ou rodovias são, frequentemente, projectadas sem se considerar seus impactes sobre a drenagem.

INUNDAÇÃO REPENTINA (*FLASH FLOOD*)

As enchentes repentinas ou *flash flood* são os tipos mais perigosos de inundações, porque elas combinam o poder destrutivo de uma inundação, associada a uma velocidade incrível e imprevisível. Estas inundações podem acontecer

repentinamente com quase nenhum aviso e as águas da inundação podem alcançar o pico de cheia em apenas alguns minutos. Cabo Verde não está imune a esse tipo de inundações, tendo o caso mais recente acontecido em 2009 nas ilhas de São Nicolau e São Vicente, deixando um rastro de destruição nos principais centros urbanos dessas ilhas. Na sequência, em São Nicolau, foi elaborado um Plano de recuperação do principal centro urbano e das infra-estruturas com custo estimado de dois milhões e quinhentos mil dólares americanos.

Vários factores podem estar relacionados com a causa de uma enchente repentina. Geralmente são resultados de chuvas pesadas concentradas numa pequena área, tempestades tropicais e furacões. Outra situação de característica improvável é o rompimento de represas ou barragens, diques, que certamente causam prejuízos incalculáveis para a região atingida. A união dessas situações também pode ocorrer, isto é, tempestades tropicais e furacões seguidos do rompimento de barragens ou diques e, estando Cabo Verde localizado numa zona susceptível de ocorrer esse tipo de fenómeno, as autoridades devem estar sob alerta permanente.

A mudança rápida do comportamento do fluxo da água corrente é o principal factor surpresa para a população, tornando este tipo de eventos muito perigosos. Qualquer inundação está relacionada com o comportamento do nível do curso de água e extravasamento do seu curso natural. No caso de uma enchente repentina é um tipo específico de inundação que surge e se desloca em grande velocidade sem que haja qualquer advertência do seu grau de destruição.

Normalmente, este tipo de enchente apresenta como característica principal grandes velocidades de escoamento, podendo mover pedregulhos, arrancar árvores, destruir casas ou qualquer outro tipo de estrutura que não seja projectada para suportar este impacto.

INUNDAÇÃO NO LITORAL

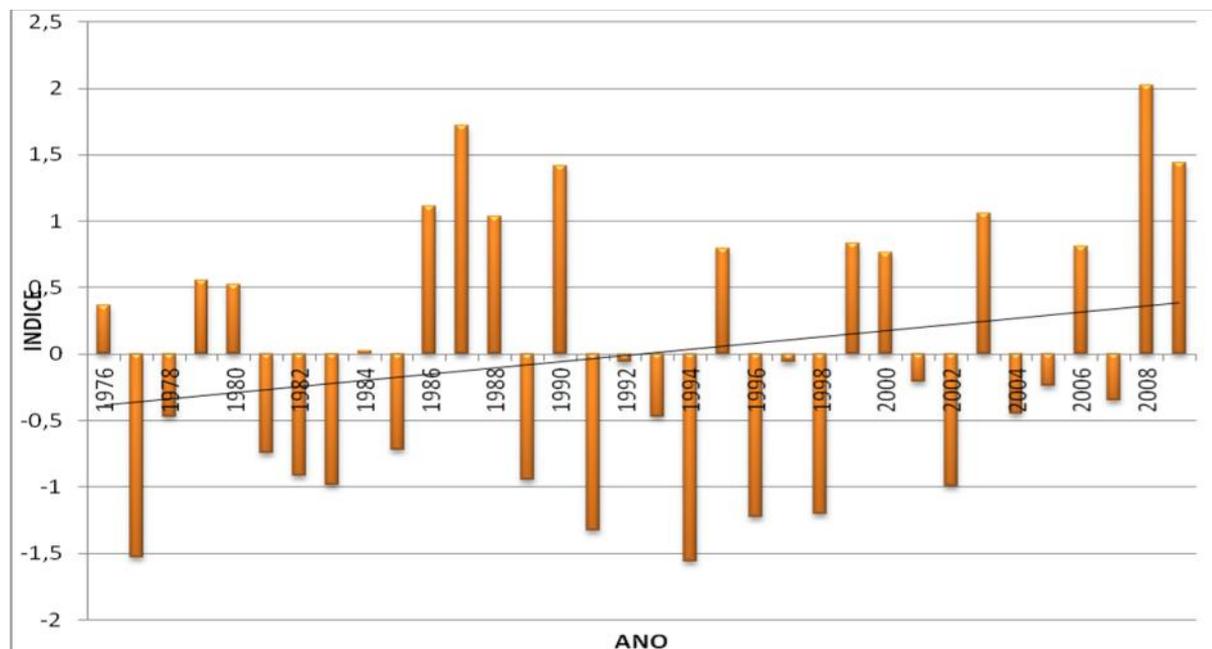
Furacões e tempestades tropicais podem produzir chuvas pesadas, ou levar água de oceano para o continente. Praias e casas localizadas nas proximidades do mar, como é o caso da cidade da Praia, podem ser varridas pela água. Este tipo de

inundação também pode ser produzido através de ondas gigantes (tsunamis), ondas relativa às marés gigantes que são criadas por erupções de vulcões ou terremotos no oceano;

ENCHENTES REPENTINAS EM RIACHOS EFÉMEROS

É um canal ou um riacho seco característico de regiões áridas ou desérticas. Quando ocorre uma tempestade nestas áreas, a capacidade erosiva da água de chuva na terra seca cria pequenos cursos de água com escoamento rápido. Enchente repentina em riachos pode acontecer em poucos minutos, com poder suficiente para arrancar secções de pavimento. A cidade da Praia, por se tratar de uma área dominada por encostas de baixa consistência litológica, é particularmente vulnerável a esse tipo de fenómenos, ainda para mais se se levar em consideração que há uma tendência de aumento progressivo das precipitações nos últimos anos, de acordo com a figura 6. De resto, a mesma figura indica que a partir do ano 1993 os valores da precipitação ultrapassam a média dos anos anterior com devida ressalva de estarmos a trabalhar com dados a partir de 1976 até 2009, constituindo-se um período de análise de apenas 33 anos.

Figura 6 – Tendência das Precipitações Médias (1976 – 2009) – Bacia da Trindade



Esses tipos de inundações, normalmente, ocorrem em diferentes pontos das cidades, isoladamente ou pela combinação de situações. Consequentemente, o controle das inundações envolve uma previsão hidrológica e meteorológica sistemática.

CAUSAS, IMPACTOS E CONTROLES QUANTITATIVOS DE ENCHENTES

Segundo Tucci *et al* (1995), as principais causas das enchentes são como se apresentam a seguir:

ENCHENTES DA VÁRZEA NATURAL

As cidades, no passado, localizavam-se próximas a rios de médio e grande porte, para usufruto do transporte fluvial e aproveitamento da fertilidade dos solos das margens resultantes dos fenômenos de inundação cujo acontecimento ultrapassa a memória colectiva. Assim, a parcela do leito maior ocupada pela população sempre dependeu da memória dos habitantes e da frequência com que as enchentes ocorriam. Uma sequência de anos sem inundação é motivo para que a sociedade pressione para que haja ocupação do leito maior do rio.

Em algumas cidades onde a frequência de inundação é alta, as áreas de risco são ocupadas por populações provenientes de zonas rurais, com baixa renda, porque representam espaço urbano pertencente ao poder público ou desprezado economicamente pelo poder privado. Normalmente não têm acesso às infra-estruturas de saneamento básico, a rede viária é deficitária e não existem os equipamentos sociais urbanos como polidesportivos, jardins infantis, escolas, praças entre outros. A defesa civil é constantemente accionada para proteger essa parte da população. A questão com a qual o administrador municipal se depara, nesse caso, é que, ao transferir essa população para uma área segura, outros se alojam no mesmo lugar, como resultado das dificuldades económicas e das diferenças sociais. Devido a tais impactos, a população pressiona seus dirigentes por soluções do tipo estrutural, como canalizações, barragens, diques, etc. Essas obras, em geral, têm um custo que os municípios, normalmente, não têm condições de suportar. (Adaptado de Tucci *et al* 1995).

O CONTROLO DAS INUNDAÇÕES

O controlo de inundações consiste num conjunto de medidas que tem por objectivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuindo os prejuízos causados por inundações e possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmónico, articulada e sustentável.

OCUPAÇÃO DAS ÁREAS RIBEIRINHAS

As medidas de controlo de inundações podem ser classificadas em estruturais, quando o homem modifica os cursos de água, e em não-estruturais, quando o homem convive com os mesmos. No primeiro caso, estão as medidas de controlo através de obras hidráulicas, tais como barragens, diques e canalizações, entre outras. Evidentemente que as medidas estruturais envolvem custos maiores que as medidas não-estruturais. As principais medidas de controlo de enchentes não-estruturais são: zoneamento de áreas de inundação, sistema de alerta ligado à protecção civil e seguros. O zoneamento é baseado no mapeamento das áreas de inundação dentro da delimitação da cheia de 100 anos ou a maior registada. Dentro dessa faixa, são definidas áreas de acordo com o risco e com a capacidade hidráulica de interferir nas cotas de cheia a montante e a jusante. A regulamentação depende das características de escoamento, topografia e tipo de ocupação dessas faixas. O zoneamento é incorporado pelo Plano Director Urbano da cidade e regulamentado por legislação municipal específica ou pelo Código de Obras. Para as áreas já ocupadas, o zoneamento pode estabelecer um programa de transferência da população e/ou convivência com os eventos mais frequentes.

O sistema de alerta tem a função de prevenir com antecedência de curto prazo, reduzindo os prejuízos, pela remoção, dentro da antecipação permitida. Além disso, o sistema de alerta é fundamental para os eventos que atingem raramente as cotas maiores, onde as pessoas se sentem seguras. Cabo Verde está nesse momento a desenvolver o seu sistema de alerta rápido para as situações de risco. O Serviço Nacional de Protecção Civil é o órgão do Estado responsável pela definição desse sistema de alerta rápido em parceria com as instituições do Governo central e os municípios de modo a se conseguir um instrumento exequível em qualquer parte do país. De realçar que devido às características do país, esse sistema está a ser

montado para prever não só fenómenos de inundações pelas cheias, bem como sismos, movimentações do mar, entre outros.

A solução ideal deve ser definida para cada caso em função das características do curso de água, do benefício da redução das enchentes e dos aspectos sociais de seu impacto. Certamente, para cada situação, medidas estruturais e não-estruturais podem ser combinadas para uma melhor solução. De qualquer forma, o processo de controlo inicia pela regulamentação do uso do solo urbano através de um plano director que considere as enchentes. A legislação Interna de cada país deverá prever as acções a serem levadas a cabo de forma preventiva para minimizar os efeitos das inundações. (Adaptado de Tucci *et al* (1995)).

Em Cabo Verde, só recentemente é que estão a surgir alguns mecanismos legais de controlo da ocupação urbana. Por se tratar de instrumentos novos no contexto nacional, não são totalmente observados quando da ocupação, particularmente nas zonas de baixo valor urbanístico e sujeitos de riscos de inundação. Em geral, o atendimento a risco de enchente somente acontece depois de sua ocorrência. A tendência é que o problema fique no esquecimento após cada episódio, retornando no seguinte. Isso, segundo Tucci *et al* (1995), se deve a vários factores, entre os quais estão os seguintes:

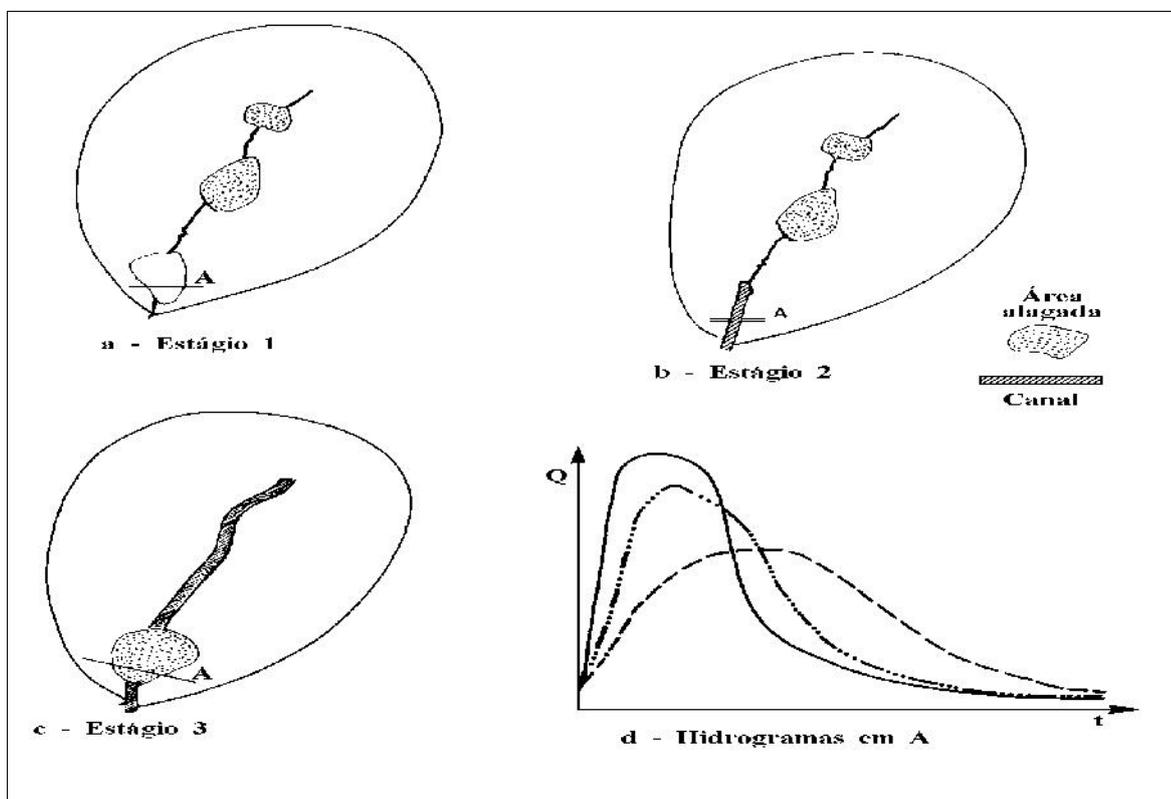
- Deficiente conhecimento sobre controlo de enchentes por parte das autoridades encarregue do planeamento urbano;
- Desorganização, a níveis superiores (Governamental), sobre controlo de enchentes;
- Deficit de informação técnica sobre o assunto a nível académico;
- O desgaste político para o administrador público, resultante do controlo não-estrutural (zoneamento), já que a população está sempre esperando uma obra hidráulica;
- Deficiente sensibilização da população sobre as causas e consequências das enchentes.

A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO

A tendência de controlo das cheias urbanas devido à urbanização, é que seja realizado, na maioria das vezes, através da canalização dos trechos críticos. Esse tipo de solução segue a visão particular de um trecho da bacia, sem que as consequências sejam previstas para o restante da mesma ou dentro de diferentes horizontes de ocupação urbana. Uma situação desta natureza acontece com o bairro de Vila Nova, localizado a jusante da bacia da Trindade onde a Câmara Municipal da Praia desenvolveu um projecto que passou pela definição do sistema de drenagem das águas pluviais da encosta, evitando-se assim, os transtornos associados aos riscos de inundação e consequentemente os prejuízos por estes causados. A área da encosta de Vila Nova de 44 hectares foi dividida em 7 (sete) sub-bacias hidrográficas por corresponderem as 7 principais linhas de água da encosta responsável pela inundação do bairro.

De acordo com Tucci *et al* (1995), a canalização dos pontos críticos acaba apenas transferindo a inundação de um lugar para outro na bacia. Esse processo, em geral, ocorre na sequência demonstrada pela figura 7:

Figura 7 - Estágios da transferência das enchentes por canalização (adaptado Tucci *et al* 1995)



Estágio 1: a bacia começa a ser urbanizada de forma distribuída, com maior densificação a jusante, aparecendo, no leito natural, os locais de inundação devido a estrangulamentos naturais ao longo do seu curso (figura 7 - a);

Estágio 2: as primeiras canalizações são executadas a jusante, com base na urbanização actual; com isso, o hidrograma a jusante aumenta, mas é ainda contido pelas áreas que inundam a montante e porque a bacia não está totalmente densificada. (figura 7 - b);

Estágio 3: com a maior densificação, a pressão pública faz com que os administradores continuem o processo de canalização para montante. Quando o processo se completa, ou mesmo antes, as inundações retornam a jusante, devido ao aumento da vazão máxima, quando esta não tem mais condições de ser ampliada. As áreas de montante funcionavam como reservatórios de amortecimento. Nesse estágio, a canalização simplesmente transfere a inundação para jusante (figura 7 - c). Já não existem espaços laterais para ampliar os canais a jusante, e as soluções convergem para o aprofundamento do canal, com custos extremamente altos (podendo chegar a US\$ 50 milhões/km, dependendo do subsolo, largura, revestimento, etc.).

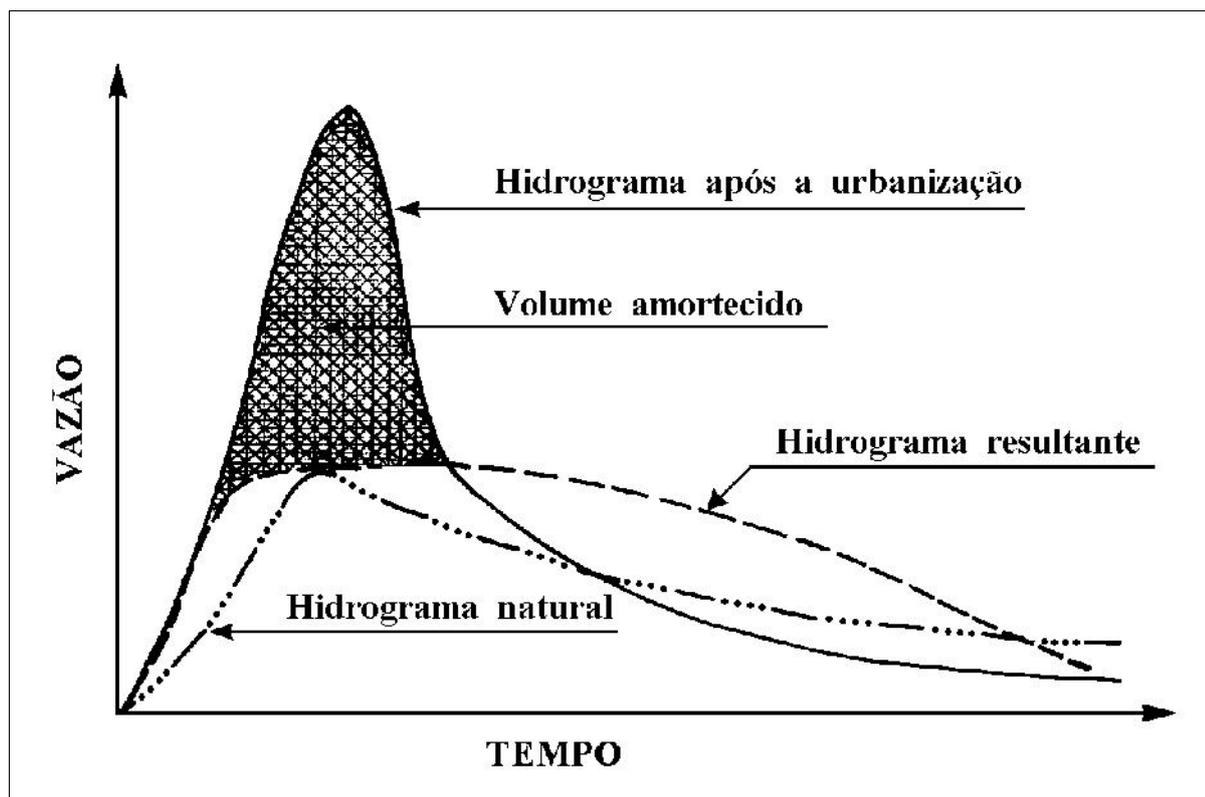
Esse processo é prejudicial aos interesses públicos e representa um prejuízo extremamente alto para toda a sociedade ao longo do tempo. Se existe uma regulamentação que impede a ampliação da cheia natural, como é possível construir um loteamento residencial, comercial ou industrial sem que isso não ocorra? Essa é a primeira pergunta formulada por leigos e profissionais acostumados ao tipo de projecto existente na nossa realidade e não só.

A prática observada, em outros países, tem sido a de se utilizarem áreas temporárias de retardo da vazão, como os reservatórios de detenção, ficando a pergunta seguinte: como construir um reservatório numa área urbana? Por exemplo, no Brasil, a ideia de reservatório é, em geral, a de grandes obras; no entanto, o reservatório urbano pode representar uma pequena superfície de pequeno volume, que faça parte de uma área pública ou mesmo de um condomínio. A característica

da cheia urbana é que ela apresenta um pico alto e pequeno volume; portanto, se houver um reservatório, mesmo de volume pequeno, numa área urbana, ele será suficiente para reduzir a vazão máxima significativamente.

Na figura 8, são apresentados os hidrogramas correspondentes à situação natural, com a urbanização e o resultante do uso do reservatório de retenção.

Figura 8 - Amortecimento em reservatórios urbanos (adaptado Tucci *et al* 1995)



De acordo com a bibliografia específica, existem dispositivos que permitem a minimização do impacto do escoamento superficial acelerado pelas edificações, tais como o uso de pavimento poroso, o armazenamento a partir de telhados, pequenos tanques residenciais e poços subterrâneos, que produzem a redução distribuída do efeito da urbanização.

Na cidade da Praia, a retenção da água a montante da área ocupada por assentamentos humanos, reduziria o volume que chegaria de tal modo que, em princípio não afectaria as populações. Entretanto, por se tratar de uma cidade localizada numa faixa de clima subtropical seco, deve-se equacionar e criar todos os

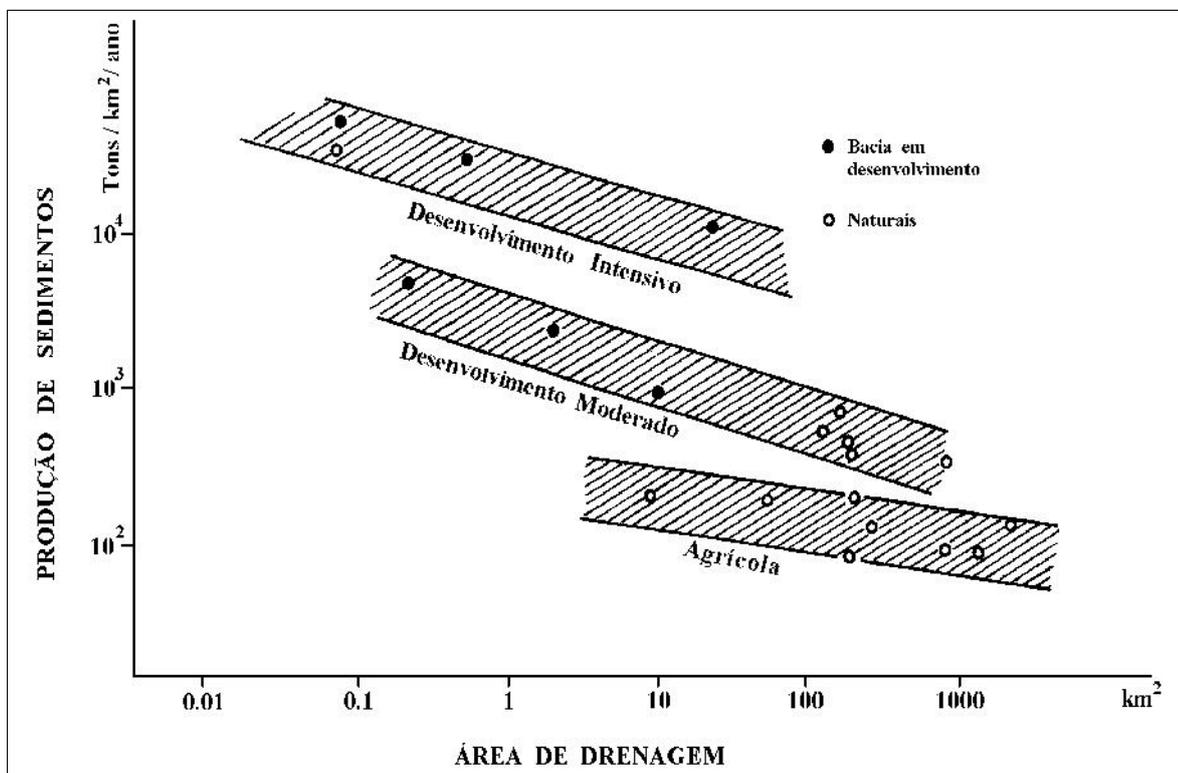
possíveis dispositivos de armazenamento de água para a utilização doméstica, agrícola ou industrial. Assim as soluções apresentadas anteriormente fazem muito sentido que sejam aplicadas na bacia da Trindade.

IMPACTOS AMBIENTAIS

Deve-se ter presente que as enchentes têm um conjunto de impactos sobre a vivência humana, como sejam o aumento do transporte de sedimentos ou a possível contaminação dos lençóis freáticos por infiltração no subsolo de contaminantes transportados de montante. O processo de construção e edificação deixa um rastro de escombros que consiste numa mistura de vários tipos de materiais que, se depositados desregradamente, como acontece em Cabo Verde e na cidade da Praia em particular, acabam por ser transportados para os fundos das ribeiras, representando assim um potencial de contaminação dos recursos hídricos.

Na figura 9, pode ser observado o processo teórico da produção de sedimentos de uma bacia natural, em desenvolvimento e desenvolvida.

Figura 9 - Relação entre área de drenagem, produção de sedimentos e actividade de construção (Wolman *et al*, 1967)



Essa produção de sedimentos, em tese, tem algumas consequências ambientais importantes para as áreas urbanas, como as que a seguir se indicam:

- Assoreamento da drenagem artificial urbana, com redução da capacidade de escoamento dos condutos;
- Transporte de substâncias poluentes agregadas aos sedimentos. Durante as enchentes, as substâncias existentes na água da lavagem das ruas podem agregar-se aos sedimentos.

Vários resultados apresentados na literatura têm demonstrado que a qualidade de água do escoamento pluvial não é melhor que a do efluente de um tratamento secundário. Em geral, a quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é muito superior à encontrada no esgoto *in natura*. Esse volume é mais significativo no início das enchentes.

Considerando que as redes de esgotos podem ser combinadas (cloacal e pluvial num mesmo conduto) ou separadas (rede pluvial e cloacal separadas) e que, a qualidade da água de escoamento superficial depende da tipologia da rede (no caso da rede da cidade da Praia é do tipo combinado), da frequência da limpeza urbana, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial (do tipo torrencial na Praia), da época do ano e do tipo de uso da área urbana, depreende-se que a qualidade da água que chega ao mar por ocasião das cheias na cidade da Praia tem qualidade muito precária.

Normalmente, os aquíferos urbanos são contaminados, principalmente, pelos aterros sanitários e pela infiltração indiscriminada de águas pluviais contaminadas pelo transporte de lixo, sedimentos e lavagem de ruas. Essa situação não é alarmante na cidade da Praia, pois os grandes aquíferos estão localizados a montante da cidade, onde de resto estão os principais pontos de captação de águas subterrâneas. Por outro lado, a quase totalidade da bacia não tem ocupação antrópica pelo que, os níveis de contaminação dos lençóis freáticos acabam por se reduzir ao mínimo.

A bacia da Trindade pode ser dividida claramente em dois segmentos, sendo um que abrange a quase totalidade da mesma em que esta se apresenta no seu estado praticamente natural e, outro que diz respeito apenas a parte jusante onde se verifica a ocupação antrópica onde a produção de sedimentos não é muito considerável. Entretanto, devido à baixa cobertura do solo com vegetação, à actividade do vento e à própria presença de solos de cobertura das formações geológicas, acontece algum transporte de sedimento, visível pela coloração das cheias e pelo seu impacto visual quando da sua entrada no mar.

MEDIDAS DE CONTROLO

As medidas para o controle das inundações podem ser classificadas em estruturais, quando o homem modifica o curso de água, e em não-estruturais, quando o homem adapta a sua presença em função do curso de água.

No primeiro caso, estão as medidas de controlo através de obras hidráulicas como barragens, diques, reservatórios, canalização, florestação, entre outros. No segundo caso, encontram-se medidas do tipo preventivas, tais como zoneamento de áreas de inundação, sistema de alerta ligada a protecção civil e seguros.

Não se deve partir do princípio que as medidas, seja de que natureza for, poderão controlar totalmente as inundações mas, antes preconizam minimizar as suas consequências. Para o controle de inundação de forma eficiente torna-se necessária a associação de medidas estruturais e não-estruturais, de modo que garanta à população o mínimo de prejuízo possível além de possibilitar uma convivência harmoniosa com o curso de água. Para as populações ribeirinhas, essa convivência é fundamental para evitar perdas materiais e até, em alguns casos, perdas humanas. As construções de barragens, diques, canalizações em muitos dos casos são necessárias, entretanto, as acções de cunho social, económico e administrativo desempenham um papel decisivo, através da educação e principalmente da consciencialização por parte da população e do poder público.

A tomada de decisão é definida em função das características do curso de água, do benefício da redução das enchentes, além dos aspectos sociais do seu impacto.

Em Cabo Verde não existe programa sistemático de controlo de enchentes que envolvam seus diferentes aspectos, apesar de existir um Sistema Nacional de Protecção Civil. Entretanto, para o caso da cidade da Praia, o Plano Director Municipal está em fase de elaboração e, serão definidas zonas de uso especial com restrição de ocupação e de construções abaixo de determinadas cotas, estabelecidas no zoneamento de inundação a ser previamente elaborado.

A necessidade de viabilizar tecnicamente o sistema de drenagem existente passa, forçosamente, pela adopção de medidas compensatórias no ciclo hidrológico, conforme discutido em Baptista *et al* (1998). A adopção de técnicas alternativas, favorecendo o armazenamento e a infiltração das águas pluviais, implica a adopção de estratégias inovadoras de planeamento e de gestão do sistema urbano, em maior consonância com os princípios de sustentabilidade de desenvolvimento. Em termos de gestão, isso implica, igualmente, uma maior interacção do serviço de manutenção do sistema de drenagem, com outros serviços urbanos, como a limpeza pública, por exemplo.

Dentro desta visão tecnológica e institucional, torna-se evidente a necessidade de acções em diversas áreas:

Científico-tecnológica: Implementação de programas de monitorização hidrossedimentológica e ambiental visando o melhor conhecimento dos processos hidrológicos; desenvolvimento de estudos de viabilidade de implantação de soluções alternativas; reforço das capacidades dos quadros técnicos municipais para as novas abordagens propostas;

Económica: Disponibilização de recursos financeiros para implementação de sistemas adequados de colecta e tratamento de esgotos e lixo, bem como, manutenção dos sistemas de drenagem urbana;

Político-Institucional: Compatibilização da Legislação para regulamentar o uso e ocupação do solo com a adopção de medidas compensatórias no ciclo hidrológico;

Cultural e Educacional: Implementação de programas de capacitação formal e continuada nas diferentes áreas relativas à gestão ambiental urbana; implementação de programas de educação ambiental para a população em geral.

A adopção destes procedimentos num quadro de uso racional dos recursos públicos passa, certamente, pela elaboração de um Plano Director de Drenagem Urbana consistente e perfeitamente alinhado com os planos de ocupação urbano, capaz de integrar as diferentes percepções do problema, a fim de propor um ordenamento racional e coerente das acções que se mostrem necessárias.

Toda e qualquer intervenção devem ser suportadas por um sistema de alerta rápido preparado para medidas de emergências oportunas. O sistema deve ser devidamente experimentado de modo a permitir a sua ampla divulgação e conhecimento por parte da população, particularmente das pessoas cujas habitações se encontrem em zonas de maior risco, contribuindo assim para a redução dos prejuízos associados à inundação.

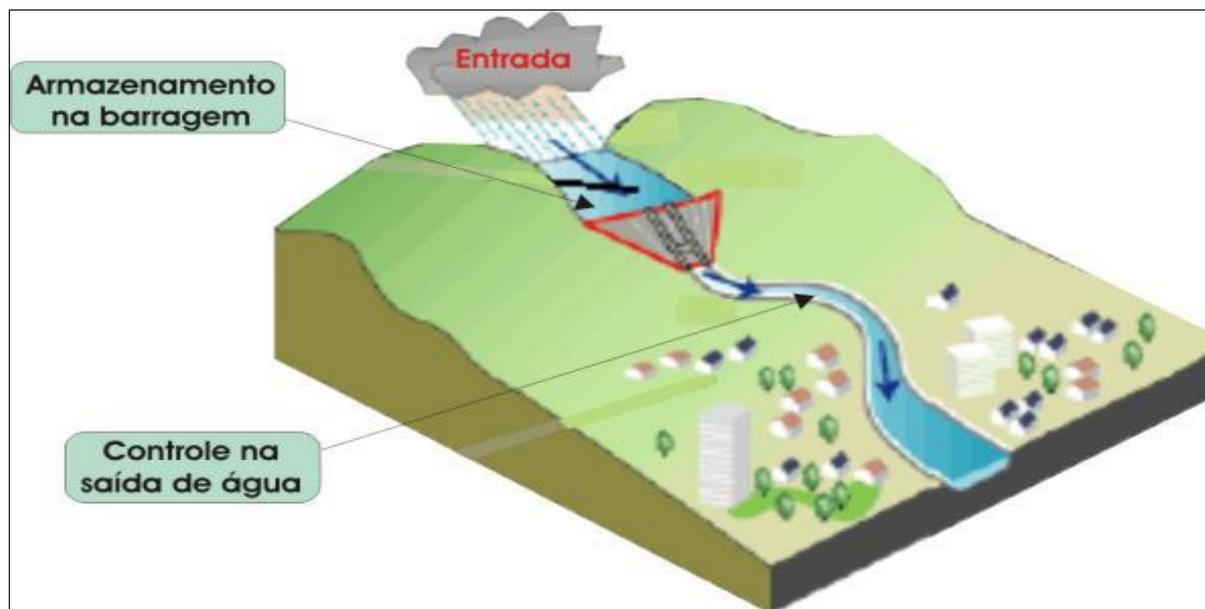
MEDIDAS ESTRUTURAIS

A escolha de medidas de controlo e protecção de inundações deve ser bem analisada para o melhor aproveitamento dos recursos públicos e das áreas vulneráveis. As medidas estruturais são medidas físicas de engenharia desenvolvidas pela sociedade para reduzir o risco de enchentes. Essas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como modificação da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. Em geral, os diques e os reservatórios são mais apropriados em planícies de inundação que são utilizadas de forma mais intensiva. Nessas áreas, as estruturas a prova de inundação e as medidas de protecção das linhas de comunicação podem reduzir seus efeitos debilitantes para a economia. As medidas intensivas são aquelas que agem no curso de água e podem ser de três tipos: (a) medidas que aceleram o escoamento; (b) medidas que retardam o escoamento; (c) medidas para o desvio do escoamento.

Reservatório e bacias de amortecimento: A construção destas estruturas (Figura 10) tem dois propósitos principais:

- Amortecer o pico de cheias para um evento chuvoso intenso, garantindo o controlo para jusante das áreas vulneráveis;
- Armazenamento de água para abastecimento, irrigação e outros fins.

Figura 10 – Desenho representativo do reservatório de amortecimento (Adaptado de Barbosa 2006)



Esta medida pode ser muito providencial para solucionar a problemática da inundação mas, a sua eficácia é tanto maior quando for acompanhada de um conjunto de outras intervenções como a fixação de árvores nas encostas, e a construção de outras infra-estruturas de fixação de solo a montante.

Outro aspecto que se deve ter presente diz respeito aos riscos associados na implementação dessas estruturas, a nível político, operacional socioeconómico e ambiental.

Riscos sociais e ambientais: um factor de risco que se deve considerar tem a ver com o custo das possíveis consequências sociais e ambientais da realização do projecto. Por exemplo, o custo para reintegrar pessoas desalojadas e de redução ou compensação do impacto ambiental. A avaliação da relação custo/benefício dos grandes projectos da actualidade envolve abrangentes análises de impacto

ambiental e planos de reassentamento, assim como definem medidas de redução ou compensação de prejuízos. Esse risco é real e, em Cabo Verde está-se a vivenciar uma realidade dessa natureza com a construção da barragem de Figueira Gorda no Município de Santa Cruz em que na área onde será a albufeira da barragem estão cerca de meia dúzia de habitações e, pelo facto de não se ter equacionado o realojamento das famílias que aí residem, está-se nesse momento, depois da adjudicação da obra, a procura de alternativas às pessoas antes do início das obras;

Riscos políticos: em países emergentes ou em desenvolvimento, devido ao longo prazo dos investimentos na construção e operação das barragens, este risco desempenha um papel bem mais importante do que aqueles projectos que podem ser amortizados a médio ou curto prazo. Também nesse particular Cabo Verde já vivenciou uma experiência com a proposta para a construção da barragem da Trindade pronta desde 1992, não tendo avançado devido à decisão política de se priorizar outros investimentos;

Riscos operacionais: os riscos envolvidos na operação de uma barragem são variados e abrangentes desde danos na parte de equipamentos até mesmo na deficiência de gestão no controle do volume de água armazenada, no caso de reservatório de amortecimento de cheia. A deficiente gestão pode por em causa o tempo de vida da barragem conduzindo ao rápido assoreamento da infra-estrutura.

MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS

As medidas não-estruturais preconizam a melhor forma de coabitação da população com as cheias. A sua concepção não visa a protecção completa, já que para isso teria que fazer a previsão dos extremos do fenómeno o que não é muito exequível e, normalmente permanece uma margem de desconfiança. Para que estas medidas se tornem, de facto, eficazes, a participação conjunta entre o poder público e as comunidades em risco, de modo que garanta uma convivência tranquila sem prejuízos materiais e consideráveis e, principalmente, perdas humanas. As medidas não-estruturais para o controle das inundações podem ser agrupadas em:

Regulamentação do uso e ocupação do solo: o Plano Director Municipal é a figura legal para se planear o desenvolvimento do município, através do zoneamento, e o controle das áreas loteadas, evitando a ocupação sem prevenção e previsão. Em tese, o zoneamento baseia-se no mapeamento das áreas susceptíveis a vários tipos de risco de entre os quais o risco de inundação dentro da delimitação da cheia com base no cálculo dos diferentes períodos de retorno, salvaguardando no mínimo 100 anos ou a maior cheia registada. Dentro desta faixa, são definidas áreas de acordo com o risco e com a capacidade hidráulica de interferir nas cotas de cheia a montante e a jusante. A regulamentação depende das características do escoamento, topografia e tipo de ocupação dessas faixas. O zoneamento é incorporado pelo Plano Director Municipal e regulamentado pela Legislação Municipal específica e pelo Código de Obras aprovado pelo Governo. Para as áreas já ocupadas, o zoneamento pode estabelecer um programa de transferência da população quando submetidas a eventos mais frequentes.

O sistema de alerta tem a função de prevenir, com antecedência mínima que permita acção, com o intuito de reduzir os prejuízos, pela remoção, dentro do considerando uma antecipação razoável.

Aproveitamento das áreas vulneráveis: Utilização temporária de áreas de risco de inundação para construção de equipamentos colectivos como praças, estacionamento, parques, áreas de lazer. Esta medida foi adoptada em vários países para controlar a descarga de saída e reduzir, assim, os prejuízos associados a cada enchente.

Seguro de enchente: Protecção económica contra inundações diminuindo os prejuízos individuais causados pelas inundações.

Rede de monitorização e previsão de alerta: Sistema utilizado para prevenir a população com antecedência de curto prazo, no caso de eventos raros com o objectivo de evitar o pânico da população. Os alertas de enchentes e as medidas de emergência oportunas são aspectos complementares de todas as formas de intervenção.

Um sistema de alerta, de forma precisa, e uma maior consciencialização da comunidade são determinantes na adopção de medidas preventivas. O conhecimento desses sistemas pela população é muito importante, uma vez que pode reduzir significativamente os prejuízos inerentes aos efeitos causados pelas enchentes.

A Tabela 4 a baixo ilustra outras medidas que podem ser levadas a cabo.

Tabela 4 – Medidas não-estruturais para controlo de inundações (adaptado de Barbosa 2006)

Medida	Características	Objectivo
Plano Director	Planeamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas altamente loteadas	Evitar ocupação sem prevenção
Educação Ambiental	Para ser realizada junto da população. A conservação das margens dos rios, sua vegetação típica e taludes são essenciais	Conscientizar a população que sofre ou poderá sofrer com as inundações
Medidas de Apoio à População	Lugares seguros para preservar as famílias e construção de abrigos temporários, meios de evacuação, patrulha de segurança	Inserir na população que poderá ser atingida pela inundações um senso de protecção
Distribuição de Informação Sobre Enchentes	Programas de orientação da população sobre previsões de enchentes para aprender a se prevenir contra as cheias	Aprimorar a qualidade da assistência externa e reduzir falhas como a falta de informação, a má avaliação das necessidades e formas inadequadas de ajuda
Reassentamento	Reassentamento de residentes ilegais ocupantes das margens de rios, de residentes legais nas áreas de enchente	Retirar a população dos locais de risco
Soluções de Mitigação	Promover o aumento das áreas de infiltração e percolação e armazenamento temporário	Aumentar a eficiência do sistema de drenagem a jusante e da capacidade de controle de enchentes dos sistemas
Construções a Prova de Enchentes	Pequenas adaptações nas construções	Reduzir as perdas em construções localizadas nas várzeas de inundações
Sistemas Hidrológicos	Histórico hidrológico da bacia e modelos que mostram o comportamento hidráulico e hidrológico do sistema do rio	Fornecer subsídios para os estudos de comportamento da bacia, assim como previsão de cenários futuros

Controlo da desarborização: Além do controle da desarborização, a reflorestação deve ser feita em todos os locais possíveis enquanto medidas de prevenção da erosão e do assoreamento e de reforço da infiltração da água das chuvas. No contexto da bacia da Trindade, essa medida é particularmente importante de ser implementada de montante para a jusante, em função da distribuição das precipitações.

CONSTRUÇÃO DE MAPAS DE INUNDAÇÃO

O mapeamento das áreas de risco de inundação é uma ferramenta auxiliar muito poderosa no controle e prevenção de inundações. Os mapas de inundação estão associados com o grau de risco de inundação e dos prejuízos que podem ser causados. Os mapas de perigo de cheia evidenciam a extensão das áreas e bens sob risco de inundação.

O processo de mapeamento utilizando uma base cartográfica confiável e adequada com uma localização precisa dos elementos da bacia hidrográfica e de suas características hidráulicas constituem uma ferramenta de diálogo entre o sector técnico e as populações, por serem ilustrativos dos problemas a serem abordados, uma vez que a população tem dificuldades em perceber o espaço urbano e o sistema de drenagem como um todo.

Segundo Tucci (2003), os mapas de inundação podem ser de dois tipos:

1. **Mapa de Planeamento:** define as áreas atingidas por cheias de períodos de retorno bem determinados;
2. **Mapa de Alerta:** informa em cada esquina ou ponto de controlo o nível da régua para o controle da inundação. Este mapa permite o acompanhamento da enchente por parte dos moradores, com base nas observações das réguas;

Estes mapas não são apenas necessários para uma avaliação de riscos de cheias, mas podem também facultar informações valiosas para o planeamento de toda uma gama de actividades incluindo as reacções de emergência a uma cheia catastrófica.

O risco de inundação é o resultado da combinação do perigo de cheia e das consequências da mesma.

Existem inúmeros factores que podem afectar o risco de cheia. De acordo com Barbosa 2006, estes factores podem ser agrupados em quatro grandes categorias associados ao grau de risco de inundação (Tabela 5).

Tabela 5 - Principais factores que afectam o risco de inundação (adaptado de Barbosa 2006)

CATEGORIAS			
Comportamento da cheia	Topografia	População em risco	Gestão da emergência
Severidade	Vias de evacuação	Número de pessoas	Previsão de cheias
Altura	Ilhas	Número de casas e outros bens	Alerta de cheias
Velocidade	Presença de diques contra cheias	Tipo de usos do solo	Plano de reacção às cheias
Taxa de subida	...	Sensibilidade para as cheias	Plano de evacuação
Duração	Plano de evacuação

ELABORAÇÃO DO MAPA DE RISCO DE INUNDAÇÃO

Os mapas de risco de inundação são ferramentas bastante úteis, uma vez que permitem espacializar as áreas de risco de modo a tornar perceptível o espaço urbano e o sistema de drenagem como um todo. Sua elaboração de forma técnica, porém, de fácil entendimento por parte da população, funciona como suporte na política de prevenção e controle de inundações possibilitando a integração a programas de educação ambiental.

Para elaboração destes mapas são necessárias algumas informações como as que a seguir se indicam:

- Informação sobre cheias históricas;
- Mapas de solo;
- Fotografias aéreas;
- Imagens de satélites;
- Modelagem de dados sobre o comportamento hidráulico do curso de água;
- Utilização de modelos digitais de terreno e níveis de água.

O desenvolvimento destes mapas requer o firme engajamento das autoridades competentes, particularmente dos sistemas de Protecção Civil e dos municípios pois, requer algum investimento para a realização de levantamentos topográficos e recolha de uma série de informações que implicam investimentos de tempo e dinheiro. Para regiões onde os dados de vazão e de chuva são escassos, em geral, utilizam-se dados obtidos através de modelos hidrológicos, de acordo com o período de retorno a ser utilizado e a duração da precipitação.

O resultado final é o mapa de inundação formatado, normalmente, com o auxílio de uma ferramenta de geoprocessamento com capacidade de processar vários dados ao mesmo tempo.

GRAU DE RISCO DE INUNDAÇÃO

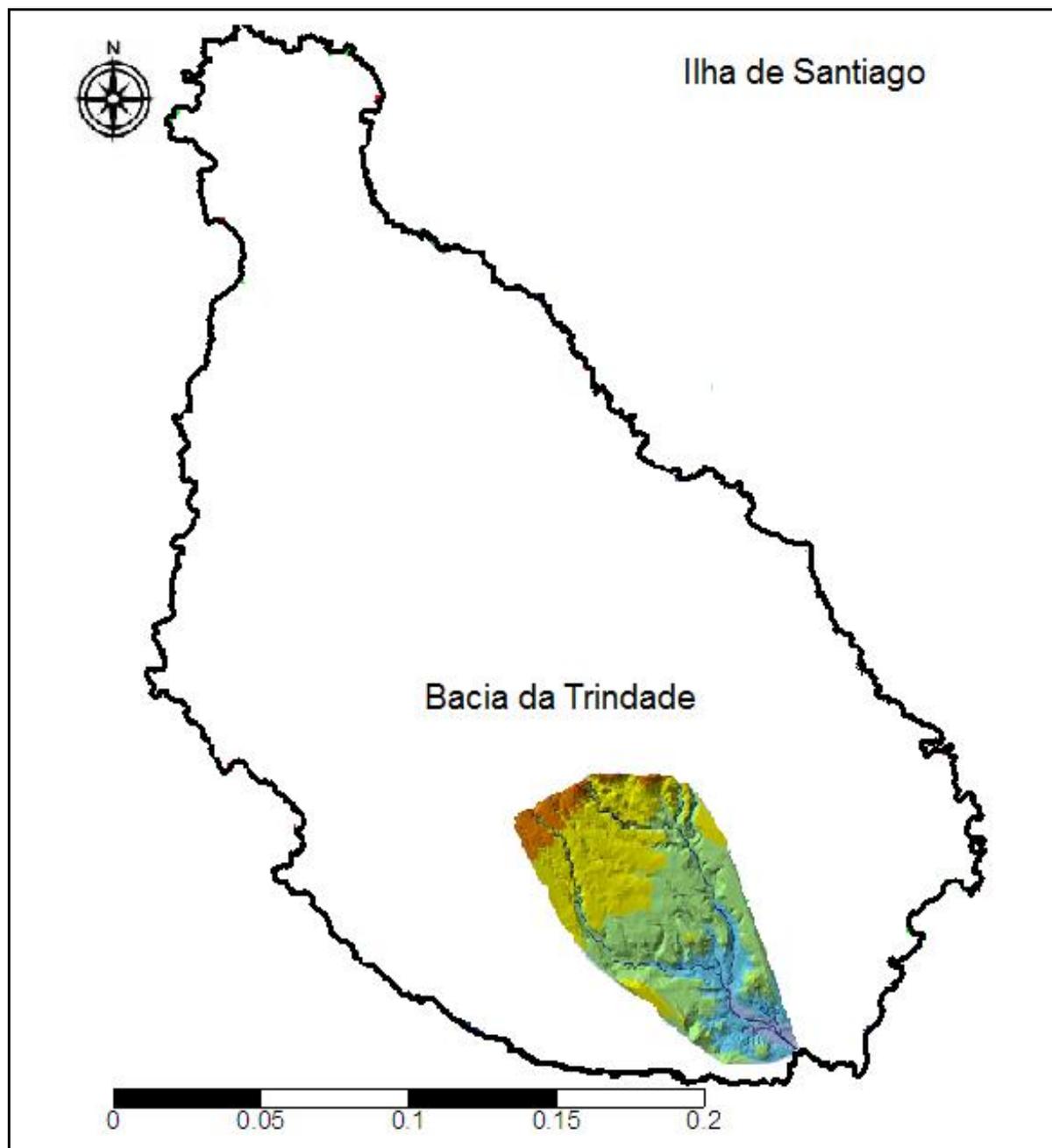
O grau de risco de inundação e do impacto social varia de acordo com a dimensão da população que vive nas áreas de riscos ou que depende dela para sobrevivência. Uma análise de vulnerabilidade, que identifica a população sob maior risco de inundação, pode ser igualmente utilizada para identificar as respostas dos serviços de emergência que podem ser indispensáveis, incluindo a necessidade de abrigos temporários e meios de evacuação. A análise é igualmente importante para as decisões sobre o nível de protecção contra as cheias. As decisões baseiam-se no conhecimento da rentabilidade das várias opções.

V

CARACTERIZAÇÃO E DIAGNÓSTICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DA TRINDADE

A bacia da Trindade, área deste estudo, se localiza na ilha de Santiago (Figura 11), a sul de Cabo Verde, sendo a mais importante das componentes do sistema hidrológico que desembocam na cidade da Praia.

Figura 11 – Bacia da Trindade no contexto da Ilha de Santiago



Estende-se por aproximadamente 2.486 ha, correspondendo a 24,86 km² e, inicia-se no Complexo Eruptivo de Pico da Antónia no interior da ilha, percorrendo uma distância de aproximadamente 8 km até a entrada da cidade da Praia.

HIDROLOGIA

No período das chuvas, a bacia da Trindade é drenada por um sistema constituído por micro-bacias e pequenos sulcos e ravinamentos das encostas que a compõem. Trata-se de um sistema hidrológico que se inicia numa das áreas de maior precipitação ao nível da ilha de Santiago – Serra do Pico da Antónia.

PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS

A tabela 6 resulta da análise dos dados de precipitações máximas diárias em quatro estações meteorológicas dentro da bacia da Trindade. Pode-se notar que os valores de precipitação chegam a atingir os 169 mm na estação de Ribeirão Chiqueiro, 126 mm na estação de São Francisco, 112 mm na Estação da Trindade e 94 mm na estação da cidade da Praia. Nota-se ainda que, no mesmo ano, a precipitação máxima diária varia de estação para estação, apesar da proximidade das mesmas, chegando a atingir, em 1976 uma diferença de 127 mm entre as estações de Ribeirão Chiqueiro e da Praia.

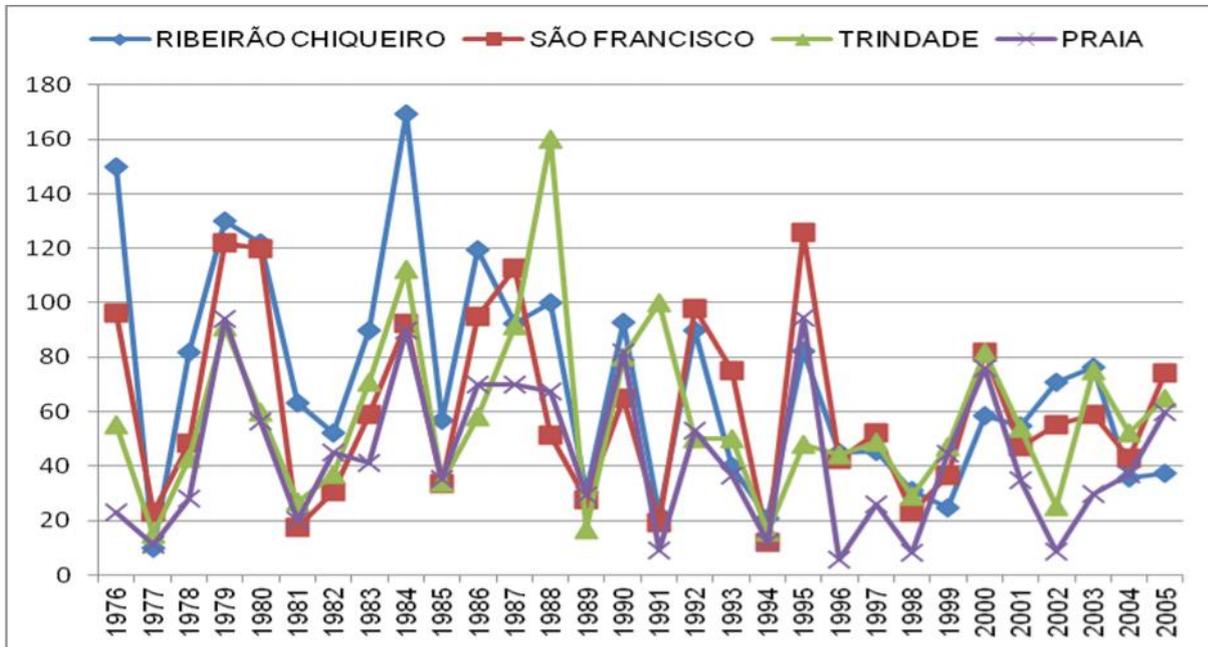
Tabela 6 – Precipitações máximas diárias em 4 estações da bacia da Trindade (1976 – 2005)

Ano	ESTAÇÃO				MEDIA	TENDÊNCIA
	RIBEIRÃO CHIQUEIRO	SÃO FRANCISCO	TRINDADE	PRAIA		
1976	150,0	96,0	55,3	23	81,1	0,828066
1977	10,0	23,0	15,1	11	14,8	-1,560310
1978	82,0	48,5	42,9	28	50,4	-0,278764
1979	130,0	122,0	91	94,2	109,3	1,844837
1980	122,0	120,0	59,8	56,4	89,6	1,133368
1981	63,0	17,5	27	20,2	31,9	-0,942502
1982	52,0	30,6	36,9	45	41,1	-0,611083
1983	90,0	59,0	71	41	65,3	0,257990
1984	169,5	92,4	112,1	90	116,0	2,086197
1985	57,0	33,4	34,2	35,4	40,0	-0,651610
1986	119,5	95,1	58	70	85,7	0,992875
1987	92,5	112,5	91,5	70	91,6	1,208117
1988	100,0	51,5	160	67,5	94,8	1,320691
1989	30,0	27,6	16,5	29,4	25,9	-1,160446
1990	93,0	65,0	80	82	80,0	0,789341
1991	22,0	19,2	99,9	9	37,5	-0,740769
1992	90,0	98,0	50	53,2	72,8	0,529970
1993	40,0	75,0	50	36,4	50,4	-0,278764
1994	21,0	12,0	16	12	15,3	-1,543198
1995	82,4	126,0	48	94,4	87,7	1,066724
1996	45,0	42,5	44	5,6	34,3	-0,857846
1997	45,5	52,0	49	25,9	43,1	-0,539936
1998	31,0	23,0	29	8,3	22,8	-1,270318
1999	24,6	36,5	47	44,7	38,2	-0,716453
2000	58,5	82,0	82	76	74,6	0,595713
2001	54,8	47,0	54	35	47,7	-0,374227
2002	71,0	55,0	25	8,7	39,9	-0,654312
2003	76,5	59,0	75,0	29,8	60,1	0,071567
2004	35,7	43,0	52,0	37	41,9	-0,582264
2005	37,5	74,0	65,0	60	59,1	0,037345
Media					58,1	

Quando se analisam as médias máximas diárias, pode-se notar que existe uma grande variação das precipitações ao longo dos anos (figura 12) tendo alguns anos chegado a valores de precipitação média máxima diária de 109 mm (1979) ou mesmo de 116 mm (1984). Por outro lado, pode-se também encontrar anos em que as precipitações médias máximas diárias não chegam aos 20 mm, como são os

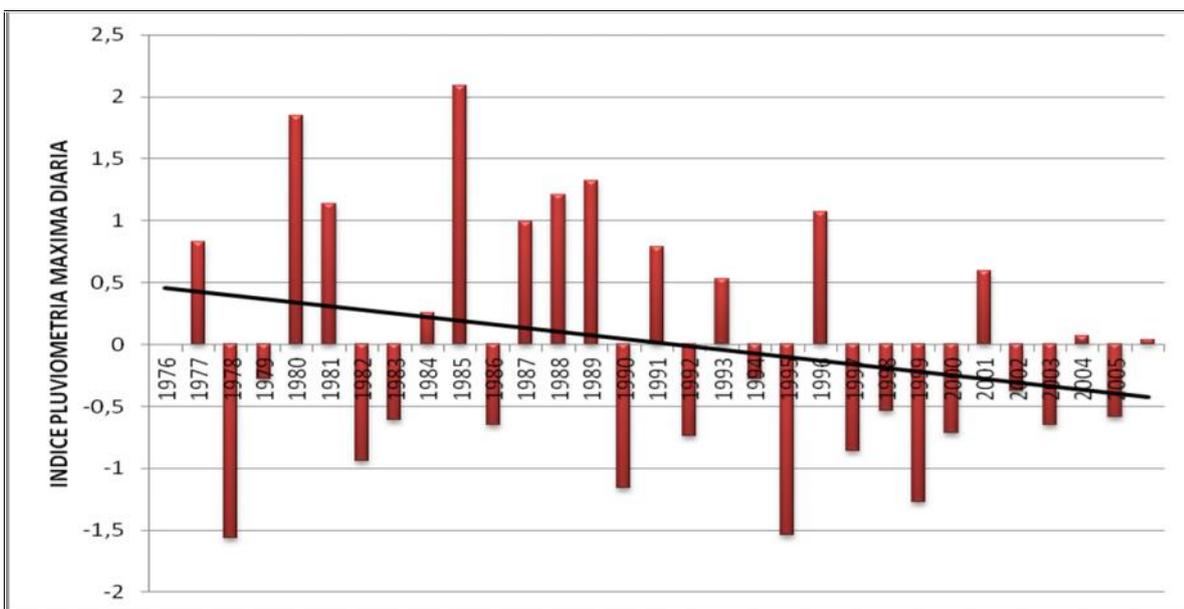
casos de 1977 com 14,8 mm ou 1994 com 15,3 mm. Deve-se realçar, entretanto, que o valor médio das precipitações médias máximas diárias é de 58,1 mm.

Figura 12 – Pluviometria máxima diária (1976 – 2005) – Bacia da Trindade



A partir da tabela 6, elaborou-se o gráfico da figura 13 que ilustra a tendência das precipitações médias máximas diárias. Da análise do gráfico, pode-se notar uma tendência de redução das precipitações máximas diárias de 1976 a 2005.

Figura 13 – índice de pluviometria máxima diária (1976 a 2005) – Bacia da Trindade



PRECIPITAÇÕES MÉDIAS ANUAIS

A tabela 7 resulta da análise dos dados de precipitação média anual das mesmas quatro estações meteorológicas dentro da bacia da Trindade. Pode-se notar que os valores de precipitação média chegam a atingir os 489 mm na estação de Ribeirão Chiqueiro, 389 mm na estação de São Francisco, 424 mm na Estação da Trindade e 490 mm na estação da cidade da Praia.

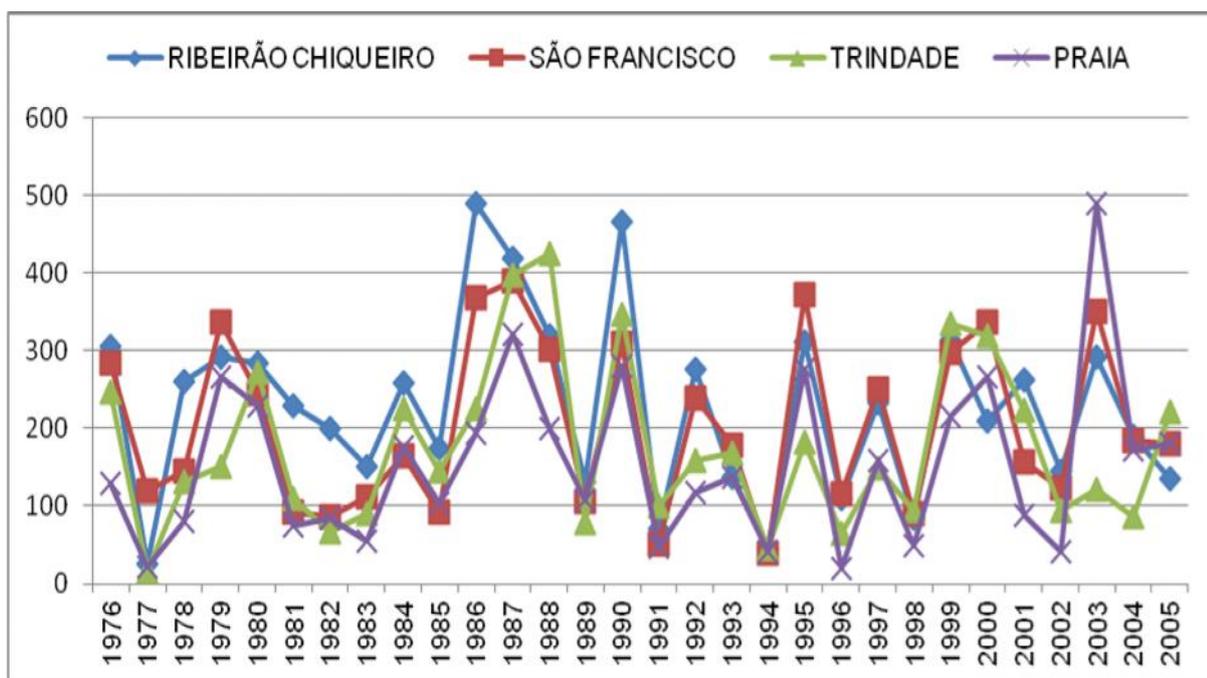
Tabela 7 – Precipitações médias anuais em 4 estações da bacia da Trindade (1976 – 2005)

Ano	ESTAÇÃO				MEDIA	INDICE
	RIBEIRÃO CHIQUEIRO	SÃO FRANCISCO	TRINDADE	PRAIA		
1976	305,8	285	246,1	130	241,7	0,363519
1977	24,5	120	15,1	21,6	45,3	-1,53386
1978	260,2	146	132,2	80,7	154,8	-0,47638
1979	291,6	336,9	151,1	266,7	261,6	0,555261
1980	285	245	273,1	230,2	258,3	0,523867
1981	230	92,8	110,7	73,6	126,8	-0,74685
1982	200,4	86,1	65,8	84,4	109,2	-0,91685
1983	150,5	112,2	90,9	55,6	102,3	-0,98326
1984	259,2	165,5	225,9	175,6	206,6	0,023744
1985	175,2	92,2	145,7	104	129,3	-0,7227
1986	489,9	368,7	225,1	193,1	319,2	1,111893
1987	419,1	389,7	398,6	321,9	382,3	1,721652
1988	319,5	301,1	424,7	199,3	311,2	1,034133
1989	131,3	106,3	79,2	107,6	106,1	-0,94656
1990	467,0	310,2	346,6	279,4	350,8	1,417134
1991	69,6	51,8	100,3	46,2	67,0	-1,32449
1992	276,5	239,1	159,7	116,8	198,0	-0,0586
1993	137,4	178,5	169,1	136,4	155,4	-0,47083
1994	44,5	39,5	45	40,7	42,4	-1,56163
1995	312,1	373,0	182,3	276,6	286,0	0,791195
1996	109,7	116,0	65	18,7	77,4	-1,22427
1997	232,3	251,0	149	159	197,8	-0,06054
1998	83,3	90,6	94	48,5	79,1	-1,20737
1999	312,9	298,5	335	216,5	290,7	0,836837
2000	209,5	337,0	318,5	267,4	283,1	0,763183
2001	262,7	156,6	222,6	87,6	182,4	-0,20978
2002	145,3	123,4	95	41,2	101,2	-0,99365
2003	293,0	350,6	122,0	490,4	314,0	1,061663
2004	190,5	183,6	86,0	171,5	157,9	-0,44619
2005	135,3	179,9	221,0	179,7	179,0	-0,24262
Media					190,6	

Nota-se ainda que, à semelhança do que acontece com as precipitações máximas diárias, de ano para ano, a precipitação média anual varia de estação para estação, apesar da proximidade das mesmas.

De resto, pode-se notar pela análise da figura 14 que a média da pluviometria varia muito de ano para ano, chegando a registar-se, por exemplo em 2003 valores acima dos 450 mm, enquanto o ano 1977 a média esteve pouco acima de 45 mm.

Figura 14 – Pluviometria média anual (1976 – 2005) – Bacia da Trindade

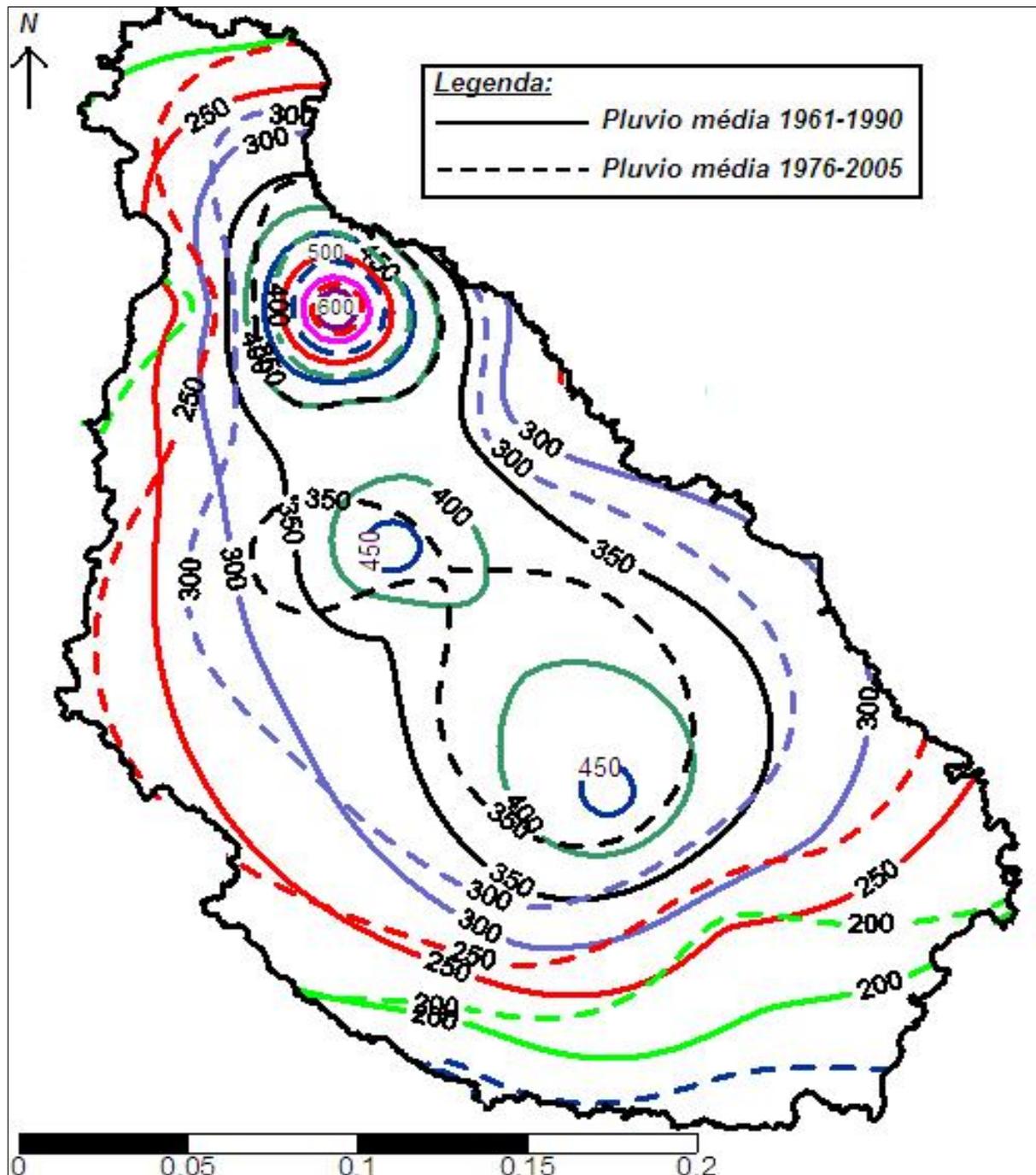


Normalmente, em Cabo Verde, as chuvas se concentram nos meses de Agosto, Setembro e Outubro, apesar de se registarem algumas ocorrências de chuva dignas de registo nos meses de Julho e Novembro.

De resto, Correia F. (2007) apresenta a seguinte carta de isoietas para a ilha de Santiago (figura 15), demonstrando que do litoral para as zonas de altitudes mais elevadas da ilha tem-se registado uma diminuição considerável da pluviometria. Esta diminuição é ilustrada através da nítida migração para o interior das isoietas de 1976-2005 em relação às da normal (1961-1990), aumentando assim a mancha de aridez do litoral para o interior. A área de estudo que corresponde à bacia da

Trindade compreende uma faixa que vai desde a Serra do Pico da Antónia cujas isoietas indicam valores de aproximadamente 450 mm de precipitação por ano, até a zona litoral onde se localiza a cidade da Praia, nas baixas altitudes junto ao mar e cujas isoietas indicam valores substancialmente mais baixos, chegando a registar-se pluviometrias inferiores a 200 mm por ano.

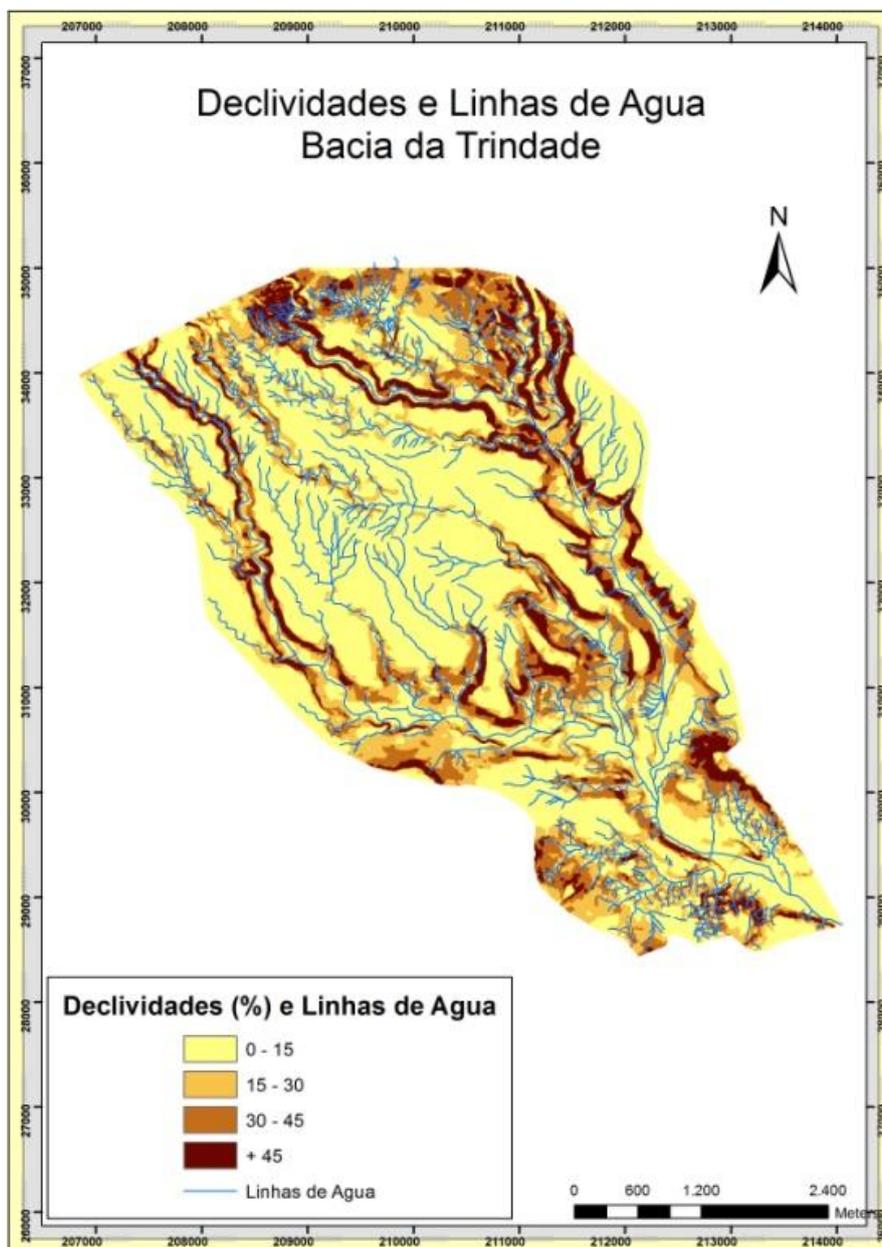
Figura 15 – Distribuição da precipitação na ilha de Santiago (Correia F. 2007)



DECLIVIDADES

No contexto da bacia da Trindade, as declividades variam entre 0 a 15% nos planaltos e planícies até atingir valores acima dos 45% nas encostas das sub-bacias que compõem o seu sistema hidrológico. De facto, de acordo com a figura 16, as declividades mais acentuadas acompanham as linhas de água, aumentando assim, em função da importância do curso de água e, da respectiva capacidade erosiva daquelas, podendo-se afirmar que o principal factor modelador da geomorfologia da bacia da Trindade é a água de escoamento superficial.

Figura 16 – Cruzamento de Informações de Declividades com Linhas de Água – Bacia da Trindade



Do cruzamento de informações sobre as Declividades na ribeira da Trindade com as linhas de água (Figura 16), pode-se notar que as declividades mais acentuadas estão na área a montante de maior altitude, onde se registam os valores mais elevados de precipitação, reforçando assim o escoamento a partir daquela secção da bacia. Esta situação deve ser devidamente considerada pois, o efeito cumulativo da carga do escoamento superficial e subterrâneo faz-se sentir a jusante, com um grande contributo daquelas áreas.

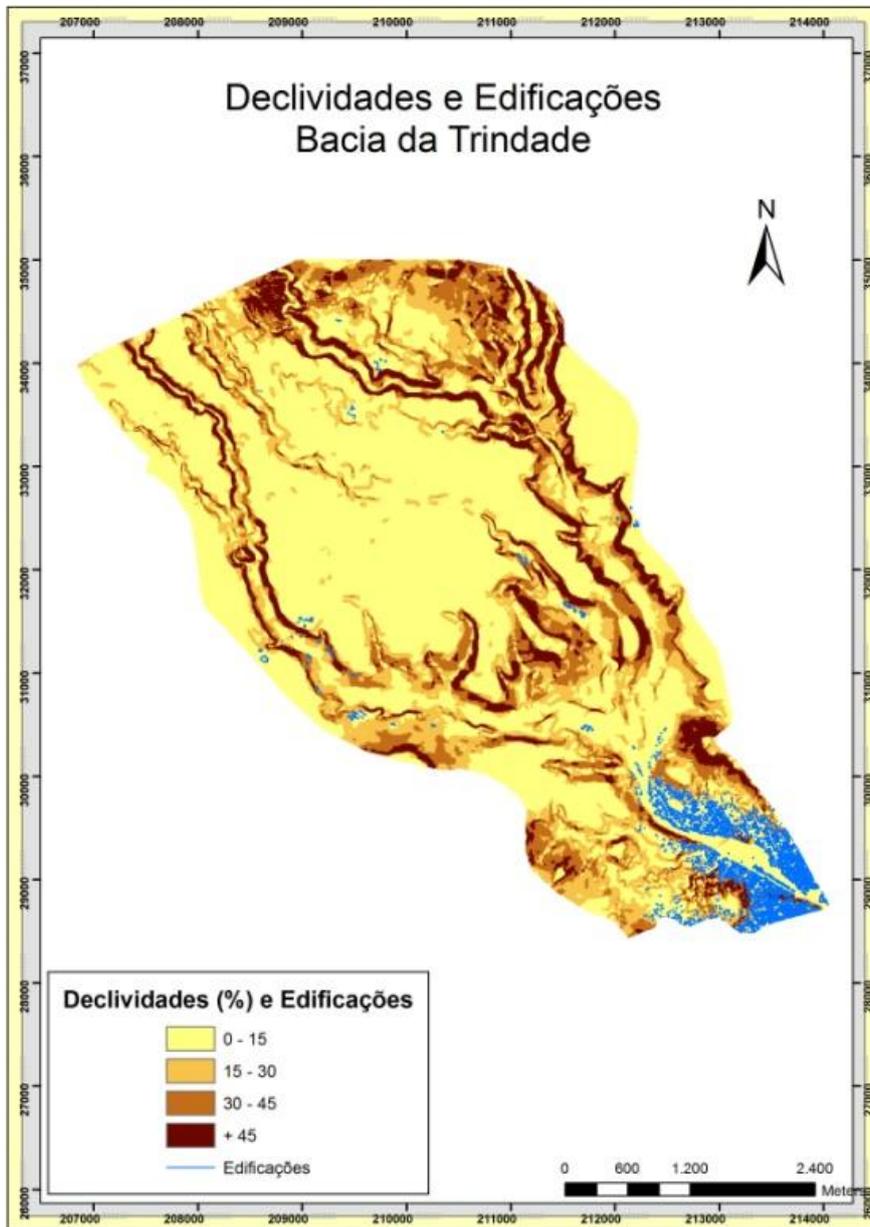
Assim, a principal linha de água da bacia da Trindade (sub-bacia da Trindade) tem a sua origem nas mais elevadas altitudes da bacia, mais concretamente na serra do Pico de Antónia com altitudes acima dos 400 metros.

Da análise da presença dos aglomerados populacionais na bacia da Trindade, facilmente se consegue aperceber que se concentram na parte jusante da mesma, onde ocorrem as declividades menos acentuadas, como demonstra a figura 17. De resto, a própria cidade da Praia, que é o principal aglomerado populacional, como já se viu anteriormente, está localizada na foz da bacia. Esporadicamente encontram-se outros pequenos aglomerados de baixa expressão cujo impacto no escoamento superficial não se mostra significativo pois, a orografia a montante da bacia da Trindade é muito mais imponente (declividades maiores), dificultando o assentamento humano. De salientar que a ocorrência desses pequenos aglomerados se deve essencialmente à procura de terrenos com vocação para a prática da agricultura e criação de gado e, estão normalmente próximos de pontos de água. Por outro lado, deve-se ter presente que as pessoas que ocupam essas áreas mantêm relações comerciais muito intensas com a cidade da Praia que é o principal centro de comercialização dos produtos agrícolas e pecuários.

Do cruzamento de informações, pode-se concluir que não se pode menosprezar as diferenças altimétricas verificadas ao longo da extensão da bacia pois, tendencialmente, as habitações instalam-se nos pontos mais baixos da bacia. Esta localização está intimamente ligada à acessibilidade aos bens e serviços oferecidos pela cidade da Praia.

Esta situação se deve à localização das principais infra-estruturas (porto e aeroporto), bem como os principais serviços perto da zona litoral.

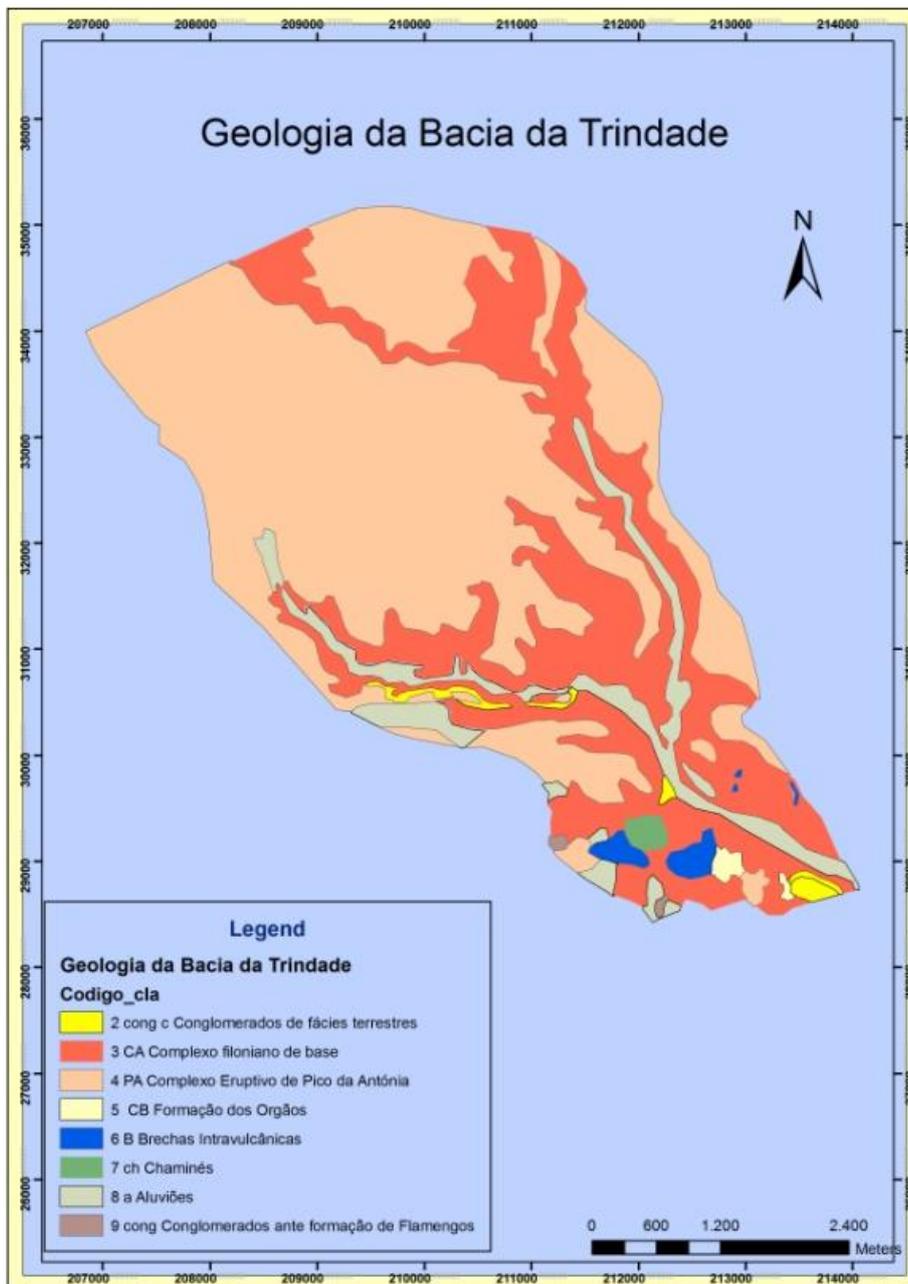
Figura 17 – Cruzamento de Informações de Declividades com Edificações – Bacia da Trindade



GEOLOGIA

A estrutura geológica da bacia da Trindade é essencialmente constituída por mantos subaéreos, piroclastos e chaminés indiferenciados do Complexo Eruptivo de Pico da Antónia (PA) e, Complexo Filoniano de Base (basanitos, limburgitos, ancaratritos etc) do Complexo Eruptivo Interno Antigo, conforme demonstra a Figura 18 obtida a partir da carta geológica de Santiago.

Figura 18 – Carta Geológica da bacia da Trindade



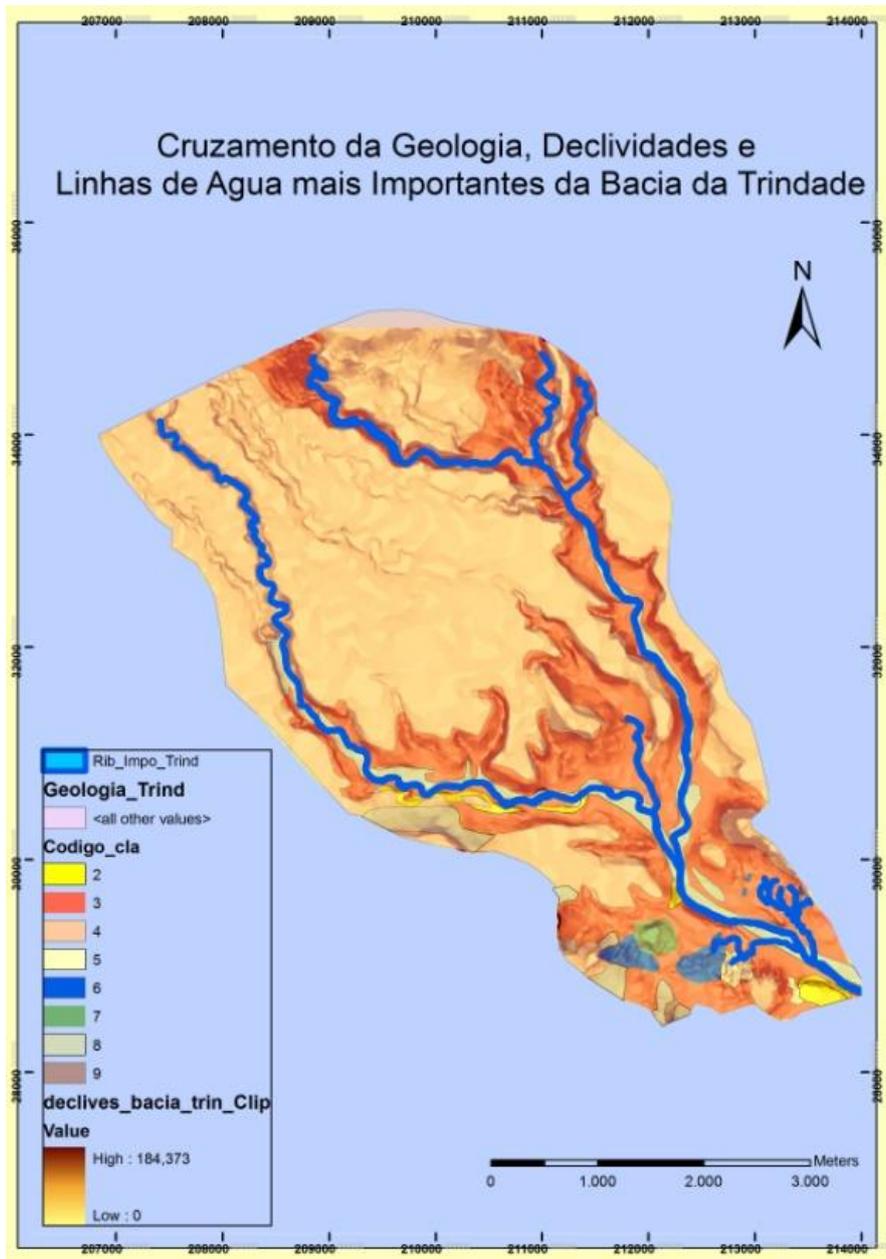
Registam-se ainda, no leito de cheia, a presença de aluviões e alguns conglomerados, brechas vulcânicas e o afloramento de filões e chaminés piroclásticos.

O Complexo Eruptivo de Pico da Antónia é o elemento geológico estruturador de toda a ilha de Santiago, estendendo-se do Tarrafal a norte, até à Praia a sul da ilha conforme a Carta Geológica de Cabo Verde – Ilha de Santiago – Junta de Investigação Científica do Ultramar.

De resto, essa formação está intimamente associada à própria formação da ilha de Santiago no Pliocénico-Miocénico do período Neogeno da era Cenozoica, ou seja a menos de 23 milhões de anos. Esta formação geológica é a de maior expressão no contexto da bacia, ocupando uma área de 1.465 ha, correspondente a aproximadamente a 60% do total da bacia da Trindade.

O segundo elemento Geológico mais importante na ribeira da Trindade, que ocupa cerca de 31,2% da área total, é o complexo Filoniano de Base constituído por Basanitos, Limburgitos e Ancaratrios, que são rochas ígneas vulcânicas extrusivas da família do Basalto, estendendo-se por 776,3 ha. Do cruzamento da geologia com as declividades e as principais linhas de água da bacia da Trindade, realça-se o facto das formações do complexo Filoniano de Base estarem presentes na estruturação geomorfológica das principais linhas de água. Esta formação geológica caracteriza-se pela sua grande resistência à erosão tanto eólica como hídrica e, por isso acabam por posicionar-se como elementos de encaixe das ribeiras. A figura 19, que resulta do acima mencionado cruzamento através da sobreposição dos mapas de declividades no primeiro *layer*, da geologia no segundo e dos principais cursos de água no terceiro e último *layer*, ilustra a capacidade de encaixe dessa formação representado pelo número 2 da legenda da carta na mesma figura com uma coloração alaranjada mais acentuada.

Figura 19 - Cruzamento de Informações de Geologia com as Principais Linhas de Água – Bacia da Trindade



O terceiro elemento geológico mais importante presente na bacia da Trindade diz respeito às formações aluvionares (aluviões antigos e modernos) do quaternário, encontradas no leito das principais linhas de água da bacia. Dizem respeito a depósitos sedimentares resultantes do processo erosivo (eólico e hídrico) que anualmente são arrastados para jusante da bacia. Durante o período das chuvas, constituem-se num dos principais factores erosivos quando arrastados pelas cheias.

Em menor escala, aparecem na bacia as brechas vulcânicas, os conglomerados de fácies terrestres, alguns conglomerados da formação ante Flamengo, chaminés vulcânicos e uma residual presença de depósitos conglomeráticos-brechoides terrestres da formação dos órgãos.

VEGETAÇÃO

A capacidade de infiltração depende do tipo e do uso do solo. Geralmente, a capacidade de infiltração de solos com presença de vegetação é superior.

Como refere Tucci *et al* (1997), a vegetação tem um papel fundamental no balanço de energia e no fluxo de volumes de água pois, uma parte da precipitação é retida pela vegetação e, quanto maior for a superfície de folhagem, maior será a área de retenção da água durante a precipitação. Esse volume retido contribui muito pouco para o escoamento superficial uma vez que é evaporado assim que houver capacidade potencial de evaporação.

A cobertura vegetal da bacia da Trindade caracteriza-se por vegetação herbácea e arbustiva, sendo o elemento mais representativo a acácia americana (*Prosopis Juliflora*), introduzida nas décadas de 1970 e 1980 do século XX através de programas de intensa arborização do país desenvolvidas pelo então Ministério do Desenvolvimento Rural.

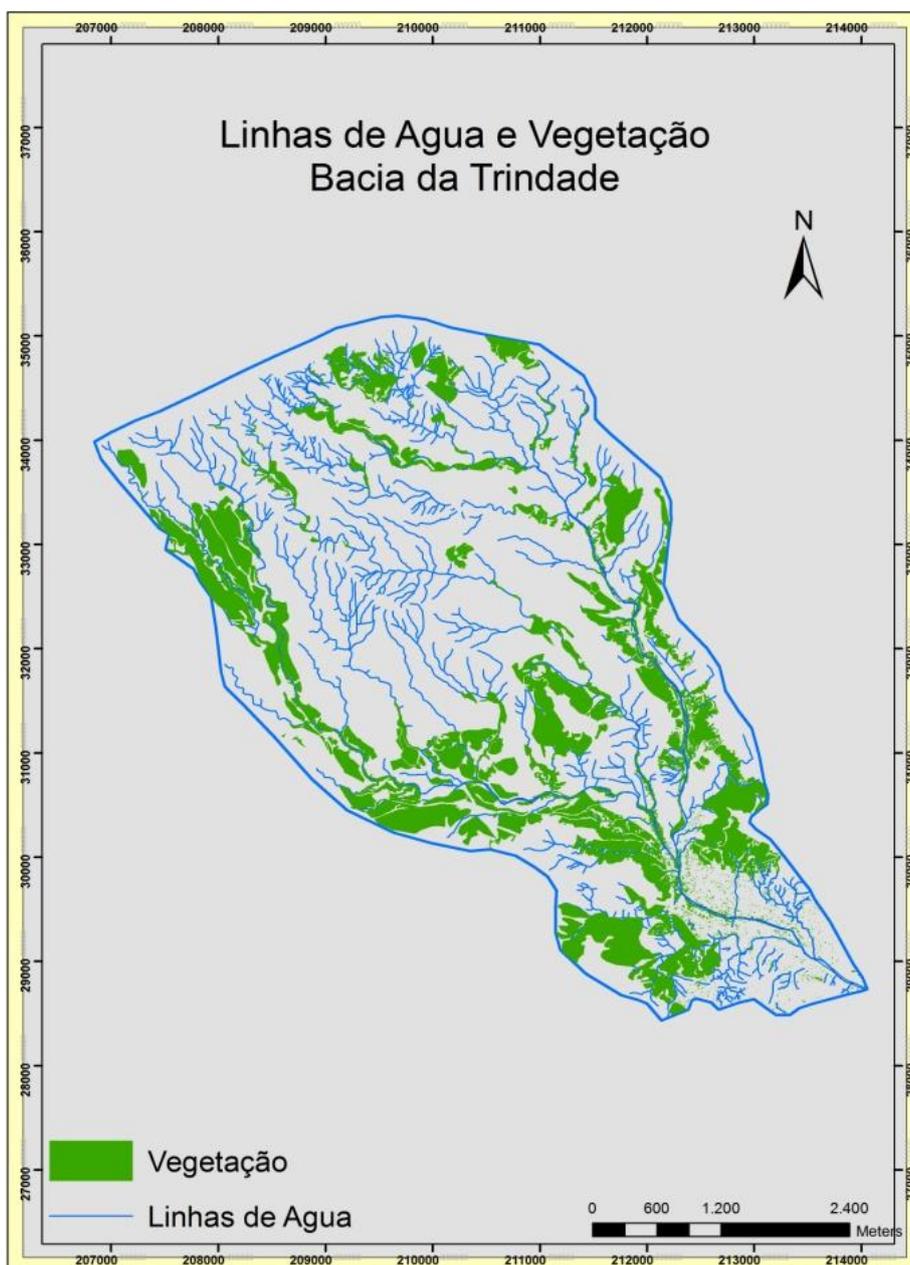
Surgem também algumas extensões de purgueira (*Jatropha Curcas*) introduzidas no período da colonização portuguesa, altura em que essa espécie tinha grande valor comercial para o fabrico de óleo combustível utilizado na iluminação pública e, para além de ser explorada a sua capacidade medicinal. Outras espécies de plantas são identificadas porém, sem grande expressão. Neste momento, de acordo com os dados provenientes das fotografias aéreas de 2010, tratada com uma ferramenta de geoprocessamento, a área coberta com vegetação na bacia da Trindade não vai além dos 539,4 ha correspondentes a 21,7% da área total (figura 20).

De realçar que a vegetação se localiza preferencialmente próxima das linhas de água que, por serem áreas de maior humidade do solo, terão maiores probabilidades de sobrevivência, particularmente durante os longos meses de seca.

A consideração da cobertura vegetal, no âmbito deste trabalho, tem a ver com o seu papel de, por um lado absorver o impacto do *splash* (erosão do solo provocado pelo impacto das gotas de chuva) e, por outro, pelo seu potencial de reforçar a infiltração

da água das chuvas, interferindo de alguma forma no escoamento. De facto, a presença da vegetação representa um potencial de aumento do escoamento de base através da infiltração e consequente diminuição do escoamento superficial. Para além disso, ao minimizar o efeito do *splash*, estará também a diminuir a quantidade de material sólido em suspensão, reduzindo o poder erosivo das cheias. Apesar de ocupar apenas 21,7% do total da superfície da bacia da Trindade, não se deve menosprezar o poder da vegetação interferir no escoamento superficial e subsuperficial.

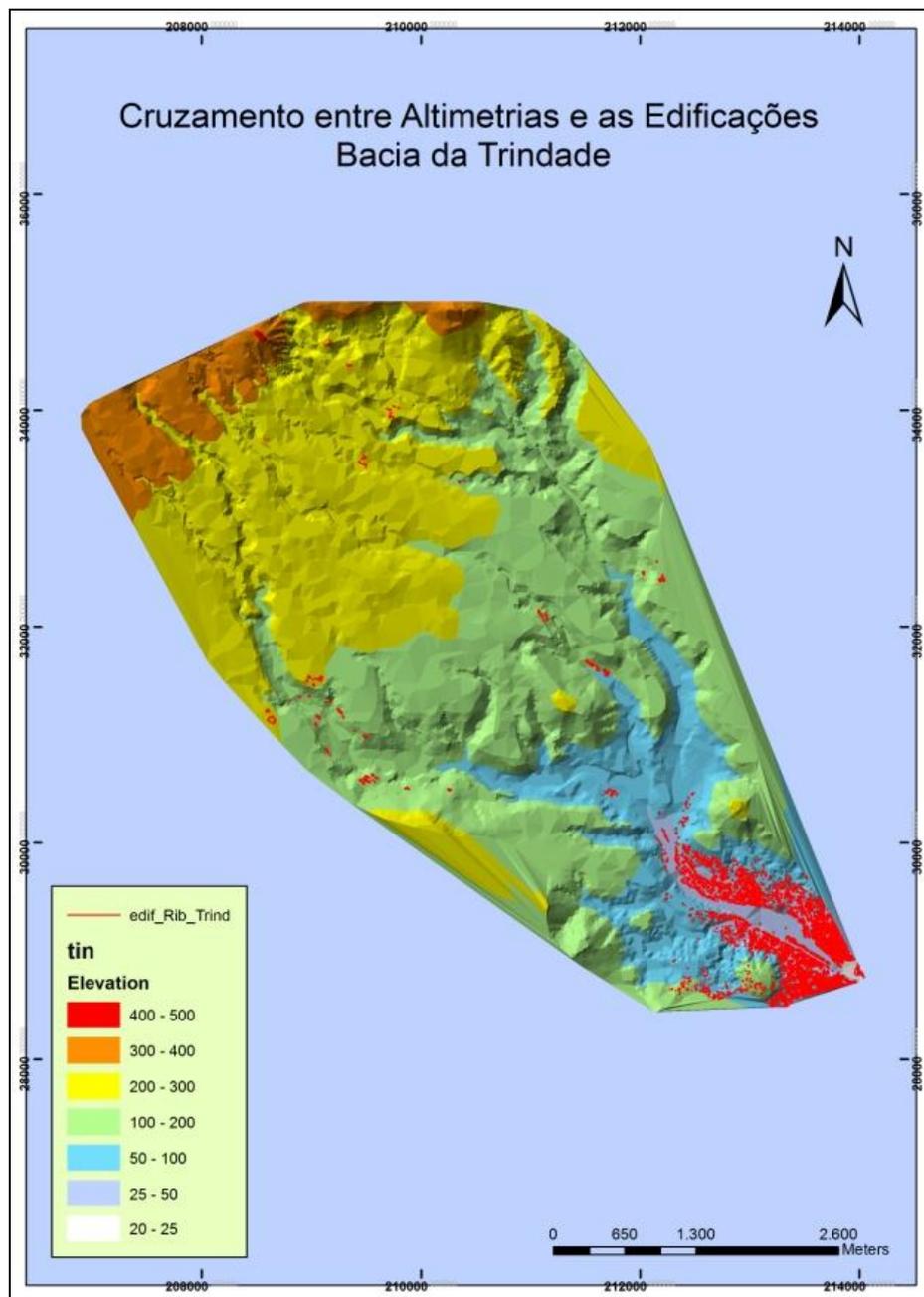
Figura 20 – Distribuição da Vegetação na bacia da Trindade



ALTIMETRIA, EDIFICAÇÕES E REDE HIDROGRÁFICA

No contexto da bacia da Trindade, as edificações tendem a concentrar-se na parte mais baixa (Figura 21), notando-se claramente a procura pelas populações da parte mais praticável em termos urbanos.

Figura 21 - Cruzamento de Informações de Geomorfologia com as Edificações – Bacia da Trindade



De resto, esta situação não é inédita nem em Cabo Verde pois que, também noutras paragens as pessoas procuraram ao longo da história do desenvolvimento urbano

as margens dos cursos de água e o leito das ribeiras que coincidem com o leito de cheia, motivadas pela procura de terras mais férteis para a prática da agricultura ou, pelas possibilidades de transporte que os cursos de água representam, ou mesmo pelas facilidades de implantação devido à regularidade da declividade. Essa tendência é particularmente evidente nos locais de chuva irregular e com algum distanciamento entre os momentos de inundação, permitindo que os assentamentos humanos acabem por negligenciar os fenómenos de cheias e inundações.

Assim, pode-se notar pela figura 21 que as edificações localizam-se a jusante da bacia da Trindade, a pouca distância do mar, numa zona para onde toda a água do sistema hidrológico da bacia da Trindade (superficial e subterrâneo) é transportada. De resto, a cidade da Praia localiza-se numa zona de confluência de outras bacias hidrográficas que compõem o sistema hidrológico da parte Sul da ilha de Santiago.

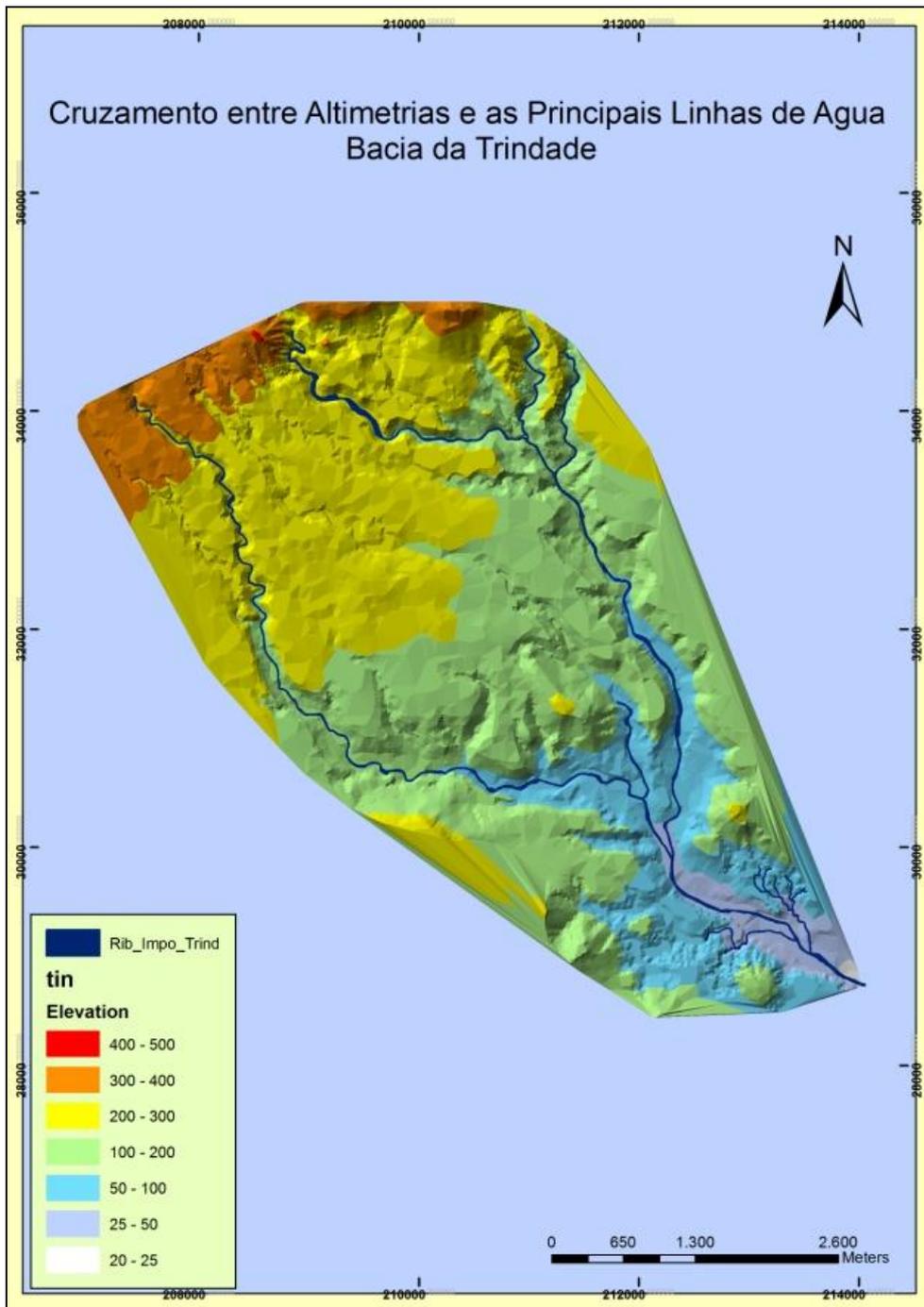
Os efeitos da urbanização fazem-se sentir sobre todo o aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacais e drenagem pluvial. As consequências desse processo são importantes. Por exemplo, o acesso à água e ao saneamento reduz, em média, 55% a mortalidade infantil (WRI, 1992).

As enchentes urbanas constituem-se num dos mais importantes impactos dos fenómenos naturais sobre a sociedade. Esses impactos, no contexto da bacia da Trindade, ocorrem essencialmente devido à inundação natural da várzea ribeirinha.

A figura 22 ilustra o encaixe dos cursos de água no relevo da bacia da Trindade mostrando claramente a sua capacidade de modelação do terreno através do seu poder erosivo. Essa modelação do terreno permitiu o surgimento a jusante das formas planas onde as pessoas se instalaram ao longo tempo. Essa situação, infelizmente não foi devidamente acautelada pelas autoridades municipais, conduzindo a uma ocupação desregrada do leito das ribeiras, estando alguns assentamentos localizados em zonas susceptível a inundação.

Na parte montante da bacia da Trindade, o fluxo hidrológico é retido pela vegetação, pela normal actividade de infiltração no subsolo e, o restante escoar sobre a superfície de forma gradual, produzindo um hidrograma com variação lenta de vazão e com picos de enchentes moderados. As enchentes naturais extravasam a sua calha menor, pontualmente, ocupando o seu leito maior.

Figura 22 – Cruzamento de Informações de Geomorfologia com as Principais Linhas de Água – Bacia da Trindade



Estando as autoridades em posse de informação sobre os ciclos hidrológicos e as suas potenciais consequências, mostra-se pertinente accionar os mecanismos de planeamento da ocupação do espaço, criando infra-estruturas e condições que reforcem a resiliência das populações e minimizando os impactes sócio-económicos sobre as pessoas e bens.

No contexto da bacia da Trindade, não se pode referir à urbanização enquanto potenciador de inundações uma vez que se trata de uma bacia de alguma dimensão em que a área ocupada se restringe a uma pequena parcela e, ainda por cima localizado a jusante da bacia numa área onde a água tende a espalhar. De resto, as urbanizações ampliam as enchentes, em regra, em bacias de pequena dimensão e altamente ocupada como acontecem em algumas regiões metropolitanas de grande importância a nível global.

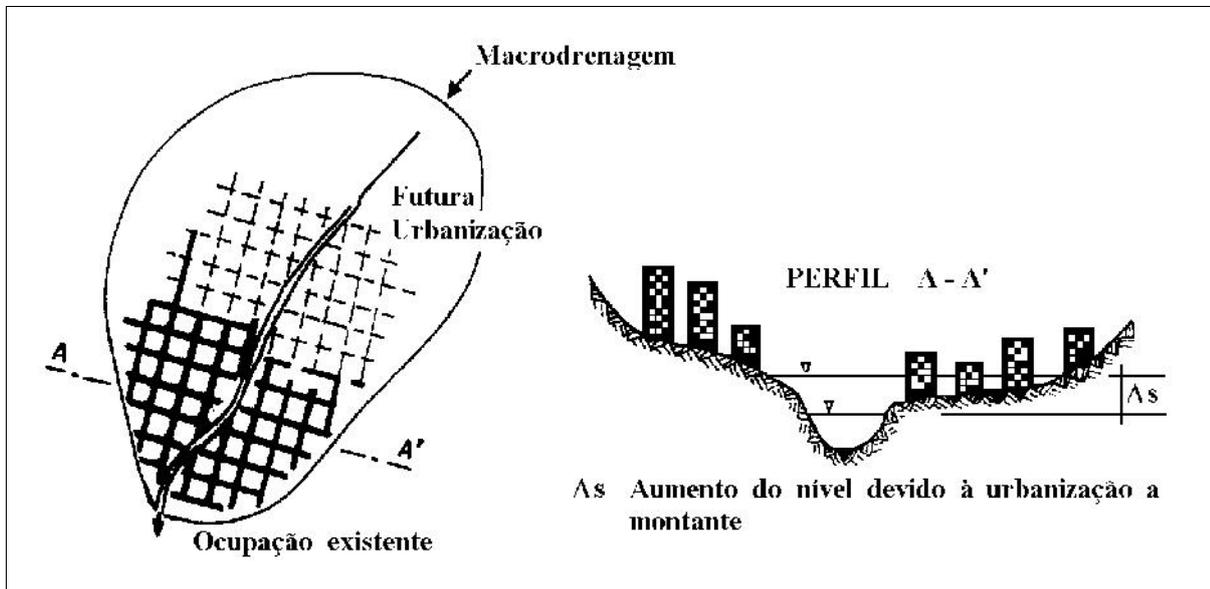
Nas grandes bacias, normalmente existe o efeito conjugado da drenagem dos vários canais de macro-drenagem, que são, naturalmente influenciados pela distribuição temporal e espacial das precipitações máximas. A tendência da urbanização é de ocorrer no sentido de jusante para montante, na macro-drenagem urbana, devido às características de relevo.

No momento da planificação dos loteamentos urbanos, as autoridades deveriam preocupar-se para além da eficiência dos esgotos pluviais para a drenagem. O acautelamento da capacidade de macro-drenagem de cada loteamento diminui as possibilidades de enchentes, reduzindo os impactes sócio-económicos.

Normalmente, os impactes do aumento da vazão máxima sobre o restante da bacia não são avaliados pelo projectista ou exigido pelo município. A combinação dos impactes potenciais de cada loteamento produz aumento da ocorrência de enchentes a jusante. Esse processo ocorre através da sobrecarga da drenagem secundária (condutos) sobre a macro-drenagem (cursos naturais de água) que atravessa as cidades. Tendo em consideração que, teoricamente, as áreas mais afectadas, devido à construção das novas habitações a montante, são as mais

antigas, localizadas a jusante (figura 23), a expansão das cidades deveria ser bem planejada de modo a reduzir ao máximo os riscos de inundação.

Figura 23 – Tendência da ocupação do solo urbano e impacto (adaptado Tucci *et al* 1995)



VI

DISCUSSÕES E PROPOSTAS

A Tabela 8 apresenta valores teóricos de volumes de escoamento na bacia da Trindade para determinada quantidade de precipitação, salvaguardando as margens inferiores e superiores em função da aplicação da fórmula para a obtenção da variável de Gumbel (intervalo de confiança de 95%), para períodos de retorno entre 2 e 1000 anos. Da análise desta tabela, verifica-se que para precipitações de período de retorno até 20 anos cuja precipitação média está entre os 331 milímetros e 670 milímetros, o volume de escoamento chega a atingir os 3.000.000 de metros cúbicos podendo a altura do escoamento atingir até 2,5 metros. Neste cenário, considerando que a altura média dos canais de drenagem urbana das zonas mais baixas da cidade não ultrapassa 1,40 metros, teríamos boa parte da área adjacente ao canal de escoamento ameaçada de inundação, pois, existem vários elementos expostos ao longo da secção da bacia, que vão desde habitações, duas escolas básicas, uma escola secundária, dois campos de futebol uma praça, uma igreja e duas estradas. A situação seria ainda mais complicada se forem tomadas como referência precipitações médias com valores entre 791 milímetros e 882 milímetros cujo período de retorno é de até 100 anos, o volume de escoamento seria de 6.000.000 de metros cúbicos, chegando a altura de escoamento a atingir valores máximos na ordem dos 4 metros.

Tabela 8 – Análise estatística da Pluviometria (média anual)

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PLUVIOMETRIA						CHEIAS	
Período de retorno	Frequência	Variável de Gumbel	Precipitação Média (mm)	Intervalo de Confiança 95%		Volume Escoamento (m ³)	Altura escoamento (m)
				Margem Inferior (mm)	Margem Superior (mm)		
2	0,5	0,37	331,35	299,11	370,19		
5	0,8	1,50	478,91	430,72	550,24		
10	0,9	2,25	576,60	512,91	674,39		
20	0,95	2,97	670,31	590,58	794,64	3.000.000,00	0.5 - 2.5
50	0,98	3,90	791,62	690,36	951,06		
100	0,99	4,60	882,51	764,82	1068,58	6.000.000,00	2.5 - 4
500	0,998	6,21	1092,56	936,40	1340,65		
1000	0,999	6,91	1182,87	1010,04	1457,73	8.000.000,00	> 5

Para fenómenos de precipitações extremas, cujo período de retorno chega a 1000 anos, a situação seria catastrófica pois, o volume de escoamento seria de 8.000.000 de metros cúbicos, podendo a altura de escoamento ultrapassar os 5 metros.

Deve-se realçar, entretanto, que essas considerações não são de todo descabidas pois que, perante um cenário constante de mudanças nos padrões do clima, a precipitação esperada em um ano, poderá cair em poucos dias ou mesmo horas.

DRENAGEM ARTIFICIAL DAS ÁGUAS PLUVIAIS

À entrada da cidade da Praia, o fluxo hidrológico da bacia da Trindade é canalizada longitudinalmente numa extensão de aproximadamente 4 quilómetro até ao mar por muros de alvenaria em argamassa. Para uma análise mais aprofundada, levantou-se nessa parte dois pontos dos quais foram recolhidas informações das respectivas secções transversais sobre a altura das margens, a largura da secção e a respectiva localização, conforme a tabela 9 a baixo.

Da análise da tabela 9 deve-se realçar que a altura média da margem esquerda é de 1,33 metros e na margem direita não ultrapassa 1,30 metros, enquanto a média de largura dessa secção canalizada é de 40,80 metros.

Tabela 9 – Dimensões do canal de escoamento artificial de 2 pontos na parte canalizada da bacia

PONTOS	ALTURA (M)		LARGURA (M)	LOCALIZAÇÃO	
	Margem Esq	Margem Dir		Latitude	Longitude
P 1	1,70	0,70	50,70	14° 55' 55"	23° 30' 54"
P 2	1,00	1,90	30,90	14° 55' 28"	23° 30' 18"
Média	1,35	1,30	40,80		

Na verdade, a cidade da Praia está localizada a jusante da bacia da Trindade, estando por isso sob influência directa de todo o sistema hidrológico da mesma bacia. Assim, parte da cidade acaba por estar sujeita a riscos de inundações em caso de ocorrência de precipitação capaz de aumentar a altura da água nos canais a valores acima de 1 metro em relação aos canais de drenagem artificial. Neste cenário, o nível de inundações não provoca danos significativos, uma vez que a baixo

desse nível de altitude apenas se encontram algumas habitações e uma escola Secundária.

CARTAS DE LOCALIZAÇÃO DO RISCO

As Cartas de Localização do Risco resultam da sobreposição simples da Carta de Elementos Expostos com a carta de susceptibilidade.

Estas cartas procedem à identificação das áreas de risco sem efectuar a avaliação quantitativa do mesmo. Trata-se de um importante elemento para o planeamento de emergência para as autoridades de nível local e nacional.

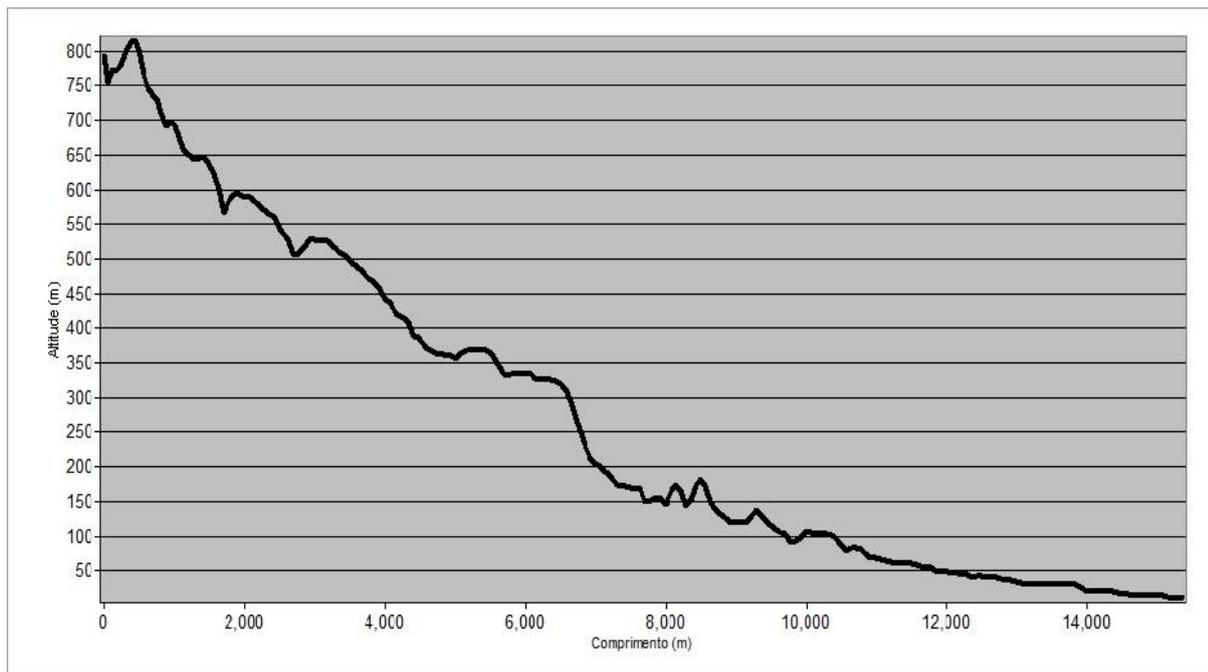
A drenagem é constituída por um conjunto de canais de escoamento, dependendo a quantidade de água que neles circula da dimensão da bacia, da precipitação, da infiltração e das perdas por evapotranspiração. A capacidade dos solos e rochas infiltrarem, reterem e drenarem água, facilitando ou não o escoamento superficial, a percolação e o armazenamento subterrâneo, influenciam os processos da geodinâmica externa e condicionam a ocupação antrópica do espaço físico (Tavares, 1999).

O controlo de inundações em bacias urbanizadas envolve um conjunto de medidas estruturais e não estruturais que vão desde o planeamento do uso do espaço urbano e rural até ao convívio com o problema conforme se viu anteriormente.

A MANCHA DE INUNDAÇÃO

Considerando que no contexto da bacia da Trindade há uma grande variedade nos valores de altitude, o gráfico da figura 24 ilustra o perfil longitudinal de uma secção da bacia da trindade desde Pico de Antónia até a cidade da Praia, chegando ao mar, obtida a partir do Modelo Digital de Terreno através de uma ferramenta de Geoprocessamento, donde se pode aperceber que a altitude máxima atinge os 850 metros enquanto a mínima ronda os 9 metros dentro dos limites da cidade da Praia e 0 metro ao nível do contacto com o oceano Atlântico. De resto, a Altitude diminui de montante para jusante a razão aproximadamente de 50 metros por cada Quilómetro, provocando uma declividade média de 4% na bacia.

Figura 24 – Perfil longitudinal da bacia da Trindade



Por outro lado, conforme se demonstrou anteriormente, apenas aproximadamente 22% da bacia da Trindade apresenta-se coberta por uma vegetação dispersa e arbustiva constituída essencialmente por *Prosipis Juliflora* e, cerca de 5% a 8% da bacia está ocupada com construção de habitações e vias de acesso. Estes dois factores têm interferência limitada no escoamento superficial devido à exiguidade das áreas ocupadas. Basicamente, a bacia apresenta-se constituída por áreas limpas cuja superfície é ocupada por uma geologia originária de rochas magmáticas extrusivas da família dos basaltos cujo potencial de escoamento superficial é bastante elevado.

De realçar que as chuvas em Cabo Verde são do tipo torrencial (em pouco tempo caem “grandes” quantidades) e que o potencial de inundação está associado a chuvas diárias, a conjugação dos factores acima expostos com a área da bacia da Trindade de 2.486 ha e, considerando que o valor médio da precipitação máxima diária é de 58 mm, induzindo a valores de caudal de aproximadamente de 246, m³/s cuja altura de escoamento da cheia atinge 2,60 metros.

A tabela 10 mostra os resultados dos cálculos hidráulicos obtidos pelo cruzamento dos dados de base, conforme apresentado no capítulo III. Assim, os valores do caudal médio de escoamento das cheias para precipitações médias de 58 mm é de 246,3 m³/s provocando alturas de escoamento, em função das características morfométricas da bacia da Trindade, de 2,60 metros.

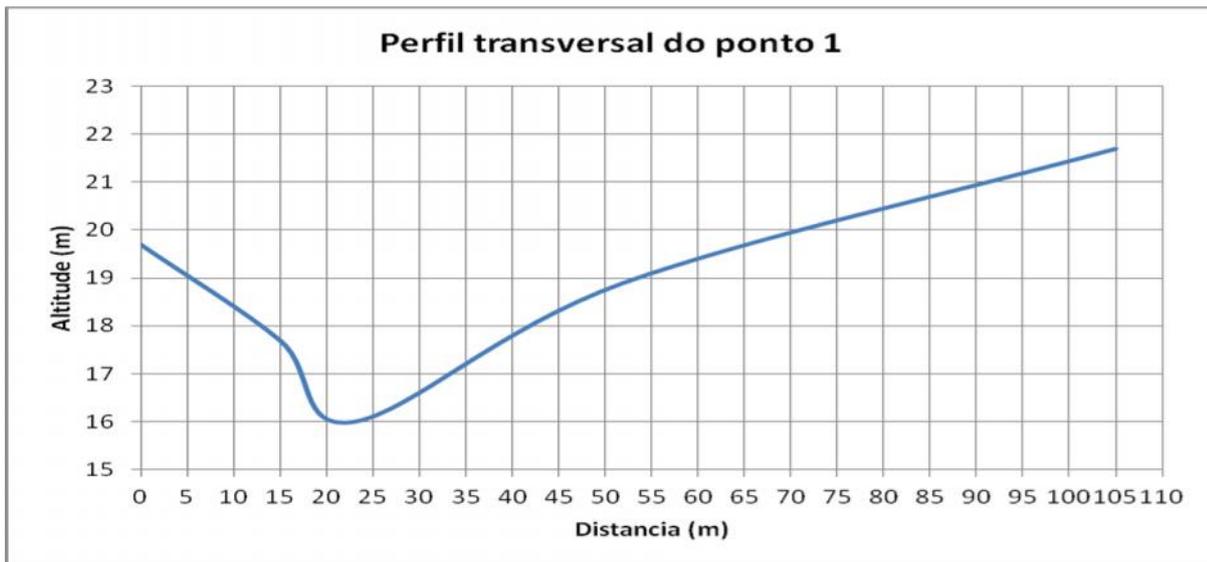
Tabela 10 - Análise estatística da Pluviometria (valores de precipitações máximas diárias)

Período de retorno (Ano)	Pluviometria (mm)	Caudal (m³/s)	Altura Escoamento (m)
Media	58	246,3	2,6
2	89	375,5	3,1
5	133	565,1	3,6
10	163	690,7	3,9
20	191	811,1	4,1
50	228	967	4,4
100	256	1083,8	4,6
500	319	1353,8	5
1000	347	1469,89	5,1

Nas mesmas circunstâncias, caso se verifique precipitações cujo período de retorno seja de 10 anos (163 mm) o caudal será de aproximadamente 565,1 m³/s elevando a altura do escoamento para valores próximos de 3,90 metros, ultrapassando os 1,90 metros da altura máxima do canal de escoamento artificial. Para este caso, toda a área que se localiza a baixo 3,90 metros de altitude será sujeita a inundação e, no ponto 1 essa área constitui a mancha de inundação ilustrada mais a frente.

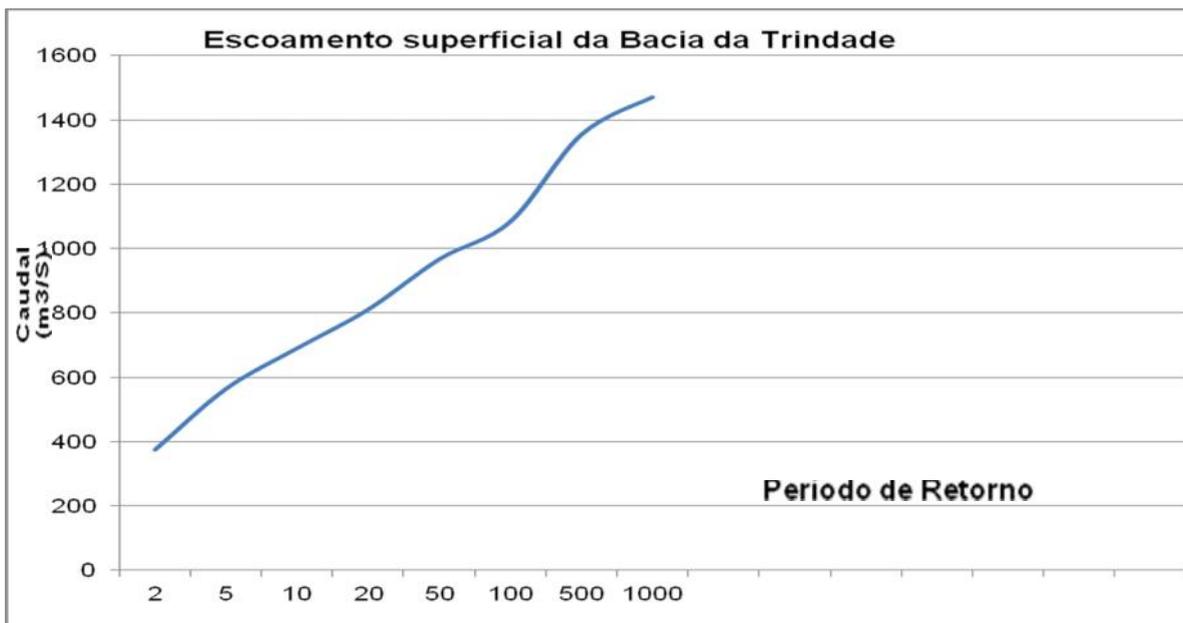
Se tomarmos valores de precipitação de 256 mm correspondente a períodos de retorno de 100 anos, o valor do caudal seria de 1083,8 m³/s e a altura de escoamento seria de 4,60 metros. Neste caso, a área localizada abaixo desta altura no ponto 1 seria inundada pois, o gráfico da figura 25 que resulta do corte transversal feito no ponto 1 com base na carta topográfica cuja equidistância das curvas de nível é de 2 metros mostra que a altura máxima do canal de escoamento natural não chega a 4 metros, coincidindo já com parte da cidade ocupada por habitações, equipamentos sociais e vias de acesso.

Figura 25 – corte transversal do ponto 1



Entretanto, o gráfico da figura 26 obtido a partir do cruzamento dos dados de caudais resultantes de precipitações em função dos períodos de retorno presentes na tabela 10 acima demonstra os caudais que se formam. No caso extremo de precipitações de 347 mm diários, correspondentes a períodos de retorno de 1000 anos, observa-se caudais de aproximadamente 1500 m³/s, cuja altura da água poderá ultrapassar os 5 metros. Neste cenário, a situação das áreas localizadas abaixo desta altitude sofreriam graves inundações.

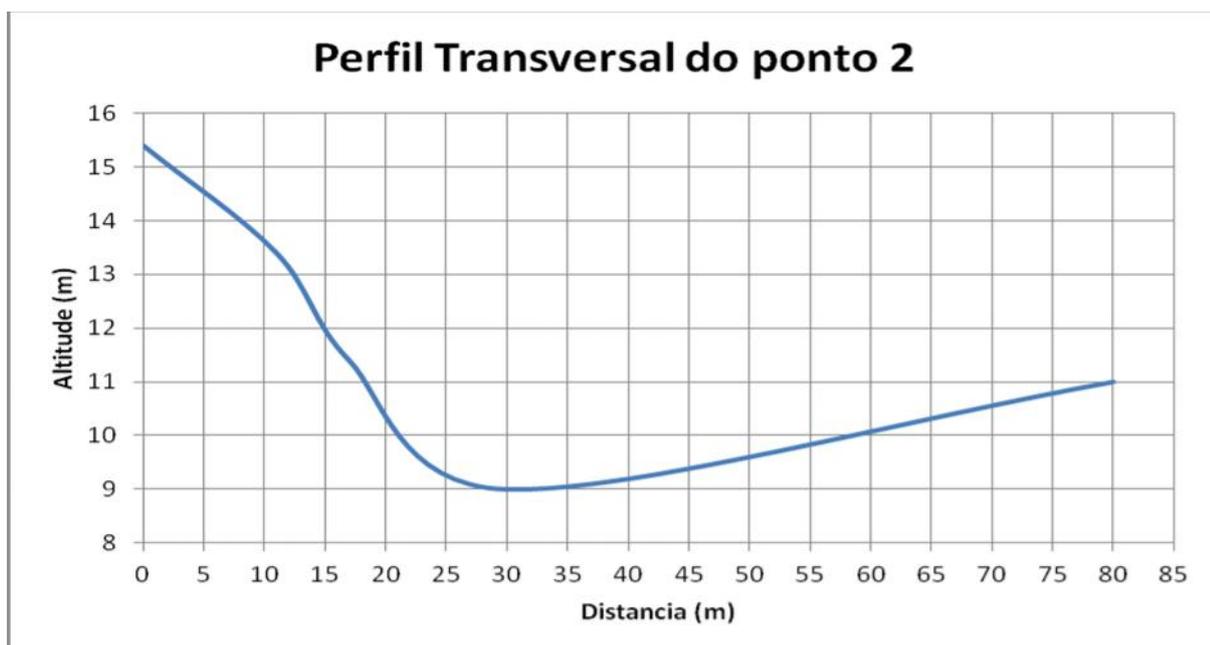
Figura 26 – Curva do Escoamento Superficial em função do Caudal



No ponto 2, o risco de inundação apresenta-se em proporções superiores ao do ponto 1 pois que, para além das contribuições de toda a área da bacia da Trindade, deve-se considerar as contribuições das sub-bacias de São Filipe e Ribeira Funda. Entretanto, só o caudal induzido pela bacia da Trindade atinge, como se demonstrou anteriormente, os 246,3 m³/s e a altura de escoamento atinge os 2,60 metros para precipitações médias de 58 mm. De salientar que, para além de habitações privadas, esta área é ocupada por equipamentos colectivos como a Igreja do Templo Maior, uma escola do ensino básico e uma estação de abastecimento de combustível. Em caso de ocorrer precipitações correspondente a período de retorno de 100 anos, toda a área localizada abaixo dos 4,60 metros de altitude seria inundada com prejuízos muito elevados para a sociedade, ainda para mais que, conforme se ilustra pelo corte transversal da figura 27 obtido a partir da carta topográfica com curvas de nível de 2 metros de equidistância, o canal de escoamento, particularmente na margem direita (de montante para jusante), não ultrapassa os 2 metros.

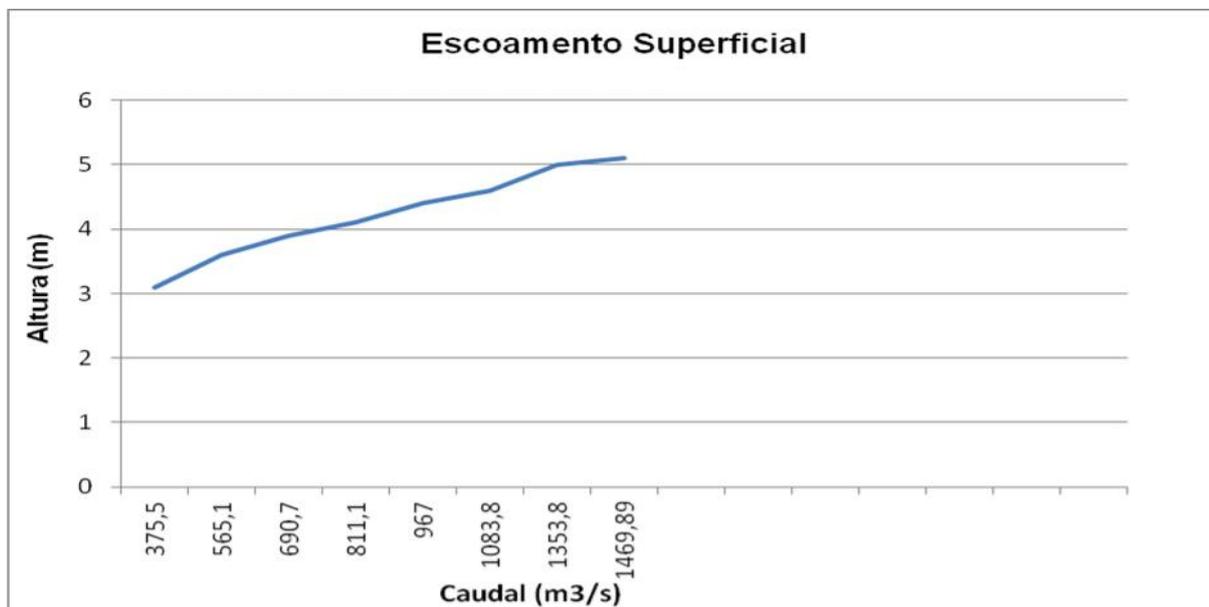
Esses valores de altitude e batimetria resultam da proximidade desses pontos com o mar que se encontra a menos de 2 quilómetros do ponto 2.

Figura 27 – corte transversal do ponto 2



A figura 28 faz a relação entre os caudais resultantes das precipitações máximas diárias em função dos períodos de retorno considerados e a altura do escoamento superficial consequente.

Figura 28 – Altura do Escoamento Superficial em função do Caudal



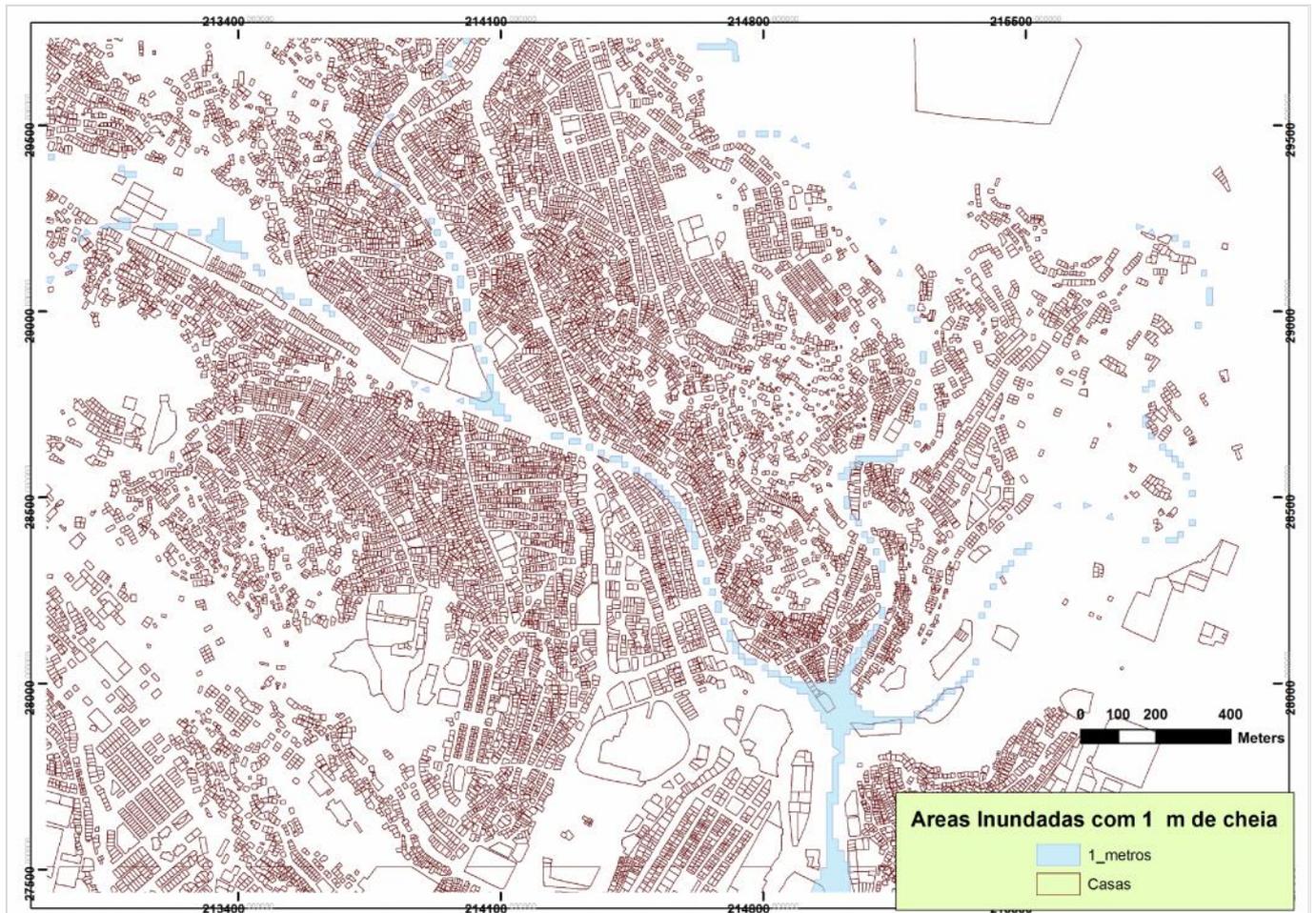
De salientar que as manchas de inundação (Figuras 29 e 30) foram obtidas com base na referida carta topográfica cujas curvas de nível equidistam-se 2 metros, denotando-se um efeito reservatório nas áreas ilustradas.

As inundações com potencial de ocorrência tanto no ponto 1 como no ponto 2 podem ser de dois tipos: “enchentes em áreas ribeirinhas” que, de acordo com a classificação de Tucci *et al* (1995), ocorrem pelo processo natural no qual o curso de água ocupa o seu leito maior, de acordo com eventos chuvosos extremos e, enchentes repentinas ou *flash flood* que são os tipos mais perigosos de inundações, porque combinam o poder destrutivo de uma inundação, associada a uma velocidade incrível e imprevisível. Estas inundações podem acontecer repentinamente sem grandes possibilidades de aviso e as águas da inundação podem alcançar o pico de cheia em apenas alguns minutos.

Precipitações com capacidade de provocar cheias que chegam a 1 metro de altura têm o potencial de inundar algumas áreas que se localizam na parte jusante da

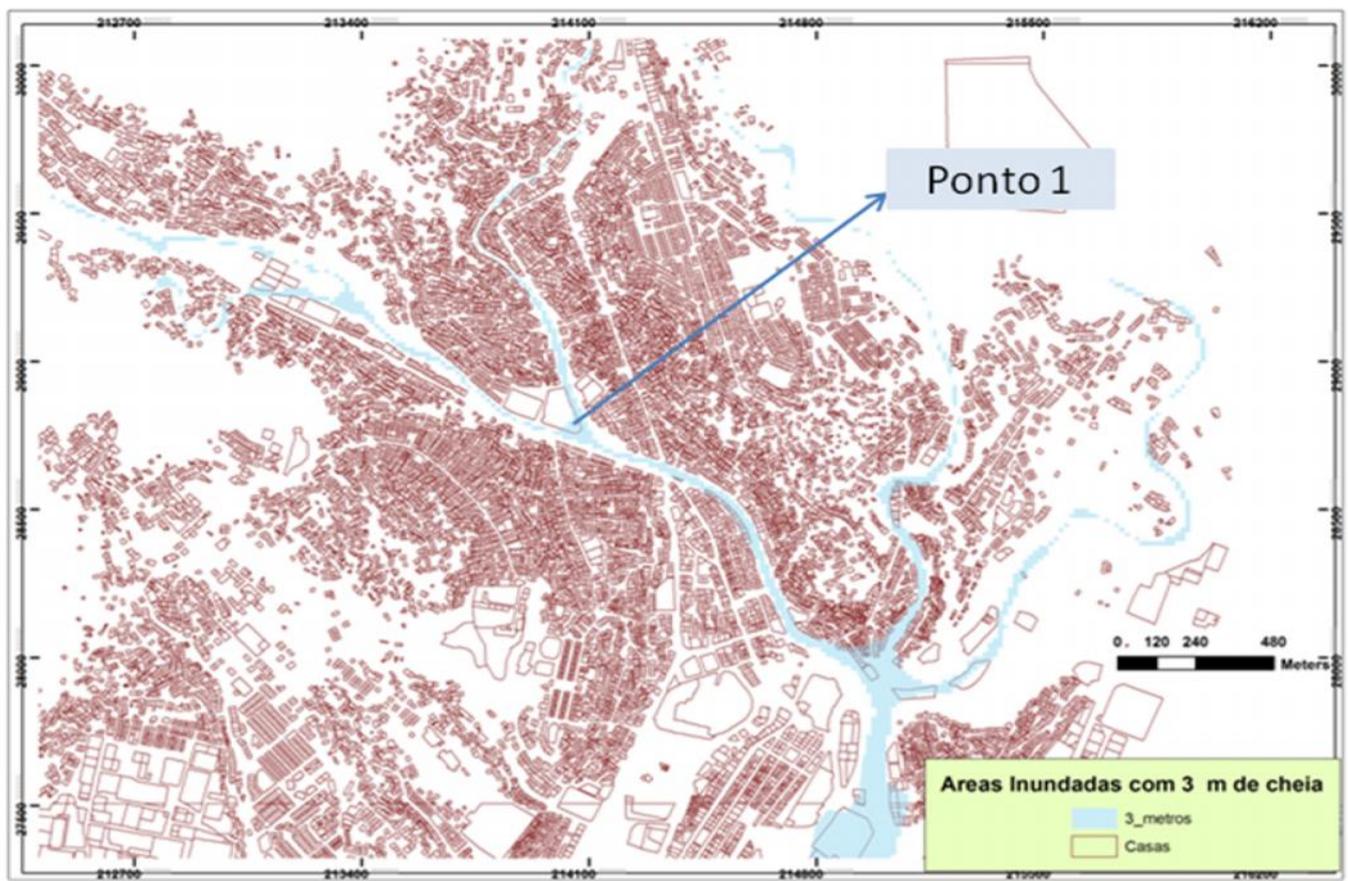
bacia da Trindade. Esta informação pode-se constatar pela análise da figura 29. Como se pode vislumbrar, poucas infraestruturas são inundáveis neste caso, devendo-se realçar entretanto, as que se localizam nos pontos de contacto entre as linhas de água.

Figura 29 – Áreas susceptíveis de inundação com uma cheia de 1 metro na cidade da Praia



Entretanto, se acontecer uma precipitação capaz de provocar um aumento do nível da água para valores próximos dos 3 metros acima do nível dos canais artificiais, o cenário será relativamente diferente, acontecendo níveis de inundação com algum grau de gravidade, pondo em risco algumas habitações, escolas, campos de futebol, estradas, instalações industriais entre outras que se localizam a baixo desse limite, como se pode vislumbrar pela figura 30.

Figura 30 - Áreas susceptíveis de inundação com uma cheia de 3 metro na cidade da Praia



A Figura 31 representa alguns dos elementos expostos com uma subida do nível da água para valores acima dos 3 metros em relação ao nível dos canais artificiais. Para além das habitações, foram destacados alguns equipamentos colectivos como sejam igreja, escolas, campo de futebol entre outros.

Figura 31 – Carta de Risco de Algumas Infra-estruturas Colectivas com subida de 3 metros



As informações reflectidas até esta coincidem com as aportadas pelos habitantes das áreas próximas dos dois pontos levantados. Os habitantes referiram a inundações sistemáticas e com algum espaçamento temporal, indicando áreas acima do canal de escoamento artificial (aproximadamente 1,5 metros) que foram em tempos inundados pelas cheias da ribeira da Trindade. Mais, a população que ocupa essas áreas refere-se também a inundações em momentos em que a cidade da Praia não recebeu grandes quantidades de chuva, facto que se deve à localização da cidade no contexto da bacia, recebendo todo o caudal originado pelas precipitações ocorridas em toda a bacia.

Ainda do contacto com os responsáveis da escola de ensino básico de Calabaceira, apesar de não precisarem datas, reportaram a episódios de inundações da escola e do campo de futebol que como se viu anteriormente localizam-se na área susceptível de inundações próxima do ponto 1 da figura 30.

Mais para jusante, a população da zona de Paiol refere a episódio de inundação de toda a área circundante à Igreja do Templo Maior antes da construção da mesma e da outra escola do ensino básico que ficou completamente alagada no passado recente.

Deve-se realçar que a população responsabiliza as autoridades de gestão do território pelas ocorrências, considerando que as mesmas deveriam tomar as providências necessárias para por cobro a esse tipo de situações que, apesar de não ocorrer anualmente, afigura-se como fonte de preocupação a cada período de chuva que se avizinha. Entretanto, quando confrontada com o facto de construírem as suas habitações no leito de cheia, a população alega falta de informação precisa e alguma permissividade das autoridades que não conseguiram impedir a ocupação de áreas tão vulneráveis. Mais, a população mostra-se receptiva a eventuais programas de reassentamento que possam ser desenvolvidos, desde que se lhes garantam o acesso aos bens e serviços de primeira necessidade.

Uma das consequências das inundações nas áreas urbanas é sem dúvidas o surgimento de problemas associados a doenças, particularmente nos locais confrontados com falta de saneamento básico, como é o caso da parte jusante da bacia da Trindade que coincide com a entrada da cidade da Praia. Esta situação pode provocar surtos de doença de veiculação hídrica como a cólera e a dengue que, no passado recente atingiram Cabo Verde e, as áreas com baixos níveis de saneamento básico foram as mais afectadas.

O acúmulo de resíduos sólidos constitui certamente um problema para a drenagem de águas pluviais pois que, a má qualidade da limpeza urbana e a falta de conscientização da população têm trazido grandes constrangimentos à circulação natural da água das chuvas uma vez que os custos de manutenção dos sistemas artificiais de drenagem se tornam insustentáveis para a Câmara municipal da Praia. No caso da bacia da Trindade, a população que ocupa a parte jusante que coincide com a entrada da cidade, é de baixa renda e, não tem acesso a serviços de recolha de resíduos sólidos e, por conseguinte, a sua forma de evacuação desses resíduos é o despejo na natureza e, nesse caso, o leito de cheia é o local mais utilizado.

A ocupação inadequada das encostas por população de baixa renda na cidade da Praia potencia um conjunto de riscos que vão desde o deslizamento de terras, a formação de poças de água que favorecem o surgimento de vectores de doenças de veiculação hídrica. Por outro lado essa situação não facilita a chegada de infra-estruturas básicas de acessibilidade, de água, esgoto, recolha de resíduos sólidos entre outros.

O sistema de drenagem pluvial da cidade da Praia foi projectado com base da lógica do rápido escoamento para jusante da água precipitada e que chega à cidade através do escoamento superficial. Este modelo, decalcado de outras paragens não se mostra como o mais adequado uma vez que se suporta na transferência do problema para jusante e, tendo em conta que a cidade da Praia se localiza na foz da grande ribeira da Trindade e, inclusive boa parte da cidade se encontra a altitudes muito baixas, estando alguns pontos abaixo do nível do mar, o problema se coloca ainda com maior acuidade. Assim, os fenómenos de inundação que têm acontecido resultam também do baixo nível de escoamento superficial no contexto da cidade devido a baixos valores de declividades.

Várias estratégias mostram-se necessárias para ajudar a solucionar os problemas elencados que não podem ser resolvidos simplesmente com a construção de grandes obras de drenagem. Recentes estudos, realizados principalmente por países desenvolvidos, têm apresentado um novo conceito sobre projectos de drenagem urbana. Trata-se do desenvolvimento sustentável da drenagem urbana cuja pretensão é a aproximação ao máximo do ciclo hidrológico natural. As estratégias de drenagem urbana sustentável incluem as acções estruturais que compreende a componente física ou de engenharia como parte integrante da infra-estruturação, e as acções não estruturais, que incluem todas as formas de actividades que envolvem as práticas de gerenciamento e mudanças de comportamento. O controle da drenagem na fonte pode ser conseguido através de planos de infiltração e trincheiras, pavimentos permeáveis ou reservatórios de detenção. O princípio é manter a vazão pré-existente, não transferindo o impacto da ocupação das encostas para o sistema de drenagem e para as partes mais baixas da cidade. Entretanto, qualquer uma dessas soluções apenas deverá ser

considerada depois de analisados os impactos que a construção das duas barragens e das demais infra-estruturas de conservação de solo e água propostas a montante da bacia têm no escoamento pois, trata-se de infra-estruturas de custos elevados. Por outro lado, será necessário proceder à uma avaliação prévia e comparativa das soluções de controle da drenagem na fonte para se aferir qual ou quais a(s) que melhor se adequem à área de estudo.

Deve-se realçar que a gestão do sistema de drenagem de águas pluviais é feita pela Câmara Municipal da Praia, através do pelouro de Ambiente e Saneamento que, infelizmente é uma estrutura administrativa desprovida de meios, particularmente financeiros, para executar esta tarefa. Por outro lado, a equipa responsável por este sector não está organizada como entidade independente nem tão pouco tem autonomia administrativa e financeira fazendo com que esteja fortemente dependente do orçamento municipal. Naturalmente, isso leva à uma grande fragilidade institucional da estrutura de gestão da drenagem urbana que se reflecte na inadequação e na descontinuidade administrativa, o que implica a ausência de planeamento a longo prazo.

Entretanto, na gestão da drenagem, outras funções importantes do município encontram-se desarticuladas como é o caso da Protecção Civil, voltada para a questão de riscos urbanos, a Fiscalização Urbana, necessária para conter a ocupação de áreas inadequadas e obrigar o cumprimento das leis municipais constantes do Código de Posturas local, do Estatuto dos Municípios de Cabo Verde, do Plano Ambiental Municipal e do Código das Edificações Urbanas que estabelecem os fundamentos básicos e diretrizes de actuação no contexto municipal.

BARRAGEM DA TRINDADE

Inicialmente a Barragem da Trindade foi projectada para ser edificada à entrada da cidade da Praia numa localização com as coordenadas 14°57'57"N de latitude e 23°32'01"W de longitude. Essa projecção de 1992 foi em nosso entender bem conseguida pois, a infra-estrutura iria receber a maior parte do volume de água da grande bacia da Trindade incluindo a água das sub-bacias da Trindade e de Laranjo. Por outro lado, a geologia de encaixe é adequada pois que se trata de uma área com boa capacidade de receber e agregar o betão armado e, de baixa infiltração. Essas características aliadas à geomorfologia que se caracteriza por uma extensão significativa para servir de albufeira para a pretensa barragem, afiguram-se como condições adequadas para a construção deste tipo de infra-estruturas.

A única Infra-estrutura que ficaria em perigo seria uma pequena estrada de penetração para aceder às localidades do meio rural do município da Praia. Entretanto, os impactos sócio-económicos da perda dessa via não seriam muito significativos pois, existem outras vias alternativas de acesso às mesmas localidades. De resto, ainda hoje, essa não é a mais utilizada via para aceder ao interior do município.

Deve-se ter em consideração que a área imediatamente a jusante da proposta para a edificação da barragem é altamente vulnerável a fenómenos de enchentes pois, como se pode ver pelas imagens recolhidas no âmbito do desenvolvimento desta dissertação, existem assentamentos humanos na margem da ribeira, logo a seguir à confluência das duas principais sub-bacias da bacia da Trindade (Trindade e Laranjo). E, por se tratar de uma zona próxima da entrada da cidade, se houvesse a redução dos riscos hidrológicos, seria uma área muito mais intensamente ocupada.

Uma outra vantagem da área escolhida tem a ver com a sua proximidade a áreas com potencial para a produção agro-silvo-pastiril possibilitando o desenvolvimento de uma cintura verde à volta da cidade da Praia com a mobilização da água através da barragem. Considerando a baixa produtividade agrícola do país e do município da Praia em particular, via-se na altura, pelo menos da parte dos técnicos, na

barragem da Trindade uma grande potencialidade para se reforçar a produtividade agro-silvo-pastoril e reforçar o abastecimento do mercado com produtos frescos.

Hoje não seria razoável pensar-se na construção da barragem na mesma área proposta em 1992 pois, o espaço projectado para servir de albufeira da barragem está muito ocupado (cerca de 1400 famílias em 1254 habitações). Avançar na mesma área, seria necessário desenvolver um grande projecto de reassentamento humano para as famílias aí residentes e, se considerarmos o facto de serem famílias com uma média de 4,5 pessoas, estaríamos a falar de habitações de 3 a 4 assoalhadas, cujas casas sociais custam em média \$45.000 (quarenta e cinco mil Dólares Americanos) sem contar com o preço do terreno que está a volta de \$100 (cem Dólares Americanos) por metro quadrado. Portanto, para além do custo da própria barragem, seriam necessárias mais avultadas somas de recursos para se avançar com um processo de reassentamento humano.

Assim, mais adiante neste estudo, propomos a procura de alternativas à barragem da Trindade pois, apesar dos argumentos apresentados no parágrafo anterior, continuam os riscos de grandes enchentes com ameaças para os assentamentos localizados nas imediações do leito menor de cheia e do leito maior. Por outro lado, ainda está por se aproveitar a grande oportunidade de se desenvolver uma área verde produtiva peri-urbana.

Considerando que a bacia da Trindade é alimentada pelas duas principais sub-bacias da Trindade e Laranjo, propomos que se avance com a retenção da maior parte do volume de água transportadas ao nível dessas duas sub-bacias.

SUB-BACIA DA TRINDADE

Esta é a principal sub-bacia do sistema hidrológico da bacia da Trindade. A sua contribuição em termos hidrológicos é a maior em relação ao todo da bacia em termos de volume de água transportado, desde logo por ser a maior de todas as sub-bacias. Propõe-se que se avance com a construção de uma barragem com as na seguinte localização 14°56'57"N de latitude e 23°33'24"W de longitude (Figura 32).

Figura 32 – Área proposta para a localização da barragem da sub-bacia da Trindade

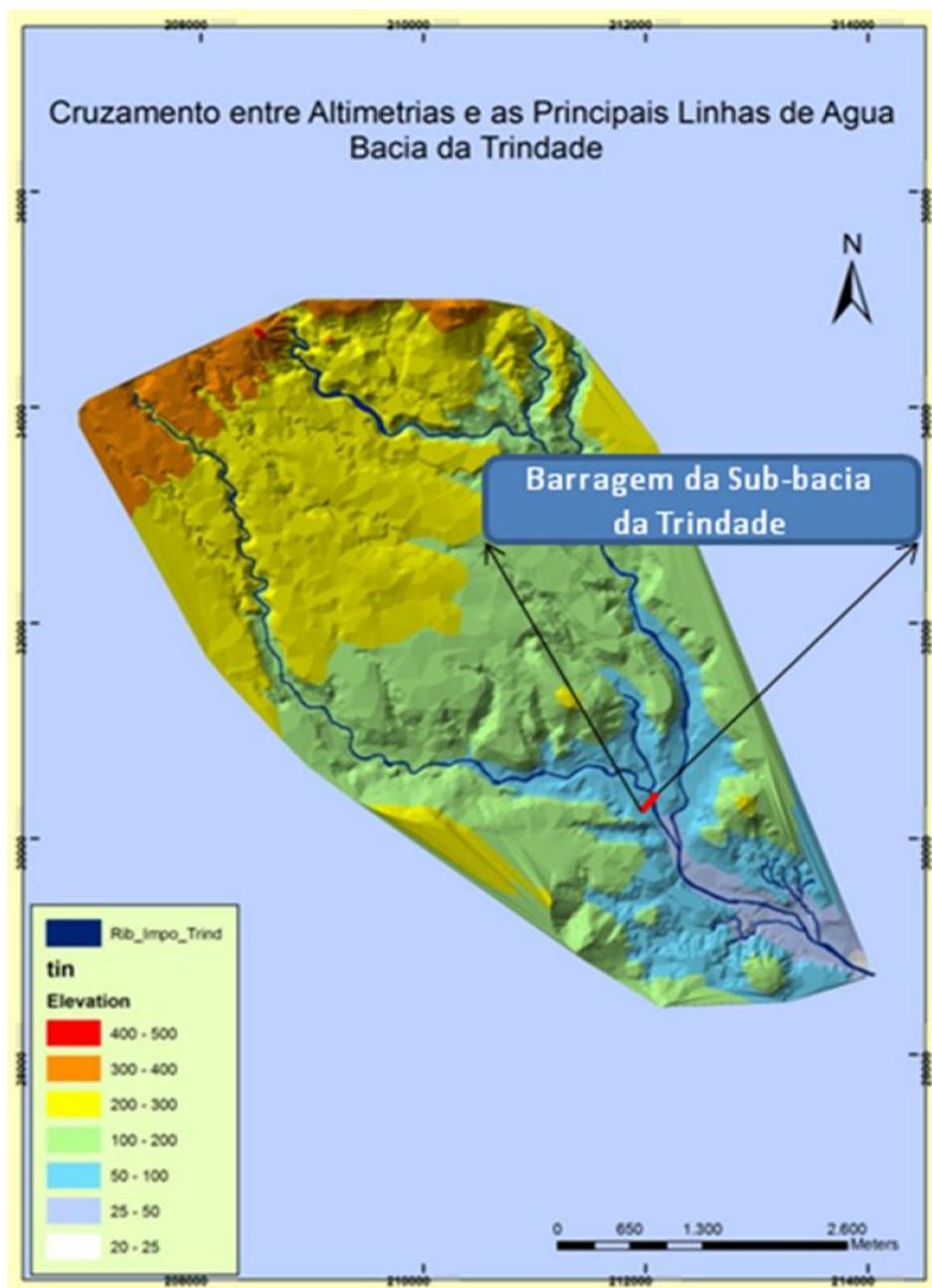


Essa medida estrutural, deverá ser acompanhada de outras intervenções de carácter também estrutural, como o reforço do coberto vegetal da sub-bacia. A cobertura vegetal é uma das grandes condicionantes do escoamento superficial. Uma bacia com cobertura vegetal terá picos de cheias reduzidas, assim como será menor o volume de escoamento superficial. Um benefício adicional é a reduzida erosão e produção de sedimentos que irão se depositar para jusante, diminuindo a sua capacidade de escoamento. Outras medidas estruturais que deverão acompanhar a construção da barragem da sub-bacia da Trindade são as infra-

estruturas de conservação de solo como são os casos de arretos, banquetas, diques entre outras.

Do ponto de vista geomorfológico, pode-se vislumbrar que se trata de uma área com boas condições de encaixe para a construção de uma barragem, pois diz respeito à uma zona de fechamento de toda a largura da sub-bacia que, logo a seguir volta a abrir-se como se pode ver pela figura 33.

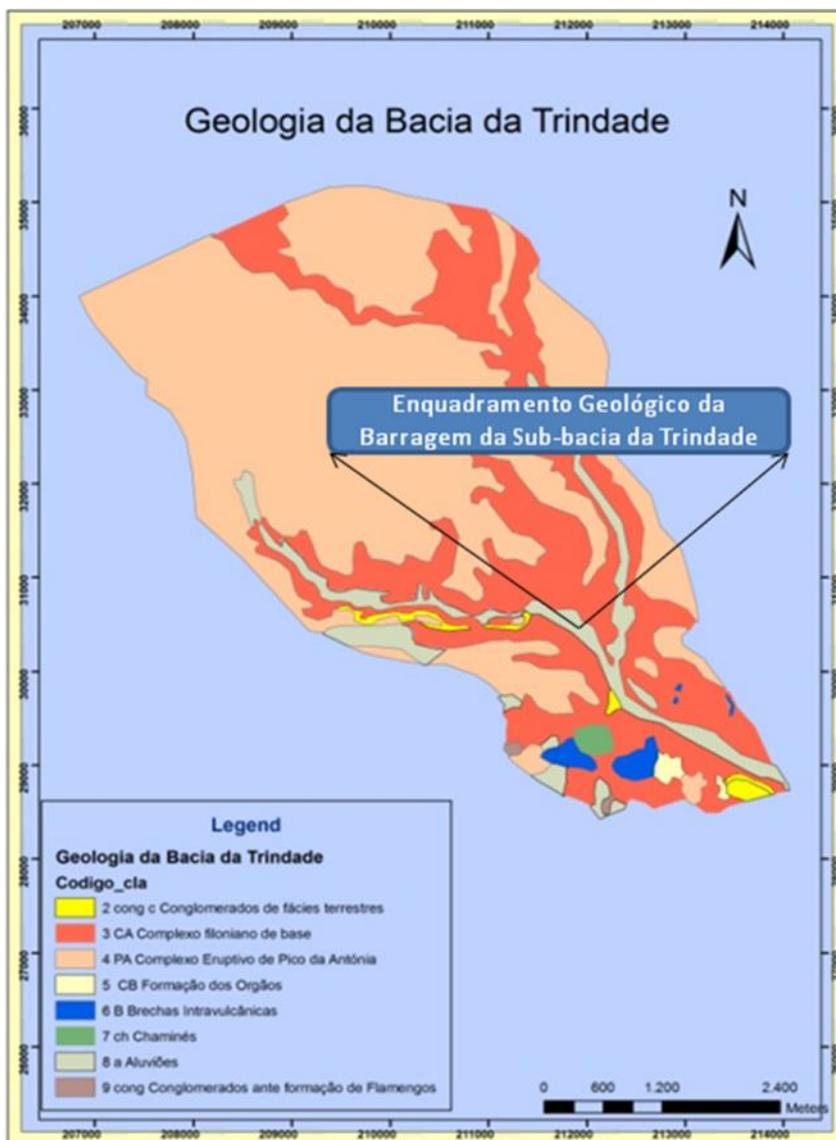
Figura 33 – Enquadramento geomorfológico da barragem da sub-bacia da Trindade



Note-se que, tanto para montante como para jusante da área proposta estão localizadas as mais baixas altitudes com potencialidades para valorização agro-silvo-pastoril. Mais, a área proposta constitui-se na confluência das duas principais linhas de água dessa sub-bacia, reforçando a sua capacidade de recepção de água.

Do ponto de vista geológico, para lá da cobertura aluvionar, pode-se notar que se trata de uma área dominada pelas formações basálticas do complexo filoniano de base. São formações geológicas com boa capacidade para receber infra-estrutura do tipo pois que são caracterizadas por grande consistência e baixa infiltração, ilustrado pela figura 34.

Figura 34 - Enquadramento geológico da barragem da sub-bacia da Trindade



A vantagem de se construir uma barragem nessa sub-bacia seria desde logo a supressão de parte significativa do volume de água que chegaria à área urbana ocupada e, se for acompanhado das outras infra-estruturas propostas estaria a contribuir também para o reforço da capacidade de infiltração a montante, com impactos directos na recarga dos aquíferos. Por outro lado, existe uma extensa área não ocupada dentro dessa sub-bacia e nas suas encostas com potencialidade para a produção agrícola tanto a montante como a jusante da área proposta.

Essa barragem daria um grande contributo em dois sentidos, se levarmos em conta que para além de diminuir o fluxo de água que chega à parte da cidade vulnerável à inundaçã, contribuiria ainda para que a cidade da Praia reforçasse a produção de água para o abastecimento às populações e a produção agrícola para garantir a abastecimento do mercado.

SUB-BACIA DE LARANJO

Com o mesmo propósito de reduzir o volume de água que chega a cidade da Praia, em conjugação com a barragem da sub-bacia da Trindade, propõe-se a edificação de uma outra barragem na sub-bacia de Laranjo.

A proposta com as seguintes coordenadas, 14°58'06" N de latitude e 23°32'03" W de longitude, localiza-se numa zona de fechamento desta sub-bacia, conforme se pode ver pelas figuras 35 e 36.

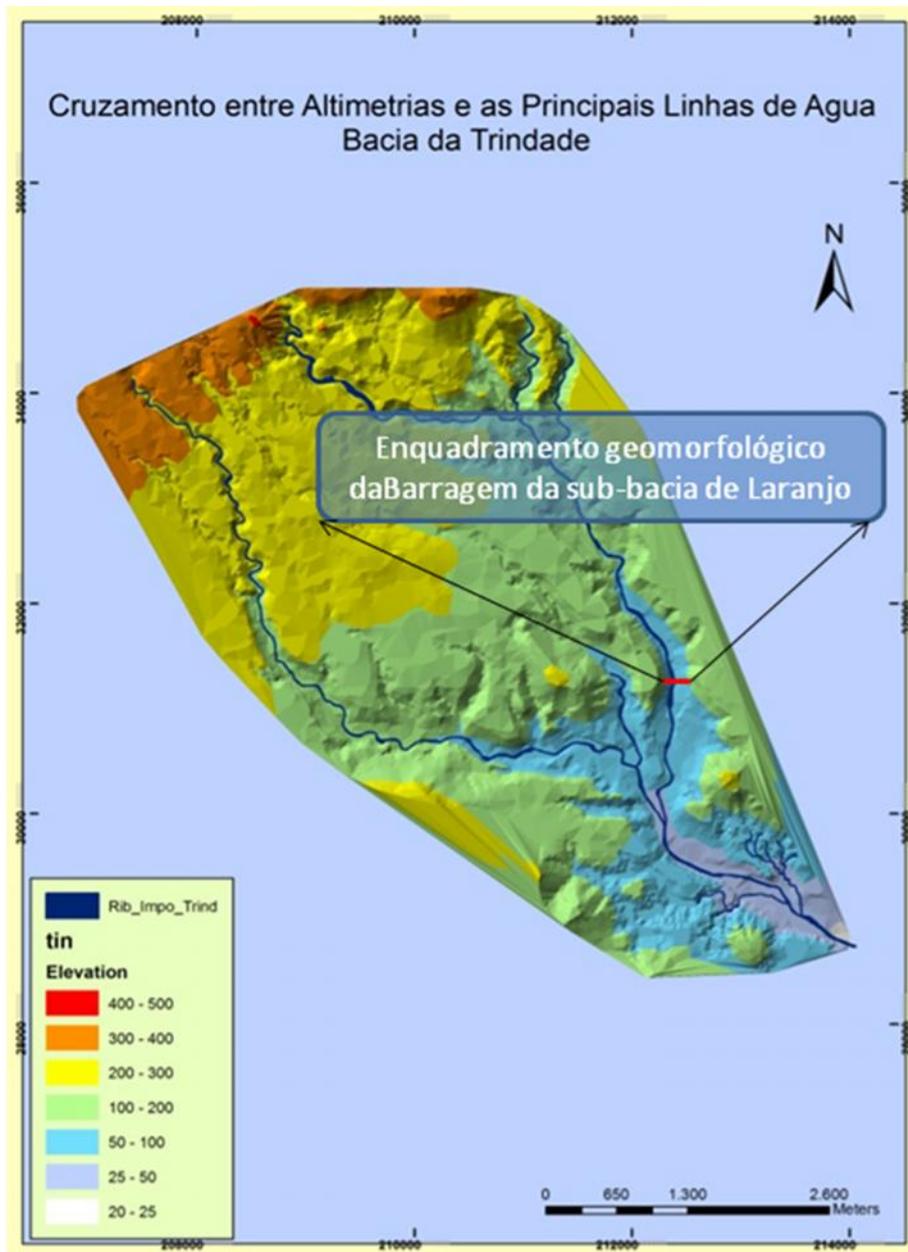
Figura 35 – Área Proposta para a localização da barragem da Sub-bacia de Laranjo



Do ponto de vista geomorfológico, esta localização mostra-se adequada pois, por se tratar de uma zona de fechamento da sub-bacia, os custos com a edificação desta barragem apresentar-se-iam bastante reduzidos, garantindo uma boa altura à infraestrutura e, uma bacia de recepção com dimensão para reter grande volume de água.

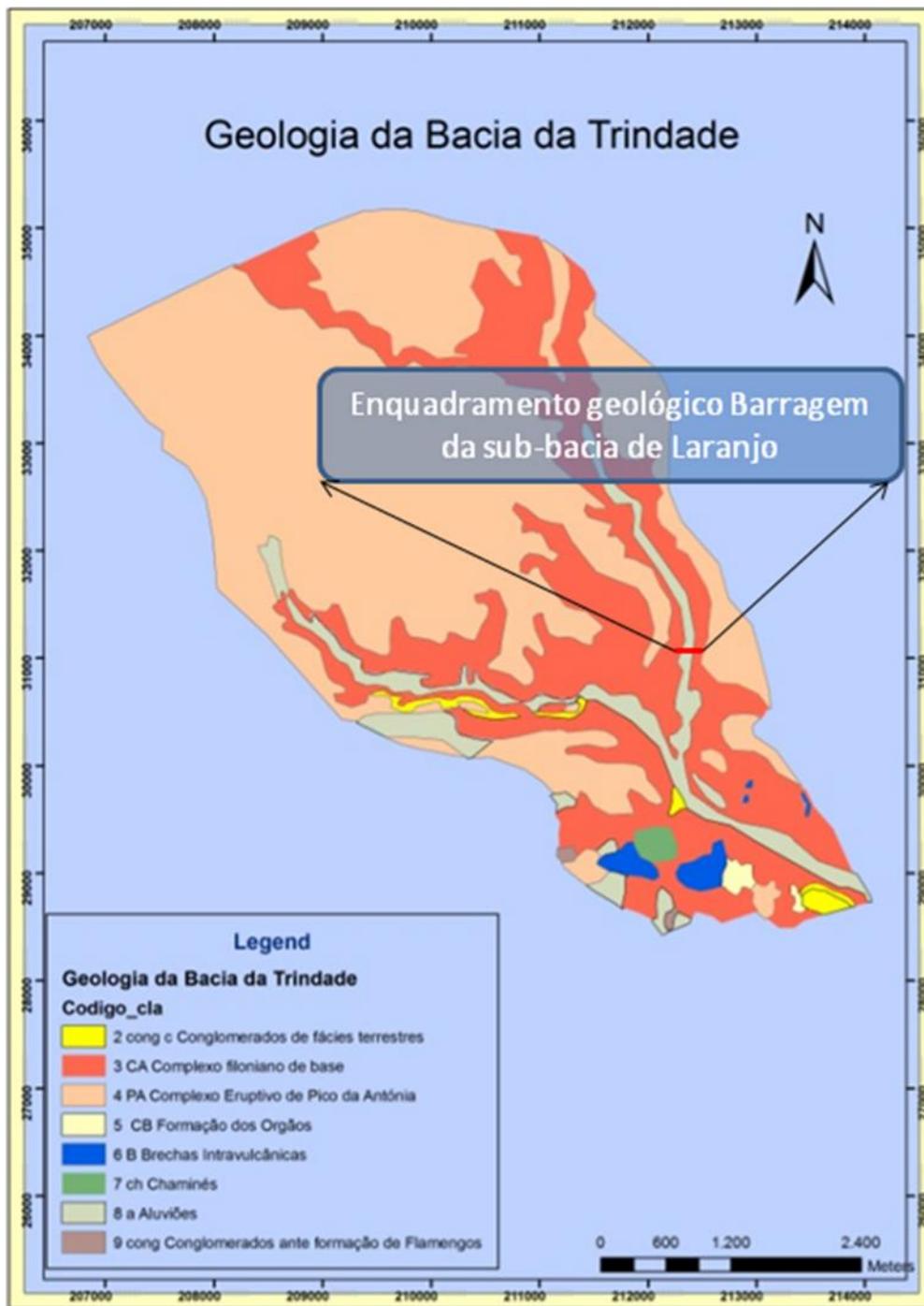
A figura 36 ilustra o enquadramento geomorfológico da zona proposta para a localização da barragem da sub-bacia de Laranjo, numa área cuja altitude máxima ronda os 100 metros.

Figura 36 – Enquadramento Geomorfológico da barragem da Sub-bacia de Laranjo



Do ponto de vista geológico, para lá da cobertura aluvionar, pode-se notar que, à semelhança da sub-bacia da Trindade, se trata de uma área dominada pelas formações basálticas do complexo filoniano de base (Figura 37).

Figura 37 – Enquadramento Geológico da barragem da Sub-bacia de Laranjo



São formações geológicas com boa capacidade para receber infra-estrutura do tipo pois que são formações que, como já se disse, de grande consistência e de baixa infiltração.

À semelhança da barragem da Sub-bacia da Trindade, a barragem da sub-bacia de Laranjo deverá ser acompanhada de um leque de outras infra-estruturas de conservação de solo e água a montante como sejam arretos, banquetas, diques e caldeiras, bem como do reforço da arborização. Essas medidas estruturais, permitirão diminuir a erosão do solo bem como o reforço da infiltração e escoamento da água no subsolo, com impacto directo na recarga dos aquíferos que poderão ser aproveitados para melhorar a capacidade de oferta de água potável à cidade da Praia. Por outro lado, essas medidas serão condicionantes do escoamento superficial, reduzindo os picos de cheia e o próprio volume de escoamento.

VII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

CONCLUSÕES

Os riscos hidrológicos associados à bacia da Trindade são neste momento bastante importantes quando se consideram os dados dos cálculos hidrológicos para períodos de retorno acima de 50 anos pois, os níveis de inundações seriam tais que punham em risco habitações e infra-estruturas na cidade da Praia localizadas na zona a jusante da bacia.

Os problemas relacionados com as inundações na cidade da Praia tendem a aumentar cada vez mais e, particularmente num contexto de instabilidade climática e de crescimento desordenado da malha urbana.

A falta de planeamento e a ausência de uma gestão integrada dos recursos hídricos na bacia hidrográfica da Trindade são factores que contribuem potencialmente para um aumento nos prejuízos associados a evento chuvoso. É importante ressaltar que, as soluções para a protecção e o controlo das inundações devem ser incorporadas no Plano Director Municipal através de Planos Directores de Drenagem.

Os mapas de inundações constituem-se como instrumentos privilegiados de diálogo entre as autoridades e as populações que, nem sempre conseguem perceber a bacia hidrográfica como um todo, onde o sistema hidrológico desempenha um papel central.

As medidas não-estruturais devem ser priorizadas na abordagem a problemas de inundações mas, quando da necessidade de obras estruturais extensivas devem ser levadas em consideração não apenas seu aspecto técnico, mas, sobretudo, os aspectos ambiental, social e económico.

A vegetação tem muito pouca influência no escoamento superficial pois que não ultrapassa os 22% de cobertura do solo no contexto da bacia da Trindade.

Da mesma forma, não se pode considerar que a urbanização influencia muito o escoamento superficial pois que, apenas uma pequena parte da bacia (parte jusante) se encontra ocupada por construções humanas.

Tendo em consideração que as maiores declividades se localizam na zona de montante da bacia da Trindade, depreende-se que este factor influencia o escoamento superficial dado que a diferença de declividades chega a ser em alguns casos superiores a 45%. Isso contribui para acelerar o escoamento, com impactes na zona localizada a jusante. Mais, essas diferenças de valores das declividades chegam a ser em áreas não muito grandes, acentuando ainda mais os impactes.

As soluções para a mitigação dos problemas associados às inundações para a zona localizada à jusante da bacia da Trindade passam pela implementação de medidas estruturais a montante da mesma. De acordo com os estudos e resultados apresentados, percebe-se a necessidade da integração entre medidas estruturais e não-estruturais de forma tal que possa garantir a eficácia e sustentabilidade dessas medidas quando da sua implementação.

Das medidas estruturais propostas, realçam-se as barragens das sub-bacias de Laranjo e Trindade enquanto solução para o amortecimento da vazão. De factos, em se tratando de duas infraestruturas cujo dimensionamento técnico deverá ser alvo de estudo específico pois, exerceriam uma função de reservatório da água de circulação superficial, reduzindo sobremaneira o volume de água que chegaria a parte jusante da bacia da Trindade, onde se localiza a cidade da Praia.

Com a construção desses dois principais reservatórios de água de escoamento superficial, conjugada com as demais acções como a construção de pequenos diques e outras infra-estruturas rurais de retenção de água e com a fixação de essências florestais nas encostas, prevê-se a redução dos caudais de pico que irá se reflectir na redução dos riscos de inundação dos bairros da cidade da Praia localizados a jusante da bacia da Trindade.

Mais, se se tomar como referência precipitações na ordem dos 256 mm diários capazes de ocorrerem com período de retorno de 100 anos e gerando caudais acima dos 1000m³/s (tabela 10), e sabendo que as precipitações em média ocorrem em poucas horas de duração, tomando a localização proposta para as duas barragens que juntas acabam por contemplar a área de recepção de precipitação da maior parte da bacia da Trindade, deve-se prever reservatório de capacidades suficientes que poderiam reduzir o caudal de escoamento superficial a valores tal que teriam impactos muito reduzidos sobre a parte jusante da bacia.

Por outro lado, esta retenção de água a montante da cidade da Praia, permitiria o seu aproveitamento para a prática de agricultura na cintura peri-urbana, criando assim alternativas de emprego para as famílias de baixa renda que aí vivem.

Os resultados apresentados, através dos mapas gerados, podem contribuir, através de um melhor aproveitamento de outras informações existentes, para uma maior precisão e agilidade dos processos que envolvam estudos sobre inundações urbanas. Desta forma, o material produzido poderá servir como mapeamento básico para estudos posteriores a serem realizados, visando melhor detalhar as informações existentes ou a serem levantadas, inclusive de forma sectorizada, com o intuito de melhorar a qualidade de vida das pessoas que vivem a jusante na bacia da Trindade.

O produto deste trabalho poderá funcionar como um instrumento que, associado a políticas públicas eficientes poderá gerar resultados bastante satisfatórios. Para tanto, além da minimização de danos, deve-se dar atenção à adopção de medidas de protecção e controlo compatíveis com a realidade local considerando seus aspectos ambientais, sociais e económicos.

Deve-se ter presente que a ocupação de áreas de risco é feita geralmente por indivíduos de menores condições financeiras e, por isso, as intervenções propostas garantem um crescimento sustentável e conseqüente melhoria da qualidade de vida para as gerações futuras.

Apesar da convicção de que algumas regiões sejam aparentemente seguras em termos de riscos de enchentes, é importante realçar que a acumulação de lixo associada a má drenagem superficial do terreno pode contribuir para o agravamento dos problemas de enchentes ao longo do tempo, ainda para mais que na cidade da Praia as áreas abrangidas com sistemas artificiais de drenagem urbana, durante o período seco, são utilizadas pelas pessoas para depositarem resíduos sólidos.

A bacia da Trindade, pela sua dimensão e contributo para fenómenos de enchentes, deveria ser alvo de uma abordagem integrada e sistémica de modo a se conhecer melhor o comportamento hidráulico no seu interior e, delinear um plano de intervenção que permita minimizar os impactos negativos desse tipo de fenómenos sobre as populações com base em estudos aprofundados que permitam o dimensionamento do conjunto das infra-estruturas a serem construídas.

RECOMENDAÇÕES

A bacia hidrográfica da Trindade, por ser a de maior influência em termos hidrológicos sobre a cidade da Praia, deveria merecer uma atenção especial das autoridades centrais e locais, realizando mais estudos de caracterização geofísica e hidrológica para permitir o seu melhor conhecimento pois, a parte jusante da bacia da Trindade, à entrada da cidade da Praia, é um local com muitas dificuldades e ocupado essencialmente por construções não planeadas e uma população com baixos níveis de rendimento.

Como recomendação para trabalhos futuros fica a elaboração dos mapas de inundação mais detalhados que possam ser apresentados às populações como parte de um programa de sensibilização e preparação para fenómenos de enchentes.

A instalação de mais estações de recolha de dados pluviométricos poderá reforçar a consistência dos mesmos, pelo que uma atenção especial deverá ser dispensada a esse quesito. Deve-se também investir em estações de recolha de dados de vazão nas sub-bacias que compõem o sistema hidrológico da bacia da Trindade.

Recomenda-se ainda exercícios de simulação para as populações residentes em áreas de risco de inundação de modo a prepará-las para a ocorrência de fenómenos extremos.

Recomenda-se o reforço da vegetalização das encostas de toda a bacia hidrográfica da Trindade de modo a reduzir os impactos do *splash* e da escorrência superficial que resultarão na redução dos caudais que circulam nos cursos de água principais, minimizando assim os efeitos da erosão hídrica.

Por este estudo se tratar de um trabalho de âmbito académico, cujo intuito é a apreensão da metodologia, finalmente recomenda-se que trabalhos mais aprofundados se façam para permitir abordagens mais detalhadas que possam sustentar com rigor a tomada de decisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO P. M. – Planeamento Urbano Sustentável – Caleidoscópio Edições e Artes Gráficas, SA, Portugal, 2009 – 3ª Edição;

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N.O.; RAMOS, M.H.D.; CHAMPS, J.R.B. – Aspectos da Evolução da Urbanização e dos Problemas de Inundações em Belo Horizonte. Drenagem Urbana: gerenciamento, simulação, controle. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, p. 129-138. 1998;

BARBOSA F. – Medida de Protecção e Controle de Inundações Urbanas na Bacia do Rio Mamanguape/PE, Paraíba, 2006;

BORGES M.; VIEIRA J.; RIGA A. – “Taiti” – Diagnóstico Ambiental e Geotécnico *in* Interioridade/Insularidade Despovoamento/Desertificação, Centro de Estudos Ibéricos, Guarda, Portugal, 2011, p. 207-222;

BUCHIANERI, V.C. – Geração da série histórica de vazão por meio do modelo SMAP: subsídio para o plano de manejo da bacia do Rio Grande de Ubatuba. Piracicaba, 2004. 124p. Dissertação (Mestrado - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”). Universidade de São Paulo. 2004;

CANHOLI A. – Drenagem Urbana e Controle de Enchentes, Oficina de Textos, São Paulo, 2005;

GOMES M.; CORREIA N. – Localização e Estudos de Sítios de Construção de Barragens em Cabo Verde, Ministério do Ambiente, Desenvolvimento Rural e dos Recursos Marinhos, Praia, 2010;

CENTRO INTERNACIONAL DE MÉTODOS NUMÉRICOS EN INGENIERÍA – Curso Internacional de Hidrología Subterránea – Barcelona, 1991;

CNAG – Política Nacional de Saneamento, Concelho Nacional da Água, Praia, 2007;

CNAG/INGRH – Visão Nacional sobre a água, a vida e o ambiente no horizonte 2025, Concelho Nacional da Água, Praia, 2000;

CORREIA N. – Projecto Hidrológico-hidráulico – Sistema de Drenagem das Águas Pluviais da Encosta de Vila Nova, Câmara Municipal da Praia, Praia 2010;

CHURCHILL A. – Rural Water Supply and Sanitation – World Bank, Washington, 1997;

ENOMOTO C. – Método para a Elaboração de Mapas de Inundação – Estudo de Caso na Bacia do Rio Palmital, Paraná, 2004. Dissertação de Mestrado;

KOBIYAMA M., *et al* – Recursos hídricos e saneamento – Curitiba: Ed. Organic Trading, 2008;

LABORATOIRE DE GÉOLOGIE DYNAMIQUE ET APLIQUÉE – L'Hydrologie de l'Afrique de l'Ouest – 2^{ème} édition, Coopération Française, 1990;

LENCASTRE A., FRANCO M. F. – Lições de Hidrologia – Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2006 – 3^a Edição;

MORUZZI, R. – Avaliação da aptidão para a ocupação urbana: Um estudo de caso a partir de condicionantes geomorfológicos e hidrológicos, 2008;

ROSS, J. (2001) – “Inundações e deslizamentos em São Paulo. Riscos da relação inadequada sociedade-natureza“, *Territorium*, 8, Minerva, Coimbra, p. 15-45;

SILVA, R.M. – Previsão hidrossedimentológica numa bacia periurbana através do acoplamento de modelos climáticos e hidrológicos. João Pessoa, 2005. 171p. Dissertação (Mestrado - Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, 2005;

SILVEIRA, A. – Hidrologia Urbana no Brasil, Artigo científico;

SMITH, R. E.; CORRADINI, C.; MELONE, F. – Modeling infiltration during complex rainfall sequences. *Water Resources Research*, 30 (10), p. 2777-2784. 1994;

TUCCI, C. E. M., SILVEIRA, A. L. L., GOLDENFUM, J. A., GERMANO, A. Inundações e drenagem Urbana nos Países da America do Sul; Brasil In: Inundações urbanas na America do Sul ed.Porto Alegre : ABRH, 2003, v.1, p. 275-324;

TUCCI C., SILVEIRA A. – Gerenciamento da drenagem urbana, Artigo científico, 2001;

TUCCI C. – Inundações Urbanas – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007 – 1ª Edição;

VIVACQUA M. – Qualidade da Água do Escoamento Superficial Urbano – Revisão Visando o Uso Local / São Paulo, 2005;

LIMA G., BOLDRIN R., MENDIONDO E., MAUAD F., – Análise de Incertezas de Observações Hidrológicas e sua Influência na Modelagem de Pequenas Bacias Urbanas - Departamento de Hidráulica e Saneamento — EESC/USP, 2007;

KLIR, G. Inductive Systems Modeling: An Overview. In: Elzas, M.; Ören, T.; Zeigler (ed.) *Modeling and Simulation Methodology*. Elsevier Publ. – North Holland (1989);

TUCCI C., CLARKE R. Impacto das Mudanças da Cobertura Vegetal no escoamento: Revisão *in* RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 2 n.1 Jan/Jun 1997, 135-152.