

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N° 65/4: 703-716
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

SIMULAÇÃO DE MAPEAMENTO DE RISCOS DE INUNDAÇÕES USANDO DADOS LIDAR: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO UNA - PE

*Simulation of Flood Risk Mapping Using Data Lidar: A Case Study of
River Basin Una - PE*

**Rafael Costa Cavalcanti; João Rodrigues Tavares Junior &
Ana Lúcia Bezerra Candeias**

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Departamento de Engenharia Cartográfica

Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife – PE
2° Andar do Centro de Tecnologia e Geociências. CEP 50.670-901
rafaelcc85@yahoo.com.br, joaoufpe@gmail.com, analucia@ufpe.br

Recebido em 06 de outubro, 2012/ Aceito em 09 de dezembro, 2012

Received on October 06, 2012/ Accepted on December 09, 2012

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia para o mapeamento de áreas de risco de inundação usando Modelo Digital de Elevação obtido com LiDAR (*Ligth Detection and Ranging*), imagem RAPIDEYE, mapas de setores censitários do Censo 2010 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), e operação de álgebra de mapas. A partir da edição do MDE-LiDAR foram calculadas curvas de nível de cotas simuladas e lâminas de inundação para 140 m, 150 m, 160 m, e para 210 m; sendo realizada a intersecção de mapas entre estas curvas de nível e os setores censitários do IBGE. A equação $CR=Ar/At$ foi utilizada para cálculo de risco, onde Ar é a área de risco e At a área total do setor censitário.

Palavras chaves: Simulação de Risco de Inundação, MDE LiDAR, RAPIDEYE.

ABSTRACT

This paper aims to present a methodology for the mapping of flood risk areas using Digital Elevation Model obtained with LiDAR (*Ligth Detection and Ranging*), RapidEye image, maps of census tracts for the 2010 Census of the IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics), and algebra map operation. From the edition of LiDAR DEM-level curves were calculated quota simulated flood and strip to 140 m, 150 m, 160 m, and 210 m; being held maps of the intersection between these contours and the IBGE census tract. The equation $CR = Ar / At$ is used to calculate the risk, where Ar is the area of risk and At is the total area of the sector.

Keywords: Simulation of Flood Risk, LiDAR DEM, RapidEye.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a falta de investimentos públicos na área de habitação voltada à população de baixa renda tem levado esta faixa da sociedade a ocupar área de risco, a exemplo das margens de rios, gerando as ocupações subnormais, que compreendem todas as ocupações sem planejamento urbano. Desmatamento de nascentes e matas ciliares, assoreamento de rios, impermeabilização urbana, drenagem inadequada, e precipitações muito intensas extrapolam a capacidade de drenagem dos rios, gerando inundações (TUCCI, 1993).

Existem métodos de cálculos de inundações que são puramente teóricos, e envolvem modelos geohidrológicos para cálculo do volume de cheias (SCHUMANN et al., 2008).

Tecnologias de mapeamento de risco são importantes no planejamento urbano, principalmente em cidades brasileiras sem bases de dados espaciais precisas, e sem profissionais capacitados para elaborar e interpretar mapas de risco.

Metodologias usando Topografia e Batimetria são usadas para levantamento altimétrico preciso dos pontos do terreno sujeitos a inundações, e tipicamente ocupado pelo leito de rios (SANDE, LANSEN e HOYNG, 2012; WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 2011).

Outros sistemas de aquisição de dados altimétricos, como o LiDAR, permitem a geração de MDE e análises espaciais para mapeamento das terras suscetíveis a inundações em distintas faixas de altitude.

O SIG (Sistemas de Informações Geográficas) é uma tecnologia poderosa no estudo de previsão de riscos de inundação, mas envolve um processo de modelagem sofisticado.

Métodos mais simples de mapeamento são capazes de delimitar áreas de risco com precisão, apesar de não substituir o potencial de modelagem do SIG.

O risco de inundação é um parâmetro função da previsão da altitude média da lâmina de água de uma área e a quantidade de pessoas envolvidas. Quanto maior a altitude da lâmina de água e o número de pessoas envolvidas, maior o risco (WEBSTER, 2010; USGS, 2007; WEBSTER et al., 2004).

Estudos sobre métodos de mapeamento de risco de inundação usando dados LiDAR são muito importantes, tendo ainda maior repercussão socioambiental quando o objeto de estudo são áreas com histórico, ou tendência para desastres naturais que

ameaçam a integridade física e moral da população local (MENG, CURRIT e ZHAO, 2010).

Precipitações anômalas causam inundações bem maiores que as cheias regulares dos rios. A precipitação da bacia do Rio Una é muito irregular, variando de 800 mm no setor leste até 2200 mm no setor oeste na série de 1967-2008 (ITEP, 2011), tendo uma vazão média histórica no mês de julho no posto de Palmares de 77,4 m³/s, chegando ao máximo de 247 m³/s. No caso da enchente excepcional no ano de 2010, que envolveu a bacia do Rio Una, região da Mata Sul de Pernambuco, Brasil (TAVARES JUNIOR, 2011; ASFORA, 2012), a vazão foi superior a 2000 m³/s. Não há estudos publicados sobre cheias excepcionais anteriores ou simulações sobre a recorrência de cheias na bacia do Rio Una.

Este artigo apresenta um resultado para o mapeamento temático das áreas de risco de inundação de parte da bacia do Rio Una, com base em operações com dados de MDE-LiDAR, setores censitários e imagem RAPIDEYE, para as cotas de 140 m, 150 m, 160 m e 210 m, que representam calhas de inundação simuladas.

2 METODOLOGIA

2.1 Escolha das cotas de simulação

Segundo o governo do Estado de Pernambuco (PERNAMBUCO, 2012), estão sendo construídas barragens para conter as inundações do Rio Una. Entre as barragens que estão sendo construídas tem-se a barragem de Serro Azul, localizada a montante da cidade de Palmares, é a que envolve maior população e área urbana, e a altura desta contenção será de 65 m, e sua capacidade de acumulação de água é maior que 300x10⁶m³ (ITEP, 2011). Como a menor cota registrada no MDE é de aproximadamente 140 m, a simulação da cota excepcional foi escolhida como sendo a soma da altura da barragem Serro Azul, (que esta sendo construída com base no volume da precipitação responsável pela última grande inundação em 2010), com um valor superior a menor cota registrada. O valor de 210 m escolhido para a simulação da cota de cheia excepcional, na tentativa de facilitar a aquisição das curvas de nível, necessitando apenas de uma malha de curvas com equidistância de 10 m.

A menor cota registrada no MDE-LiDAR, na região de estudo, é a cota de 138,7 m, por este motivo foram adotadas as cotas de cheia normal a partir da cota de 140 m. Esta cota foi escolhida na tentativa de melhor representar as situações simuladas de cheias.

Utilizou-se o valor arbitrário de intervalo de 10 m para não saturar a visualização com muitas linhas.

Com uma resolução em planimetria de 0,5 m do MDE-LiDAR obteve-se uma escala de 1:25000, podendo a equidistância chegar a 2 m, mas essa densidade de linha dificultaria a visualização do MDE como um todo.

2.2 Área de Estudo

Á área de estudo utilizada na apresentação desta metodologia é um trecho da bacia do Rio Una localizada na divisa dos municípios de Palmares, Bonito e Catende, no Estado de Pernambuco, onde existe uma grande incidência de inundações, e grande porcentagem da população está concentrada nas áreas ribeirinhas.

A Figura 1 mostra o mapa de localização da área de estudo. A extensão da área foi definida e limitada a partir da restrição dos dados que foram disponibilizados para a realização deste trabalho.

2.3 Bacia do Rio Una

O Rio Una nasce a uma altitude de 900 m na Serra da Boa Vista, município de Capoeiras, com seu curso seguindo a direção geral de oeste a leste. A bacia hidrográfica do Rio Una fica situada na porção sul da região litorânea do Estado de Pernambuco, entre as latitudes: 8° 17' 14" S e 8° 55' 28" S, e 35° 07' 48" W e 36° 42' 10" W, e estende-se desde a região agreste do estado até a região litoral. (CONDEPE/FIDEM, 2006).

A superfície física da área de estudo está sobre terrenos sedimentares, e imensas plantações de cana de açúcar, formando seqüência de morros e colinas,

que compreende principalmente os municípios de Catende e Palmares, com altitudes que chegam até 300 m. (CONDEPE/FIDEM, 2006).

A base de dados para a geração do MDE foi um levantamento LiDAR, mapa de setores censitários do Censo 2010 e uma imagem RapidEye da área de estudo, todos em SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000).

O sistema de Laser Scanner Aerotransportado (LSA), utilizado no desenvolvimento do MDE usado neste trabalho é o modelo ALTM 2050 (*Airborne Laser Terrain Mapper*). (LACTEC, 2010). Suas especificações são apresentadas na Tabela 01.

Segundo a LACTEC (2010) todas as altitudes são ortométricas.

Na Tabela 1 tem-se as especificações técnicas do sistema LiDAR usado pela LACTEC na obtenção dos dados de altimetria.

2.4 Mapa de Setores Censitários

“Setor Censitário é a unidade territorial de coleta das operações censitárias, definido pelo IBGE, com limites físicos identificados, em áreas contínuas e respeitando a divisão político-administrativa do Brasil (IBGE, 2000)”. Estes setores podem ser relacionados aos dados levantados pelos censos demográficos do IBGE, a partir do geocódigo de cada um deles. Os dados utilizados neste trabalho foram os do XII Censo Demográfico, realizado em 2010.

O uso dos dados do censo demográfico do IBGE acrescenta ao trabalho, as informações relacionadas à população que pode ser afetada por uma possível cheia. Estes dados são disponibilizados em formato *SHAPE* (SHP) no site do IBGE.

Mapa de localização da área de estudo

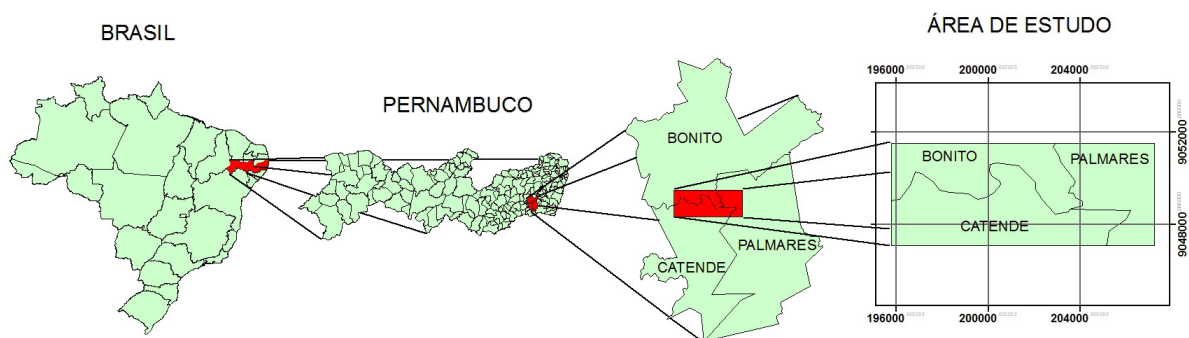


Fig. 1 - Mapa de Localização da área de estudo.

Tabela 1. Especificações do sistema LSAALTM 2050. LACTEC (2010).

DESCRIÇÃO DO SISTEMA	ESPECIFICAÇÕES
Modelo do equipamento	ALTM 2050
Fabricante do equipamento	Optech
Ano de fabricação	2002
Frequência do pulso laser	50000 pulsos por segundo – 50 kHz
Frequência de varredura	Variável de 1Hz a 100 Hz
Ângulo de varredura	Variável 0° a 40°
Sistema inercial (IMU)/ GPS	Applanix
Capacidade de armazenamento	36 GB
Software de operação de voo	ALTM-NAV (Optech)
Software do processamento	REALM (Optech)
Tipo de coleta de dados	Primeiro e último retorno de pulso
Densidade de pontos	Variável de 400.000 de 4.000.000
Número de pontos por m ²	Variável de 1a 4 pontos
Precisões (2000m)	70 cm na planimetria e 25 cm na altimetria

O *SHAPE* de setores censitários é disponibilizado pelo IBGE em SAD-69. Determinou-se o SIRGAS2000 como Sistema Geodésico de Referência padrão e foi usado o software ARCGIS10 para transformação dos sistemas, adquirindo assim o *SHAPE* de setores censitários referenciado ao SIRGAS2000. Após as transformações citadas anteriormente, foi possível a confecção de um mapa de setores censitários envolvido pela área de estudo (Figura 2).

O código do setor censitário indica o código numérico completo do setor. Ele possui 15 dígitos divididos da seguinte forma:

UFMMMMMDDSDSSSS, onde: UF – Unidade da Federação, MMMMM – Município, DD – Distrito, SD – Sub-distrito, SSSS – Setor. (IBGE, 2010).

2.5 Imagem RAPIDEYE

As imagens RAPIDEYE têm resolução espacial de 5 m, resolução radiométrica de 12 bits, e bandas na faixa do vermelho (0,63-0,685 μm), verde (0,52-0,59 μm), azul (0,44-0,51 μm), *red-edge* (0,69-0,734 μm), entre o vermelho e infravermelho próximo; e infravermelho próximo (0,76-0,85 μm). A imagem RAPIDEYE tornou possível, por meio de fotointerpretação, o reconhecimento qualitativo de manchas urbanas, com a resolução espacial de 5 m por pixel, permitindo gerar um mapa de escala 1:25000.

2.6 Processamento dos Dados

A primeira etapa do processamento dos dados foi a geração do MDE que possibilitou uma visualização tridimensional da área de estudo, além de permitir o cálculo das curvas de nível, processo fundamental para a determinação das áreas de risco baseadas na altimetria local. Na seleção das curvas de nível, foram criados polígonos para cada uma das cotas simuladas, e executadas duas intersecções de dados.

A primeira intersecção foi entre o polígono de limitação da área de estudo, e o mapa de setores censitários. A segunda intersecção foi entre o resultado da primeira intersecção e o mapa de calhas de cheia, gerado a partir da edição das curvas de nível.

Esse processamento dos dados pode ser mais bem explicado a partir dos tópicos seguintes.

2.6.1 Edição do MDE

A edição do MDE a partir do ARCGIS10 gerou como resultados o *SHAPE* de curvas de nível em SIRGAS2000-UTM e os modelos 3-D da área de estudo, que foram visualizados com o uso da versão demonstrativa do software SURFER10.

O mapa de curvas de nível calculado a partir do MDE permitiu a elaboração do mapa de calhas de simulação de inundações.

2.6.2 Edição do mapa de curvas de nível

A edição do mapa de curvas de nível consiste na determinação e na seleção das cotas de inundação registradas na área de estudo. Estas cotas podem ser determinadas a partir do histórico de cheias locais.

É importante destacar que a altitude média da região é de 372 m, informação que pôde ser calculada a partir da altitude máxima e mínima que são dadas pelo MDE-LiDAR.

As cotas de inundação normal são definidas como as cotas atingidas de forma mais frequente na região de estudo, e a excepcional como sendo a maior cota de cheia registrada na região. A determinação destas cotas dependerá da série histórica de cheias da região. Depois do cálculo das cotas de inundações, as curvas referentes a estas cotas servirão de base para a criação dos polígonos referentes às calhas d'água da simulação das inundações.

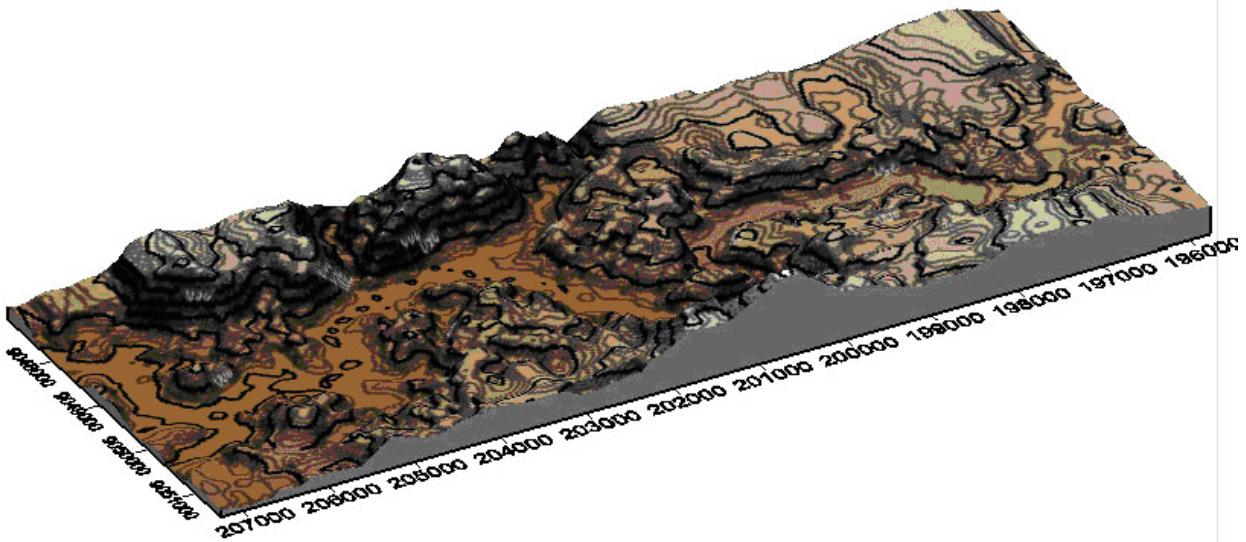


Fig. 3 - Visualização 3D da área de estudo: curvas de nível com equidistância de 10 m.

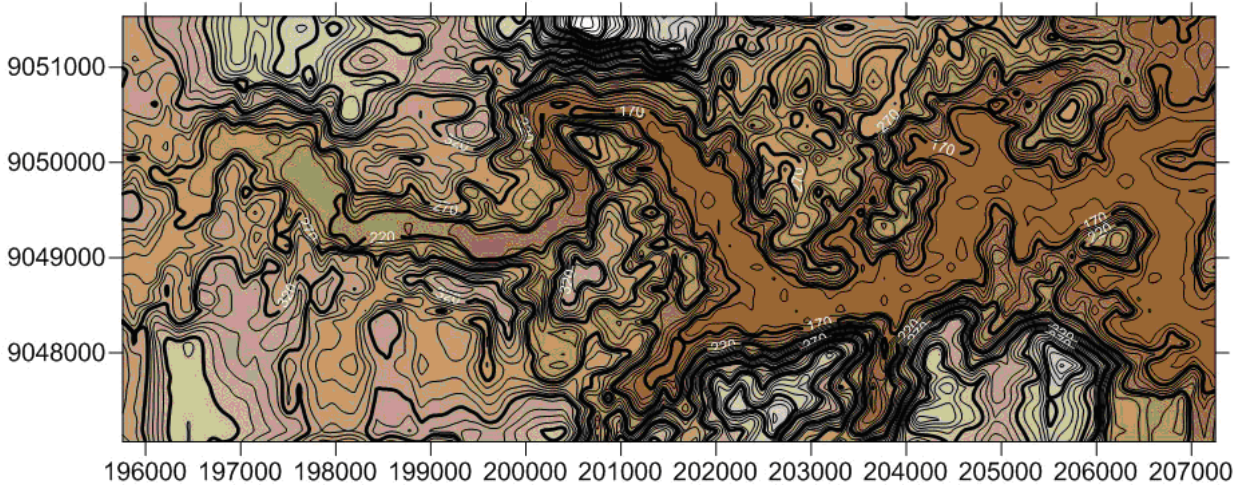


Fig. 4 - Mapa de curvas de nível gerado a partir da edição do MDE.

de inundações (Figura 6), onde é possível visualizar, de uma forma mais simples, a distribuição da lâmina de água simulada para cada situação.

Na cota de 140 m a expansão da lâmina da inundação não é visível, mas vai se ampliando conforme o aumento de cota, e atinge máxima proporção na cota de 210 m, apesar da parte extremo oeste desta última cota ficar mais restrita as margens do Rio Una.

2.6.4 Intersecção dos dados

Para a determinação espacial de que área está sendo diretamente afetada pelas calhas de inundação, foi utilizada a intersecção de mapas, onde a partir da intersecção de todas as informações dos mapas de setores censitários e do mapa de calhas de inundação, foi possível ter, de forma separada,

quais as frações de cada setor submetidas a cada uma das cotas de inundação.

Quando os elementos de dois ou mais conjuntos relacionados são comuns eles são chamados de conjunto intersecção. Tomando como exemplo um conjunto F e um conjunto G, o conjunto intersecção destes dois conjuntos pode ser representado como sendo o conjunto que contém todos os elementos em comum entre o conjunto F e o G.

A operação de intersecção de regiões de mapas permite aplicar um operador zonal entre regiões dos mapas visando extrair uma informação temática em comum. Por exemplo, dado um conjunto $A=(1,2,3)$ e $B=(3,4,5)$ a operação intersecção $C=A \cap B$ é dada por $C=(3)$ (INPE, 2001). A figura 7 apresenta uma representação esquemática desta intersecção exemplificada.

2.6.5 Intersecção do mapa de setores censitários com a área de estudo

Antes de ser feita a intersecção do mapa de setores censitários e do mapa de calhas de inundação, foi necessária a intersecção entre o mapa de setores censitários e o polígono que limita a área de estudo, tendo em vista que apenas parte de alguns destes setores está envolvido por este polígono.

O resultado desta intersecção gerou a Tabela 2 e apresenta a relação entre a área total de cada setor e a área da seção que está dentro do polígono limite da área de estudo.

Pode-se observar pela Tabela 2, que apenas os setores 260230805000034 e 261000405000052 estão totalmente envolvidos pela área de estudo, sendo assim, dos dez setores restantes, será considerada apenas uma seção de sua área total no cálculo da população afetada.

2.6.6 Intersecção do mapa de setores censitários com o mapa de calhas de inundação

O resultado da primeira intersecção apresentada na Tabela 2 gerou uma edição do mapa de setores censitários compatível com o estudo apresentado que tem os dados delimitados pela extensão da base de dados adquirida.

A posse destes dados tornou possível a intersecção do mapa de calhas de cheia com a edição do mapa de setores censitários, gerando como resultado uma relação espacial contendo todas as informações de ambos os mapas, onde os setores censitários foram subdivididos em diferentes unidades para cada cota de cheia. Com o auxílio do ARCGIS10 foi possível calcular a área de cada subdivisão dos setores que foi fundamental para a determinação da população afetada.

A partir da relação linear entre a área tomada pelas calhas de inundação e a população uniformemente distribuída, foi possível gerar como resultado uma tabela contendo o número absoluto de pessoas afetadas pelos possíveis níveis de chuva.

2.6.7 Estimativa da população afetada

Uma condição teórica admitida neste trabalho é a distribuição uniforme da população afetada dentro de cada setor censitário, suposição que simplifica o cálculo das pessoas teoricamente afetadas pelo risco de inundação. O cálculo é feito a partir da razão entre a população e a área dos setores afetados. Para melhorar a estimativa do número de pessoas atingidas, foi realizada uma fotointerpretação qualitativa sobre a imagem

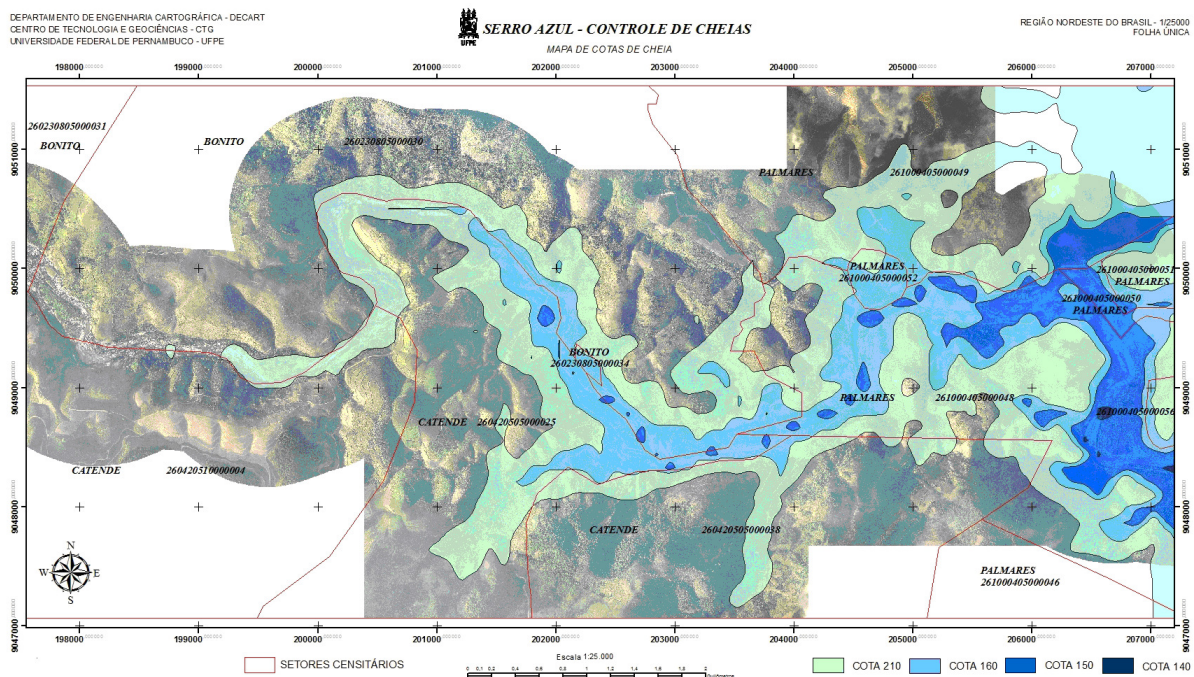


Fig. 5 - Mapa de calhas de inundação (cotas 210m, 160m, 150m e 140 m).

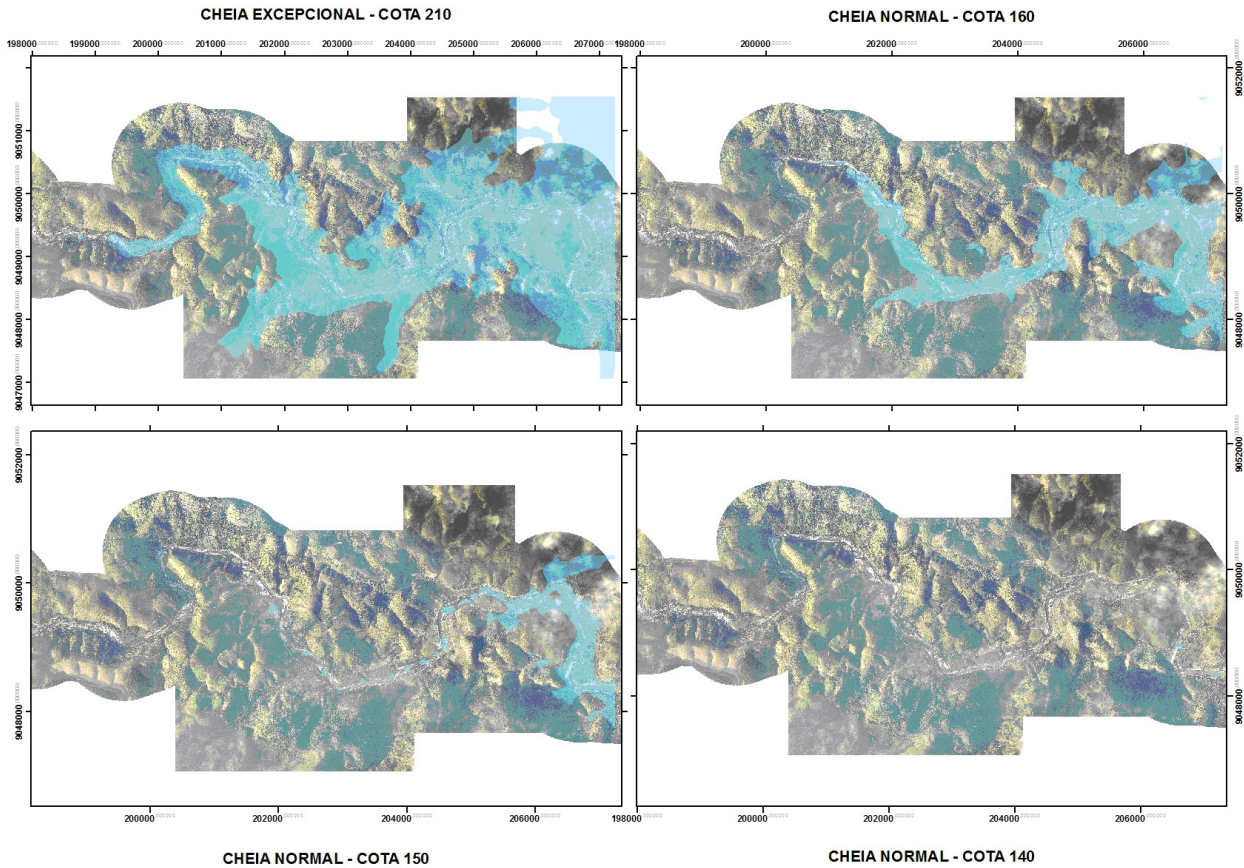


Fig. 6 - Mapa de simulação das quatro situações de cheia (cota 210m, 160m, 150m e 140m).

RAPIDEYE para demarcação dos núcleos urbanos dentro dos setores censitários. Esta fotointer-

pretação produziu um mapa dos núcleos ou manchas urbanas (Figura 8).

2.6.8 Critério de risco

O critério de risco foi definido como sendo a razão entre a área suscetível a risco de inundação de determinado setor ou seção de setor censitário e sua área total (Equação 1).

$$CR = Ar / At \quad (1)$$

Onde CR é o critério de risco, Ar é a área sob risco de inundação e At é a área total.

Como definido anteriormente, para esta metodologia, a população será considerada uniformemente distribuída. O resultado desta equação dá um valor em escala de 0 a 1, onde o 0 é definido com fora de risco e 1 como risco total.

A Tabela 3 mostra a população por cota de risco de inundação. A Tabela 3 observa-se que a cota de 140 m praticamente não oferece risco de

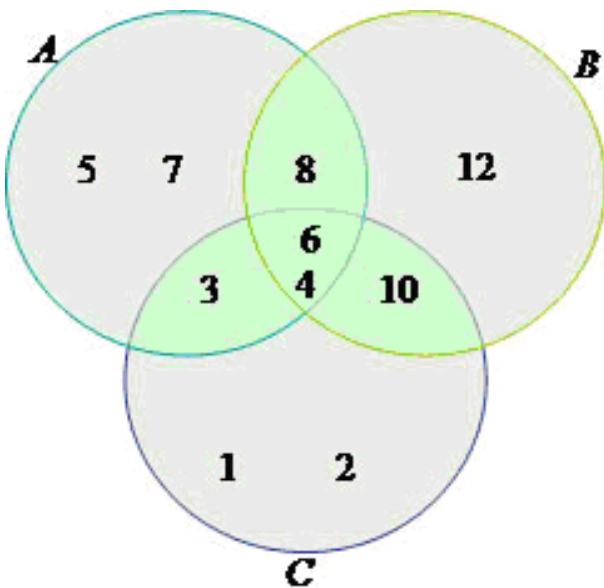


Fig. 7 – Diagrama de Venn. INPE (2001).

Tabela 2 - Área dos setores censitários dentro da área de estudo

SETOR CENSITÁRIO	AREA TOTAL (Km²)	AREA DA SEÇÃO (Km²)
260230805000030	15,946	11,293
260230805000034	0,0357	0,036
260420505000025	24,34	5,82
260420505000038	13,159	5,158
260420510000004	35,057	11,103
261000405000046	33,273	1,021
261000405000048	15,612	5,741
261000405000049	32,569	6,178
261000405000050	0,2	0,174
261000405000051	0,603	0,383
261000405000052	0,193	0,193

inundação. No caso do setor 261000405000050, segundo mais populoso, tem-se mais pessoas atingidas pela cota de 150 m do que pela de 160 m, por que, a área de interseção entre cota de 150 m e o setor, determinam este número. Já o setor mais populoso com 537 pessoas, não é atingido pela cota de 150 m, e tem bem menos da metade de sua população, 116 pessoas, teoricamente alcançada pela simulação de 210 m. Os cálculos das tabelas são fundamentais, porém a interpretação do mapa dos setores e lâminas cotadas, são muito importantes para entender o comportamento

espacial da população atingida pelos riscos de inundação.

A Tabela 4 apresenta o critério de risco de cada setor censitário dentro da área de estudo. Já na Tabela 5 mostra os setores censitários dentro da área de estudo.

A Figura 8 exibe a localização das manchas urbanas obtidas por meio de fotointerpretação da imagem RAPIDEYE.

3. MAPA DE RISCO DE INUNDAÇÃO

O mapa de risco de inundação apresenta a divisão dos setores censitários e a área de cada setor submetido ao seu respectivo risco.

A representação temática supõe que quanto maior o critério de risco, mais vermelha é a cor da área destacada (Figura 9). Apesar de a escala de vermelho causar certa confusão no reconhecimento do risco para cada área, a escala vermelha, usando a propriedade perceptiva da cor e valor, modo de implantação zonal, de Cartografia Temática, é usada na representação de risco, por este motivo foram adicionadas

A metodologia apresentada neste trabalho gerou como resultado o mapa de risco de inundação de parte da bacia do Rio Una, e a avaliação

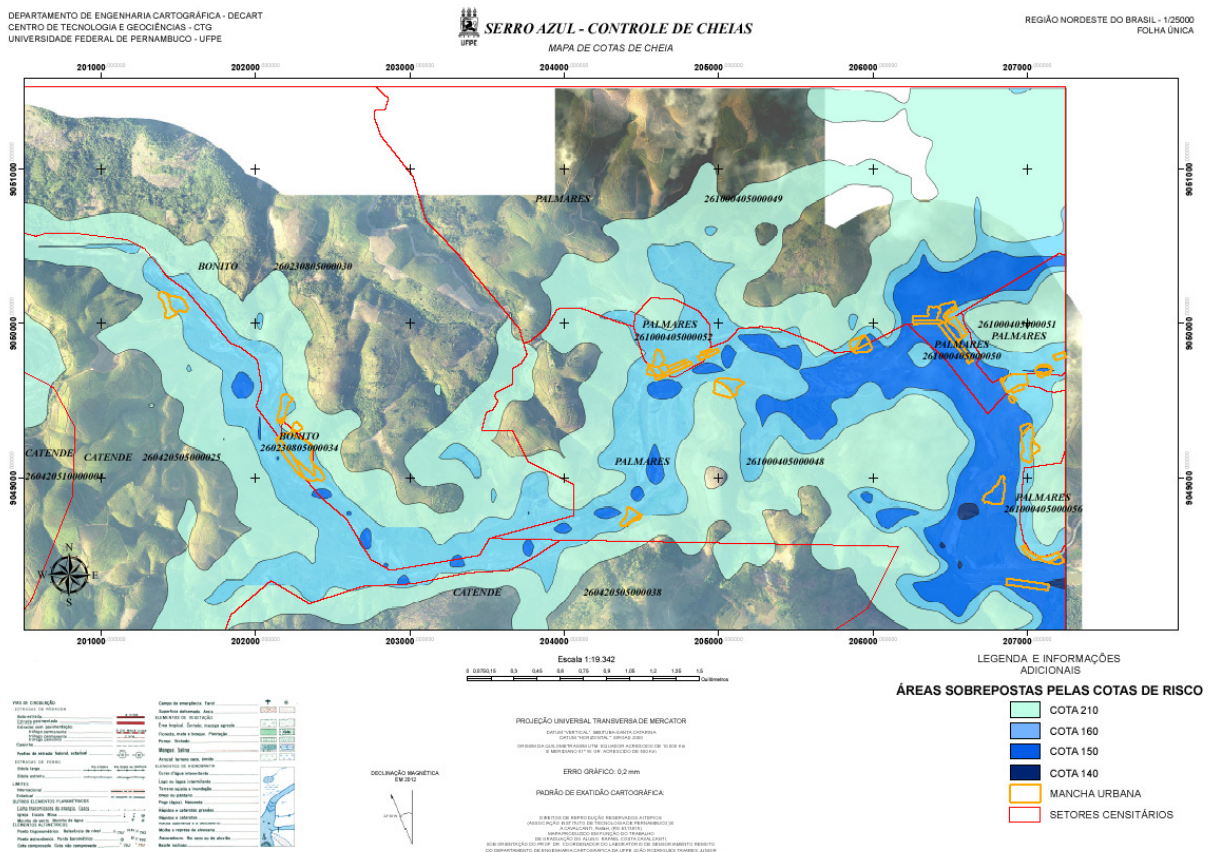


Fig 8 - Mapa das manchas urbanas sobre setores censitários e manchas de inundação.

quantitativa simulada de qual a população absoluta que está submetida ao risco de inundação para toda a área de estudo.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Setores Afetados

De acordo com a Tabela 2 tem-se que, com exceção da seção do setor 261000405000046 que está praticamente fora de risco de inundação, todos os setores e seções são afetados pelas chuvas apresentadas. A Tabela 3 e a Figura 7 mostram que os setores e seções com terminações 34, 50, 51, 52 e 56 atingem o grau de maior risco, com toda sua área coberta pelas lâminas d'água referentes às cotas de cheia simuladas. Para os setores com as com terminação 04 e 46 estão praticamente fora de risco de inundação.

A partir da Tabela 2 tem-se que a seção do setor de terminação 50 tem um total teórico de 332 pessoas afetadas pela cota de 150 m, o que mostra o grande risco de inundação ao qual esta população está submetida, levando em consideração que uma precipitação que acarretasse uma cota 150 metros, seria um evento mais provável de acontecer do que as cotas maiores que 150 m.

Na Figura 8 todas as 56 manchas urbanas foram alcançadas pela simulação de lâmina com cota

de 160 m, enquanto a cota de 150 m afeta as manchas urbanas mais no setor leste do mapa. De um modo geral o risco de inundação cresce na direção geral leste (altitude média menor que do setor oeste do mapa), a jusante da região central do mapa das manchas urbanas.

Na Tabela 4 observa-se que o setor 261000405000052 em Palmares, tem risco 1,0 e, no mapa da Figura 8, este pequeno setor se situa na margem esquerda do Rio Una, e coincide com manchas urbanas importantes ocupadas pela lâmina de 160 m, uma inundação não excepcional. Na Tabela 4 os setores 260230805000034, 261000405000049, 261000405000051, 261000405000052, 261000405000056, têm risco máximo 1,0, e o setor 261000405000048 com risco 0,86.

O mapa da Figura 8, com oito setores de risco, mostra expansão em área das lâminas de inundação na direção geral leste. Os setores com R1 (risco máximo) tem a terminação 51, 52 e 56 em Palmares, e R2 também para Palmares enquanto o setor de terminação 34, em Bonito, tem risco R1, mais a montante da região central da área de estudo. Os setores R4 e R5 se alongam na direção oeste, mantendo-se próximos as margens do Rio Una. Setores R5 e R8 estão mais a oeste do centro do mapa da Figura 8, já que as lâminas de 160 m e 210 m pouco cobrem dos setores, gerando menos

Tabela 3 - Distribuição da população afetada pelas cotas simuladas

SETOR	POPULAÇÃO AFETADA				
	Total	Cota 210 m	Cota 160 m	Cota 150 m	Cota 140 m
SEÇÃO DO SETOR 260230805000030	363	48	17	0	0
SETOR 260230805000034	36	5	31	0	0
SEÇÃO DO SETOR 260420505000025	276	81	36	2	0
SEÇÃO DO SETOR 260420505000038	159	24	2	0	0
SEÇÃO DO SETOR 260420510000004	237	4	0	0	0
SEÇÃO DO SETOR 261000405000046	23	0,4-0	0	0	0
SEÇÃO DO SETOR 261000405000048	411	166	98	89	1
SEÇÃO DO SETOR 261000405000049	143	54	9	6	0
SEÇÃO DO SETOR 261000405000050 Mais populoso	488	19	137	332	0
SEÇÃO DO SETOR 261000405000051	221	122	74	25	0
SETOR 261000405000052	537	116	421	0	0
SEÇÃO DO SETOR 261000405000056	5	3	2	0	0

Tabela 4 - Critério de risco de cada setor censitário dentro da área de estudo

SETOR	CRITÉRIO DE RISCO
SEÇÃO DO SETOR 260230805000030	0,18
SETOR 260230805000034	1
SEÇÃO DO SETOR 260420505000025	0,43
SEÇÃO DO SETOR 260420505000038	0,16
SEÇÃO DO SETOR 260420510000004	0,02
SEÇÃO DO SETOR 261000405000046	0,02
SEÇÃO DO SETOR 261000405000048	0,86
SEÇÃO DO SETOR 261000405000049	0,48
SEÇÃO DO SETOR 261000405000050	1
SEÇÃO DO SETOR 261000405000051	1
SETOR 261000405000052	1
SEÇÃO DO SETOR 261000405000056	1

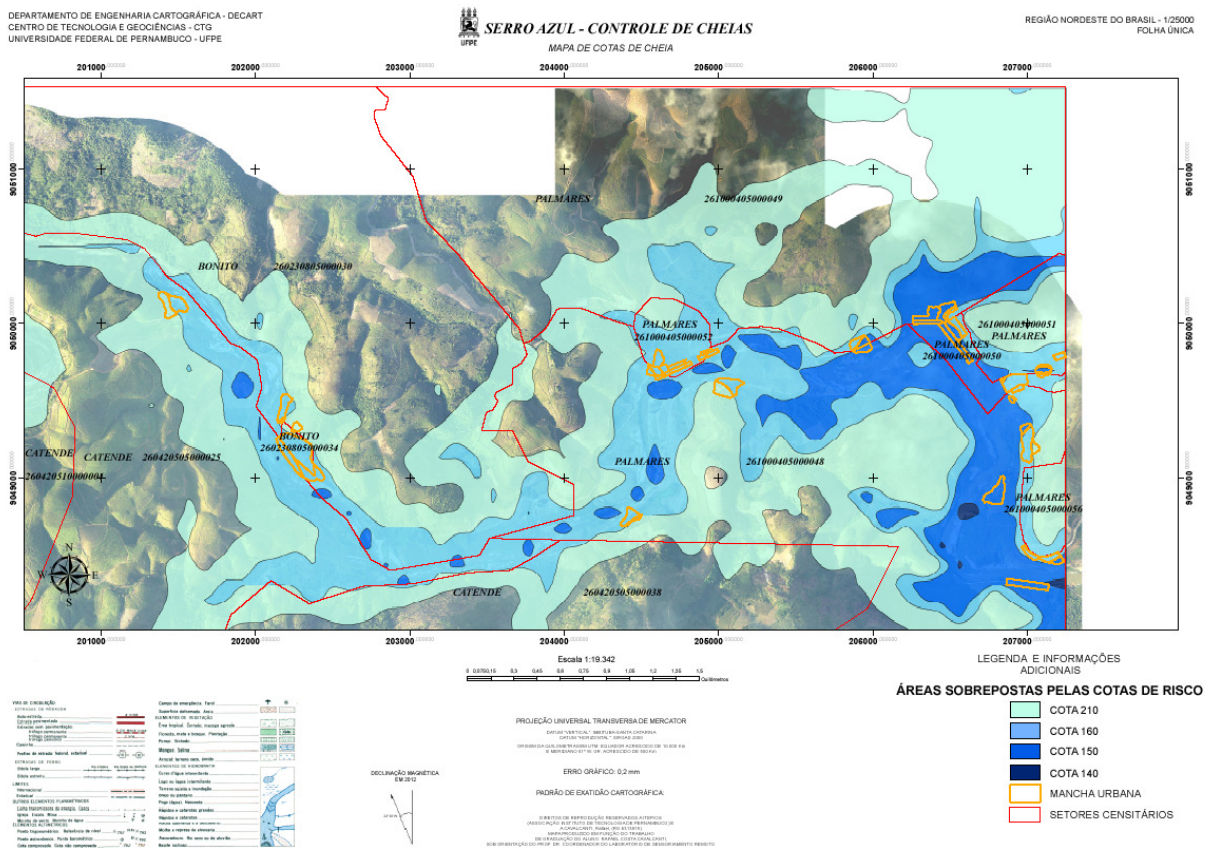


Fig 8 - Mapa das manchas urbanas sobre setores censitários e manchas de inundação.

Tabela 5 - Setores censitários dentro da área de estudo

MANCHAS URBANAS	CD_GEOCODI	COTA (m) À QUAL ESTÁ SUBMETIDA	POP. DO SETOR	ÁREA DO SETOR Km ²	ÁREA DO SETOR m ²	ÁREA DA MANCHA URBANA m ²	ÁREA DA MANCHA Km ²	MUNICÍPIO
1	260230805000030	160	513	112.933	112.933.164.721	104.278.040	0.010427804	BONITO
2	260230805000030	160	513	112.933	112.933.164.721	83.404.701	0.008340407	BONITO
3	260230805000030	210	513	112.933	112.933.164.721	25.535.715	0.002553571	BONITO
4	260230805000030	210	513	112.933	112.933.164.721	6.355.620	0.000635562	BONITO
5	260230805000034	160	36	0.0357	356.983.437	283.062.238	0.028306224	BONITO
6	260230805000034	210	36	0.0357	356.983.437	2.633.464	0.000263346	BONITO
7	260230805000034	210	36	0.0357	356.983.437	0.1453	1,45E-02	BONITO
8	260230805000034	210	36	0.0357	356.983.437	427.013	4,27E+00	BONITO
9	260420505000025	160	1157	58.196	58.195.694.847	98.117.647	0.009811765	CATENDE
10	260420505000025	160	1157	58.196	58.195.694.847	95.943.949	0.009594395	CATENDE
11	260420505000025	210	1157	58.196	58.195.694.847	85.375.745	0.008537574	CATENDE
12	261000405000048	140	1120	57.407	57.407.449.966	293.998	2,94E+00	PALMARES
13	261000405000048	150	1120	57.407	57.407.449.966	27.793.072	0.002779307	PALMARES
14	261000405000048	150	1120	57.407	57.407.449.966	107.640.637	0.010764064	PALMARES
15	261000405000048	150	1120	57.407	57.407.449.966	9.277.605	0.00092776	PALMARES
16	261000405000048	150	1120	57.407	57.407.449.966	24.214.850	0.002421485	PALMARES
17	261000405000048	150	1120	57.407	57.407.449.966	134.671.370	0.013467137	PALMARES
18	261000405000048	150	1120	57.407	57.407.449.966	40.986.907	0.004098691	PALMARES
19	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	11.045.187	0.001104519	PALMARES
20	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	21.974.030	0.002197403	PALMARES
21	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	19.487.222	0.001948722	PALMARES
22	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	4.945.744	0.000494574	PALMARES
23	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	74.043.235	0.007404324	PALMARES
24	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	22.426.995	0.0022427	PALMARES
25	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	3.247.226	0.000324723	PALMARES
26	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	131.801.988	0.013180199	PALMARES
27	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	58.607	5,86E-01	PALMARES
28	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	93.369.793	0.009336979	PALMARES
29	261000405000048	160	1120	57.407	57.407.449.966	66.418.143	0.006641814	PALMARES
30	261000405000048	210	1120	57.407	57.407.449.966	30.708.359	0.003070836	PALMARES
31	261000405000048	210	1120	57.407	57.407.449.966	77.552.752	0.007755275	PALMARES
32	261000405000048	210	1120	57.407	57.407.449.966	12.814.026	0.001281403	PALMARES
33	261000405000049	150	757	61.785	61.785.195.167	38.010.154	0.003801015	PALMARES
34	261000405000049	150	757	61.785	61.785.195.167	86.015.808	0.008601581	PALMARES
35	261000405000049	150	757	61.785	61.785.195.167	72.093.976	0.007209398	PALMARES
36	261000405000049	150	757	61.785	61.785.195.167	36.750.890	0.003675089	PALMARES
37	261000405000049	160	757	61.785	61.785.195.167	24.743.327	0.002474333	PALMARES
38	261000405000049	160	757	61.785	61.785.195.167	36.773.499	0.00367735	PALMARES
39	261000405000050	150	562	0.1741	1.740.672.248	6.392.176	0.000639218	PALMARES
40	261000405000050	150	562	0.1741	1.740.672.248	102.621.063	0.010262106	PALMARES
41	261000405000050	150	562	0.1741	1.740.672.248	55.220.962	0.005522096	PALMARES
42	261000405000050	160	562	0.1741	1.740.672.248	123.827.585	0.012382758	PALMARES
43	261000405000050	160	562	0.1741	1.740.672.248	6.944.894	0.000694489	PALMARES
44	261000405000050	160	562	0.1741	1.740.672.248	53.302.754	0.005330275	PALMARES
45	261000405000051	150	348	0.3833	3.832.638.108	32.626.761	0.003262676	PALMARES
46	261000405000051	160	348	0.3833	3.832.638.108	0.0530	5,30E-04	PALMARES
47	261000405000051	160	348	0.3833	3.832.638.108	24.701.878	0.002470188	PALMARES
48	261000405000051	160	348	0.3833	3.832.638.108	21.846.167	0.002184617	PALMARES
49	261000405000052	160	537	0.1933	1.932.664.670	30.649.710	0.003064971	PALMARES
50	261000405000052	160	537	0.1933	1.932.664.670	42.258.839	0.004225884	PALMARES
51	261000405000052	160	537	0.1933	1.932.664.670	24.807.233	0.002480723	PALMARES
52	261000405000052	160	537	0.1933	1.932.664.670	27.129.570	0.002712957	PALMARES
53	261000405000052	160	537	0.1933	1.932.664.670	55.021.935	0.005502194	PALMARES
54	261000405000052	160	537	0.1933	1.932.664.670	13.662.325	0.001366233	PALMARES
55	261000405000052	160	537	0.1933	1.932.664.670	9.145.336	0.000914534	PALMARES
56	261000405000056	160	507	0.1613	1.613.263.242	1.235.093	0.000123509	PALMARES

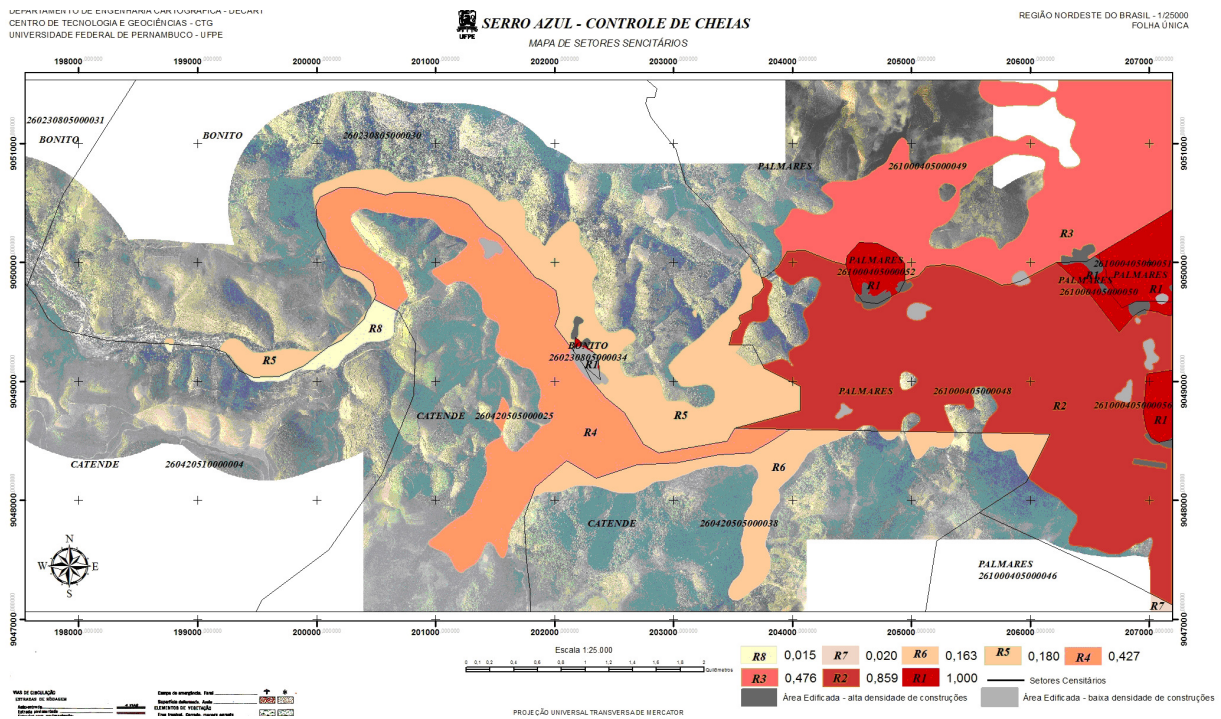


Fig. 9 - Mapa de risco de inundação em SIRGAS2000-UTM e coeficientes de risco por setor censitário.

riscos simulados. O risco R2, setor terminando em 48, Palmares, geram “ilhas” que são áreas edificadas. Os setores de terminação 50, 51 e 52, com R1, envolvem manchas urbanas com maior densidade de edificações em Palmares.

Na Tabela 5 a maior mancha urbana está localizada em Bonito, com 28306,2238 m², seguida de outra mancha com 13467,1370 m² em Palmares.

4.2 Limitações da Metodologia

O uso do critério da distribuição uniforme da população gera certa imprecisão no risco de inundação, risco este relacionado ao posicionamento da população.

A escolha deste critério tem como finalidade tornar a metodologia mais simples e rápida, apesar de ser recomendado, tendo como base os métodos apresentados neste trabalho, um estudo que desenvolva uma metodologia mais precisa e exata na determinação da população afetada por possíveis cheias.

A probabilidade de ocorrência de cada cheia não é expressa no critério de risco apresentado, o que gera uma imprecisão não estudada neste artigo, estando relacionada aos níveis de chuva, tendo em vista que uma chuva de 140 mm é bem mais provável de ocorrer do que uma chuva de 210 mm.

5. CONCLUSÕES

A metodologia usada neste artigo para atribuir riscos a parte bacia hidrográfica do Rio Una permite inferir valiosas informações sobre o número de pessoas teoricamente afetadas por inundações em diferentes cotas. A operação de interseção entre os mapas de cota de inundação, setor censitário, mancha urbana, e a equação de cálculo de risco, apesar de simples, demonstraram fornecer rapidamente valiosas informações sobre o comportamento espacial do risco, das lâminas de inundação, sobre o relevo local. A vantagem de reprodução desta metodologia para qualquer bacia hidrográfica e a flexibilidade na escolha de cotas, são aspectos positivos.

Um dado importante que pode ser inserido na análise é o mapa de estabilidade de vertentes nas ilhas dentro das lâminas de inundação. Estas ilhas (com risco zero de inundação) apesar de poderem ser utilizadas como pontos de resgates e abrigo de pessoas ou equipes de salvamento, podem ser instáveis do ponto de vista geológico, havendo, principalmente depois das inundações, risco de deslizamentos. Portanto, um mapa de risco de deslizamento pode ser espacialmente analisado, para auxiliar na localização das áreas livres de inundação e de deslizamentos.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Eng. Cartógrafo e M.sc. Ivan Dornelas Falcone, Diretor do ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco, pela autorização dos dados MDE LiDAR e imagem RAPIDEYE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASFORA, M. C. **Prevenção e instrumentos de gestão de riscos hidrometeorológicos**. In: XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa. 45p. 2012.
- CONDEPE/FIDEM, **Bacia Hidrográfica do Rio Una, GL4 e GL5**. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco. v. 3, Recife. p 27-35. 2006.
- IBGE Instituto. **Agregados por Setores Censitários dos Resultados de Universo**. Portal do IBGE. Ed. 2. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 17 de abr. 2012.
- ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA**. Sistema de controle de cheias da bacia do Rio Una – barragem de Cerro Azul. 41p. 2011.
- LACTEC. P142 – **Mapeamento Digital a Laser e Ortofotos Digitais Em Área de 1235 km² no Estado de Pernambuco**. Relatório, v. 01, Curitiba, 2010. p. 1-25.
- MENG, X.; CURRIT, N.; ZHAO, K. Ground filtering algorithms for airborne LiDAR data: a review of critical issues. **Remote Sensing**. 2. p. 833-860. 2010.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Evento de Chuva Intensa Entre Alagoas e Pernambuco Ocorrido em Junho de 2010**, Portal do INPE. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/13952>>. Acesso em 8 de Abr. 2012.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. MOREIRA, F. R.; CÂMARA, G.; FILHO, R. A. Técnicas de suporte a decisão para modelagem geográfica por álgebra de mapas. São José dos Campos. **Relatório técnico**. 212p. 2001.
- PERNAMBUCO. Governo do Estado. **Governador Autoriza Início da Construção da Barragem de Serro Azul**, Portal do Governo do Estado de Pernambuco. Disponível em: <<http://www.pe.gov.br/>>. Acesso em 14 de Ago. 2012.
- SAND, B. V.; LANSEN, J.; HOYNG, C. Sensitivity of coastal flood risk assessments to digital elevation model. **Water**. 4. p. 568-579. 2012.
- TAVARES JUNIOR, J. R. Cartografia de Segurança Ambiental. **Jornal do Commercio**. Recife. 3 fev. 2011. Opinião. p. 8.
- SCHUMANN, G.; MATGEN, P.; CUTLER, M. E. J.; BLACK, A.; HOFFMANN, L.; PFISTER, L. Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM. **ISPRS - Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 63. p. 283-296. 2008.
- TUCCI, Carlos E. M. (org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. de UFRGS, ABRH, Ed da UP, p. 621. 1993.
- USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **LiDAR-derived flood-inundation maps for real-time flood-mapping applications, Tar River Basin, North Carolina**. BALES, J. D.; WAGNER, C. R.; TIGHE, K. C.; TERZIOTTI. Virginia. Scientific Investigations Report 2007-5032. 52p. 2007.
- WEBSTER, T. L. Flood risk mapping using LiDAR for Annapolis Royal, Nova Scotia, Canada. **Remote Sensing**. v. 2. p. 2060-2082. 2010.
- WEBSTER, T. L.; FORBES, D. L.; DICKIE, S.; SHREENAN, R. Using topographic LiDAR to map flood risk from storm-surge events for Charlottetown, Prince Edward Island, Canada. **Can. J. Remote Sensing**, v. 30, n. 1, p. 64-76. 2004.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on flood forecasting and warning**. WMNO. No. 1072. Geneva. 142p. 2011.