



# RELATÓRIO FINAL

## ESTUDO 2 VULNERABILIDADE E RISCOS NATURAIS





## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1	DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	8
1.2	ORGANISMOS CONSULTADOS.....	8
1.3	QUALIDADE DA INFORMAÇÃO OBTIDA .....	8
1.4	VALORAÇÃO PROBABILÍSTICA DE RISCOS NATURAIS .....	9
<b>2</b>	<b>QUADRO GERAL.....</b>	<b>10</b>
2.1	SELEÇÃO DE AMEAÇAS .....	10
2.2	ANÁLISE HISTÓRICA DA PROBLEMÁTICA .....	10
2.3	MARCO FÍSICO.....	11
2.3.1	<i>Estratigrafia.....</i>	11
2.3.2	<i>Geomorfologia.....</i>	12
2.3.3	<i>Clima.....</i>	12
2.3.4	<i>Hidrogeologia.....</i>	13
2.3.5	<i>Tectônica.....</i>	13
2.3.6	<i>Parâmetros oceanográficos.....</i>	14
2.3.7	<i>Bibliografia .....</i>	14
2.4	INVENTÁRIO DE PROCESSOS .....	14
2.4.1	<i>Inundações fluviais.....</i>	14
2.4.2	<i>Inundações marinhas .....</i>	14
2.4.3	<i>Deslizamentos .....</i>	14
2.4.4	<i>Erosão costeira .....</i>	15
<b>3</b>	<b>INUNDAÇÕES FLUVIAIS .....</b>	<b>15</b>
3.1	INTRODUÇÃO.....	15
3.2	DADOS DE PARTIDA.....	15
3.3	ESTUDO HIDROLÓGICO .....	17
3.3.1	<i>Método de abstrações.....</i>	17
3.3.2	<i>Pluviometria .....</i>	17
3.3.3	<i>Cálculo do tempo de concentração das bacias.....</i>	17
3.3.4	<i>Cálculo de vazões de crescente. Transformação chuva-escoamento.....</i>	18
3.3.5	<i>Projeções de precipitações devidas aas alterações climáticas.....</i>	18
3.4	ESTUDO HIDRÁULICO.....	21
3.4.1	<i>Descrição do modelo .....</i>	21
3.4.2	<i>Condições de contorno .....</i>	22
3.5	ANÁLISE DA PERICULOSIDADE POR INUNDAÇÕES .....	22
3.6	RESULTADOS E CONCLUSÕES.....	23
<b>4</b>	<b>INUNDAÇÕES MARINHAS .....</b>	<b>24</b>
4.1	INTRODUÇÃO.....	24
4.2	TRANSFERÊNCIA DAS DINÂMICAS À ZONA COSTEIRA .....	25
4.2.1	<i>Ondulações.....</i>	25
4.2.2	<i>Nível do mar .....</i>	26
4.2.3	<i>Reconstrução da série temporal horária de nível do mar (Z) .....</i>	27
4.3	INUNDAÇÃO MARINHA COSTEIRA .....	28
4.3.1	<i>Modelo estatístico.....</i>	28
4.3.2	<i>Alterações climáticas.....</i>	29
4.3.3	<i>Modelo de inundação.....</i>	30
4.4	RESULTADOS .....	31
4.4.1	<i>Período de retorno= 10 anos.....</i>	31
4.4.2	<i>Período de retorno = 50 anos .....</i>	33



4.4.3	Período de retorno= 200 anos .....	34
<b>5</b>	<b>ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE AOS DESLIZAMENTOS.....</b>	<b>36</b>
5.1	ANÁLISE DOS PROCESSOS, FATORES CONDICIONANTES E FATORES DESENCADEANTES .....	36
5.2	METODOLOGIA .....	36
5.2.1	Município de João Pessoa.....	36
5.2.2	Microrregião.....	37
5.3	VALORAÇÃO DE RESULTADOS .....	38
5.4	BIBLIOGRAFIA .....	39
<b>6</b>	<b>ANÁLISE DE EROÇÃO COSTEIRA .....</b>	<b>39</b>
6.1	FORMAS EROSIVAS.....	40
6.2	FORMAS DEPOSICIONAIS O DE ACUMULAÇÃO .....	40
6.3	METODOLOGIA .....	40
6.4	BIBLIOGRAFIA .....	41
<b>7</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA VALORAÇÃO DE RISCOS.....</b>	<b>41</b>
7.1	INTRODUÇÃO.....	41
<b>7.2</b>	<b>RESUMO DAS AMEAÇAS .....</b>	<b>41</b>
7.3	ELEMENTOS EXPOSTOS .....	43
7.3.1	Análise dos elementos materiais .....	43
7.3.2	Estimação do valor exposto.....	45
7.3.3	Exposição de infraestruturas e edifícios públicos e sociais.....	45
7.4	VULNERABILIDADE .....	46
7.4.1	Introdução .....	46
7.4.2	Vulnerabilidade material ante inundações.....	47
7.4.3	Vulnerabilidade humana ante inundações.....	48
7.5	CÁLCULO DO RISCO .....	48
7.5.1	Risco e PML por inundação.....	48
7.5.2	Representação gráfica do risco por inundação .....	48
7.5.3	Cálculo da Perda Anual Esperada por inundação.....	50
7.6	AFETAÇÃO HUMANA POR INUNDAÇÃO .....	50
7.7	IMPACTO ASSOCIADO A DESLIZAMENTOS .....	50
7.7.1	Risco funcional.....	50
7.7.2	Risco estrutural.....	51
7.8	AFETAÇÃO HUMANA POR DESLIZAMENTOS .....	51
7.9	CONCLUSÕES DA VALORAÇÃO DE RISCOS .....	51
<b>8</b>	<b>RECOMENDAÇÕES DE GESTÃO E/OU DE ENGENHARIA.....</b>	<b>51</b>
8.1	RECOMENDAÇÕES RELACIONADAS COM AS INUNDAÇÕES FLUVIAIS.....	51
8.1.1	Atuações estruturais.....	52
8.1.2	Atuações no estruturais.....	53
8.2	RECOMENDAÇÕES RELACIONADAS COM AS INUNDAÇÕES COSTEIRAS .....	54
8.3	RECOMENDAÇÕES RESPEITO AO RESTO DE RISCOS ANALISADOS .....	54

## PLANOS

### 2.1 Inundações fluviais

2.1.1 Mapa de profundidades para 25 anos de período de retorno

2.1.2 Mapa de profundidades para 50 anos de período de retorno

2.1.3 Mapa de profundidades para 100 anos de período de retorno

2.1.4 Mapa de profundidades para 500 anos de período de retorno



- 2.1.5 Mapa de velocidades para 25 anos de período de retorno
- 2.1.6 Mapa de velocidades para 50 anos de período de retorno
- 2.1.7 Mapa de velocidades para 100 anos de período de retorno
- 2.1.8 Mapa de velocidades para 500 anos de período de retorno
- 2.1.9 Mapa de periculosidade para 25 anos de período de retorno
- 2.1.10 Mapa de periculosidade para 50 anos de período de retorno
- 2.1.11 Mapa de periculosidade para 100 anos de período de retorno
- 2.1.12 Mapa de periculosidade para 500 anos de período de retorno

## **2.2 Inundações costeiras**

- 2.2.1 Mapa de profundidades situação atual para 10 anos de período de retorno
- 2.2.2 Mapa de profundidades cenário 1 SLR=+0.2m para 10 anos de período de retorno
- 2.2.3 Mapa de profundidades cenário 2 SLR=+0.5m para 10 anos de período de retorno
- 2.2.4 Mapa de profundidades cenário 3 SLR=+1.0 para 10 anos de período de retorno
- 2.2.5 Mapa de profundidades situação atual para 50 anos de período de retorno
- 2.2.6 Mapa de profundidades cenário 1 SLR=+0.2m para 50 anos de período de retorno
- 2.2.7 Mapa de profundidades cenário 2 SLR=+0.5m para 50 anos de período de retorno
- 2.2.8 Mapa de profundidades cenário 3 SLR=+1.0 para 50 anos de período de retorno
- 2.2.9 Mapa de profundidades situação atual para 200 anos de período de retorno
- 2.2.10 Mapa de profundidades cenário 1 SLR=+0.2m para 200 anos de período de retorno
- 2.2.11 Mapa de profundidades cenário 2 SLR=+0.5m para 200 anos de período de retorno
- 2.2.12 Mapa de profundidades cenário 3 SLR=+1.0 para 200 anos de período de retorno

## **2.3. Análise susceptibilidade e risco de processos naturais**

- 2.3.1. Mapa Geológico
- 2.3.2 Mapa de pendentes do município de João Pessoa
- 2.3.3. Mapa de pendentes da Microrregião
- 2.3.4 Mapa de orientações do município de João Pessoa
- 2.3.5. Mapa de orientações do município da Microrregião
- 2.3.6 Mapa de susceptibilidade a deslizamentos do município de João Pessoa
- 2.3.7 Mapa de susceptibilidade a deslizamentos da Microrregião
- 2.3.8. Mapa de Erosão Costeira

## **ANEXOS**

- ANEXO I. Informação solicitada e recebida
- ANEXO II. Estudo Hidrológico
- ANEXO III. Fichas do inventário de deslizamentos
- ANEXO IV. Inventário de eventos



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Informação empregada .....	9
Tabela 2. Lista de eventos de inundações Fonte CENAD (Atas Brasileiro de desastres naturais 1991-2010) .....	10
Tabela 3. Represas e açudes no curso do rio Paraíba .....	13
Tabela 4. Extraído do “Projeto Grande Moinho de Tambaú” de Geoconsult” Fonte: Nascimento et al (1981) Projeto Radambrasil.....	13
Tabela 5. Vazões de cálculo para períodos de retorno.....	18
Tabela 6. Valores de incremento de precipitação (mm) para os cenários A2 e B1 para o ano 2050 .....	21
Tabela 7. Subida do nível do mar global para cada cenário RCP (IPCC-WG1).....	29
Tabela 8. Densidade de deslizamentos na zona de estudo.....	36
Tabela 9. Valoração dos pesos referentes às litologias exixtentes .....	37
Tabela 10. Valoração dos pesos referentes às pendentes existentes.....	37
Tabela 11. Valoração dos pesos referentes à análise da Microrregião .....	38
Tabela 12. Comunidades com áreas expostas a zonas de susceptibilidade média-alta.....	38
Tabela 13. Valoração areal e porcentual da distribuição da susceptibilidade a processos de ladeira nas comunidades de João Pessoa .....	39
Tabela 14. Lista de zonificação da erosão .....	41
Tabela 15. Preços médios de construção estimados para o cálculo do valor total exposto.....	45
Tabela 16. Resultado do cálculo do valor exposto para as inundações fluviais.....	45
Tabela 17. Resultado do cálculo do valor exposto para as inundações marinhas .....	45
Tabela 18. Resultado do cálculo do valor exposto para deslizamentos .....	45
Tabela 19. Longitude de infraestruturas (m.l.) expostas em zonas de susceptibilidade de deslizamento média e alta .....	46
Tabela 20. Número de centros de saúde e escolares em zonas de susceptibilidade de deslizamento média e alta .....	46
Tabela 21. Correlação entre tipo de edificação e curva de vulnerabilidade considerada mais representativa .....	47
Tabela 22. Cálculo de PML para a inundação fluvial .....	48
Tabela 23. Cálculo de PML para a inundação marinha .....	48
Tabela 24. Dados de cálculo da curva de PML por inundação fluvial .....	48
Tabela 25. Dados de cálculo da curva de excesso de perdas por inundação fluvial .....	49
Tabela 26. Dados de cálculo da curva de PML por inundação marinha com cenário de clima atual.....	49
Tabela 27. Dados de cálculo da curva de excesso de perdas por inundação marinha com cenário de clima atual.....	49
Tabela 28. Dados de cálculo da curva de PML por inundação marinha com cenário de clima com efeitos de alteração climática e 1 m de elevação do nível do mar (+1 SLR).....	49
Tabela 29. Dados de cálculo da curva de excesso de perdas por inundação marinha com cenário de clima com efeitos de alteração climática e 1 m de elevação do nível do mar (+1 SLR).....	50
Tabela 30. Cálculo de Perda Anual Esperada para a inundação fluvial e marinha .....	50
Tabela 31. População assentada e potencialmente afetada em zona de perigo por inundação .....	50
Tabela 32. Quantificação dos custos de reposição de infraestruturas por deslizamentos (R\$) .....	51
Tabela 33. Quantificação dos custos de reposição de centros de saúde e educação alocados em zonas suscetíveis de sofrer deslizamentos (R\$) .....	51
Tabela 34. Desmembramento da população potencialmente exposta em zonas de susceptibilidade de deslizamentos .....	51



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribuição da escala de MDT usados. Fonte: Própria.....	8
Figura 2. Mapa litológico da zona de Estudo . Fonte: Própria .....	11
Figura 3. Coluna estratigráfica da bacia Pernambuco-Paraíba (modificado de Barbosa et al , 2004).....	11
Figura 4. Argilas arenosas e areias argilosas da Fm Barreiras .....	11
Figura 5. Margas calcárias da Fm Gramame na pedreira próxima a Comunidade S .....	11
Figura 6. Precipitação média mensal em João Pessoa (1981-2009) Fonte: Avaliação quantitativa das precipitações diárias intensas na cidade de João Pessoa, Paraíba. ....	12
Figura 7. Rede hidrográfica da zona de estudo, Fonte SUDEMA .....	13
Figura 8. Distribuição dos pontos de controle na zona de estudo .....	14
Figura 9. Deslizamento de Porto Capín, JP .....	15
Figura 10. Depressões e fluxos costa sul de Conde.....	15
Figura 11. Zona erosiva na praia de Poço .....	15
Figura 12. Falésias de Cabo Branco.....	15
Figura 13. Ortofoto com a situação dos rios da zona de estudo.....	15
Figura 14. Classificação do solo frente ao drenagem.....	15
Figura 15. Topografia com curvas de nível cada 0.5 metros.....	16
Figura 16. Modelo Digital do Terreno em formato vetorial.....	16
Figura 17. Marco trícélular no rio Cabelo sob a estrada PB-008 .....	16
Figura 18. Tubo duplo Ø800 mm no rio Aratú sob a estrada PB-008.....	16
Figura 19. Ponte da estrada PB-008 sobre o rio Cuiá .....	16
Figura 20. Obra de drenagem no rio Cuiá sob a Rua Brasilino Alves da Nóbrega .....	16
Figura 21. Tubo triplo Ø1000 mm no rio Jaguaribe sob a Rua José Gomes da Silva.....	17
Figura 22. Estrutura bicélular no rio Jaguaribe sob a Rua Sal Geraldo.....	17
Figura 23. Número de Curva para antecedente de umidade II segundo a metodologia do SCS em João Pessoa .....	17
Figura 24. I-D-F para João Pessoa obtido pela Universidade Federal de Paraíba. ....	17
Figura 25. Retroefeitos do Clima e de escalas temporais. Fonte: 5º Informe de avaliação do IPCC .....	18
Figura 26. Redução da resolução dos GCMs. Fonte wom.int .....	18
Figura 27. Representação esquemática do enfoque de aninhamento do modelo climático regional (RCM). Fonte wom.int.....	19
Figura 28. Distribuição hipotética de anteriores e futuras variáveis climáticas mostrando uma alteração na média. (Fonte: Banco Mundial).....	19
Figura 29. Modelos globais de aquecimento superficial médio (relativos a 1980-1999). As barras à direita da imagem indicam a melhor estimativa (linha cheia dentro de cada barra) e a categoria provável avaliado para os seis cenários marcados do SREE para 2090-2099 relativos a 1980-1999 (Salomón et al 2007) .....	19
Figura 30. Emissões GHC atuais e cenários IPCC. De Raupach et al. 2007, atualizado por Prof. K. Andersson and Dr. A Bows, Tyndal Centre, Universidade de Manchester. ....	19
Figura 31. Temperatura e nível do mar médios para os distintos cenários propostos no Quinto Informe de Avaliação (AR5).....	19
Figura 32. Variação percentual das precipitações médias nos anos 2046-2065 nos meses de Abril a Setembro para o cenário RCP2.6. De esquerda a direita os percentis 25, 50 (mediana) e 75. ....	19
Figura 33. Variação percentual das precipitações médias nos anos 2046-2065 nos meses de Abril a Setembro para o cenário RCP4.5. De esquerda a direita os percentis 25, 50 (mediana) e 75. ....	19
Figura 34. Variação percentual das precipitações médias nos anos 2046-2065 nos meses de Abril a Setembro para o cenário RCP8.5. De esquerda a direita os percentis 25, 50 (mediana) e 75. ....	20
Figura 35. Anomalias nas precipitações (mm/dia) na América do Sul para o período 2071-2099 (Cenário A2) em relação com o período base 1961-1990 para 15 modelos climáticos diferentes disponíveis desde o IPCC .....	20
Figura 36. Variações de precipitação projetadas (%) para América do Sul para os anos 2011-2100 (cenário A1B) em relação com o período base 1961-1990 gerado pelo modelo Eta-CPTEC de 40 km baseado em HadCM3 .....	20
Figura 37. Variação da precipitação prevista para 2050 nos cenários A2 (esquerda) e B1 para o modelo gfdl_cm2.1. Fonte: Climate Change Knowledge Portal (Banco Mundial) .....	20
Figura 38. Importância relativa das diferentes fontes de incerteza na temperatura média global .....	21
Figura 39. Modelo HEC-RAS do Rio Cabelo e sus afluentes .....	22
Figura 40. Critérios de periculosidade de profundidade máxima: referências a nível mundial .....	22
Figura 41. Critérios de periculosidade de velocidade máxima: referências a nível mundial .....	22
Figura 42. Critérios de periculosidade de profundidades (m) e velocidade (m/s): referências a nível mundial .....	22
Figura 43. Regime de profundidades no rio Aratú para um período de retorno de 50 anos .....	23
Figura 44. Regime de velocidades no rio Aratú para um período de retorno de 50 anos .....	23
Figura 45. Periculosidade no rio Aratú para um período de retorno de 50 anos.....	23



Figura 46. Modelo HEC-RAS do sistema Laranjeiras-Cuiá .....	23
Figura 47. Obra de drenagem no rio Cabelo sem capacidade para as avenidas estudadas.....	24
Figura 48. Alçado e perfil da lâmina de água em uma obra de drenagem do rio Cabelo para um período de retorno de 25 anos. Modelo .....	24
Figura 49. Lâmina de inundação na comunidade de Cristo Redentor para um período de retorno de 50 anos em o rio Jaguaribe.....	24
Figura 50. Lâmina de inundação para um período de retorno de 2.33 anos (azul claro) e para 50 anos (azul escuro).....	24
Figura 51. Marco geral das dinâmicas a considerar .....	25
Figura 52. Malhas de detalhe de reanálise de ondulações em ALyC e resolução espacial das mesmas. ....	25
Figura 53. Malhas de detalhe DOW na zona de estudo e propagação com o modelo de ondulação SWAN, respectivamente. A escala de cores representa o valor da altura de onda significativa (m) e a flecha representa a direção média do estado de mar.....	26
Figura 54. Mapa da componente de maré M2 calculada com o modelo TPXO .....	26
Figura 55. Resultados da reanálise GOS de elevação da superfície livre devida a maré meteorológica para a data 17/12/1992. Zona América do Sur .....	27
Figura 56. Pontos equidistantes 1 km próximos a costa nos que se ha reconstruido a série temporal horária de nível do mar (Z).....	27
Figura 57. Série temporal de dinâmicas marinhas.....	27
Figura 58. Diagrama de fluxo do procedimento a seguir para a caracterização da inundação costeira .....	28
Figura 59. Reconstrução da série temporal horária de Nível de Surge (NS) .....	28
Figura 60. Picos sobre o umbral que garante 5 eventos ao ano .....	28
Figura 61. Período de Retorno com bandas de confiança do 95% .....	29
Figura 62. Tendência média do Nível Médio do Mar em João Pessoa (www.c3a.ihcantabria.com).....	29
Figura 63. Padrões regionais de Mudança do Nível do Mar e incertezas sobre o período de 1986-2005 a 2081-2100. a Scenario A sum (RCP4.5) com nível médio do mar global de 0.54 m, b Scenario B sum (RCP8.5) com nível médio do mar global de 0.71 m, c Scenario A uncertainty 90% CL (RCP4.5) com nível médio do mar global de 0.32 m, d Scenario B uncertainty 90% CL (RCP8.5) com nível médio do mar global de 0.48 m .....	30
Figura 64. Representação conceitual dos Pontos de Acumulação e Comunicação em uma IZ (Gouldby <i>et al.</i> , 2008) .....	30
Figura 65. Representação conceitual de dos IZs adjacentes (Jaimeson <i>et al.</i> , 2012) .....	30
Figura 66. Representação conceitual da transferência de TWL do mar ao dominio de inundação .....	31
Figura 67. Detalhe da malha de inundação de RFSM-EDA de João Pessoa .....	31
Figura 68. Desenvolvimento metodológico para a catografia de susceptibilidad .....	36
Figura 69. Análise bivariante para a Município .....	37
Figura 70. Análise bivariante para a microrregião .....	38
Figura 71. Análise multivariável para a microrregião .....	38
Figura 72. Comunidades e susceptibilidade no município de João Pessoa.....	38
Figura 73. Zonificação do área litoral .....	39
Figura 74. Desenvolvimento metodológico para a análise dos processos de erosão litoral .....	40
Figura 75. .Plano de distribuição de processos erosivos ativos na zona de estudo .....	41
Figura 76. Identificação das pegadas de inundação dos quatro canais modelados .....	42
Figura 77. Pegadas de inundação (profundidade) obtidas para os cenários de PR de 10 anos com clima atual (izqda.) e PR de 200 anos com 1 m de SLR (drcha.).....	42
Figura 78. Superposição do resultado de análise bivariante de deslizamentos sobre a ortofoto de João Pessoa. Destacam-se as zonas com susceptibilidade média (amarelo) e alta (vermelho) .....	42
Figura 79. Distribuição de tipo de edificio e nível econômico para a cidade de João Pessoa .....	43
Figura 80. Exemplo de habitações humildes junto ao canal do rio Jaguaribe na zona central (São José) de João Pessoa .....	43
Figura 81. Exemplo de habitações humildes junto ao canal do rio Jaguaribe na zona central (São José) de João Pessoa .....	43
Figura 82. Bloque de pisos e centro comercial que caem dentro da pegada de inundação do rio Jaguaribe .....	43
Figura 83. Exemplo de bairro misto típico de João Pessoa no que combinam bloques elevados de pisos com habitações unifamiliares de um o dos pisos .....	44
Figura 84. Habitação unifamiliar junto à franja costeira em área com potencial de ser invadida em caso de uma elevação do nível do mar. ....	44
Figura 85. Vista da franja costeira sul do município de João Pessoa com edificações de uso turístico e quizás residencial de madeira.....	44
Figura 86. Detalhe de várias destas edificações junto à praia.....	44
Figura 87. Bairro de habitações unifamiliares humildes junto a talude com risco de deslizamento (Zona Timbó) .....	44
Figura 88. Habitações com aspecto de precarias junto a um talude com risco de deslizamento (Zona São Rafael) .....	44
Figura 89. Edifício de nível econômico aparentemente elevado junto a um talude no que se ha produzido um importante deslizamento (Zona Porto Capín) .....	44
Figura 90. Cobertura da rede de saneamento em João Pessoa .....	45



Figura 91. Vista da exposição de infraestruturas e edifícios de uso social às possíveis inundações fluviais.....	46
Figura 92. Vista da exposição de infraestruturas e edifícios de uso social em zonas com susceptibilidade de deslizamentos de nível médio e alto .....	46
Figura 93. Exemplos de funções de vulnerabilidade a inundações para estruturas de um nível, inclui dano à estrutura e aos conteúdos; fonte CAPRA.....	47
Figura 94. Exemplos de funções de vulnerabilidade a inundações para edifícios de um o vários níveis; fonte CAPRA .....	47
Figura 95. Quadro de estimação de danos em edifícios por inundações; fonte FEMA .....	47
Figura 96. Representação gráfica das curvas de vulnerabilidade aplicadas como base orientativa de cálculo; fonte FHRC.....	47
Figura 97. Função de vulnerabilidade humana para estruturas de alvenaria; fonte CAPRA .....	48
Figura 98. Representação gráfica da PML por inundações fluvial .....	49
Figura 99. Representação gráfica curva de excesso de perdas por inundações fluvial .....	49
Figura 100. Representação gráfica da PML por inundações marinha com cenário de clima atual .....	49
Figura 101. Representação gráfica curva de excesso de perdas por inundações marinha com cenário de clima atual .....	49
Figura 102. Representação gráfica da PML por inundações marinha com cenário de clima com efeitos de alteração climática e 1 m de elevação do nível do mar (+1 SLR) .....	49
Figura 103. Representação gráfica curva de excesso de perdas por inundações marinha com cenário de clima com efeitos de alteração climática e 1 m de elevação do nível do mar (+1 SLR).....	50
Figura 104. Zonificação da principal afetação humana por inundações de acordo ao clima atual, mas com períodos de retorno para a inundações fluvial e marinha respectivamente de 500 e 200 anos. ....	50
Figura 105. Exemplo de adequação de canal, margens e margens .....	52
Figura 106. Alocação da atuação proposta nº 1 .....	52
Figura 107. Incapacidade da seção de cruzamento para o Máximo Crescimento Ordinário (T2.33 anos). Modelo.....	52
Figura 108. Situação da comunidade de São José para uma vazão correspondente ao Máximo Crescimento Ordinário (T 2.33 anos) .....	52
Figura 109. Alocação da atuação proposta nº 3 .....	53
Figura 110. Incapacidade da seção de cruzamento para o Máximo Crescimento Ordinário (T2.33 anos). Modelo.....	53
Figura 111. Alocação da atuação proposta nº 3 .....	53
Figura 112. Zonas de proibição e de restrição.....	54
Figura 113. Lâmina de inundações para o máximo crescimento ordinário e para um período de retorno de 500 anos .....	54



## 1 Introdução

Desenvolve-se no presente documento uma avaliação do risco de desastres naturais em João Pessoa (Paraíba - Brasil), considerando diversos cenários relacionados ao efeito das alterações climáticas e para o clima atual.

### 1.1 Definição da área de estudo

O escopo geográfico da área de estudo se limita ao município de João Pessoa e seu entorno.

O município de João Pessoa tem superfície de 204 km<sup>2</sup> e população de 742,478 habitantes, mas a área de estudo excede o referido município em 341,7 Km<sup>2</sup>, incluindo zonas parciais dos municípios de Conde, Cabedelo, Lucena, Bayeux e Santa Rita.

### 1.2 Organismos consultados

Foi realizada uma série de visitas às distintas instituições que puderam dispor de informações de interesse para a elaboração do estudo.

Foram estabelecidos de fato os seguintes contatos:

- Prefeitura Municipal de João Pessoa
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente
- Secretaria de Planejamento
- Superintendência de Mobilidade Urbana- SEMOB
- Coordenadoria Municipal de Defesa Civil
- .Secretaria de Desenvolvimento Social
- .Secretaria Municipal de Habitação
- Prefeitura Municipal de Cabedelo
- Prefeitura Municipal de Santa Rita
- Prefeitura Municipal de Conde
- Prefeitura Municipal de Bayeux
- Prefeitura Municipal de Lucena (não auxiliou)
- Superintendência de Desenvolvimento do Meio Ambiente (SUDEMA)
- Secretaria de Recursos Hídricos, Meio Ambiente, Ciências e Tecnologia
- Empresa Municipal de Limpeza de Urbanização (EMLUR)
- Companhia Docas da Paraíba
- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA)
- Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA)

### 1.3 Qualidade da informação obtida

A compilação de informações tem sido um grave inconveniente para o desenvolvimento do estudo. A informação obtida nem sempre tem trazido a qualidade necessária, e em certas ocasiões sua recepção foi defasada em relação às necessidades do estudo.

Observa-se uma clara diferença, tanto de qualidade como de volume e disponibilidade de informação, entre João Pessoa e os demais municípios da região.

No Anexo I estão listadas as informações solicitadas e finalmente recebidas dos distintos organismos consultados.

Não foram encontrados jogos de ortofotos ou pares estereoscópicos que abordassem toda a zona da Microrregião, existindo alguma informação parcial apenas no Município de João Pessoa. Para os reconhecimentos, foram empregadas imagens do Google Earth.

Os MDT contínuos da zona de estudo têm baixas resoluções para todo o entorno da Microrregião, tendo boas escalas apenas para a zona do Município de João Pessoa (apesar de se observar que não estão totalmente editados; apresentando numerosos elementos anômalos nas zonas urbanas).

Para o estudo no nível municipal se dispôs de um MDT de tamanho de célula 2 m cobre toda a superfície do município de João Pessoa que foi gerado pela equipe de IDOM a partir das curvas de nível de 1 m de 2009, fornecidas pela Prefeitura de João Pessoa.

A seguinte figura mostra a distribuição de escala dos MDT trabalhados.

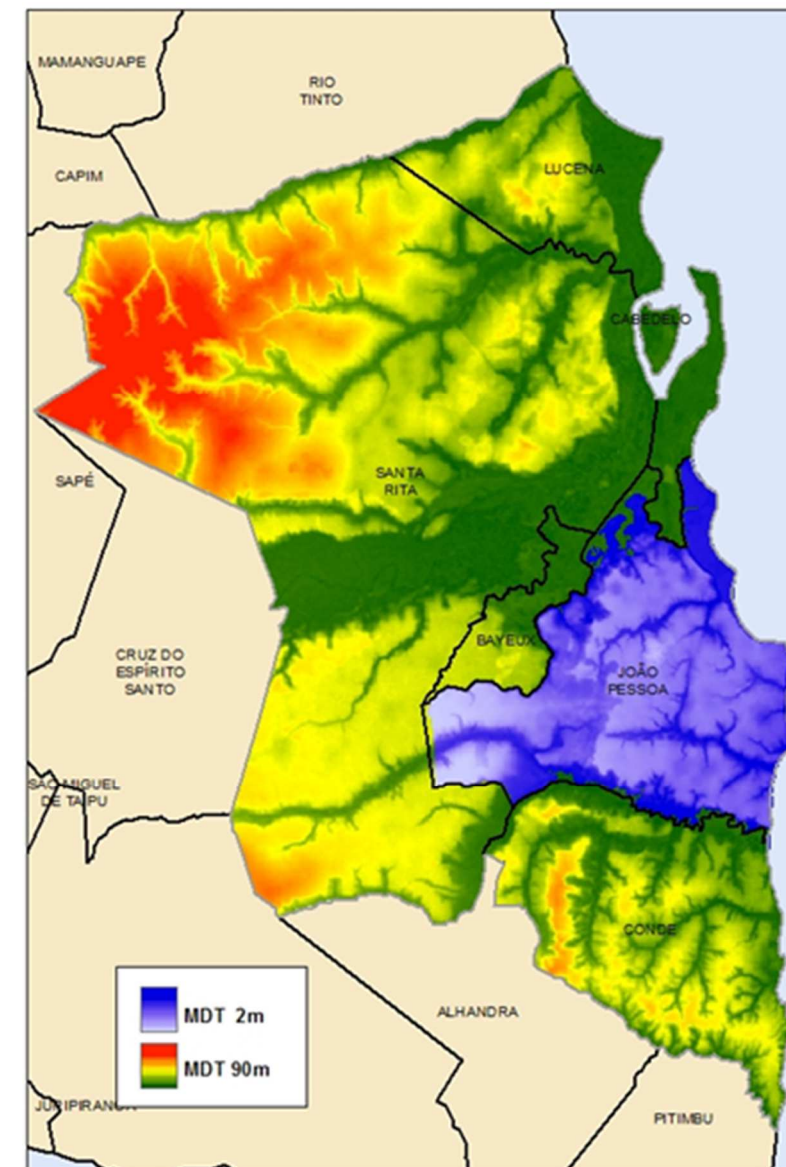


Figura 1. Distribuição de escala de MDT usados. Fonte: Própria

Diante disto, decide-se por realizar o estudo de suscetibilidade em dois níveis.

- Município de João Pessoa
- Microrregião

No parágrafo de valoração de exposição foi deixada de lado a base *shape* cadastral de João Pessoa que serviu para fazer estimações mais confiáveis dos elementos expostos, edifícios e infraestruturas. Na falta desta informação, tiveram que ser feitas estimações de densidade ponderada de superfícies construídas, etc. com base na observação de ortofotos. Neste sentido, há que se indicar que os resultados do cálculo de riscos apresentados sejam tomados como ordem de magnitude pelos que orientarem no futuro as políticas de gestão e mitigação de danos a infraestruturas, edifícios e seres humanos.



Finalmente, agradecer o esforço dos principais fornecedores de informação:

- Prefeitura de João Pessoa
- Prefeitura de Bayeux
- AESA
- CAGEPA
- SUDEMA

A tabela resumida a seguir contempla a principal informação empregada e sua resolução.

Tabela 1. Informação empregada

Database	Município	Microrregião	Fonte
Mapa geológico	1/100.000	1/100.000	Soares 2011 Carta geomorf SG
Geomorfológico	1/100.000	1/100.000	Carta geomorf SG
Usos do Solo		1/10.000	Própria
MDT	2x2*	90x90**	*Curvas 1 m (Prefeit) ** IBGE

#### 1.4 Valoração probabilística de riscos naturais

O processo de valoração ou estimação de riscos, descrito adiante, se baseia em critérios próprios da equipe técnica da IDOM, os quais por sua vez se apoiam principalmente na metodologia de trabalho desenvolvida no documento “*Multi-hazard risk assessment*”, versão 2011, da Universidade das Nações Unidas e o instituto holandês ITC School on Disaster Geoinformation Management da Universidade de Twente, assim como no desenvolvimento metodológico proposto na plataforma CAPRA. Quanto a definições e compreensão de conceitos metodológicos igualmente se considera oportuno citar o “*Guía Análisis de Riesgos Naturales para o Ordenamiento Territorial*” publicado em 2011 pela Subsecretaria de Desenvolvimento Regional e Administrativo (SUBDERE) do Governo do Chile.

A análise de riscos (naturais) é um processo sistemático para compreender a natureza do risco e deduzir diversas consequências desastrosas, de tal forma que se constitua base sobre a qual se planifiquem as políticas de gestão (emergência, prevenção, mitigação, etc.).

Em linhas gerais, atualmente a avaliação de riscos naturais se entende como um processo de análise probabilística baseado na seguinte sequência de etapas:

- **Avaliação de ameaças**, entre as quais cabe destacar, a sísmica, vulcânica, deslizamentos, inundações fluviais marinhas, entre outros de caráter ambiental como as secas etc. Dentro da avaliação, várias ameaças estão diretamente relacionadas com o processo de alterações climáticas em marcha, motivo pelo qual este efeito deve ser considerado dentro dos possíveis cenários do estudo. Como parte da avaliação das ameaças deve se considerar

a frequência com que se pode produzir um desastre natural de intensidade considerável. Este conceito contribui com a variável probabilística ao estudo.

- **Estudo de exposição**, no qual se avalia uma porção de edifícios, infraestruturas e pessoas que eventualmente possam sofrer danos devido a um desastre natural.
- **Estudo de vulnerabilidade**, que representa o grau de dano que edifícios, infraestruturas e/ou pessoas podem sofrer na ocorrência de um desastre natural de intensidade considerável.
- **Análise de riscos**, representa o valor monetário do dano probabilisticamente calculado, causado a edifícios, infraestruturas e/ou seres humanos.
- **Gestão de risco**, as distintas formas de gestão dos riscos derivados de ameaças naturais que podem ser implementadas, destinadas a mitigar os danos ou facilitar a recuperação da comunidade após um desastre natural. Exemplos: a instalação de sistemas de aviso prévio, programas de conscientização da população, obras de engenharia, reacomodação de populações ameaçadas, contratação de seguro etc.

Em nível internacional, podem ser apresentadas as seguintes definições para os parâmetros principais que compõem o processo de valoração de riscos naturais:

- **Ameaça, Perigo ou Periculosidade**: Probabilidade de ocorrência de evento potencialmente desastroso durante certo período de tempo em dada área.
- **Elementos em Risco ou Exposição**: São a população, os edifícios e obras civis, as atividades econômicas, os serviços públicos, a infraestrutura, expostos a uma área de perigo.
- **Vulnerabilidade**: Grau de perda de um elemento ou grupo de elementos sob risco resultado da provável ocorrência de um evento desastroso, expressa por escala de 0 a 1 (zero a um), onde 1 representa perda total.
- **Risco Específico**: Grau de perdas esperadas devido à ocorrência de um evento particular e em função da ameaça e da vulnerabilidade.
- **Risco**: Número de perdas humanas, feridos, danos às propriedades e efeitos sobre a atividade econômica, devido à ocorrência de um desastre, isto é, o produto do risco específico, e os elementos em risco.

Diversas fontes propuseram definições para estes conceitos básicos do processo de valoração de riscos naturais, cada uma com certos matizes de significado, de tal forma que a própria Organização das Nações Unidas, no ano de 2009, apresentou proposta atualizada<sup>1</sup> de terminologia, na qual destacou os seguintes termos:

<sup>1</sup> Documento: Terminología sobre reducción do riesgo de desastre” EIRD 2009.

- **Ameaça Natural**: Processo ou fenômeno natural que pode ocasionar a morte, lesões ou outros impactos à saúde, assim como danos à propriedade, a perda de meios de sustento e de serviços, transtornos sociais e econômicos, ou danos ambientais.
- **Vulnerabilidade**: Características e circunstâncias de uma comunidade, sistemas ou bens que os fazem suscetíveis aos efeitos danosos de uma ameaça.
- **Desastre**: Séria interrupção no funcionamento de uma comunidade que ocasiona uma grande quantidade de mortes assim como perdas e impactos materiais, econômicos e ambientais, que excedem a capacidade desta comunidade afetada de enfrentar a situação usando seus próprios recursos.
- **Risco**: Combinação da probabilidade de que se produza um evento e suas consequências negativas.

Voltando à sequência apresentada anteriormente, em relação ao processo de avaliação sistemática de riscos naturais, cabe ampliar as explicações acerca das etapas-chave:

- Avaliação de ameaças;
- Avaliação de vulnerabilidade; e
- Cálculo de risco.

Brevemente, se pode comentar que a base da avaliação das **ameaças** visa a ser um registro de fenômenos e desastres naturais registrados, tal como se tentou compilar nesta ocasião. O resultado é um mapa de ameaças ou, para o caso presente, mapas individuais para cada ameaça. Quantitativamente, a ameaça se pode quantificar como  $P(mi)$ , equivalente à frequência ou probabilidade de ocorrência de um evento ( $i$ ), expresso como %/ano, de uma magnitude ( $mi$ ), definida por parâmetros como a profundidade, velocidade, volume, energia, etc).

Quanto à **vulnerabilidade**, esta determina o nível de exposição e predisposição a danos e perdas ante uma ameaça específica. Consiste na identificação e avaliação de elementos vulneráveis e à estimação da porcentagem de perdas resultantes de uma ameaça ou fenômeno perigoso. Pode-se identificar como  $V(mi)$  a porcentagem de valor monetário exposto, em moeda ( $w$ ), que se perderia diante do impacto de um evento  $i$  de magnitude  $m$ .

Finalmente, o cálculo de **risco** consiste em estimar as perdas prováveis para os diferentes eventos perigosos possíveis, mediante um processo de relação entre ameaças identificadas e vulnerabilidades estimadas visando a determinar as consequências sociais, econômicas e ambientais. Neste caso, estamos incorporando o valor monetário dos danos sofridos pelo elemento ou sistema, isto é, grupo de elementos, objeto de análise. Se o valor do sistema se define como  $W(\$)$ , a expressão matemática do risco que desenvolvemos se plasmaria da seguinte forma:

$$Ri = P(mi) \times V(mi) \times W \text{ medido em \$/ano}$$

Onde,

Ri: Risco;



$P(m_i)$ : Probabilidade de Ocorrência;

$V(m_i)$ : Vulnerabilidade; e

W: Valor Atual do Bem

Quanto à expressão matemática de risco, a bibliografia também apresenta diversas equações, cada uma com leves matizes diferenciais, entre as quais se podem incluir, a título de exemplo, as incluídas no Guia de avaliação de riscos naturais da Universidade das Nações Unidas-ITC:

#### Qualitativa:

$$\text{Risco} = \text{Ameaça} \times \text{Vulnerabilidade} / \text{Capacidade ou resiliência};$$

Ampliando desta forma a capacidade do sistema ou sociedade para superar as possíveis consequências desastrosas, e

#### Quantitativa:

$$\text{Risco} = \text{Ameaça} \times \text{Vulnerabilidade} \times \text{Nº Elementos em risco (ou expostos)}$$

Este guia apresenta a seguinte expressão matemática para o risco específico (Rs):

$$R_s = P_T \times P_L \times V \times A; \text{ onde}$$

$P_T$  equivale à probabilidade temporal (por exemplo, anual) de ocorrência de um cenário de perigo específico ( $H_s$ ) com um período de retorno concreto;

$P_L$  a probabilidade espacial de ocorrência de um cenário de perigo específico com um período de retorno concreto em uma área dentro da qual se encontrem os elementos expostos;

$V$  representa a vulnerabilidade física, definida como o grau de dano sofrido pelos elementos expostos, considerando a intensidade local causada pela ocorrência de um perigo específico  $H_s$ ;

$A$  coincide com o número de elementos de um tipo específico em risco ou expostos.

A respeito deste último parâmetro, o guia destaca a importância de entender que a quantidade ou número podem ser definidos de diversas maneiras, que por sua vez repercutem na expressão quantitativa do risco. Por exemplo, a quantidade pode ser dada em números, tal como o número de edifícios (que podem sofrer um dano), pessoas (feridas, falecidas ou afetadas), tramas de tubulação rompidas por quilômetro etc. Igualmente, e coincidindo com a primeira definição citada de risco, os elementos em risco ou expostos podem ser quantificados em valor monetário, sendo esta a alternativa eleita no presente documento de acordo com o enfoque histórico seguido pelo BID nestes projetos.

Como primeiro passo no processo de avaliação de riscos, se realizará a seguir a avaliação das ameaças relevantes.

## 2 Quadro geral

Analisa-se os seguintes aspectos gerais para o desenvolvimento do estudo, tanto em relação às principais ameaças potenciais na zona como sua relação com o marco físico no qual se enquadram.

### 2.1 Seleção de Ameaças

Da informação disponível, se destaca, como era de se esperar, uma informação mais concentrada no município de João Pessoa e uma carência de informação nos municípios limítrofes.

Como ponto de partida, e antes das visitas e reuniões realizadas com diversos organismos, foram considerados os seguintes tipos de ameaças com possibilidade de afetar a área de estudo:

- Movimentos de massa (deslizamentos)
- Erosão (continental ou marinha)
- Seca - estiagem
- Inundação
- Granizo
- Chuvas intensas
- Ventos fortes

Após a reunião realizada com a Coordenadoria Municipal de Proteção da Defesa Civil (COMPEC), só são considerados três tipos de risco:

- Desprendimentos
- Deslizamento
- Inundação

Com estes indicadores prévios, se selecionam como as ameaças naturais que representam maior risco na área de estudo as seguintes:

- Inundações, encharcamento = Riscos de Inundação.
- Erosão/acumulação costeira, inundações costeiras, subida do nível do mar. = Riscos Costeiros.
- Deslizamentos, desmoronamentos, desprendimentos = Risco por movimentos de massa (gravitacionais).

A seleção final se estabelece, portanto, com base em critérios acordados com governos nacionais, locais e consultas a pessoal do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

### 2.2 Análise histórica da problemática

Os principais riscos na zona de estudo estão relacionados com inundações e deslizamentos.

As inundações são recorrentes em todo o estado da Paraíba, afetando 66% dos municípios.

A partir da informação facilitada pelo CENAD <sup>2</sup>se extraiu a seguinte tabela, que contém os distintos eventos inventariados nos últimos 34 anos.

Tabela 2. Lista de ocorrência de inundações Fonte CENAD (Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991-2010)

	Inundações Bruscas		
Bayeux	1994	2004	2006
Cabedelo	2003	2005	2009
João Pessoa	1994	2004	
Lucena	2003	2007	
Santa Rita	1994	2004	

No ano de 1985 também ocorreram importantes inundações às margens do rio Paraíba no município de João Pessoa e, a partir dos dados de Defesa Civil, foram inventariados alguns eventos catastróficos como o ocorrido no ano de 1984, quando ocorreram 18 <sup>3</sup>mortes nas comunidades de Cabo Branco, São José e Saturnino de Brito, ou outras 13 mortes ocorridas no ano de 1989 na comunidade de São José.

Do ponto de vista do CENAD não foi registrada a incidência de deslizamentos na zona de estudo, o que se deve possivelmente à insignificância dos mesmos.

A Defesa Civil do município de João Pessoa contém informação dos eventos citados. Da informação elaborada com data de fevereiro de 2013, cabe comentar as seguintes conclusões.

- Mais de 6.000 pessoas foram reassentadas, afetadas por problemas de deslizamentos e inundações, principalmente das comunidades de Paulo Alfonso, Asa Branca, Monte das Oliveiras Terra do Nunca e Jardim da Mangueira.
- Mais de 26.000 pessoas se encontram assentadas em zonas de alto risco e outras 47.000 se encontram em zonas de risco médio.
- Em 2009 ocorreu um acidente mortal por ruptura de um talude recém-escavado, desestabilizado pelas chuvas.

No momento atual, a Prefeitura atua na questão visando a mitigar os riscos mediante medidas de engenharia (Timbó, Saturnino de Brito, M<sup>a</sup> Nazaré, entre outras) assim como um importante esforço em realojar um elevado número de habitantes em abrigos temporários.

Os principais perigos vêm de inundações e instabilidades do terreno, o que unido a uma elevada pressão urbana, geralmente de comunidades com poucos recursos, resulta no aumento do risco, já que estas comunidades de desenvolvimento subnormal se localizam nas únicas zonas que não se desenvolveram urbanisticamente por suas condições pouco aptas para a edificação, tanto por sua elevada suspensão como por sua proximidade de zonas inundáveis.

<sup>2</sup> Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos Naturais

<sup>3</sup> Segundo informações da imprensa, em 13 de abril de 1984, os mortos eram 20 e mais de 30 pessoas foram enterradas



## 2.3 Marco Físico

O Brasil está localizado sobre a plataforma sulamericana, cujo embasamento teve uma evolução geológica muito complexa, iniciada no período arcaico.

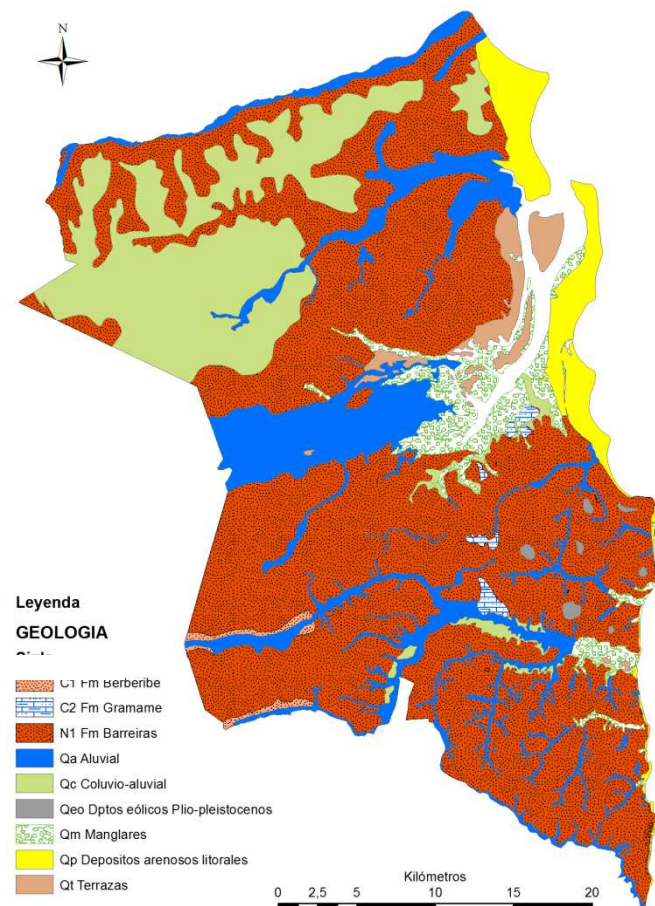


Figura 2. Mapa litológico da zona de Estudo. Fonte: Própria

O Brasil completou sua consolidação entre o período proterozoico superior e começos do período paleozoico. O embasamento da plataforma sulamericana é essencialmente de rochas metamórficas das fases anfibolito e granulito e de granitoides da idade arcaica, associadas. O embasamento está amplamente exposto em grandes escudos, separados uns dos outros por coberturas fanerozoicas.

A partir do Paleozoico, se instalam nestas plataformas coberturas sedimentárias e vulcânicas que espacialmente preenchem três extensas bacias: Amazonas, Paraíba e Paraná.

Na zona nordeste do país e orlando o escudo Atlântico se encontram outras pequenas bacias litorais de idades cretácico-terciárias das quais a zona de estudo faz parte.

### 2.3.1 Estratigrafia

O município de João Pessoa e seu entorno se encontram na bacia sedimentária de Pernambuco-Paraíba, pertencente às distintas bacias litorais presentes no nordeste do sul do continente americano. A bacia foi descrita como uma sequência de sedimentos que se distribuem ao longo da faixa costeira de ambos estados.

A bacia de Pernambuco-Paraíba está constituída por duas sub-bacias separadas pelo alinhamento de Pernambuco. A zona de estudo se encontra na sub-bacia de Recife-João Pessoa, localizada ao norte do alinhamento citado, e se caracteriza pela espessura dos materiais detríticos de moderados a baixos com uma espessura média de 400 m. (Feijó, 1994).

Foi definida para a zona de estudo uma sequência de materiais iniciada por sedimentos médio-grosso-grossos do final do Cretácico (Arenitos de Fm Beberibe). Na sequência, passa por materiais mais finos (Calcários e margas das Fm Gramame e Fm Maria Farinha) de clara influência marinha com idades que vão do Maastrichtiense ao Paleogênico, finalizando com os sedimentos Miocenos da Fm Barreiras.

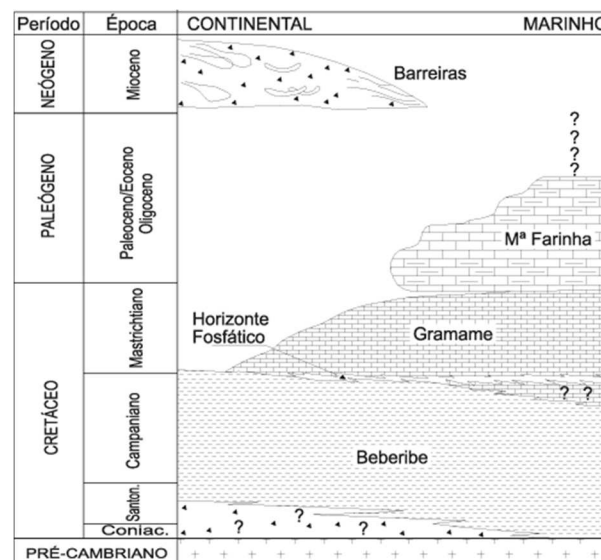


Figura 3. Coluna estratigráfica da bacia Pernambuco-Paraíba (modificado de Barbosa et. al., 2004).

Litologicamente, os sedimentos constituintes da zona de estudo se definem na continuação da base ao teto:

**Grupo Paraíba:** unidade cretácico-terciária na qual foram definidas três formações (Beberibe, Gramame e Maria Farinha).

**FM Beberibe**, descrita como areníticas brandas de cores acinzentadas a creme, mais ou menos argilosas e mal selecionadas, com uma potência média de mais de 200 m. A teto da unidade se descreve um nível de areníticas siliciosas, compactas e carbonáticas que indicam o passo de uma transição de facies continentais a marinhas.

**FM Gramame**, se descreve como margocalcário e calcarenito de granulometrias médias a finas, e uma potência de 55 m, apresenta

calcário dolomíticos na base que vão passando a calcários até o teto. Amplamente utilizadas para cimentos e cal assim como pedra. Na zona de estudo afloram na margem esquerda do rio Gramame, nos bairros Cruz das Armas, Mandacaru e nas proximidades do rio Paraíba.

**FM. Maria Farinha**, composta por margas, calcário margoso e calcário dolomítico detrítico. Marca a regressão marinha da Bacia. Não se observou na zona de estudo apesar de estar presente nos municípios de Pitimbu e Conde, assim como em algumas plataformas de erosão do litoral paraibano. Estima-se uma potência máxima de 35 m



Figura 4. Argilas arenosas e areias argilosas da Fm Barreiras



Figura 5. Margas calcárias da Fm Gramame na pedreira próxima a Comunidade S

### Formação Barreiras

Descritas como areníticas argilosas e argilas arenosas, mal selecionadas e pouco consolidadas, produto da sedimentação continental de origem fluvial em condições áridas. Também se observam unidades mais grosseiras em passadas de cascalhos, associadas a tormentitas. As colorações vão de ocre a amarelas, apresentando, após alterações, colorações avermelhadas. Se definiu uma potência de 70-80 m. Apresenta crostas lateríticas, e tanto sua espessura como distribuição coincidem com os altiplanos de baixa cota existentes na zona de estudo.

Sobre estes depósitos cretácico-terciários se encontram os materiais quaternários que se dividiram principalmente nas seguintes unidades, atendendo a sua gênese.

**Depósitos de Manguezal** são argilas não consolidadas, com abundante presença de matéria orgânica. Encontram-se ao longo dos cursos mais importantes de água onde ainda existe influência da maré. Localizam-se nas margens dos rios Paraíba, Jaguaribe, Jacarapé, Cuia e Gramame.

**Terraços marinhos**, areias siliciosas de granulometrias médias a grossas, que representam antigas linhas de praia. Coincide com as zonas revegetadas a sotavento do acostamento da praia. Na atualidade, se encontram ocupadas pelo desenvolvimento urbano em uma grande extensão. Podem ser tanto do Pleistoceno como do Holoceno.

**Depósitos de praia** areias finas e por vezes limosas de natureza silícica ainda que em ocasiões também existam cantos de elementos carbonados. Corresponde às orlas de praia atuais. Não são representadas na cartografia.



**Depósitos aluviais** dos cursos atuais definidos como limos, argilas e areias.

**Depósitos coluviais** principalmente produzidos pelo desmantelamento dos resaltes topográficos da FM Barreiras, e com composição de argilas, areias e alguns cascalhos. Sem expressão cartográfica na cartografia adjunta, é habitual sua presença na base dos cantis e dos principais escarpes.

**Terraços fluviais** depósitos aluviais de cascalhos, areias e argilas onde se encontram a maior cota do canal atual.

Ao sul do município de João Pessoa, sobre os depósitos da Fm Barreiras se identificaram zonas de acúmulo de areias, possivelmente **dumas eólicas** atualmente fossilizadas pela vegetação

Os sedimentos carbonatados do Grupo Paraíba apresentam uma clara cunhagem para o interior do continente, desaparecendo para o oeste. Nestes casos, quando desaparecidas as unidades carbonatadas à semelhança das formações Beberibe e Barreiras são dificilmente identificáveis em campo por suas semelhanças litológicas, motivo pelo qual se deve analisar a cartografia proposta com certa cautela.

### 2.3.2 Geomorfologia

As principais unidades geomorfológicas presentes na zona são os altiplanos de baixa altura, assim como as barras litorais tanto na zona de Cabedelo como em Gramame, a zona de falésias ao sul de Cabo Branco, os manguezais e os sedimentos costeiros tipo terraços marinhos que compõem a zona de Cabedelo.

#### Altiplanos de baixa cota

Trata-se de altiplanos gerados a partir da erosão pela rede de drenagem dos materiais da Fm Barreiras. Estes altiplanos parecem ter uma marcada relação com a placa tectônica da zona, apresentando maiores ou menores alturas em função dos processos de afundamento ou elevação das unidades tectônicas existentes, que como teclas de piano se dispõem perpendicularmente à costa.

Trata-se de formas tabulares que apresentam em superfície suaves ondulações intersectadas por uma rede fluvial com uma incisão baixa dando descensos topográficos na escala de 0 a 40 m (Furrier 1986).

A incisão da rede fluvial na zona de estudo é moderada a baixa com encaixamento dos cursos fluviais de entre 20 a 40 m de profundidade, e devido à litologia dos mesmos dão lugar a vais e barrancos de fundo plano. Na zona de estudo o espaçamento da rede de drenagem é alto, apesar de ao sul do rio Gramame este espaçamento ser muito mais reduzido, levando alguns autores a justificar esta mudança de padrão pela influência neotectônica recoberta.

As ladeiras dos altiplanos são escarpadas dando lugar a taludes nos quais se dão alguns processos de instabilidade intimamente ligados aos eventos chuvosos e à atividade antrópica.

Por suas características litológicas, apresentam solos arenosos, pobres em vegetação.

Na zona de costa estes altiplanos dão lugar a falésias, algumas ativas como na zona de Cabo Branco, com mais de 20 m de altura, enquanto em outros casos se trata de falésias fósseis, como a que atualmente limita o rio Jaguaribe no Bairro de São José, que representam antigas linhas de praia.

#### Terraços fluviais

A cartografia define uma série de zonas entre o município de João Pessoa e o rio Paraíba definidas como terraços. Trata-se de antigos depósitos aluviais onde se encontra a maior cota do canal atual, e que apresentam litologias de limos, argilas, areias e cascalhos.

#### Planície litoral

Entendem-se como tal todos os elementos deposicionais do ambiente litoral de menor cota, desde terraços marinhos, depósitos de praias e restingas.

O município de Cabedelo se encontra situado na planície litoral gerada a partir das ações marinhas e fluviais. Diversos estudos definem sua formação a partir de uma barra litoral que foi progredindo ao norte. No momento atual, esta dinâmica foi limitada pelo espigão do porto e a dragagem do canal de acesso ao mesmo. A barra litoral foi aumentando seu tamanho a oeste pelo transporte eólico das areias aportadas pelo mar. No momento atual, este processo está limitado pela urbanização da zona.

A dinâmica das praias foi interrompida pelas edificações, limitando os aportes de areia do interior da planície às praias nas épocas de maior erosão, aumentando a pendente das praias que em certas ocasiões apresentam superfícies onduladas, ou mudanças de pendente na zona entre marés. Tudo isso aumenta a erosão das mesmas, aumentando o transporte de material à zona do arrecife, que se encontra entre os 50 e 1000 m da atual linha da costa.

Na zona do litoral, nas praias que mantiveram sua naturalidade, se observa um acostamento sobre maré de 1.00 ou 1.50 m de altura sobre a zona de maré alta, geralmente vegetada, que em diversos pontos está sendo afetada pela erosão.

#### Falésias

Desde a zona de Cabo Branco até o sul, a zona litoral se desenvolve por uma falésia de uns 20-30 m de altura, formada pelos materiais da Fm Barreiras, apesar de na base dos mesmos se observarem níveis margosos, possivelmente em trânsito às unidades calcárias do Grupo Paraíba. Em vários pontos, estas falésias são ativas com desprendimentos e desmoronamentos, que chegaram a afetar a infraestruturas viárias, como no caso de Cabo Branco, onde o acesso ao farol do mesmo nome foi cortado pela evolução retrógrada do cantil. Nestes casos, essa sobreescavação marinha produz instabilidade na base da falésia, desestabilizando a frente da mesma em toda sua longitude, devido à natureza branda da Fm Barreiras.

Existe uma paleo-falésia ao norte de Cabo Branco até aproximadamente a zona de Tambaú, atualmente separado da costa atual pelos materiais arenosos da planície litoral.

#### Planície flúvio-marinha

Consiste na zona onde se mesclam as influências marinha e fluvial, amplamente representada na zona estuarina do rio Paraíba. As influências de um e outro ambiente se sobrepõem no interior do estuário em função da força de cada um deles, progredindo para o mar a influência fluvial na época de chuvas, e retrogradando a mesma para o interior do estuário quando se combinam marés altas e temporais oceânicos. Nesta zona se encontram depósitos tanto de um como de outro entorno, desenvolvendo-se manguezais como elemento mais significativo deste tipo de ambiente.

### 2.3.3 Clima

O clima da zona de estudo se define como tropical úmido (As da classificação de Köppen), com temperaturas médias em torno de 25°C. A amplitude térmica das médias mensais é de apenas 3°C entre os meses frios (julho, agosto) e os quentes (janeiro, fevereiro).

A precipitação média anual varia entre 1.200 a 1.600 mm (INCRA 2006) e a evaporação está valorada em 1.313 mm anuais (INMET 1961-1990). A época de chuvas se concentra de janeiro a julho, sendo os meses menos chuvosos os de setembro a dezembro.

A distribuição mensal das precipitações está ilustrada no seguinte gráfico.

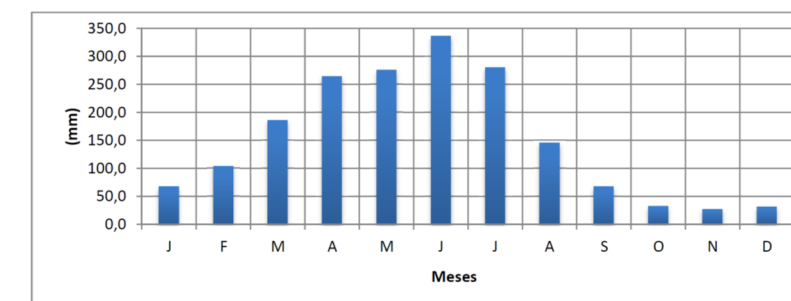


Figura 6. Precipitação média mensal em João Pessoa (1981-2009) Fonte: Avaliação quantitativa das precipitações diárias intensas na cidade de João Pessoa, Paraíba.

A umidade relativa evolui da mesma maneira que as chuvas, diminuindo para o interior, com uma época úmida entre junho e agosto, e a seca entre novembro e dezembro, sendo os valores médios entre 68-85%.

A insolação média anual é de 2.500 horas/ano.<sup>4</sup>

A zona se caracteriza por estar sob a influência do Anticiclone do Atlântico sul, com predomínio dos ventos do SE e velocidades de 2-6 m/s<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Geoconsult 2003 "Estudio de implantação do Grande Moinho de Tambaú"

<sup>5</sup> Tese Max Furrier



2.3.4 Hidrogeologia

Águas superficiais

Os principais cursos de água existentes na zona são os rios Paraíba, Gramame, Jaguaribe e Cuia, assim como os canais do Timbó, Cambelo, Marés e Jacarapé menos importantes por suas dimensões e vazões.

Os cursos existentes na zona, à exceção dos rios Gramame e Paraíba, se caracterizam pelo tamanho reduzido de suas bacias apresentando ressurgências e desembocaduras no mar em apenas 10 km de longitude. Trata-se geralmente de cursos perenes, devido à elevada pluviosidade da zona e à presença de ressurgências e mananciais favorecidos pelas características aquíferas dos materiais superficiais.

O principal curso na zona é o rio Paraíba, com uma bacia de 20.000 km² tendo uma longitude aproximada de 300 km desde sua nascente, na serra de Jabicatá, e desembocando na foz de Cabedelo dentro da zona de estudo. Na bacia deste rio existem importantes afluentes como são os rios Gurinhém, Ingá, São Pedro, Soledade, Taperoá, Sucuru e Monteiro.

O rio se encontra fortemente represado por distintas infraestruturas, principalmente represas e açudes, como a tabela a seguir resume:

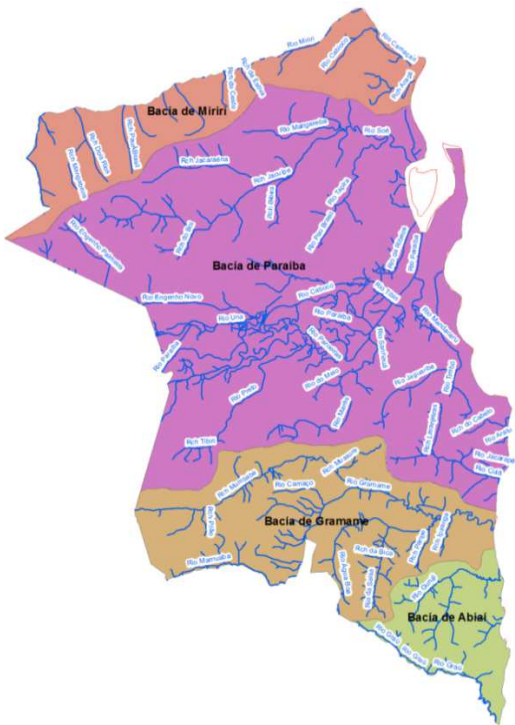


Figura 7. Rede hidrográfica da zona de estudo, Fonte SUDEMA

Tabela 3. Represas e açudes no curso do rio Paraíba

Locação	Açude	Município	Capacidade Máxima (m³)
Alto Curso	Bichinho	Barra de S. Miguel	4.574.375
	Bom Jesus	Carrapateira	343.800
	Camalaú	Camalaú	46.437.520
	Campos	Caraúbas	6.594.392
	Cordeiro	Congo	69.965.945
	Epitácio Pessoa	Boqueirão	450.421.552
	Ouro Velho	Ouro Velho	1.675.800
	Pocinhos	Monteiro	6.789.305
	Poções	Monteiro	29.861.562
	Prata	Prata	1.308.433
	Santo Antônio	São Seb. Umbuzeiro	24.424.130
	São José (Monteiro)	Monteiro	1.311.540
	São Domingos	São Domingos do Cariri	7.340.440
	São Paulo	Prata	8.455.500
Médio Curso	Sumé	Sumé	36.800.000
	Serrote	Monteiro	5.709.000
	Acauã	Itatuba	253.142.247
	Gavião	Fagundes	1.450.840
	José Rodrigues	Campina Grande	22.332.348
	Milhã	Puxinanã	649.921
Baixo Curso	Rch. Santo Antônio	Boqueirão	6.834.000
	Serra Velha	Itatuba	689.800
	Chã dos Pereiras	Ingá	1.766.100
	São Salvador	Sapé	12.627.520
	Mares	João Pessoa	2.136.637
	Olho D' Água	Mari	868.320

Fonte: SEMARH / LMRS-PB

Águas subterrâneas

A zona de estudo, de acordo com a MMA (2002) se encontra na província hidrogeológica do Nordeste do Brasil, mais precisamente às unidades hidrogeológicas costeiras de Pernambuco-Paraíba

As unidades litológicas existentes apresentam características hidrogeológicas diversas que se descrevem à continuação

A Fm Barreiras se caracteriza por apresentar um aquífero livre recarregado pelas águas de infiltração das chuvas e as recargas procedentes dos cursos fluviais superficiais. As descargas provêm das ressurgências existentes assim como dos poços. A potência estimada da unidade é de 70 m apresentando-se o nível freático a uma profundidade média de 25 m (Coutinho ,1967).

Outros aquíferos livres, mas de menor entidade, são os relacionados com materiais quaternários. Podem-se diferenciar entre os materiais aluviais e os depósitos costeiros, já que apesar de sua recarga ser direta por infiltração das águas de chuva e o escoamento superficial, a transmissividade é diversa, no primeiro caso se trata de argilas, limos e areias, enquanto no segundo a litologia dominante são as areias não compactas, que apresentarão transmissividades superiores às dos materiais aluviais. Em ambos os casos, a profundidade do nível freático será muito superficial em torno a 1.5 m, enquanto que no caso do aquífero da formação Barreiras o nível freático se encontra entre

os 15 e mais além dos 30 m de profundidade sendo a topografia uma variável concluinte<sup>6</sup>.

A Fm. Beberibe apresenta características de aquífero confinado, ilhado parcialmente do aquífero da Fm Barreiras pelo calcário da Fm Gramame. Os poços que extraem as águas desta unidade alcançam os 200 m de profundidade.

Ambos aquíferos parecem estar ligados, já que tanto uns como outros apresentam uma elevada carga de carbonatos, que apenas pode proceder da Fm Gramame, o que leva a crer que esta se encontre parcialmente fraturada para facilitar esta comunicação.

Na seguinte tabela, estão relacionados alguns parâmetros das características destes aquíferos definidos para a zona de estudo.

Tabela 4. Extraído do “Projeto Grande Moinho de Tambaú” de Geoconsult” Fonte: Nascimento et al (1981) Projeto Radambrasil

Parâmetros	Unid.	Aluvião	Barreiras	Beberibe
Transmissividade	(m²/seg)	3,0 x 10 <sup>-3</sup>	4,0 x 10 <sup>-4</sup>	5,0 x 10 <sup>-6</sup>
Permeabilidade	(m/seg)	6,0 x 10 <sup>-4</sup>	4,0 x 10 <sup>-5</sup>	2,5 x 10 <sup>-7</sup>
Coefficiente de armazenamento	(S/U)	5,0 x 10 <sup>-2</sup>	12,0 x 10 <sup>-2</sup>	1,0 x 10 <sup>-7</sup>
Vazão de escoamento natural	(m³/ano)	5,4 x 10 <sup>6</sup>	16,5 x 10 <sup>4</sup>	3,0 x 10 <sup>2</sup>
Reserva permanente	(m³/ano)	12,1 x 10 <sup>7</sup>	24,1 x 10 <sup>5</sup>	1,3 x 10 <sup>2</sup>
Reserva explotável	(m³/ano)	4,0 x 10 <sup>7</sup>	8,0 x 10 <sup>6</sup>	0,5 x 10 <sup>2</sup>
Potencial hidrogeológico	-	Bom	Bom	Bom

2.3.5 Tectônica

A bacia de Pernambuco-Paraíba se limita ao norte pela fala de Mamanguape, enquanto ao sul se encontra o alinhamento de Pernambuco, o que limita a bacia.

Dentro desta bacia se encontram três sub-bacias, de norte a sul, de Miriri limitada ao sul pela fala de Itabaiana, a sub-bacia de Alhandra e a de Olinda, ambas divididas pelas fala de Goiana.

A direção principal destas estruturas é L-O e SE-NO.

Na zona de estudo sob a cobertura cenozoica e quaternária se pressupõem várias falas que tem sua continuidade no maciço cristalino, como a existente sob o rio Paraíba (uma zona de cisalhamento sinistral denominada Congo) ou as supostas sob os canais dos rios Gramame, Mumbaba e Marés.

Todas estas estruturas se encontram refletidas nos materiais do embasamento cristalino e nos depósitos cretácico terciários do Grupo Paraíba. Nos materiais da formação Barreiras devido a sua baixa consolidação no apresenta evidências destas estruturas. No entanto, estudos geomorfológicos recentes que analisaram a formas do relevo em toda a zona costeira paraibana defendem a tese de uma reativação cenozoica destas estruturas, refletida tanto no padrão de encaixe da rede de drenagem que a atravessa, como justificativa da forte variação da potência que a formação Barreiras apresenta na zona, onde em uma divisão com base na

<sup>6</sup> Extraído de “Avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos superiores no município de João Pessoa a través do modelo Drastic” Dissertação de Mestrado de Leonardo Figueiredo de Meneses. 2007



rede de drenagem, os distintos altiplanos apresentam alturas de cota diversas justificáveis pelo movimento em bloco de setores de costa produzidos pela reativação das estruturas descritas.<sup>7</sup>

A zona de estudo se caracteriza pela presença de unidades estratigráficas sub-horizontais, apesar de se observar uma pequena forma anticlinal de baixo ângulo coincidente com a zona de falésias de Cabo Branco.

### 2.3.6 Parâmetros oceanográficos

Os ventos alísios do SE condicionam a dinâmica litoral. Trata-se de ventos moderados com velocidades de 2-6 m/s, que geram ondas de pequeno tamanho. Ao chocar de forma oblíqua com a costa geram uma corrente S-N ao longo da mesma, sendo este o principal fator litoral na zona de estudo, com um transporte do sedimento na mesma direção.

Alguns estudos pontuais definiram os trens de ondas. Moura (2001) constatou na zona de Cabo Branco, após um ano de estudo, durante a maré alta, uma altura máxima das ondas de 0.79 m no inverno e um ângulo de incidência entre 0 e 15°. Neves (2003) definiu a partir de dados de satélites americanos uma altura média de 1.5 m para as ondulações do SE e de 1 m para ondulações procedentes do NE e L.

Os dados de marés, analisados por Max Furrier (2007) a partir de dados do Porto de Cabedelo de 2005, definem para as marés vivas uma maré alta máxima de 2.7 m e uma maré baixa de -0.1 m. Em marés mortas os valores de maré alta e maré baixa foram 1.8 e 0.6 m respectivamente. Se pode definir portanto uma amplitude máxima de marés de 2.8 m.

### 2.3.7 Bibliografia

Almeida Filgueira, H.J. "Assentamentos Espontâneos nas Zonas de Risco: Estudo de Caso em João Pessoa, Paraíba, Brasil" CUADERNOS DE HABITAÇÃO e URBANISMO. Vol. 2, No. 3, 2009: 72 – 91.

BID "Guia metodológica". Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis. Primeira edição. 2012

Cabral Santos, Cristiano, "Contribuição ao estudo dos impactos e condições ambientais das praias do município de Cabedelo" de (2013)

Cartaxo Soares, Wanessa. Cabral Santos, Cristiano, "Contribuição ao estudo dos impactos e condições ambientais das praias do município de Cabedelo" Tese de doutorado. Universidade de São Paulo (2013)

Eugenio Antonio de Lima; Dilermando Alves do Nascimento; Teotônio Durval de Castro Dourado & Luiz Caros Ribeiro Brandão "Mapeamento Hidrogeológico Da Folha Sb.25-Y-C João Pessoa – Paraíba" XIII Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas

FIGUEIREDEO DE MENESES, L. "Avaliação Da Vulnerabilidade Dos Aquíferos Superiores No Município De João Pessoa/ PB, Através Do Modelo Drastic" Dissertação de Mestrado 2007

Furrier, Max "Caracterização geomorfológica e do meio físico em João Pessoa" (2007)

Martins, V. P.; Lima, E. R. V. De; Ribeiro, E. L. "Análise Ambiental Da Ocupação Territorial Da Cidade De João PESSOA / PB, numa visão

sistêmica" Anais – III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aracaju/SE, 25 a 27 de outubro de 2006.

Mendonça, Magaly. "Uma geografia dos desastres naturais no centro sul do Brasil"

CPED USF. Atlas de Desastres do Brasil 1991-2010. Vol. Paraíba. ISBN 978-85-64695-17-7

Naranjo, J.L., van Westen, C.J. , Soeters, R. (1994). Avaliating the use of training areas in bivariate statistical landslide hazard analysis- a case study in Colombia. ITC Journal 1994-3, pp 292-300.

Paiva Martins, V.; "Análise Ambiental E Legal Do Processo De Ocupação E Estruturação Urbana Da Cidade De João Pessoa / PB, Numa Visão Sistêmica" Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba

Santos Souza, R et à análise Geoestatística Preliminar Do Nível Dinâmico De Poços Artesianos Em João Pessoa (Paraíba, NE, Brasil). Propesq/UEPB 2011

## 2.4 Inventário de processos

Foi realizado um inventário dos distintos eventos a analisar. Consultaram-se organismos existentes as distintas fenomenologias na zona de estudo, referente a processos de ladeira, inundações e erosão costeira. A seguir, se comentam os distintos processos. A lista completa se encontra no Anexo 4 deste documento.

### 2.4.1 Inundações fluviais

Para o estudo de inundações se inventariou 19 pontos de controle com o objetivo de contrastar os modelos preditivos a realizar. Trata-se de zonas de inundação recorrentes que afetam a vizinhanças na zona de João Pessoa principalmente.

### 2.4.2 Inundações marinhas

Empregaram-se as bases de dados de IHC para a dinâmica marinha e do processo de transformação dessas dinâmicas na costa de João Pessoa, apoiado pelos inventários de campo para o estudo de erosão/acumulação costeira.

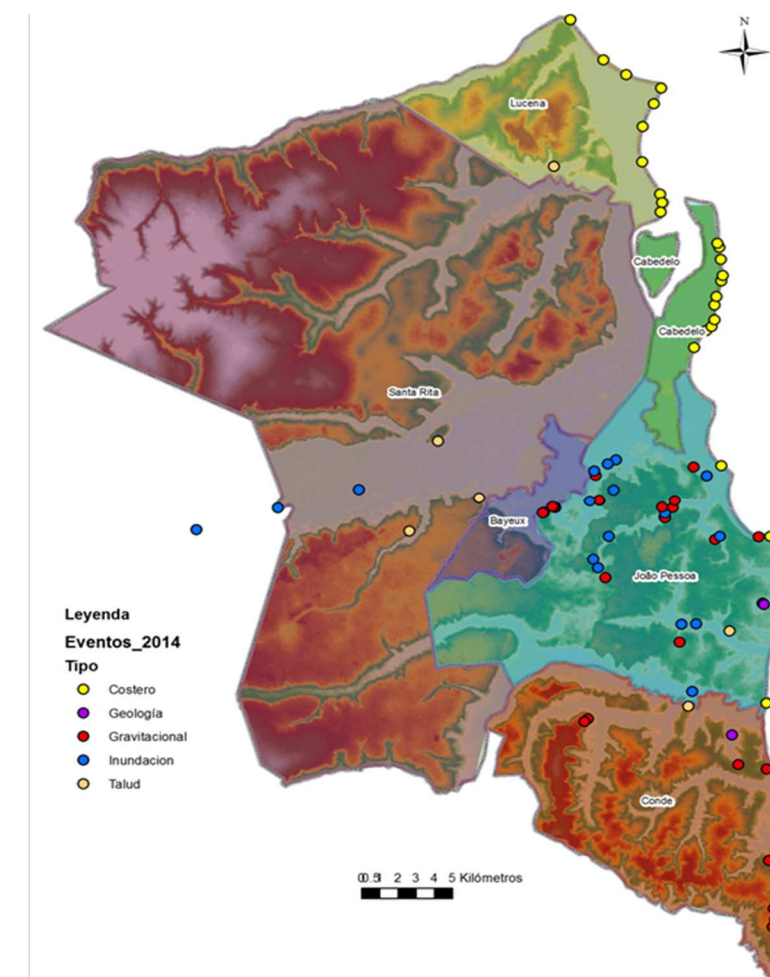


Figura 8. Distribuição dos pontos de controle na zona de estudo

### 2.4.3 Deslizamentos

O trabalho se baseou no inventário de riscos de Defesa Civil de fevereiro de 2013. Nela se refletem 32 pontos de atuação em distintas comunidades do município de João Pessoa.

Alguns deles foram visitados (15), com o fim de realizar um inventário de processos. Todos os eventos visitados consistiam em pequenos movimentos de perfis de alteração ou solos que afetaram a habitações. A afecção se produz tanto por sobrecarga nos muros próximos ao talude como por erosão retrógrada. Em se tratando de um entorno urbano, a cartografia tanto de campo como a partir de foto aérea foi complicada.

Posteriormente, se realizou uma campanha de campo, apoiada com reconhecimento de ortofotos para a identificação de outros processos dentro da zona de estudo.

<sup>7</sup> Geomorfologia e tectônica da Fm Barreiras em o estado de Paraíba. (Max Furrier et al 2006)





Figura 9. Deslizamento de Porto Capim, JP



Figura 10. Depressões e fluxos costa sul de Conde.

No total, o inventário de processos relaciona 62 elementos, 40 deles no município, inventariados de dimensões muito variáveis, desde pequenas afecções no município de João Pessoa (42 m<sup>2</sup>) como os fluxos de solos e depressões causadas por águas torrenciais na zona litoral de Conde (146,132 m<sup>2</sup>), sendo a área média das unidades cartografadas de 10,645 m<sup>2</sup>.

Os elementos inventariados foram reunidos em fichas anexas ao presente documento, onde se agrupam os dados pertinentes aos mesmos.

Exceto por suas dimensões, os processos são muito similares, em se tratando de fluxos de solos e acarcavamentos que afetam tanto ao perfil alterado da formação Barreiras como aos depósitos coluviais, procedentes principalmente do desmantelamento desta formação. Em qualquer caso, se trata de argilas arenosas e areias limosas que, em condições de saturação, ou por consequência de sua alteração, se desestabilizam ladeira abaixo.

#### 2.4.4 Erosão costeira

Em referência à erosão costeira, se tomaram como informações base tese de doutorado referente à “Caracterização geomorfológica e do meio físico em João Pessoa” de Max Furrier (2007), assim como o estudo referente à “Contribuição ao estudo dos impactos e condições ambientais das praias do município de Cabedelo” de Cristiano Cabral Santos (2013). Em ambos os estudos, se limitam as zonas de erosão no litoral, propondo como critério a ausência/presença de evidências erosivas na zona (cantis, plataformas de abrasão, erosão do acostamento etc.).



Figura 11. Zona erosiva na praia de Poço



Figura 12. Falésia de Cabo Branco

Adicionalmente, a análise se completou com visitas de campo e reconhecimento a partir de ortofotos, identificando 30 pontos de

controle de campo com os quais se comprovam os supostos resultados destes estudos.

## 3 Inundações fluviais

### 3.1 Introdução

Uma das ameaças com maior incidência para a população atual e para o futuro desenvolvimento urbano é a inundação por avenidas dos distintos canais que discurrem pela zona. Realizaram-se estudos pormenorizados das distintas áreas de entrada com o objeto de estimar a vazão de desenho associado a cada tempo de recorrência e a cada seção do canal.

Foram realizados cinco modelos matemáticos hidráulicos para calcular o regime de profundidades e velocidades dos distintos córregos, agrupados os rios em modelos com o objeto de estudar de forma conjunta os rios que interagem entre si, isto é, analisados simultaneamente os rios principais com seus afluentes da seguinte maneira:

1. Rio Marés
2. Rios Jaguaribe, Timbó, Mandacaru
3. Rio Cabelo
4. Rio Aratú
5. Rios Laranjeiras- Cuiá

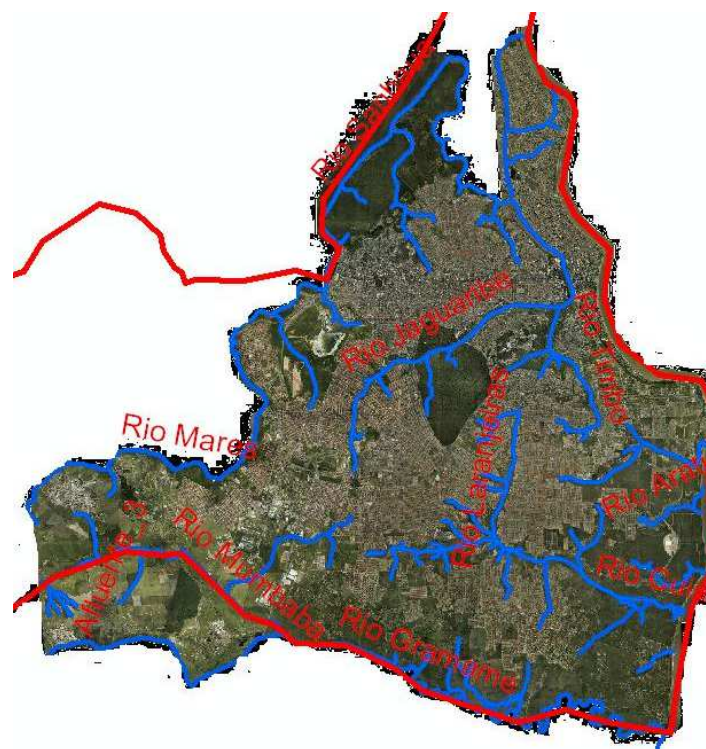


Figura 13. Ortofoto com a situação dos rios da zona de estudo

A linha vermelha representa a zona de estudo, limitada pelo rio Sanhauá pelo norte e Gramame pelo sul.

### 3.2 Dados de partida

#### DADOS DE CHUVA

Para poder obter uma vazão que seja o input do estudo hidráulico e da posterior análise de riscos, é necessário realizar uma análise das chuvas históricas na zona de influência das bacias de estudo.

Esta análise das precipitações históricas e o posterior ajuste estatístico foram publicados pela Universidade Federal de Paraíba, no documento “**Chuvas intensas no Estado da Paraíba**”.

Neste documento, se obtém a relação Intensidade - Duração - Frequência na zona, assim como os parâmetros a levar em conta em função da bacia de estudo.

#### GEOLOGIA e USOS DO SOLO

Para a determinação da capacidade drenante do solo das bacias estudadas deve-se analisar previamente o comportamento do solo em relação à infiltração, este comportamento depende da proporção de areia, limo e argila que tem o terreno subjacente por um lado e do uso que se faz do mesmo por outro, isto é, se é uma zona de cultivo, se é uma zona residencial, etc.

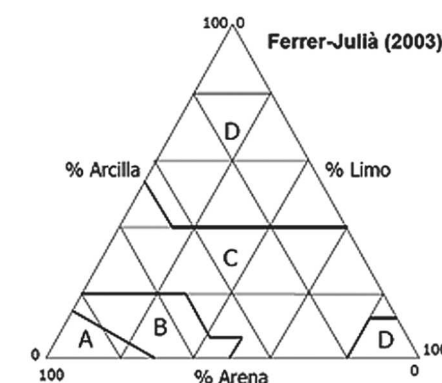


Figura 14. Classificação do solo frente ao drenagem

A classificação do solo em relação à drenagem se divide em quatro níveis (A, B, C e D) sendo o primeiro, o mais drenante, correspondente a uma elevada porcentagem de areias, e último, o menos drenante, correspondente a uma porcentagem elevada de argilas. Para realizar esta classificação na zona de estudo, foi levada em conta a análise das características hidrológicas do terreno realizado neste estudo, no item 2.4.4

#### TOPOGRAFIA e MDT

Obteve-se a topografia recebida da Prefeitura de João Pessoa em formato shape com curvas de nível de 0.5 metros no município, com isto realizou-se um Modelo Digital do Terreno em formato vetorial (TIN) que foi a entrada para a geometria dos distintos modelos hidráulicos realizados:



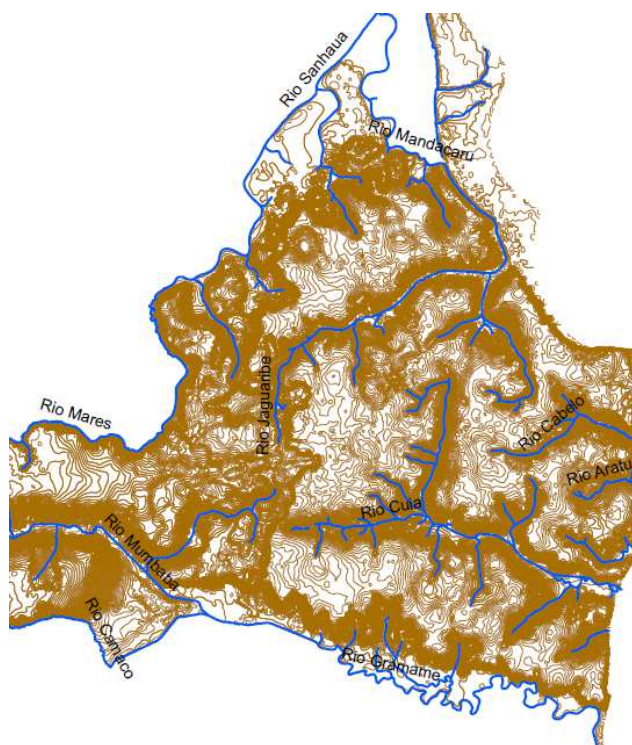


Figura 15. Topografia com curvas de nível cada 0.5 metros

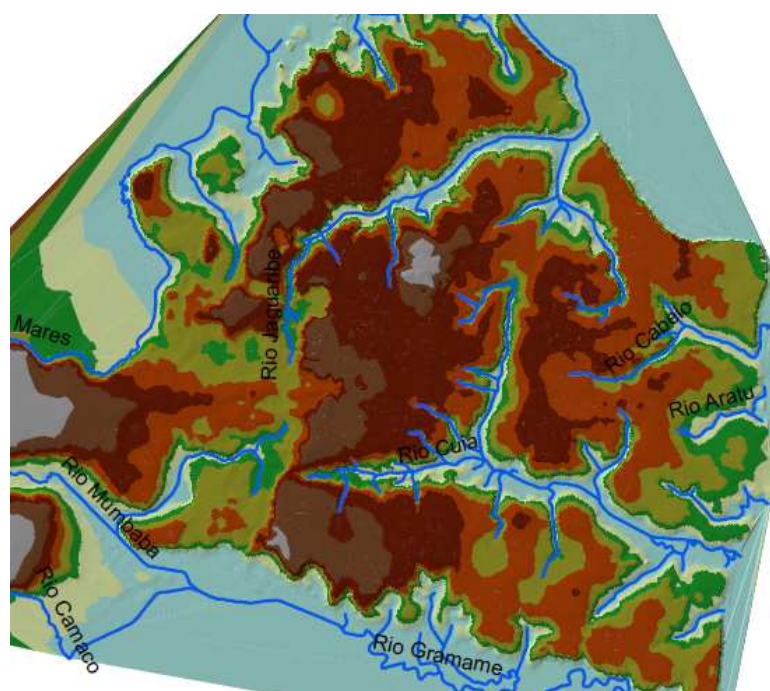


Figura 16. Modelo Digital do Terreno em formato vetorial

## ESTRUTURAS

Para poder realizar o estudo hidráulico é necessário conhecer as principais estruturas que intervêm nos canais, isto é, as pontes e passarelas que os cruzam, assim como a canalização e soterramentos do canal.

Foi realizado um apanhado pelos canais estudados para observar o estado das distintas estruturas e obter as dimensões que as conformam. Em alguns casos não foi possível obter todos os dados por ser inacessível o ponto de cruzamento ou por a estrutura encontrar-se inundada. Nestes pontos foi feita uma estimativa tendo em conta as estruturas dimensionadas, águas acima e águas abaixo por um lado, e tomando dimensões em planta com a imagem aérea quando isto foi possível por outro.



Figura 17. Marco tricelular no rio Cabelo sob a estrada PB-008



Figura 18. Tubo duplo Ø800 mm no rio Aratú sob a estrada PB-008



Figura 19. Ponte da estrada PB-008 sobre o rio Cuiá



Figura 20. Obra de drenagem no rio Cuiá sob a Rua Brasilino Alves da Nóbrega





Figura 21. Tubo triplo Ø1000 mm no rio Jaguaribe sob a Rua José Gomes da Silva



Figura 22. Estrutura bicelular no rio Jaguaribe sob a Rua Sal Geraldo

### 3.3 Estudo hidrológico

#### 3.3.1 Método de abstrações

Para conhecer o volume de precipitação que se converte em escoamento, é necessário conhecer o volume de água que se intercepta, infiltra, armazena, evapora e transpira para descontá-lo do total de precipitação. A interceptação e armazenamento superficial representam o armazenamento de água por árvores e vegetação, depressões locais na superfície da terra, fissuras ou fendas em solos ou tetos e superfícies onde a água não pode escoar livremente.

A infiltração representa o movimento de água para áreas sob a superfície terrestre. A infiltração, interceptação, armazenamento, evaporação e transpiração, em conjunto, conformam as perdas de precipitação (USACE, 2009).

Para calcular estas perdas, existem diferentes métodos; um dos mais utilizados é o método do número de curva (CN) do Soil Conservation Service (SCS).

No Anexo II “Estudo Hidrológico” foi desenvolvida a metodologia empregada no presente estudo, assim como os resultados do mesmo. Resumindo, o método de curva estabelece de forma determinista em função da geologia e do uso do solo a capacidade de retenção do solo, um número de curva de 100 corresponde a um solo completamente impermeável:

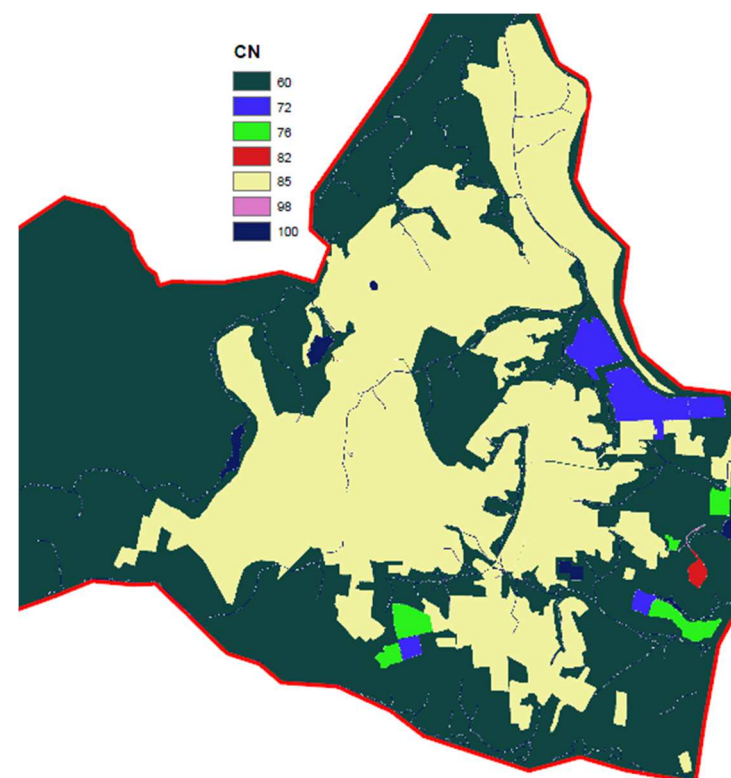


Figura 23. Número de Curva para antecedente de umidade II segundo a metodologia do SCS em João Pessoa

#### 3.3.2 Pluviometria

A Universidade Federal de Paraíba analisou as precipitações históricas realizando um ajuste estatístico no documento “Chuvas intensas no Estado da Paraíba”

Neste documento se obtém a relação Intensidade – Duração - Frequência na zona, assim como os parâmetros a levar em conta em função da bacia de estudo.

A equação geral usada neste documento é a seguinte (Bernard, 1930):

$$i = \frac{K \cdot T^m}{(t + B)^n}$$

Onde  $i$  é a intensidade máxima em mm/h;  $T$  expressa a frequência em termos de tempo de recorrência em anos;  $t$  é a duração da chuva em minutos;  $B$ ,  $n$ ,  $m$  e  $K$  são constantes locais.

Para a determinação dos coeficientes da equação anterior se analisaram os dados de chuva de 15 estações em Paraíba, 14 do banco de dados de SUDENE e 1 operado pela Universidade Federal da Paraíba.

A análise de frequência das séries históricas para uma duração dada foi realizado pelo método de ajuste de Gumbel.

Como resultados do ajuste anterior se obtiveram os coeficientes da equação geral para João Pessoa:

$$i = \frac{290 \cdot T^{0.087}}{(t + 10)^{0.398}}$$

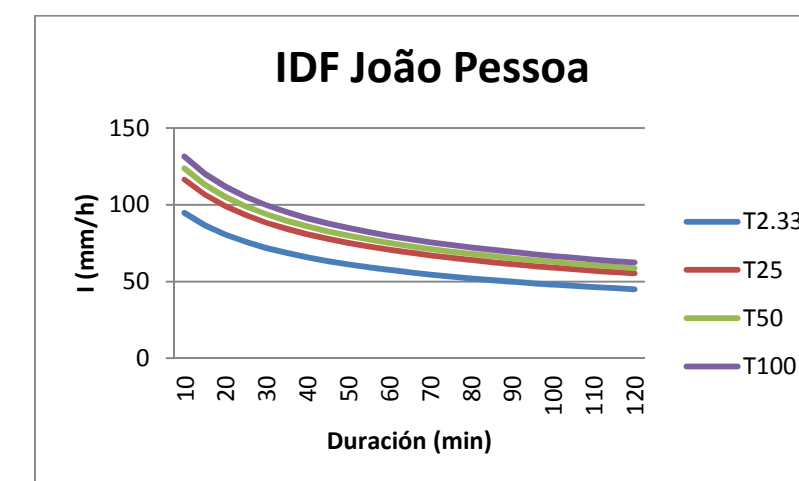


Figura 24. I-D-F para João Pessoa obtido pela Universidade Federal de Paraíba.

#### 3.3.3 Cálculo do tempo de concentração das bacias

Define-se como o tempo mínimo necessário para que todos os pontos de uma bacia estejam recebendo água de escoamento de forma simultânea ao ponto de saída, ponto de deságue ou ponto de encerramento. Está determinado pelo tempo que tarda em chegar à saída da bacia a água que procede do ponto hidrologicamente mais longínquo, e representa o momento a partir do qual a vazão de escoamento é constante, ao tempo que



máximo; o ponto hidrologicamente mais longe é aquele desde o qual a água de escoamento emprega mais tempo em chegar à saída.

Existem diversas equações para calcular o tempo de concentração de uma bacia, se propõem três de uso muito extensivo, no **Anexo II “Estudo Hidrológico”** se detalham as equações empregadas e os tempos de concentração obtidos para cada bacia e sub-bacia.

### 3.3.4 Cálculo de vazões de crescente. Transformação chuva-escoamento

O tipo de solo na classificação drenante corresponde com o tipo B, ao estar conformado principalmente por areias, areias argilosas em menor quantia e sedimentos aluvionares.

O método racional, apresenta uma concepção simples e determinista, sendo a vazão:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

Onde,

**Q:** Vazão correspondente ao período de desenho (m<sup>3</sup>/s)

**I:** Intensidade da precipitação correspondente ao tempo de concentração da bacia (mm/h)

**A:** Área de drenagem (Km<sup>2</sup>)

**C:** Coeficiente de escoamento (Adimensional)

Na seguinte tabela, se mostra a vazão de cálculo para cada período de retorno na desembocadura de cada bacia. No **Anexo II “Estudo Hidrológico”** se apresentam as vazões para cada sub-bacia associada a distintas seções dos canais.

Tabela 5. Vazões de cálculo para períodos de retorno

Resumo de vazões					
Bacia	Q <sub>2.33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>25</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>500</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Marés	88.54	141.65	160.94	182.17	239.72
Jaguaribe	108.43	164.17	184.00	205.63	263.50
Cabelo	56.17	79.75	87.93	96.75	119.98
Aratú	27.54	39.69	43.93	48.51	60.62
Cuiá	151.69	221.64	246.18	272.79	343.34

### 3.3.5 Projeções de precipitações devidas aas alterações climáticas

#### Introdução

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) criaram o Grupo Intergovernamental de especialistas sobre a alteração climática (IPCC) em 1988. Trata-se de um grupo aberto a todos os Membros das Nações Unidas e da OMM.

A função do IPCC consiste em analisar a informação científica, técnica e socioeconômica relevante para entender os elementos científicos do risco que supõe a alteração climática provocada pelas atividades humanas, suas possíveis repercussões e as possibilidades de adaptação e atenuação do mesmo.

Segundo o 5º Informe do IPCC, as atividades humanas estão continuamente afetando o pressuposto energético da Terra alterando as emissões e as concentrações de gases e aerossóis, modificando por sua vez as propriedades da superfície terrestre.

Os processos que afetam o clima denotam uma considerável variabilidade natural. Incluindo a ausência de forçantes externos, foram observadas variações periódicas e aleatórias em uma categoria ampla tanto na escala espacial como temporal.

As alterações climáticas, tanto é produzida de forma natural como por forçantes antrópicos, pode dirigir-se para mudanças na frequência e magnitude de eventos extremos.

Nas últimas décadas, novos sistemas de observação, especialmente sistemas baseados em medições via satélite, registraram um incremento no número de observações de grande magnitude.

O clima terrestre depende da energia solar, aproximadamente a metade da energia do Sol se recebe com radiações cuja frequência de onda está dentro do espectro visível. A temperatura da Terra foi relativamente constante durante centenas de anos, o que indica que o balanço da energia solar recebida e a emitida deve estar próximo ao equilíbrio. A maior parte da energia emitida é em forma de radiação infravermelha. A radiação de maior longitude de onda que emite a superfície terrestre é absorvida principalmente por certos componentes atmosféricos (vapor de água, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e outros gases de efeito estufa), sendo o incremento destes componentes o que provoca que se absorva maior parte da energia emitida pela superfície da terra, desnivelando o balanço histórico da Terra e provocando um aumento das temperaturas.

Este incremento global das temperaturas influi na circulação oceânica, na evapotranspiração e em geral em todos os processos do ciclo da água, provocando uma mudança no regime de precipitações, que apesar de terem relação direta com as alterações na temperatura são difíceis de quantificar, de forma que qualquer valor que se considere deve ser analisado com a precaução que a incerteza neste campo exige.

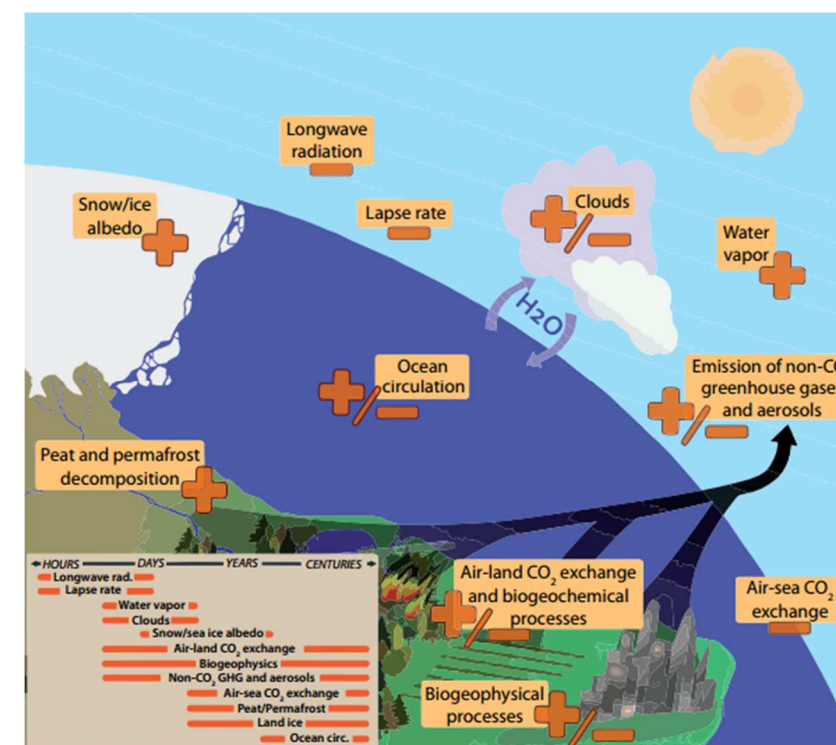


Figura 25. Retroefeitos do Clima e de escalas temporais. Fonte: 5º Informe de avaliação do IPCC

Existem muitos modelos climáticos globais (GCMs) que são difíceis de adaptar às condições locais para ter em conta na estimativa de impactos o de previsão de chuvas regionais. Não obstante a resolução destes modelos melhorou consideravelmente nos últimos anos.

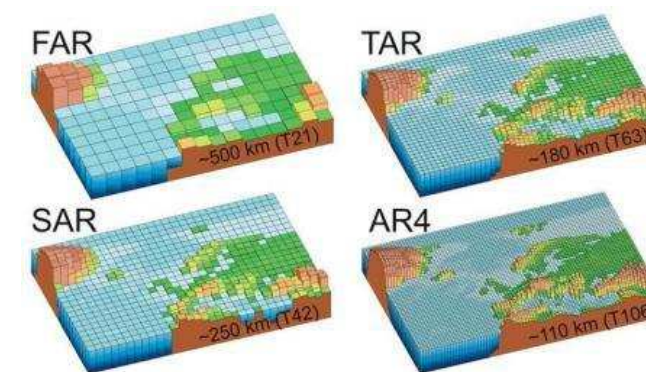


Figura 26. Redução da resolução dos GCMs. Fonte: wom.int

A informação dos modelos de circulação globais (GCMs) foram melhorados para representar de forma mais fiel às condições que já ocorreram em lugares específicos mediante o uso de informação local-histórica colhida em estações climatológicas locais, reduzindo a escala dos modelos de previsão (“downscaling”). Por outro lado, esta informação pode ser usada para modificar a projeção futura para encaixá-la às condições climáticas locais já observadas (“bias-correction”). Ambas as ferramentas “downscaling” e “bias-correction” são necessárias para



representar a influência da topografia e dos padrões regionais do clima e poder avaliar futuros impactos climáticos.

Em geral, podemos dizer que, na atualidade, existem quatro ferramentas de regionalização disponíveis, destinadas a refinar a escala ("downscaling") da informação climática gerada pelos GCM. Estas ferramentas se conhecem tradicionalmente como:

- Modelos de circulação geral atmosférica a "intervalos de tempo" de alta resolução (MCGA)
- MCGAL de resolução variável (VarMCG)
- Modelos climáticos regionais aninhados (MCR)
- Métodos de regionalização estatística (SD).

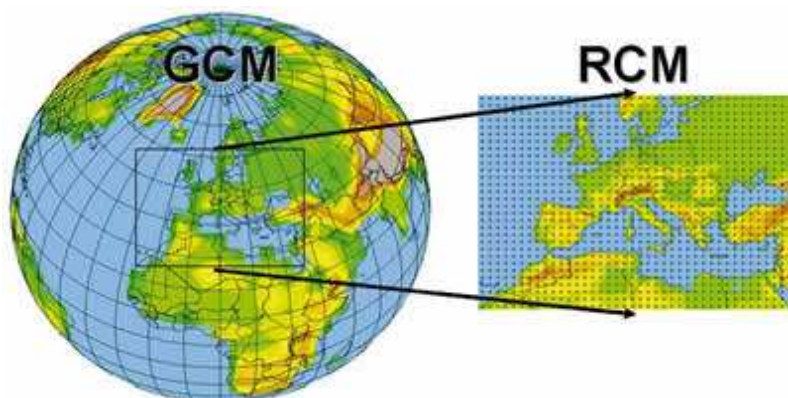


Figura 27. Representação esquemática do enfoque de aninhamento do modelo climático regional (RCM). Fonte: wor.int

O Banco Mundial, Nature Conservancy, Climate Central, e a Universidade de Santa Clara realizaram um conjunto de projeções dos GMC diária a escala reduzida que abarca todo o planeta

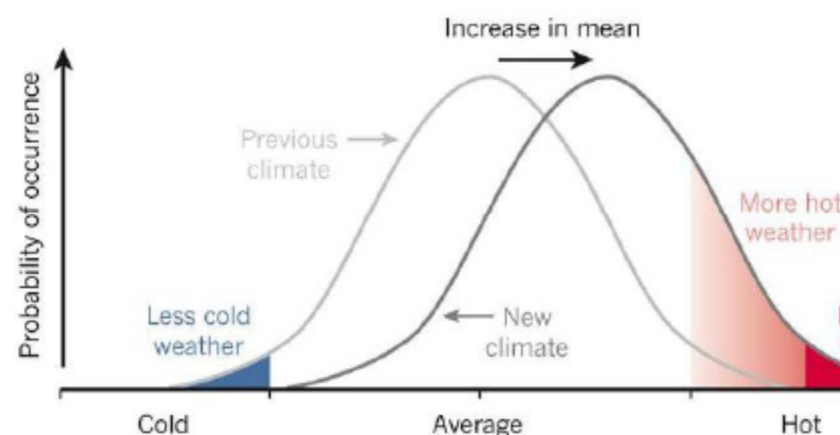


Figura 28. Distribuição hipotética de anteriores e futuras variáveis climáticas mostrando uma mudança na média. (Fonte: Banco Mundial)

As projeções de impactos são uma função direta do cenário socioeconômico selecionado. Quanto maior é a emissão de gases de efeito estufa, mais significativa é a alteração e, portanto, mais severos os impactos. Os cenários definidos pelo IPCC cobrem um amplo espectro das principais variáveis demográficas, econômicas e tecnológicas relacionadas com as emissões de GEEs e com as

emissões de compostos de enxofre. Assim, o IPCC coloca 4 histórias diferentes, das quais derivam 6 cenários, sendo o A1FI o cenário que apresenta a maior mudança, e o B1 a menor.

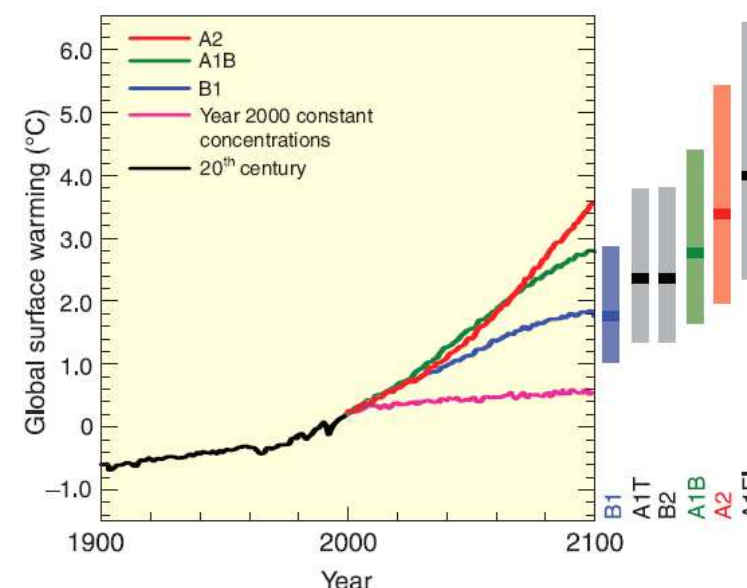


Figura 29. Modelos globais de aquecimento superficial médio (relativos a 1980-1999). As barras à direita da imagem indicam a melhor estimativa (linha cheia dentro de cada barra) e a categoria provável avaliada para os seis cenários marcados do SREE para 2090-2099 relativos a 1980-1999 (Salomón et al 2007)

Estes cenários foram desenhados no ano 2000, e apresentados no Informe especial do Grupo de trabalho III do IPCC. As últimas medições indicam que a trajetória real das emissões se situa por cima do cenário A1FI.

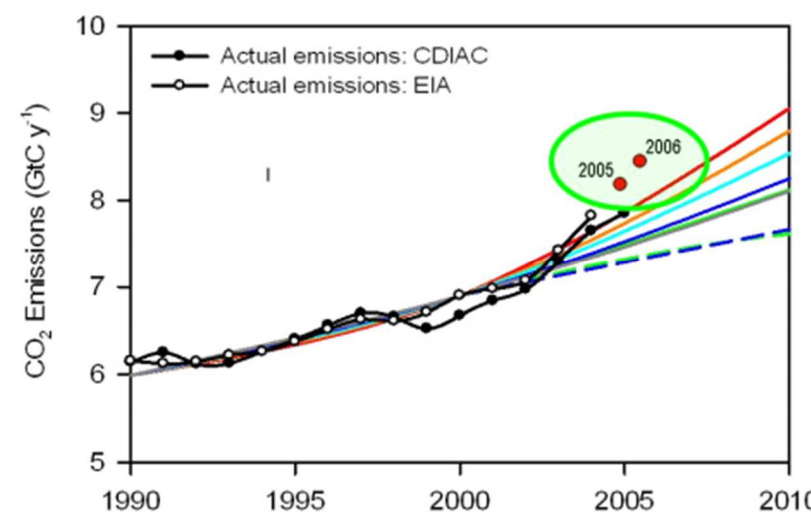


Figura 30. Emissões GtC atuais e cenários IPCC. De Raupach et al. 2007, atualizado por Prof. K. Anderson and Dr. A Bows, Tyndal Centre, Universidade de Manchester.

O IPCC em um documento posterior, de 2014, o Quinto Informe de Avaliação (AR5) mudou a definição dos cenários considerados. Estes novos cenários produzem uma gama de respostas desde o aquecimento continuado até a estabilização do forçante, até um

cenário de mitigação estrita que estabiliza para posteriormente reduzir os forçantes radiativos (RF) a partir da segunda metade do século 21 (RCP2.6)

Em contraste com o Quarto Informe de Avaliação (AR4) estes novos cenários estão demarcados como uma combinação de adaptação e mitigação. As ações de mitigação que começam agora em vários cenários não produzem diferenças notáveis nos próximos 30 anos ou mais, no entanto, no longo prazo, após a segunda metade de século, se observam mais diferenças entre os distintos cenários propostos.

	Scenario	2046–2065		2081–2100	
		Mean	Likely range <sup>a</sup>	Mean	Likely range <sup>a</sup>
Global Mean Surface Temperature Change (°C) <sup>a</sup>	RCP2.6	1.0	0.4 to 1.6	1.0	0.3 to 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 to 2.0	1.8	1.1 to 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 to 1.8	2.2	1.4 to 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 to 2.6	3.7	2.6 to 4.8
	Scenario	Mean	Likely range <sup>a</sup>	Mean	Likely range <sup>a</sup>
Global Mean Sea Level Rise (m) <sup>b</sup>	RCP2.6	0.24	0.17 to 0.32	0.40	0.26 to 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 to 0.33	0.47	0.32 to 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 to 0.32	0.48	0.33 to 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 to 0.38	0.63	0.45 to 0.82
	Scenario	Mean	Likely range <sup>a</sup>	Mean	Likely range <sup>a</sup>

Figura 31. Temperatura e nível do mar médios para os distintos cenários propostos no Quinto Informe de Avaliação (AR5)

## FONTES CONSULTADAS:

### IPCC: 5th Assessment report: Climate Change 2014:

O 5º Informe do IPCC redefine os cenários de alterações climáticas, sendo estes RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5, sendo o mais otimista o primeiro e o mais pessimista o último.

Para cada cenário se utilizaram entre 25 e 42 modelos de previsão diferentes, com resultados díspares. Para facilitar a leitura dos resultados foram apresentado os valores que ficam dentro do percentil 25, 50 e 75.

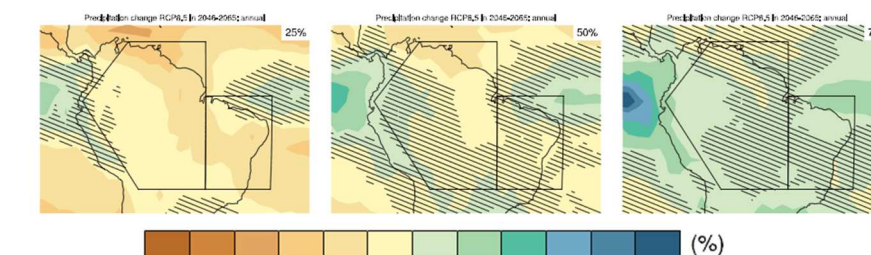


Figura 32. Variação percentual das precipitações médias nos anos 2046-2065 nos meses de Abril a Setembro para o cenário RCP2.6. De esquerda para direita, os percentis 25, 50 (mediana) e 75.

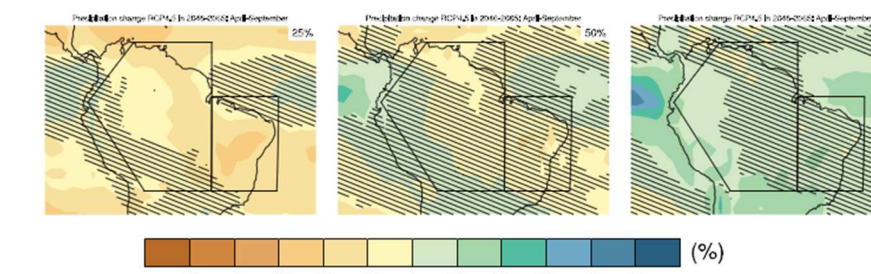


Figura 33. Variação percentual das precipitações médias nos anos 2046-2065 nos meses de Abril a Setembro para o cenário RCP4.5. De esquerda para direita os percentis 25, 50 (mediana) e 75.



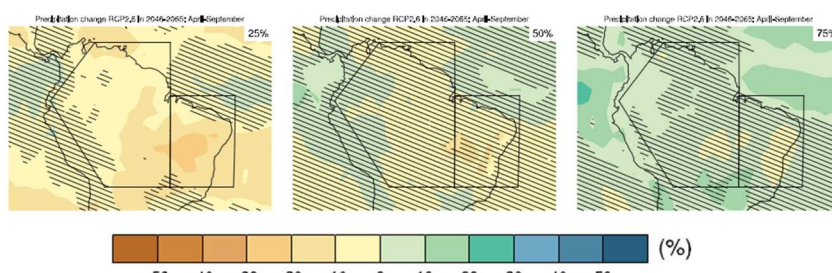


Figura 34. Variação percentual das precipitações médias nos anos 2046-2065 nos meses de Abril a Setembro para o cenário RCP8.5. De esquerda à direita os percentis 25, 50 (mediana) e 75.

Dos mapas anteriores, se observa que os modelos de previsão realizados indicam que as precipitações médias diminuirão 10% de 75% dos modelos realizados em cada cenário, e aumentarão até em 10% de 25% dos modelos em cada um dos cenários de emissão de gases.

### Segunda Comunicação Nacional do Brasil para as Nações Unidas no marco da Convenção sobre as alterações climáticas. 2010

O Ministério de Ciência e Tecnologia do Brasil redatou este documento com o objetivo principal de elaborar um enfoque metodológico em relação à vulnerabilidade e às medidas de adaptação, com dois resultados: a elaboração de modelos regionais sobre o clima e sobre os cenários de alteração climática por um lado e por outro conduzir a investigação e os estudos de vulnerabilidade e adaptação relacionados com setores estratégicos, que são vulneráveis aos efeitos associados à alteração climática no Brasil.

O primeiro resultado está relacionado com a necessidade de métodos de redução de escala dos modelos globais de circulação (downscaling) para desenvolver projeções climáticas mais detalhadas no Brasil no longo prazo.

Este documento recolhe os resultados do Quarto Informe de Avaliação (AR4) com as seguintes conclusões para o nordeste do Brasil, quanto a precipitações:

- “Muito alta probabilidade de áreas áridas e semiáridas no nordeste do Brasil, sendo especialmente vulnerável à alteração climática global os recursos hídricos com uma redução do abastecimento de água.”
- “Em regiões que apresentam escassez de água, como o Nordeste do Brasil, a população é vulnerável a menos frequentes e mais variáveis precipitações como resultado das alterações climáticas, o que poderia por em perigo o abastecimento à população e à agricultura”
- “Na análise feita, a recarga de água subterrânea diminui drasticamente, em um 70% no nordeste do Brasil”

Estas conclusões não estão relacionadas exclusivamente com uma redução das precipitações senão com outros fatores, como o aumento da evapotranspiração pelo aumento das temperaturas.

Por sua vez, este documento sublinha que a análise dos futuros impactos está baseado em diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa até o ano 2100. Estes cenários não assumem medidas adicionais para combater a alteração climática ou maior capacidade de adaptação dos sistemas, os setores e as

regiões analisados. Os impactos mais severos projetados somente ocorrem em um cenário futuro (2100) onde a emissão de gases de efeito estufa não foi mitigada, especialmente no caso de um incremento significativo de população e crescimento econômico com um uso intensivo de combustíveis fósseis. Portanto, os cenários mais pessimistas e seus impactos projetados poderiam no ocorrer se a comunidade internacional adotasse medidas para combater a alteração climática como a redução de gases de efeito estufa.

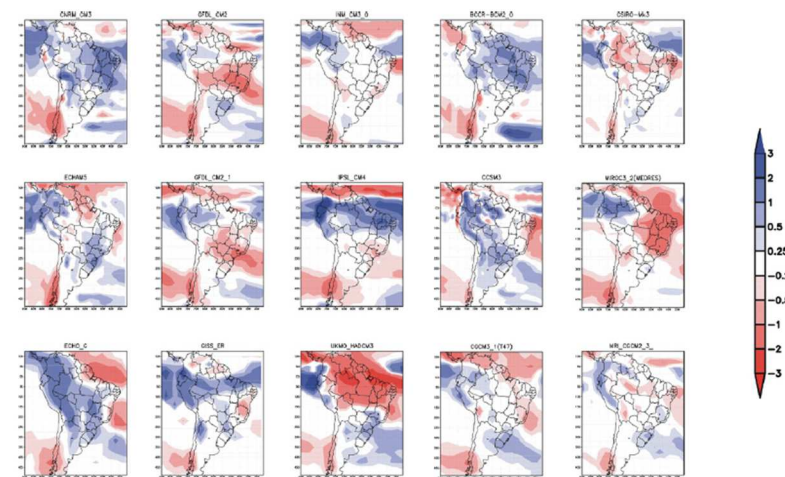


Figura 35. Anomalias nas precipitações (mm/dia) na América do Sul para o período 2071-2099 (Cenário A2) em relação ao período base 1961-1990 para 15 modelos climáticos diferentes disponíveis desde o IPCC

No gráfico anterior, se observa como as precipitações médias diárias projetadas são diferentes segundo o modelo utilizado, em 8 (53%) se projeta uma diminuição das precipitações, em 3 (20%) se projeta uma redução e em 4 (27%) não se projeta variação alguma.

Os cenários de projeções de alteração climática para o século 21 derivaram de vários modelos de alteração climática usados pelo IPCC. O fato de esses modelos globais usarem diferentes representações físicas dos processos, a uma resolução relativamente baixa, introduz uma quantidade concreta de incerteza nesses cenários futuros de alteração climática. Esta incerteza é extremamente significativa quando avalia a vulnerabilidade e os impactos da alteração climática, assim como quando programa medidas de adaptação e mitigação. Por exemplo, para o nordeste do Brasil, alguns modelos sugerem um incremento das precipitações.

Portanto, é de vital importância desenvolver modelos climáticos no Brasil, analisando modelos globais e regionais para os cenários de alteração climática atual e futuro

O Instituto Nacional para a Investigação Espacial (INPE) foi o responsável de coordenar modelos climáticos regionais e cenários de alterações climáticas. Também coordena a relação entre estes resultados e a vulnerabilidade e a adaptação investigada e estudada em relação a setores estratégicos vulneráveis aos impactos das alterações climáticas.

O INPE avaliou os diferentes cenários de alteração climática propostos no AR4 do IPCC e desenvolveu métodos de

downscaling no Brasil, que se aplicam às projeções de alteração climática partindo de modelos regionais para obter projeções climáticas mais detalhadas

O INPE desenvolveu o modelo regional para América do Sul, Eta-CPTEC. Este estudo, relacionado com os métodos de downscaling para Brasil foi aplicado aos cenários de alteração climática partindo do modelo global HadCM3 para obter projeções climáticas mais detalhadas (2010-2040, 2040-2070, 2070-2100) com uma melhora na resolução espacial para o cenário A1B

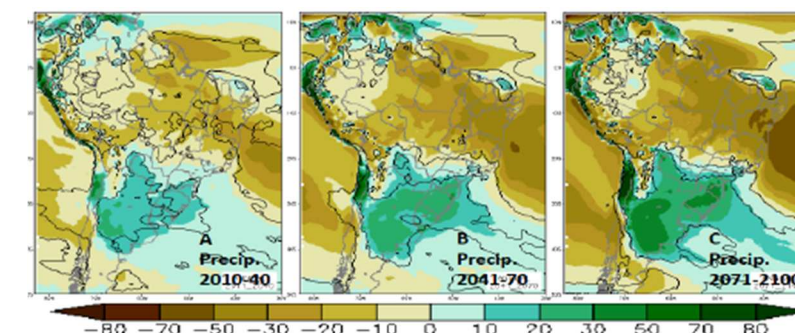


Figura 36. Variações de precipitação projetadas (%) para América do Sul para os anos 2011-2100 (cenário A1B) em relação ao período base 1961-1990 gerado pelo modelo Eta-CPTEC de 40 km baseado em HadCM3

Na imagem anterior, se aprecia uma projeção da variação das precipitações na zona de estudo de entre 10 e 20% para os anos 2040-2070 em relação com o período base 1961-1990

### Banco Mundial. Climate Change Knowledge Portal:

Não se encontraram modelos de downscaling na zona de João Pessoa, motivo pelo qual foram usados os dados dos modelos de circulação global (GCMs) com uma precisão de ao redor de 250km centrados na zona de estudo, obtendo os seguintes valores de incremento de precipitação (mm) para os cenários A2 e B1 para o ano 2050:

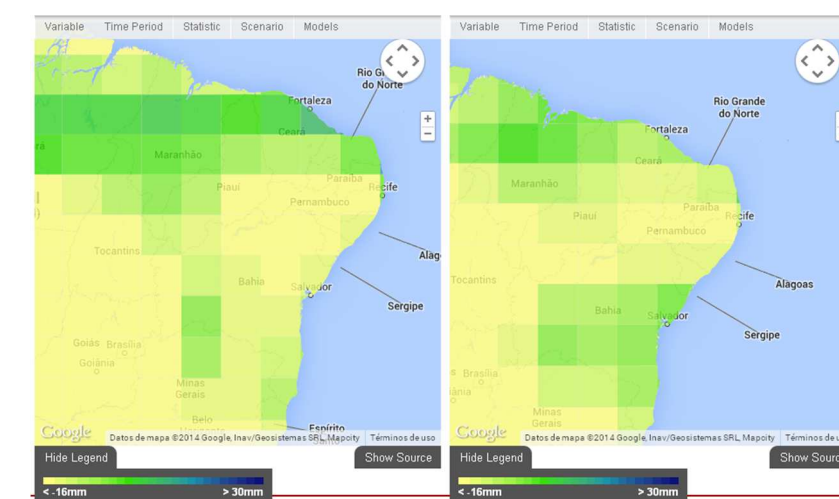


Figura 37. Variação da precipitação prevista para 2050 nos cenários A2 (esquerda) e B1 para o modelo gfdl\_cm2.1. Fonte: Climate Change Knowledge Portal (Banco Mundial)



Tabela 6. Valores de incremento de precipitação (mm) para os cenários A2 e B1 para o ano 2050

Modelo	Cenário A2 $\Delta$ (mm)	Cenário B1 $\Delta$ (mm)
bcm2.0	0.1	2.4
cgcm3.1(t47)	2.4	0.9
cnrm_cm3	7	2.4
csiro_mk3.5	-9.87	-11.4
gfdl_cm2.0	-4.5	3.9
gfdl_cm2.1	-2.2	-5.3
mri_cg2.3.2	-16	-8.3
ukmo_hadcm3	-16	-16.0
ukmo_hadgem1	-16	-16.0
<b>Média</b>	<b>-6.1</b>	<b>-5.3</b>

A incerteza destes modelos de circulação global é bastante elevada. Ainda que os resultados variem em função do modelo, em linhas gerais se prevê uma ligeira diminuição das precipitações nesta região do Brasil.

#### LIMITAÇÕES E INCERTEZAS.

Em palavras de Lehner et al. , 2006 “a análise dos possíveis impactos da alteração climática global nas frequências de inundação é geralmente limitada pela qualidade dos dados de entrada que se aplica”. Prudhomme, et al . ( 2002 ) e Sum et al . (2006) coincidem em que, em geral , a distribuição de frequência das precipitações MCG ' é relativamente plana, o que mostra uma baixa variabilidade na precipitação extrema . Dado que a exatidão dos dados de redução de escala se baseia diretamente no rendimento dos MCG, o problema permanece. Graham (2007) argumentou que a eleição de GCM teve um maior impacto nas mudanças hidrológicas previstas, que a seleção do cenário de emissões ou a técnica de redução de escala .

A incerteza em relação à sensibilidade climática em equilíbrio implica por sua vez uma incerteza com respeito ao aquecimento esperado para um cenário de estabilização de CO<sub>2</sub> dado. A incerteza com respeito ao retroefeito do ciclo do carbono implica também incerteza em relação à trajetória de emissões necessária para alcançar um nível de estabilização dado

Os modelos diferem consideravelmente em suas estimações da intensidade de diferentes retroefeitos do sistema climático, particularmente os retroefeitos de nuvem, a incorporação de calor pelo oceano e os retroefeitos do ciclo do carbono, ainda que se tenha avançado nestes aspectos. Ainda assim, a confiança nas projeções é maior quando se trata de certas variáveis (por exemplo, temperatura) que de outras (por exemplo, precipitação), e também quanto maiores são as escalas espaciais e os períodos de mediação.

Os impactos dos aerossóis sobre a magnitude da resposta da temperatura sobre as nuvens e a precipitação seguem sendo incertos.

As alterações futuras da massa do manto de gelo da Groenlândia e da região antártica, particularmente por efeito da alteração dos fluxos de gelo, constituem uma das principais fontes de incerteza, que poderiam incrementar a magnitude do aumento de nível do mar projetado. A incerteza acerca da penetração de calor nos oceanos contribui também à incerteza sobre o aumento futuro do nível do mar.

Não é possível avaliar com confiabilidade as mudanças em grande escala da circulação oceânica a partir do século XXI, devido às incertezas acerca do aporte de água de degelo do manto de gelo da Groenlândia e da resposta dos modelos ao aquecimento.

A partir de 2050, aproximadamente, as projeções da alteração climática e de seus impactos dependem estreitamente dos cenários e dos modelos, e para melhorá-las seria necessário conhecer mais a fundo as fontes de incerteza e introduzir melhoras nas redes de observação sistemática.

A investigação dos impactos é dificultada por incertezas em torno das projeções de alterações climáticas, e particularmente da precipitação, a nível regional.

O conhecimento dos fenômenos de baixa probabilidade e forte impacto, assim como dos impactos acumulativos das sequências de fenômenos de baixa magnitude, que seriam necessários para definir metodologias de toma de decisões em função do risco, são em geral limitados

De forma genérica são três as fontes principais de incerteza:

1. **Variabilidade interna do sistema climático:** Se deve a flutuações do sistema climático em ausência de forçantes radiativos.
2. **Incerteza dos modelos:** Diferentes modelos respondem de maneira desigual a um mesmo forçante
3. **Incerteza dos cenários:** Se deve ao desconhecimento de como serão as emissões GEE no futuro

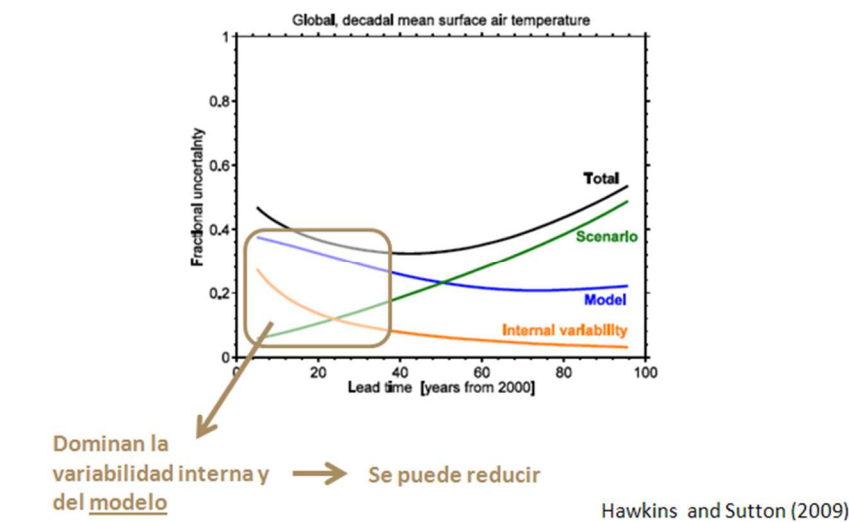


Figura 38. Importância relativa das diferentes fontes de incerteza na temperatura média global

#### CONCLUSÕES.

A maioria dos modelos globais e regionais indica uma diminuição das precipitações médias nesta região do Brasil, isto não significa necessariamente que as precipitações máximas vão variar no mesmo sentido. A estimacão das precipitações extremas é associada a um maior grau de incerteza, sendo menor o número de estudos que tratam deste tema, segundo Hegerl se prevê que as precipitações extremas sejam menos intensas nesta região, e por isso na presente análise de riscos se considerou a situação atual, isto é, não se levou em conta a perturbação que provoca nas precipitações a mudança climática, dado que o mais provável é que este fator faça diminuir em alguma medida as precipitações.

#### 3.4 Estudo hidráulico

##### 3.4.1 Descrição do modelo

A hipótese aceita habitualmente para a determinação do regime de profundidades em um canal é a de que o fluxo nos mesmos é unidimensional e se pode estimar o nível de água supondo regime permanente para a vazão de cálculo. Esta hipótese é evidentemente precisa quando se pode supor que o rio permanece dentro do canal e não transborda para planícies de inundação, transbordamento que conduz a incrementar a laminação. Por outro lado, sua aplicação tem a vantagem de que permite estabelecer relação entre o nível e a vazão, e, por conseguinte, entre este último e os limites das zonas inundadas. Isto facilita a gestão posterior das zonas inundáveis e o tratamento dos níveis de avenida e superfícies afetadas. A problemática levantada pelo fato de que o fluxo na planície de inundação não contribui realmente ao transporte hidráulico pode ser abordado sem necessidade de deixar de considerar regime permanente.

O modelo mais tradicional que cumpre as condições anteriores, adicionando a possibilidade de considerar coeficiente de rugosidade variável ao longo da seção transversal e outra grande quantidade de aspectos que influem no regime, é o HEC-RAS. Este modelo dispõe da particularidade de que, ainda que o cálculo do campo de velocidades seja unidimensional, se admite a inclusão de zonas de armazenamento no canal que permitem determinar um efeito de laminação, motivo pelo qual se denominou o modelo Quasi-2D.

De acordo com o exposto, a determinação da altura da lâmina de água no canal associada a cada vazão se realizou a partir do modelo matemático HEC-RAS (Versão 4.1), Water Surface Profis, River Analysis System. As principais hipóteses assumidas no modelo são as seguintes:

- Fluxo estacionário; portanto não há variação da profundidade ou da velocidade com o tempo.
- Fluxo gradualmente variado. Isto conduz a uma distribuição hidrostática de pressões.



- Fluxo unidimensional: a única componente da velocidade é na direção do fluxo, ainda que, como indicamos anteriormente, a aplicação permite criar efeitos de laminação e armazenamento.
- As pendentes devem ser pequenas, menores de 1/10; de maneira que  $\cos \theta \approx 1$  e a profundidade vertical é representativo da altura de pressão.
- Os contornos são rígidos, não admitindo a erosão ou sedimentação no canal.

O procedimento de cálculo está baseado na resolução da equação da conservação da energia, com perdas de fricção avaliadas pela fórmula de Manning, em passos sucessivos, procedimento conhecido como Standard Step Method.

A fórmula utilizada para o cálculo das perdas de fricção (fórmula de Manning) é a seguinte:

$$I = \frac{n^2 v^2}{R_H^{\frac{4}{3}}}$$

Onde:

- I= Pendente da linha de energia, em tanto por um  
n= Coeficiente de rugosidade de Manning  
v= Velocidade, em m/s  
RH= Raio hidráulico, em m

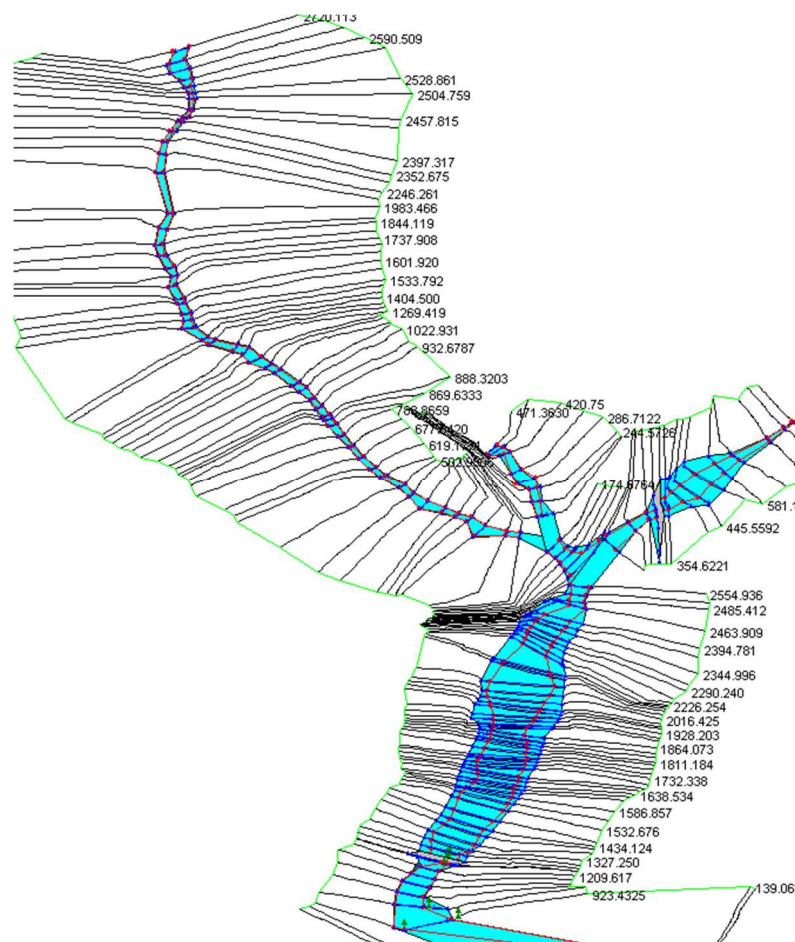


Figura 39. Modelo HEC-RAS do Rio Cabelo e seus afluentes

### 3.4.2 Condições de contorno

Para o cálculo do regime de profundidade no canal é necessário estabelecer as condições de contorno das águas acima e abaixo dos trechos estudados.

A condição de contorno águas acima será a de profundidade normal tendo em conta a pendente do canal águas acima da primeira seção.

Águas abaixo à condição de contorno para os afluentes dos rios estudados será a de igual profundidade no afluente e no canal principal no ponto de conexão. Para o último tramo, a condição será o nível do mar ou o nível esperado no rio Paraíba nos rios que desembocam nele.

### 3.5 Análise da periculosidade por inundações

A análise da periculosidade por inundações está relacionada não somente com as zonas inundáveis, mas com as velocidades alcançadas em cada ponto, por exemplo, se considera mais perigosa uma pequena área com profundidades maiores de um metro e altas velocidades que uma grande área com velocidades baixas e profundidades menores de meio metro.

Diversos estudos delimitam a periculosidade como a função da velocidade e a profundidade que produz um fenômeno de derrubada ou deslizamento em um indivíduo:

Fuente	Referencia	$V_{max}$ (m)
Urban Storm Drainage Criteria Manual. Urban Drainage and Flood Control District. Denver, Colorado (EE. UU.)	Wright-Mc Laughlin, 1969	0.45
Control del desarrollo urbano en las zonas inundables (Espana)	Témez, 1992	1.00
Clark County Regional Flood Control District (CCRFCD). Hydrological criteria and drainage design manual, Clark County (EE. UU.)	CCRFCD, 1999	0.30
Criterio de Mendoza (Argentina)	Nania, 1999	0.30
Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMC). Floodplain Management in Australia (Australia y Nueva Zelanda)	ARMC, 2000	1.20 - 1.50
Risques Hydro-météorologiques, crues et inondations / risque, aléa et vulnérabilité / DDS-TUE364/9 (Suiza)	Belleudy, 2004	0.00 - 1.00
PICBA06: Plan Integral de Alcantarillado de Barcelona 2007 (Espana)	CLABSA, 2007	0.06
Road Drainage Manual, National Transport Commission (Republica de Sud Africa)	Rooseboom <i>et al.</i> , 1981	0.06
Piano di bacino stralcio per la difesa idraulica e idrogeologica (Italia)	Región Liguria, 1993	1.00 - 2.00

Figura 40. Critérios de periculosidade de profundidade máxima: referências a nível mundial

Fuente	Referencia	$V_{max}$ (m/s)
Control del desarrollo urbano en las zonas inundables (Spain)	Témez, 1992	1.00
Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMC). Floodplain Management in Australia (Australia y Nueva Zelanda)	ARMC, 2000	1.50
Risques Hydro-météorologiques, crues et inondations / risque, aléa et vulnérabilité / DDS-TUE364/9 (Suiza)	Belleudy, 2004	0.25 - 1.00
Piano di bacino stralcio per la difesa idraulica e idrogeologica (Italia)	Región Liguria, 1993	0.30 - 0.70

Figura 41. Critérios de periculosidade de velocidade máxima: referências a nível mundial

Fuentes	Referencias	Expresión
Federal Emergency Management Agency (FEMA). The floodway: a guide for community permit officials (EE. UU.)	FEMA, 1979 y 1997	$v \cdot y \leq 0.56$
Australia Runoff and Runoff. A guide of flood estimation. Vol. 1&2 (Australia)	Institution of Engineers (1987)	$v \cdot y \leq 0.40$
Human Stability in a High Flood Hazard Zone. AWRA Water Resources Bulletin (EE. UU.)	Abt <i>et al.</i> , 1989	$v \cdot y \leq (0.50)$ (para monolite)
Human Stability in a High Flood Hazard Zone. AWRA Water Resources Bulletin (EE. UU.)	Abt <i>et al.</i> , 1989	$v \cdot y \leq 0.0929 [e^{0.023(2.2MH / 25.4) 1.09}]^2$
Management urban development in floodplain (Espana)	Témez, 1992	$v \cdot y \leq 0.50$
Clark County Regional Flood Control District (CCRFCD). Hydrological criteria and drainage Design manual. Clark County (EE. UU.)	CCRFCD, 1999	$v \cdot y \leq 0.55$
PhD Dissertation. Tech. Univ. of Catalonia (Espana)	Nania, 1999	$v^2 \cdot y \leq 1.00$
PhD Dissertation. Tech. Univ. of Catalonia (Espana)	Nania, 1999	$v \cdot y \leq 0.45$
EU-Project RESCDAM. Helsinki PR Water Consulting (Finlandia)	Reiter, 2000	$v \cdot y \leq (0.25 - 0.70)$
EU-Project RESCDAM. Helsinki University of Technology. Finnish Environment Institute. Finlandia	Karvonen <i>et al.</i> , 2000	$v \cdot y \leq 0.006HM 0.3$ (Condiciones buenas) $v \cdot y \leq 0.004HM 0.2$ (Condiciones normales) $v \cdot y \leq 0.002HM 0.1$ (Condiciones malas)
Department of Infrastructure, Planning and Natural Resources (DIPNR). NSW Floodplain Development Manual. South Wales Government, Sydney, Australia.	DIPNR, 2005	$v \leq 3.3y + 2.7$ Limites: $v \leq 2$ ; $y \leq 0.8$
Flood Risks to People Project (Phase 2) Department for Environment Food and Rural Affairs, Reino Unido.	Ramsbottom <i>et al.</i> , 2006.	Peligrosidad hidráulica = $y(v + 0.5) + DF$ (DF: Debris Factor entre 0-1) 0.75 - 1.5 : Peligro para algunos 1.5 - 2.5 : Peligro para muchos > 2.5 : Peligro para todos

Figura 42. Critérios de periculosidade de profundidades (m) e velocidade (m/s): referências a nível mundial



Portanto, para determinar a periculosidade em cada ponto de estudo, se levarão em conta as profundidades e as velocidades, como uma função de ambas que possa supor um perigo. Para isto, uma vez determinado a profundidade e a velocidade para cada probabilidade de ocorrência mediante o modelo HEC-RAS, se geraram modelos ráster para obter estes dados de forma espacial e poder representar as zonas de perigo, concretamente se extraíram de cada modelo um ráster de velocidades e outro de profundidades e mediante uma aplicação SIG representaram-se os pontos que alcançam uma determinada profundidade e a combinação deste com a velocidade, que se possa estabelecer por sua vez como perigoso.

Para este estudo se consideraram como zonas de periculosidade alta todas as que a profundidade alcança 1 metro de profundidade, que a velocidade supera 1 m/s o que o produto de ambas supera os 0.5 m/s<sup>2</sup>

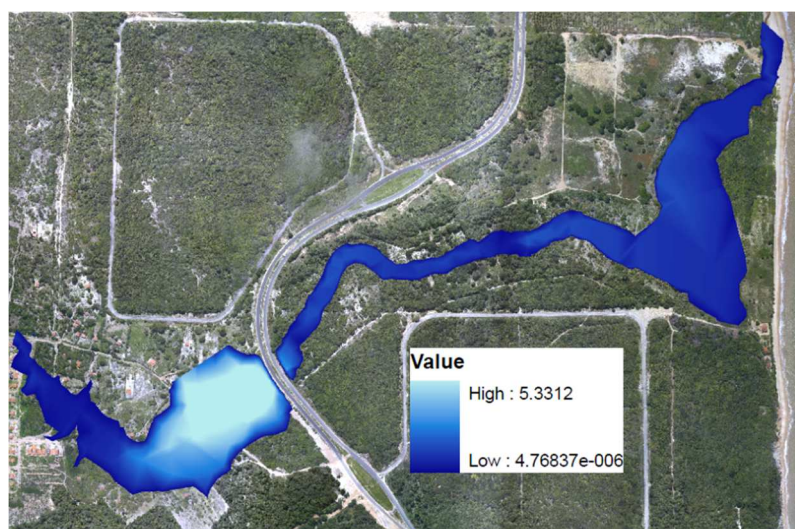


Figura 43. Regime de profundidades no rio Aratú para um período de retorno de 50 anos

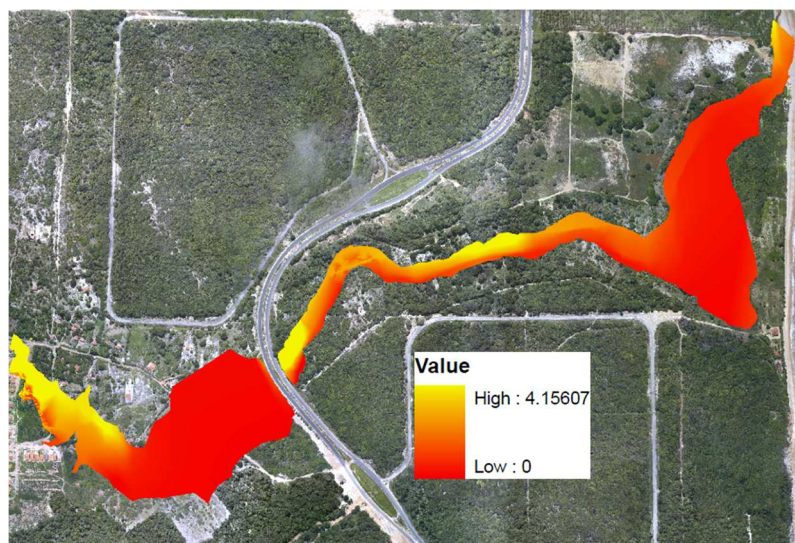


Figura 44. Regime de velocidades no rio Aratú para um período de retorno de 50 anos

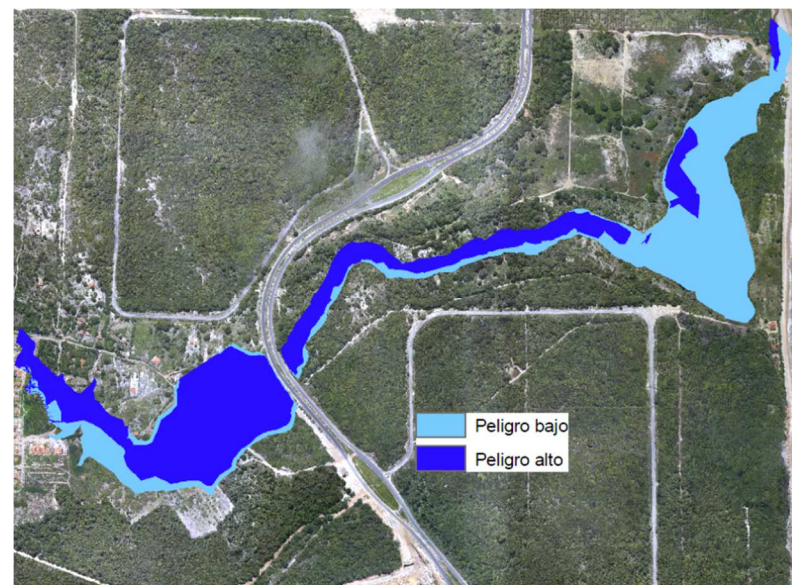


Figura 45. Periculosidade no rio Aratú para um período de retorno de 50 anos

### 3.6 Resultados e conclusões

A análise dos córregos de João Pessoa foi elaborada mediante a realização de cinco modelos matemáticos com o software HEC-RAS, com as seguintes considerações

#### Rio Marés:

Desenvolveu-se o modelo unidimensional do canal principal e de seus afluentes. Este córrego está muito próximo à zona onde o MDT de 0.5 metros margeia o MDT de pior precisão de 30 metros de pixel. Considerou-se suficientemente precisa a delimitação da lâmina de água, mas não foi possível obter com precisão o regime de profundidades e velocidades, comparando os resultados do modelo com os ráster obtidos em sua interseção com o terreno estes tinham algumas inconsistências que impedem considerar totalmente preciso o resultado, considerando-se mais apropriado limitar o resultado neste caso à mancha de inundação para cada período de retorno, sem classificá-la em seus distintos graus de periculosidade,

#### Rios Jaguaribe, Timbó e Mandacaru:

Na mesma linha desenvolveu-se um modelo unidimensional dos três rios com seus respectivos afluentes como um sistema único e inter-relacionado. Os resultados tanto de profundidades como de velocidades se consideraram suficientemente precisos após a verificação realizada do modelo com os ráster obtidos.

O modelo se considera impreciso na zona do baixo Jaguaribe, na comunidade de São José quando o rio transborda o canal e escorre pelas ruas do bairro de Manaíra para o mar. Nesta zona as velocidades tomam uma direção perpendicular ao canal, não cumprindo a hipótese de fluxo unidirecional, as profundidades em

cada seção já não seriam constantes, ao não ter velocidade nula no sentido transversal.

Para obter com precisão as velocidades e profundidades em cada ponto desta zona é necessária a realização de um modelo bidimensional no campo das velocidades, no entanto, se considera que calcular a velocidade e a profundidade exato nessa zona não é necessário por dois motivos:

- As velocidades e as profundidades se estimam baixos escorrendo o fluxo pelas ruas para o mar, não conformando um perigo para as vidas humanas nem para a infraestrutura do bairro de Manaíra.
- O objeto deste estudo é propor uma solução a este problema, que resolva a situação de alto risco dos habitantes do bairro de São José que sucede inclusive para crescimentos ordinários e aumente a capacidade de deságue do canal de forma que inclusive vazões associadas a altos períodos de retorno escorram dentro do canal sem produzir transbordamentos.

#### Conclusões gerais:

Comprovou-se que as vazões de crescimento superam as previsões feitas pelo homem tanto nas zonas ocupadas como na maioria das obras de drenagem realizadas quando as vias cruzam os distintos canais. Estima-se que estes resultados piorem com as novas construções, já que estas, situadas em qualquer ponto da bacia, exigem uma diminuição da infiltração e uma maior vazão de escoamento.

No sentido contrário, os estudos sobre a alteração climática preveem que tanto as precipitações médias como as máximas diminuam nesta região, em um porcentagem inferior a 10%, não sendo suficiente para eliminar os problemas graves de inundações na cidade

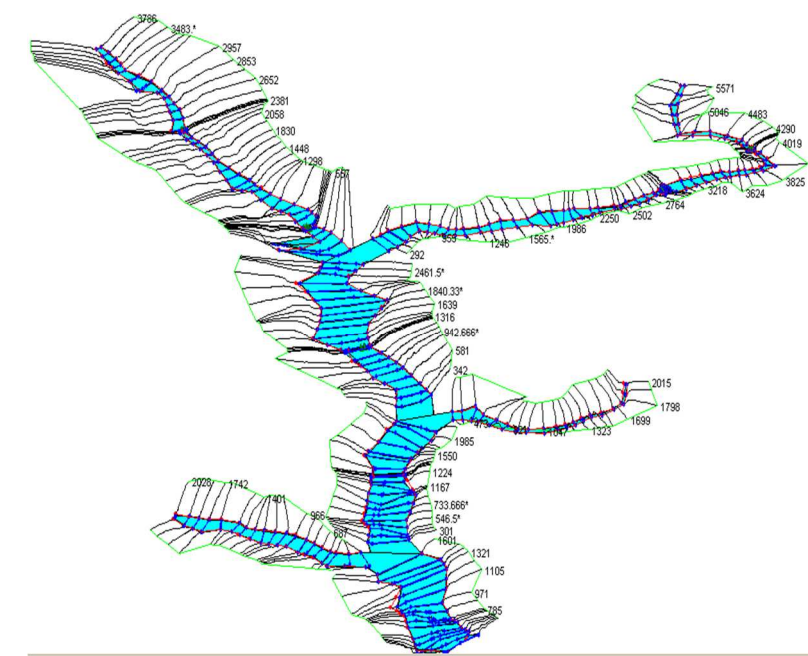


Figura 46. Modelo HEC-RAS do sistema Laranjeiras-Cuiá





Figura 47. Obra de drenagem no rio Cabelo sem capacidade para as avenidas estudadas

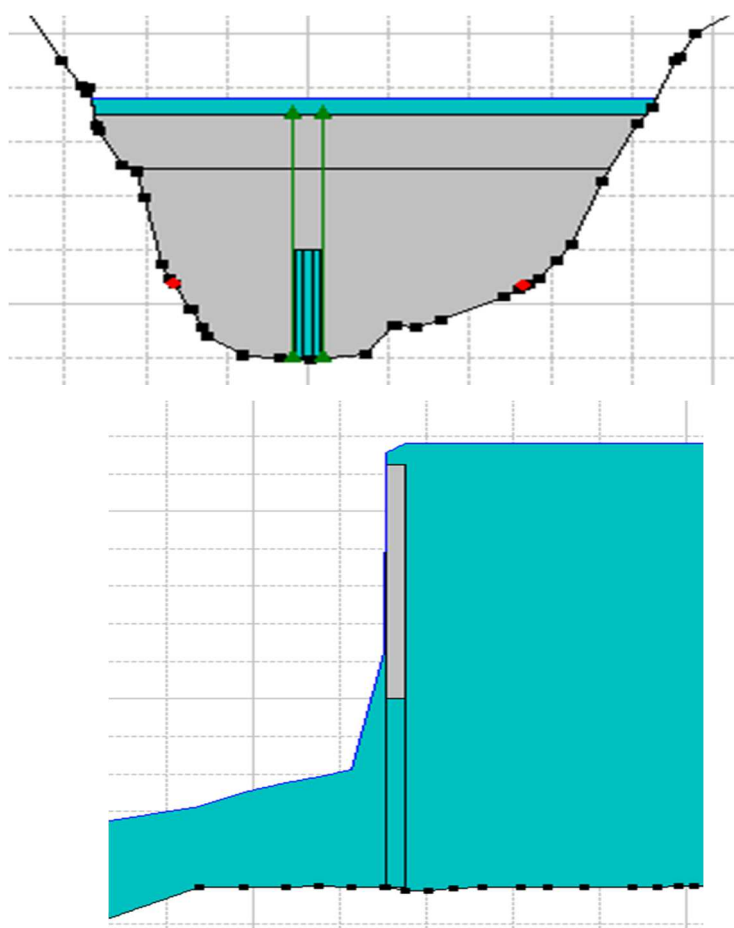


Figura 48. Alçado e perfil da lâmina de água em uma obra de drenagem do rio Cabelo para um período de retorno de 25 anos. Modelo

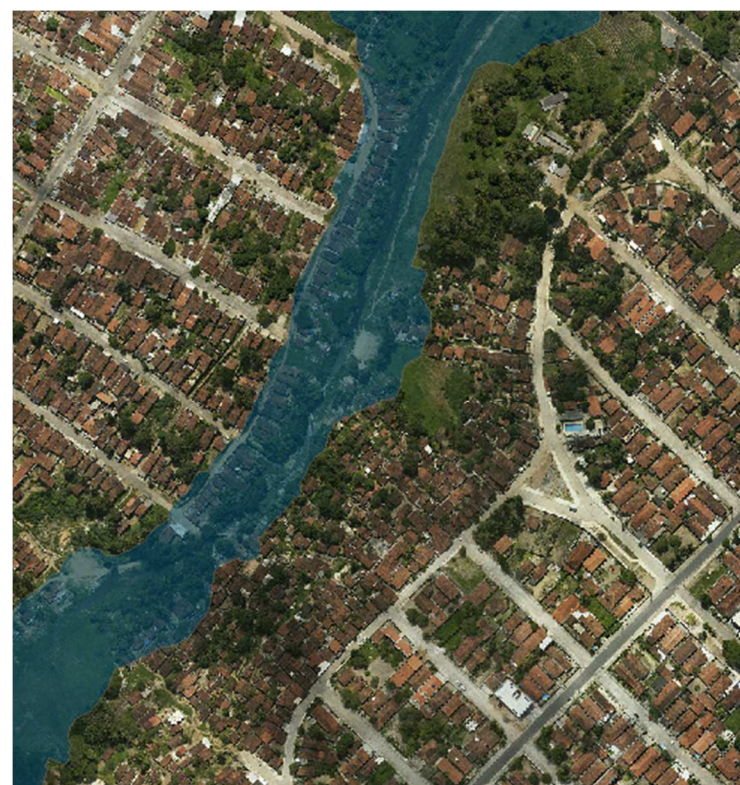


Figura 49. Lâmina de inundação na comunidade de Cristo Redentor para um período de retorno de 50 anos em o rio Jaguaribe.

A zona mais crítica se encontra na margem direita do rio Jaguaribe à altura da comunidade de São José, onde o transbordamento do canal se dá inclusive para os períodos de retorno mais baixos.

Para o crescimento ordinário pegada probabilidade de ocorrência anual é de aproximadamente o 50%, a comunidade de São José se vê afetada pelo crescimento, mas inclusive para períodos de retorno maiores as vazões superam a divisória da bacia escoando a vazão para o mar afetando a população situada no bairro de Manaíra.



Figura 50. Lâmina de inundação para um período de retorno de 2.33 anos (azul claro) e para 50 anos (azul escuro)

#### Referências

Título: Hidrologia Aplicada. Editorial: Mc Graw Hill. Autores: Vem Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays.

Título: Hidrologia de Canais Abertos. Editorial: Mc Graw Hill. Autor: Vem Te Chow.

Título: Ingenieria Fluvial (Politext Àrea d'Enginyeria Civil). Editorial: Editions UPC. Autor: Juan P. Martín Vide.

Título: Ingenieria Hidrológica. Editorial: Grupo Editorial Universitario. Autor: Leonardo S. Nania, Manu Gómez Valentin.

Título: Cálculo hidrometeorológico de vazões máximas em pequenas bacias naturais. Editorial: Tecnologia de Estradas MOPU. Autor: MOPU.

Título: Recomendaciones para o Cálculo Hidrometeorológico de Avenidas. Editorial: CEDEX. Autor: Francisco Javier Ferrer Polo

## 4 Inundações marinhas

### 4.1 Introdução

Neste estudo se caracteriza o regime extremo de inundação costeira em João Pessoa para o clima presente e para diversos cenários de alterações climáticas. A determinação do clima de inundação na costa é um problema que envolve os eventos extremos da dinâmica marinha, às características geométricas e mecânicas das defesas costeiras e à topografia afetada pelos eventos de inundação. Por outro lado, é importante ter em conta que o clima de inundação costeira pode ser alterado nas próximas décadas por efeito da alteração climática (mudanças na dinâmica marinha por elevação do nível médio do mar e mudanças na frequência e severidade dos temporais). O modelo de todos os processos se realiza a partir da combinação de:



- Bases de dados contrastadas de longa duração de ondulações e nível do mar.
- Modelos estatísticos de extremos.
- Modelos de transformação das ondulações e do nível do mar na costa.
- Modelos de inundação.
- Caracterização geométrica e mecânica das defesas costeiras.
- Modelo Digital de Terreno (MDT) de alta resolução.
- Cenários de alteração climática de elevação do nível do mar e de alterações nas dinâmicas marinhas.

Neste trabalho, tendo em conta a informação e recursos disponíveis, desenvolveu-se uma metodologia que pretende ser equilibrada em todas e cada uma das componentes que definem clima de inundação costeira. Em concreto, na metodologia se consideraram todos os elementos a exceção de:

- Caracterização geométrica e mecânica das defesas costeiras: se requeria uma campanha de campo específica para uma definição correta deste fator, ainda que apareça parcialmente tratado na seção de erosão costeira.
- Cenários de alteração climática de alterações nas dinâmicas marinhas: só levando em conta a elevação do nível médio do mar.

## 4.2 Transferência das dinâmicas à zona costeira

À hora de caracterizar da inundação costeira para o clima atual e futuro em João Pessoa, é necessário estudar as distintas componentes do nível do mar (maré astronômica, maré meteorológica e nível médio do mar local) assim como as ondulações na costa, o qual é função das ondulações em águas profundas e da batimetria (ver seguinte esquema).

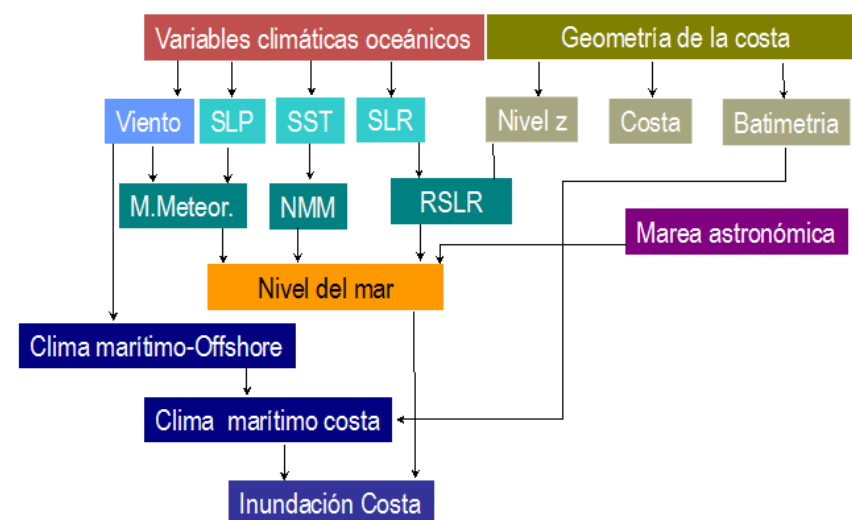


Figura 51. Marco geral das dinâmicas a considerar

Neste capítulo se descrevem os trabalhos desenvolvidos para a transferência da dinâmica marinha na zona de João Pessoa, essencial para a determinação da inundação costeira tanto atual como futura, sob a influência de alterações climáticas. Para este trabalho, se utilizaram informação existente de IH Cantabria, diversas metodologias, modelos numéricos e bases de dados, assim como o Modelo Digital de Terreno (MDT) de alta resolução disponível.

Desenvolvem-se a continuação as bases de dados utilizadas

### 4.2.1 Ondulações

#### 1) Reanálise das ondulações GOW (Global Ocean Waves)

O Instituto de Hidráulica Ambiental IH Cantabria gerou uma base de dados de reanálise das ondulações Global Ocean Waves (GOW, Reguero et al., 2012) com cobertura global, calibrado e validado com medidas instrumentais. O modelo numérico utilizado para gerar as séries de ondulações foi o modelo WaveWatch III (Tolman 1997, 1999).

A reanálise GOW (Global Ocean Waves, Reguero et al., 2012) do IH Cantabria se organiza em distintas escalas espaciais. Em primeiro lugar, obtiveram-se as ondulações em uma malha global, que geram ondulações em escala mundial com nós de resolução espacial igual a 1.5° em longitude e 1° em latitude. Nesta malha global, se aninharam novas malhas para o estudo de zonas de detalhe com maior grau de definição. Levantaram-se três malhas de detalhe, uma para a costa pacífica de América do Sul e outra para a costa Atlântica, ambas de resolução de 0.5°x0.5°, e uma malha de 0.25°x0.25° para o Caribe, de mais resolução espacial pelas características das ilhas e do Mar do Caribe, seguindo as recomendações de experiências prévias na zona da NOA com seu modelo operacional (ver figura 45).

O alcance temporal da reanálise GOW abarca desde 1948 a 2014, com resolução temporal horária. Ainda que no estudo só se utilizem as séries temporais até o ano 2008, a reanálise está sendo atualizado periodicamente à medida que os ventos de NCEP são publicados.

Os resultados da reanálise Global foram validados com dados instrumentais de boias e de satélite. Quanto às boias, se utilizaram a rede exterior do Organismo Público de Portos do Estado no litoral espanhol e boias da NOA (National Oceanic Atmospheric Administration) no resto do mundo, cobrindo regiões com condições de ondulação muito diversas. Posteriormente, se realizou uma calibração espacial dos resultados numéricos para diminuir a dispersão e melhorar a concordância dos resultados numéricos com os registros instrumentais em todo o domínio de estudo (Minguez et al. 2011).

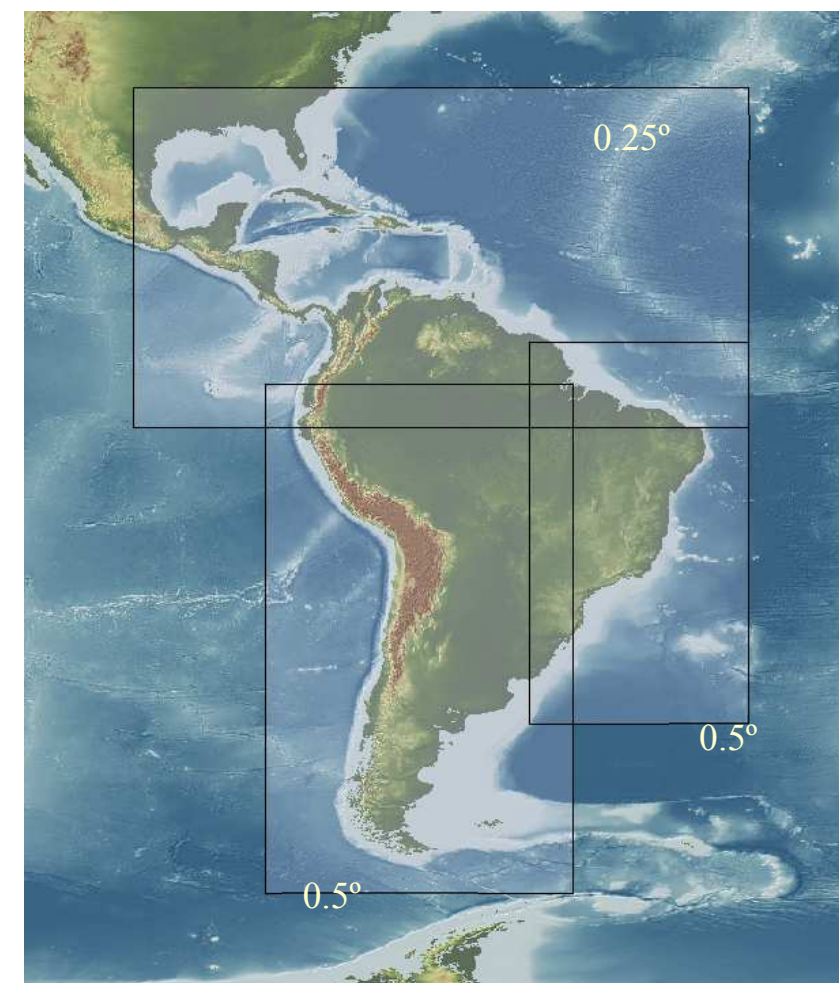


Figura 52. Malhas de detalhe de reanálise de ondulações em ALyC e resolução espacial das mesmas.

#### 2) Reconstrução das ondulações DOW (Downscaled Ocean Waves)

A transformação das ondulações está condicionada pelos forçamentos aos quais é submetida e pelas irregularidades do fundo marinho e a costa. Em profundidades indefinidas são importantes às irregularidades à grande escala, como grandes cabos. No entanto, quando as ondulações chegam a profundidades intermediárias e reduzidas, seu comportamento é um reflexo da batimetria.

O procedimento desenvolvido para construir os dados DOW se descreve detalhadamente em Camus et al. (2011a, 2013) e pode sintetizar-se da seguinte maneira: um conjunto de dados GOW calibrados foi utilizado para selecionar um subconjunto representativo de estados de mar em águas profundas. Este subconjunto garante que todos os possíveis estados de mar estejam representados inclusive capturando eventos extremos (Camus et al., 2011b).

A propagação dos estados de mar selecionados desde águas profundas a águas rasas se realizou mediante o modelo numérico



de propagação SWAM (Simulating Waves Nearshore) desenvolvido por Delft University of Technology (Booij et al., 1999) com uma resolução espacial de 1 quilômetro. Cada uma das situações de ondulação a propagar está definida por umas condições de contorno, que vem dadas pelos dados de ondulações da base de dados GOW, e forçadas por campos de vento procedentes da base de dados de reanálise atmosférica. Levantou-se uma malha de cálculo para a transferência das ondulações desde a posição dos dados espectrais até a costa e o aninhamento de uma malha de menor tamanho mas com maior resolução espacial para poder dispor de um maior detalhe (melhora de resolução, regionalização o downscaling).

Na figura 46 se mostra uma propagação de ondulações DOW na malha da zona de estudo. Como se pode apreciar, as ondulações do SE se refletem diminuindo a altura de onda à medida que se aproxima da costa.

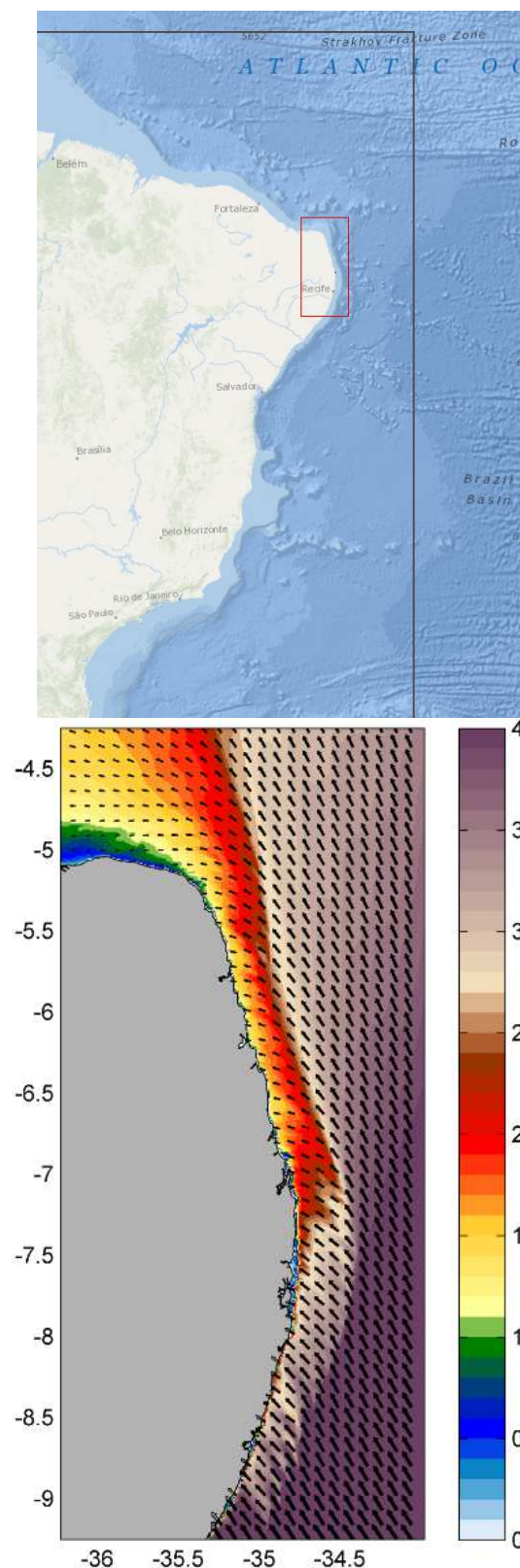


Figura 53. Malhas de detalhe DOW na zona de estudo e propagação com o modelo de ondulações SWAN, respectivamente. A escala de cores representa o valor da altura de onda significativa (m) e as flechas representam a direção média do estado de mar

#### 4.2.2 Nível do mar

##### 1 Reanálise GOT (Global Ocean Tides)

Utilizou-se a base de dados de maré astronômica GOT (Global Ocean Tides) gerada ao longo da costa de América do Sul utilizando as constantes harmônicas procedentes do modelo global de marés TPXO, desenvolvido pela Universidade de Origem (Egbert et al., 1994; Egbert e Erofeeva, 2002). O TPXO é um modelo inverso de marés que assimila a informação do nível do mar derivada das observações do sensor TOPEX/Poseidon. Este modelo representa um ajuste ótimo (em limites de mínimos quadrados) da equação de maré de Laplace aos dados de satélite resultantes da missão TOPEX/Poseidon. Atualmente, o modelo TPXO é um dos modelos globais de maré mais precisos.

A base de dados TPXO, resultante do modelo, proporciona quatro componentes harmônicas semidiurnas (M2, S2, N2, K2), quatro componentes diurnas (K1, O1, P1, Q1) e dos de longo período (Mf e Mm). Os dados se proporcionam em uma malha com cobertura global de 1440 x 721 pontos com 0.25° de resolução espacial, tanto em latitude como em longitude.

Na figura 47 se mostra um mapa da componente M2 calculada com este modelo.

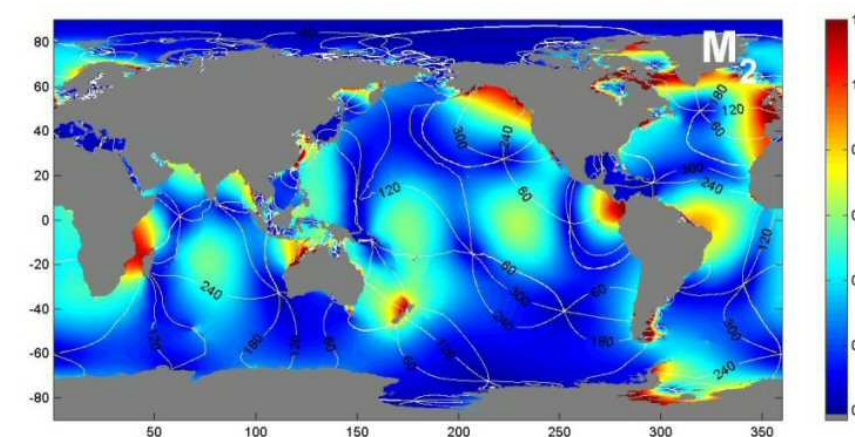


Figura 54. Mapa da componente de maré M2 calculada com o modelo TPXO

A série horária obtida em uma posição próxima à zona de estudo de João Pessoa se representa na figura 50 (MA) onde se pode apreciar que a máxima carreira de maré é de 3 metros.

##### 2 Reanálise GOS (Global Ocean Surge)

Denomina-se maré meteorológica (storm surge) à sobre-elevação do nível do mar devida à tensão tangencial que exerce o vento sobre uma massa de água e aos gradientes de pressão atmosférica. Esta sobre-elevação é uma das componentes para determinar o nível do mar total e sua importância relativa, em relação à maré astronômica, e outros fatores, depende da zona geográfica analisada.



IH Cantabria gerou uma base dados de séries horárias de 61 anos de duração (1948-2008) de maré meteorológica para a costa atlântica e pacífica de América do Sul e o Caribe mediante um modelo de número de circulação forçado com ventos e pressões históricas (Abascal et al., 2011).

O modelo utilizado para o cálculo da maré meteorológica foi o modelo tridimensional de circulação ROMS (Regional Ocean Modeling System) desenvolvido pelo Ocean Modeling Group de Rutgers. Na atualidade está sendo amplamente utilizado pela comunidade científica, sendo sua aplicabilidade de diversa índole (Warner et al., 2005).

O modelo ROMS resolve de forma numérica as equações conhecidas como equações primitivas, nas quais assume que a pressão segue uma lei hidrostática. As equações primitivas englobam a equação de conservação de quantidade de movimento, a de conservação da massa, a de transporte de distintas substâncias como a temperatura e a salinidade, e a equação de estado para o cômputo da densidade da água. Neste estudo, dado o caráter barotrópico do fenômeno a resolver, se utilizou a versão 2D do modelo.

A batimetria utilizada provém da base de dados de 2 minutos de resolução, ETOPO2, que contém a batimetria dos oceanos a escala global, proveniente de dados de altimetria (satélite). A malha de computação se definiu com uma resolução de  $1/4^\circ$ .

Os forçamentos que se utilizam no modelo de circulação são ventos a 10 metros de altura e pressão no nível do mar (SLP) com resolução temporal de seis horas e espacial de  $1.9041^\circ$  em latitude e  $1.875^\circ$  em longitude, provenientes do Centro NCEP/NCAR de Estados Unidos. Estes dados cobrem, completa e homogeneamente, o período 1948-2008 e se atualizam mês a mês.

A base de dados obtida, denominada reanálise GOS (Global Ocean Surge), do IH Cantabria, abarca desde 1948 a 2008, com resolução temporal horária. Na figura 48 se apresenta um exemplo de resultados de superfície livre para uma data determinada.

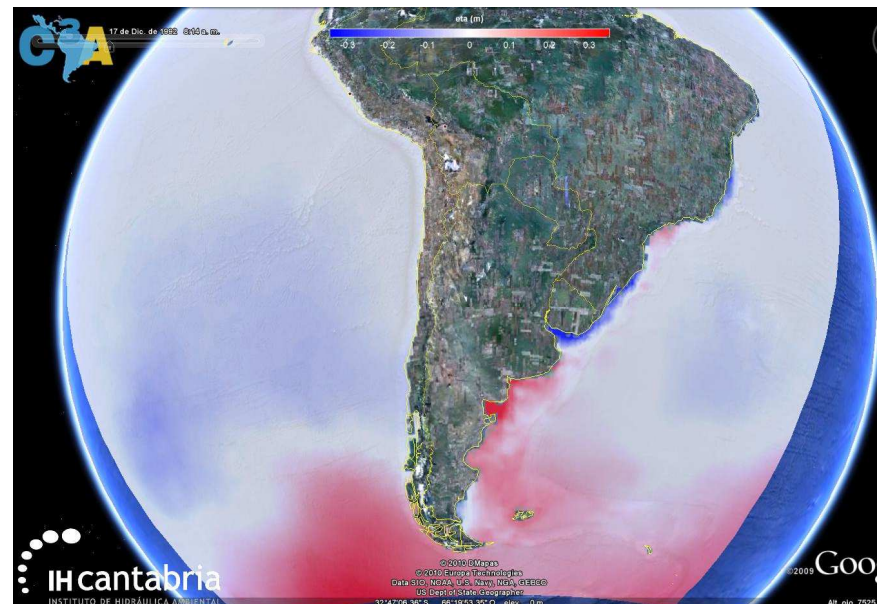


Figura 55. Resultados da reanálise GOS de elevação da superfície livre devida a maré meteorológica para a data 17/12/1992. Zona América do Sul

#### 4.2.3 Reconstrução da série temporal horária de nível do mar (Z)

A reconstrução da série temporal horária de nível do mar se levou a cabo no tramo entre Lucena e Conde, em uma série de pontos próximos à costa e equidistantes 1 quilômetro (ver figura 49).

Em cada um dos pontos seleccionados se reconstruíram as séries de altura de onda significativa ( $H_s$ ), Maré Meteorológica (MM) e Maré Astronômica (MA).

A partir da série de altura de onda se determinou o Set-up de ondulações, para o que existem diversas formulações na literatura (Guza and Thornton, 1981; Nielsen, 1988; Stockdam et al., 2006; etc.), algumas delas dependentes do perfil de praia. O fato de que muitos perfis de praia sejam curvos põe de manifesto uma definição da pendente da praia não tão trivial. Após uma revisão do estado da arte se observou que o raio médio de Set-up de ondulações definido por Dean et al. (2008) é uma boa aproximação para a componente estática do mesmo.

Neste estudo, o Set-up de ondulações foi definido como o 30% de  $H_s$  nas imediações da zona de rompentes (Dean et al., 2008) para ter em consideração, ademais do Set-up estático, o Set-up dinâmico (agrupamento de ondas).



Figura 56. Pontos equidistantes 1 km próximos à costa nos quais se reconstruiu a série temporal horária de nível do mar (Z)

Na figura 50 se mostra a série temporal reconstruída de altura de onda significativa em uma posição próxima à zona de estudo de João Pessoa. Nota-se a forte variabilidade intra-anual e interanual da série com máximos de altura de onda da ordem de 2.5-3 metros.

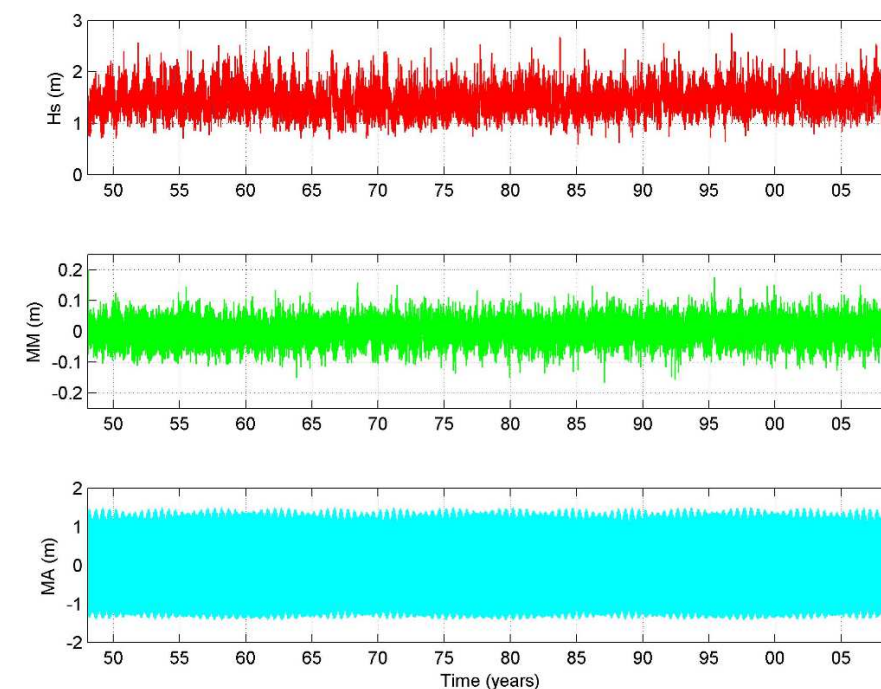


Figura 57. Série temporal de dinâmicas marinhas



## Referências

Abascal, A.J., Castanedo, S., Cid, A., Médina, R. (2011). High resolution dynamic downscaling of storm surge in Southern Europe (GOS, Global Ocean Surges). Twelfth Session of the GLOSS Group of Experts, GLOSS GE XII and Associated Workshops, France-November 7-11, 2011.

Booij, N., Ris, R.C., e Holthuijsen, R.H. (1999). A third generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. Journal of Geophysical Research, 104, C4, pp. 7649-7666.

Camus, P., Mendez, F., Médina, R. (2011a). A hybrid efficient method to downscale wave climate to coastal areas. Coastal Engineering 58, pp 851-861.

Camus, P., Mendez, F., Médina, R., Cofiño, A. (2011b). Analysis of clustering and selection algorithms for the study of multivariate wave climate. Coastal Engineering 58, pp 453-452.

Camus, P., Mendez, F., Médina, R., Tomas A., Izaguirre C. (2013). High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. Coastal Engineering, 72, pp 56-68.

Dean, G.R., Walton, T.L. (2008). Wave Set-up – A state of Art review. Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Chapter 1. ISBN: 978-981-281-930-7.

Egbert, G.D., Bennett, A.F., Foreman, M.G.G. (1994). Topex/Poseidon tides estimated using a global inverse model. Journal of Geophysical Research, 99, pp 24821-24852.

Egbert, G.D., and Erofeeva, S.Y. (2012). Efficient inverse modeling barotropic ocean tides. J. Atmos. Oceanic Technol., 19(2), pp 183-204.

Guza, R.T. and Thornton, E.B., (1981). Wave Set-up on a Natural Beach. Journal of Geophysical Research, Vol.96, No. C2, pp.4133-4137.

Mínguez, R., Espejo, A., Tomais, A., Méndez, F. J., and Losada, I. J. (2011). Directional calibration of wave reanalysis databases using instrumental data. J. Atmos. Oceanic Technol. 28, pp 1466-1485.

Nielsen, P., (1988). 'Wave Setup: A Field Study', Journal of Geophysical Research, Vol. 93(C12), pp.15,643-15,652.

Reguero, B.G., M. Menéndez, F.J. Méndez, R. Mínguez, I.J. Losada (2012). A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards. Coastal Engineering, (65): 38-55.

Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. and Sallenger, A.H., Jr., (2006) 'Empirical Parameterization of Setup, Swash, and Runup'. Coastal Engineering 53 573-588, Elsevier Publishing, the Netherlands.

Tolman, H.L., (1997). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15. NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note 151, pp 97.

Tolman, H.L., (1999). User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.18. NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note 166, pp 110.

Warner, John C., Christopher R. Sherwood, Hernan G. A, Richard P. Signell, (2005). Performance of Four Turbulence Closure Methods Implemented using a generic Length Scale Method. Ocean Modeling 8, 1-1, pp 81-113.

## 4.3 Inundação marinha costeira

Uma boa caracterização da inundação costeira requer, ademais do estudo de as dinâmicas marinhas e de sua transferência à costa, a eleição das ferramentas adequadas para selecionar eventos representativos e para transferir a água do mar a terra com a maior precisão possível.

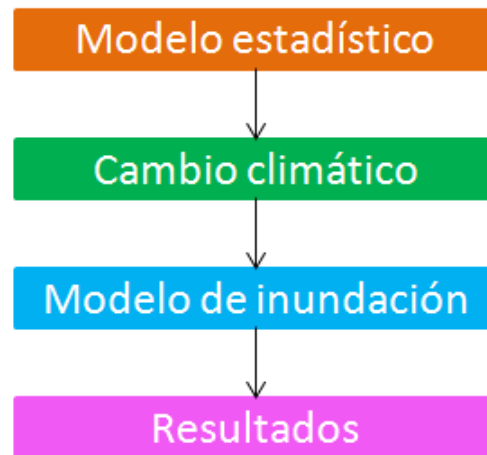


Figura 58. Diagrama de fluxo de o procedimento a seguir para a caracterização da inundação costeira

Com o fim de estudar a inundação costeira em João Pessoa para o clima presente e futuro se realiza uma análise do regime extremo mediante a aplicação de um modelo estatístico. Selecionar-se-ão 3 eventos de inundação ( $R=10$ , 50 e 200 anos de Período de Retorno), se considerarão 3 cenários de subida de nível do mar ( $SLR=0.2$ , 0.5 e 1.0 metros) e se aplicará o modelo de inundação. Esta análise permitirá obter quais são as mudanças esperadas nos impactos de inundação por efeito das alterações climáticas.

O modelo selecionado para caracterizar a inundação costeira em João Pessoa é RFSM-EDA (Rapid Flood Spreading Method - Explicit Diffusion wave with Acceleration term), um modelo de inundação 2D desenvolvido em HR Wallingford (Gouldby et al., 2008; HR Wallingford, 2006) que conta com a topografia como sub-elemento na malha computacional.

### 4.3.1 Modelo estatístico

Para estimar a distribuição estatística da cota máxima anual desenvolveu-se um modelo estatístico de extremos.

A figura 52 mostra a reconstrução da série temporal horária de Nível de Surge (NS) que compreenda Maré Meteorológica (MM) e o Set-up de ondulações em um ponto próximo à zona de estudo de João Pessoa.

Aplicou-se o método POT (Peaks Over Threshold) aos eventos com independência de 2 dias e de modo que o umbral de corte garantisse 5 eventos ao ano (ver figura 53).

O Período de Retorno de 10, 50 e 200 anos se determinou mediante uma distribuição GEV (Generalized Extreme Value) como se mostra na figura 54.

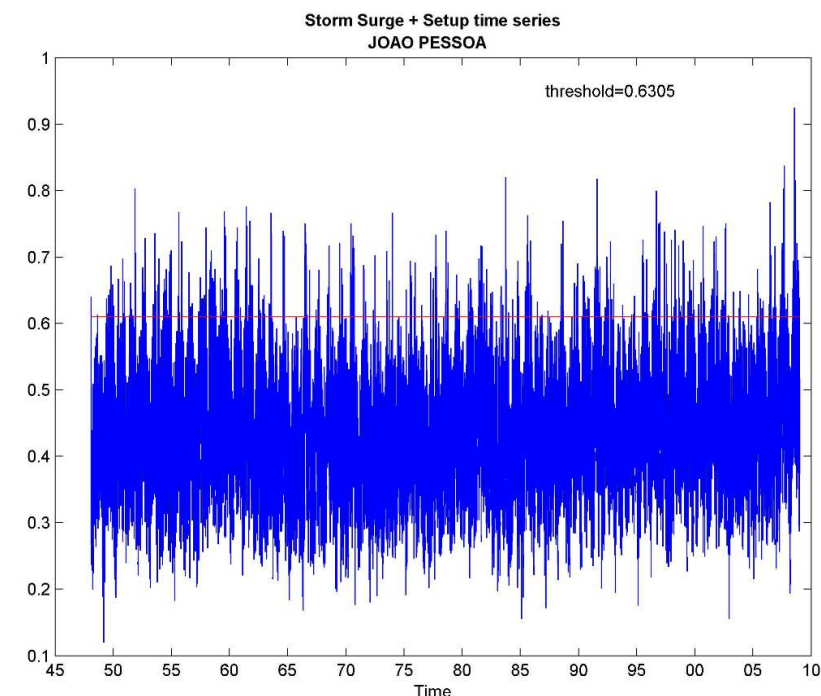


Figura 59. Reconstrução da série temporal horária de Nível de Surge (NS)

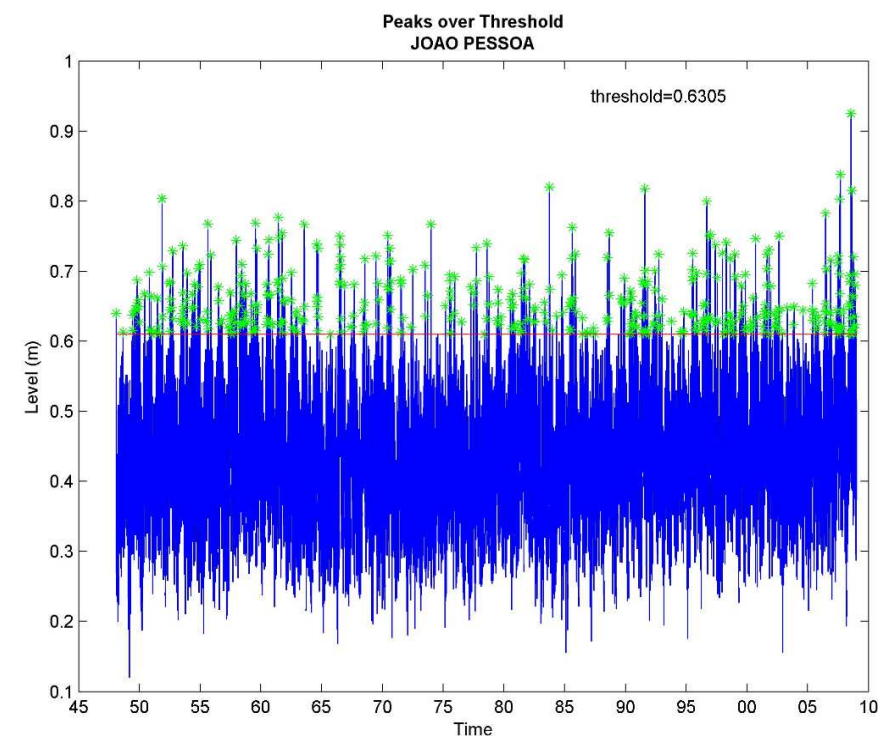


Figura 60. Picos sobre o umbral que garante 5 eventos ao ano



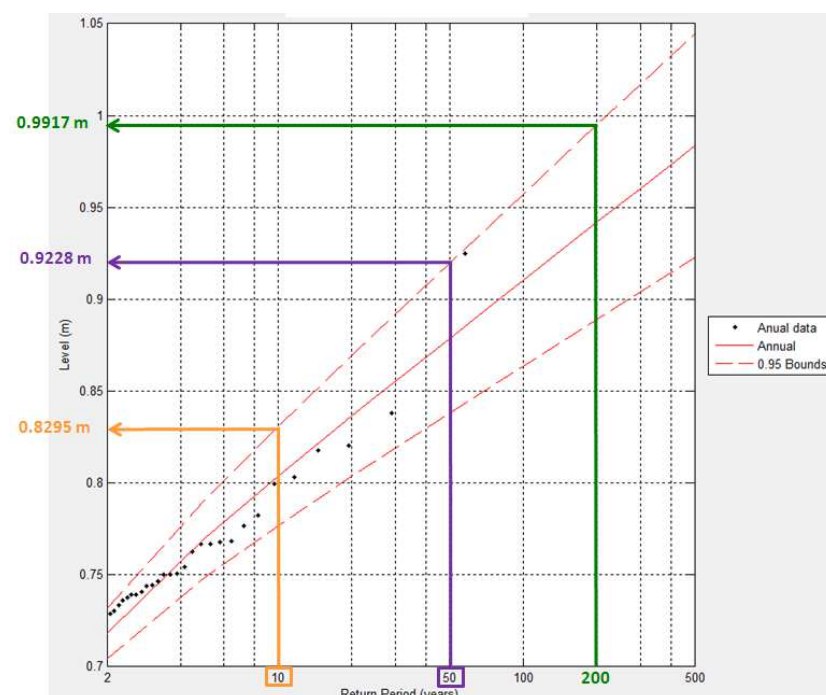


Figura 61. Período de Retorno com bandas de confiança do 95%

Após obter os valores de Nível de Surge (NS) para os Períodos de Retorno considerados, se reconstruiu a série temporal horária de Total Water Levo (TWL) em cada um dos pontos próximos à costa de João Pessoa, tendo definido TWL como a soma de 3 componentes:

$$TWL(t) = NS(t) + MA(t) + NMM \text{ Local}$$

Onde:

**NS** é o Nível de Surge, que por sua vez compreende o efeito da pressão atmosférica e do setup do vento (Maré Meteorológica ou Storm Surge) e a sobre-elevação do nível devida à transferência de fluxo de momento da ondulação à coluna de água durante o processo de ruptura das ondas (Set-up de ondulações).

**MA** é a Maré Astronômica.

**NMM Local** é o Nível Médio do Mar Local, conceito que surge devido ao fato de que o Nível Médio do Mar nem sempre coincide com o Geoide. Neste contexto, o Nível Médio do Mar Local considerou-se um dado de maré constante com variabilidade espacial. Esta correção do nível de referência se realizou com os dados do altímetro de AVISO registrados com uma resolução espacial de 1°.

#### 4.3.2 Alterações climáticas

Os impactos da alteração climática devem ser analisados com base em: (a) a extrapolação de tendências obtidas a partir de séries de longa duração; e (b) projeções climáticas para cenários futuros.

O Instituto de Hidráulica Ambiental IH Cantabria realizou para a CEPAL de Nações Unidas o projeto "Efeitos da alteração climática na costa de América Latina e o Caribe", ([www.c3a.ihcantabria.com](http://www.c3a.ihcantabria.com)), no qual se analisaram as alterações detectadas nas dinâmicas costeiras, a influência da variabilidade climática, informação diversa sobre a vulnerabilidade das costas (médio físico e socioeconômico), a configuração física das mesmas e os impactos e riscos previsíveis. A partir de dados históricos se obteve uma tendência de aumento do nível do mar (SLR) em João Pessoa de 3 mm/ano (ver figura 55). Extrapolando esta tendência atual há 55 anos, isto é, ao ano 2060, se obtém um cenário de 15,5 cm de RLS.

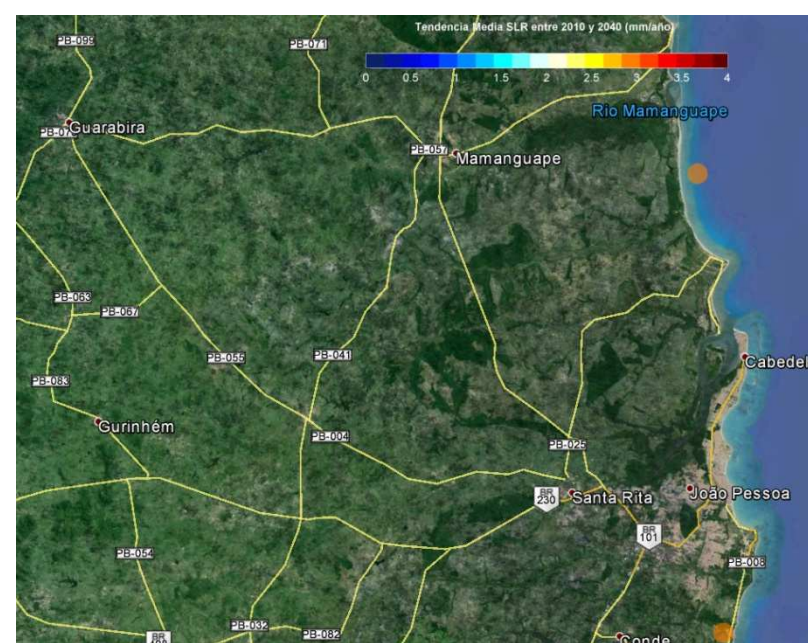


Figura 62. Tendência média do Nível Médio do Mar em João Pessoa ([www.c3a.ihcantabria.com](http://www.c3a.ihcantabria.com))

Por outra parte, se revisou a Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Marco das Nações Unidas sobre a alteração climática (Brasília, 2010) na qual é referência da previsão que realiza o IPCC do aumento do nível médio do mar entre 18 e 56 cm no período 2090-2099 (IPCC, 2007) tomando como referência o período 1980-1990 e baseando-se nos diferentes cenários de emissão de gases de efeito estufa e na combinação da expansão térmica das águas junto ao derretimento dos glaciais localizados nos continentes.

O informe AR5 do Working Group II do IPCC (IPCC, 2014) recolhe uma estimativa central e as bandas de confiança da subida do

nível do mar ao longo do século XXI para cada um dos cenários de concentração de gases de efeito estufa (RCP). Estes cenários contemplam a variabilidade espacial do aumento do nível do mar e tem em conta, principalmente, a contribuição de dilatação térmica do oceano, o movimento da água no interior dos oceanos em resposta a pautas de variabilidade acoplada oceano-atmosfera, incluindo o fenômeno ENSO e a NAO, as variações de massa dos mantos de gelo de Groenlândia e da Antártida ademais dos glaciais e casquetes de gelo (GIA) e o esgotamento de recursos de água subterrânea. A figura 2.6 mostra as projeções da subida do nível do mar global para os períodos indicados (2046-2065 e 2100) com base no período de 20 anos compreendido entre os anos 1986 e 2005.

Tabela 7. Subida do nível do mar global para cada cenário RCP (IPCC-WG1)

À vista destes resultados se escolheu a estimativa central do cenário RCP4.5 o limite superior do intervalo de confiança do RCP8.5, ambos para o ano horizonte 2100.

Com base em todo o anterior, se adotam os seguintes cenários:

- Cenário 1 projetado ao ano 2060: +0,2 m de SLR
- Cenário 2 projetado ao ano 2100: +0,5 m de SLR
- Cenário 3 projetado ao ano 2100: +1 m de SLR

Recentemente, Slangem *et al.* (2014) apresentou cenários regionais de SLR (ver Figura 2.7). Dada a incerteza que existe nas projeções regionalizadas de subida do nível do mar, os valores obtidos neste trabalho de 0.5 m e 1m devem entender-se como um categoria de cenários médios e pessimistas, o que permite realizar uma análise de sensibilidade da periculosidade e, conseqüentemente, do risco por alterações climáticas.



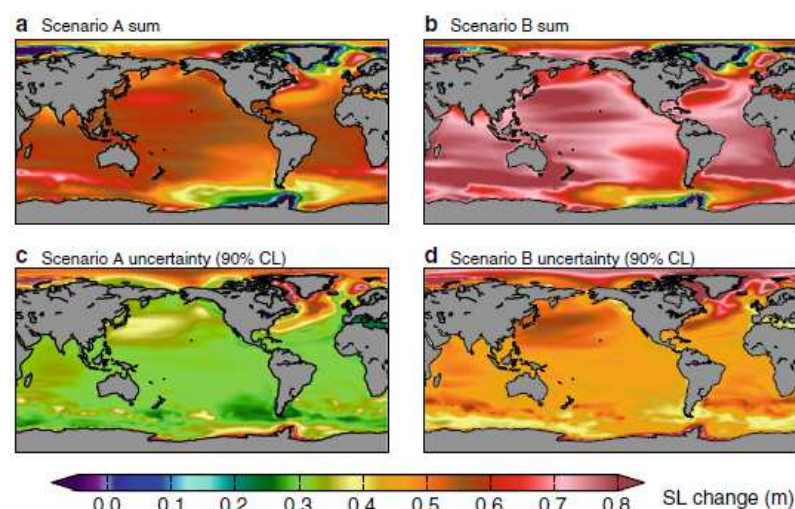


Figura 63. Padrões regionais de Cambio do Nível do Mar e incertezas sobre o período de 1986-2005 a 2081-2100. a) Scenario A sum (RCP4.5) com nível médio do mar global de 0.54 m, b) Scenario B sum (RCP8.5) com nível médio do mar global de 0.71 m, c) Scenario A uncertainty 90% CL (RCP4.5) com nível médio do mar global de 0.32 m, d) Scenario B uncertainty 90% CL (RCP8.5) com nível médio do mar global de 0.48 m

Escenarios RCP	Subida del nivel del mar (m)	
	2046-2065	2100
RCP2.6	0,24 [0,17 - 0,31]	0,43 [0,28 - 0,60]
RCP4.5	0,26 [0,19 - 0,33]	0,52 [0,35 - 0,70]
RCP6.0	0,25 [0,18 - 0,32]	0,54 [0,37 - 0,72]
RCP8.5	0,29 [0,22 - 0,37]	0,73 [0,53 - 0,97]

### 4.3.3 Modelo de inundação

RFSM-EDA é um modelo bidimensional baseado no método de armazenamento de células que responde a uma aproximação difusa das Shallow Water Equations (SWE). Difere do resto de modelos difusos por incorporar um limite adicional: a aceleração local (ou inércia local), que proporciona maior estabilidade e menores tempos de execução (Bates et al., 2010).

A malha computacional que utiliza RFSM-EDA se baseia na topografia subjacente e está formada por uma série de polígonos chamados Impact Zones (IZs). Cada uma das IZs está composta pelas células (Impact Cells) que drenam ao mesmo ponto baixo, conhecido como Ponto de Acumulação (Accumulation Point). As interfaces entre IZs são crestas topográficas ou pontos altos. A cota mais baixa de cada interface entre IZs corresponde ao ponto através do qual a água flui entre células e se conhece como Ponto de Comunicação (Communication Point), tal como se mostra na figura 57.

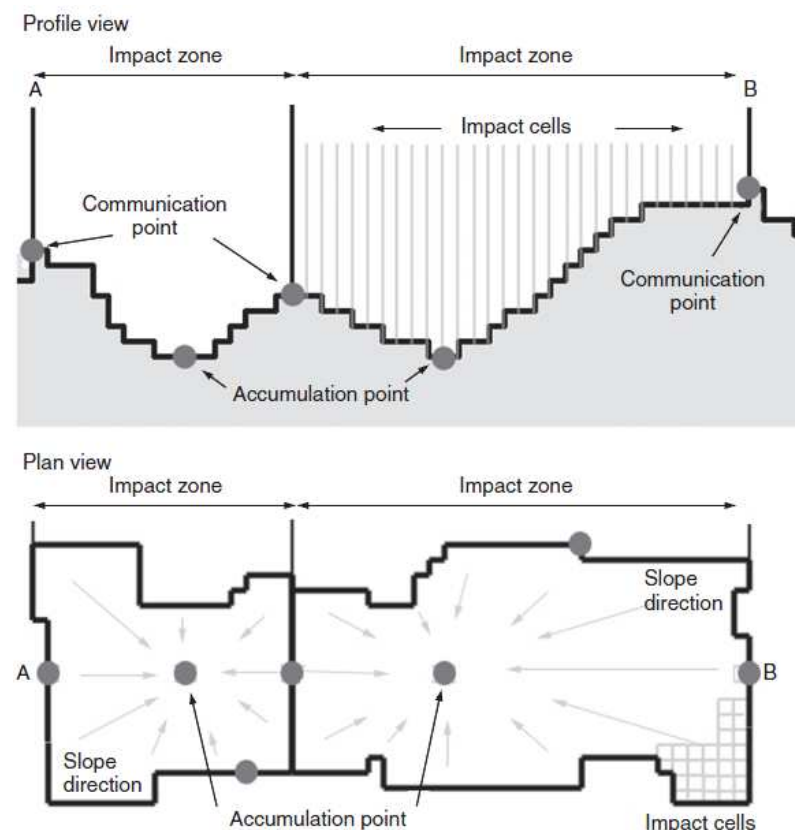


Figura 64. Representação conceitual dos Pontos de Acumulação e Comunicação em uma IZ (Gouldby et al., 2008)

Durante a simulação hidráulica, o modelo recebe volumes de descarga na planície de inundação através de cada IZ costeira. Esses volumes de inundação se computam como a diferença entre o TWL do ponto mais próximo do conjunto de pontos nos que se reconstruiu a série de nível e o correspondente contorno.

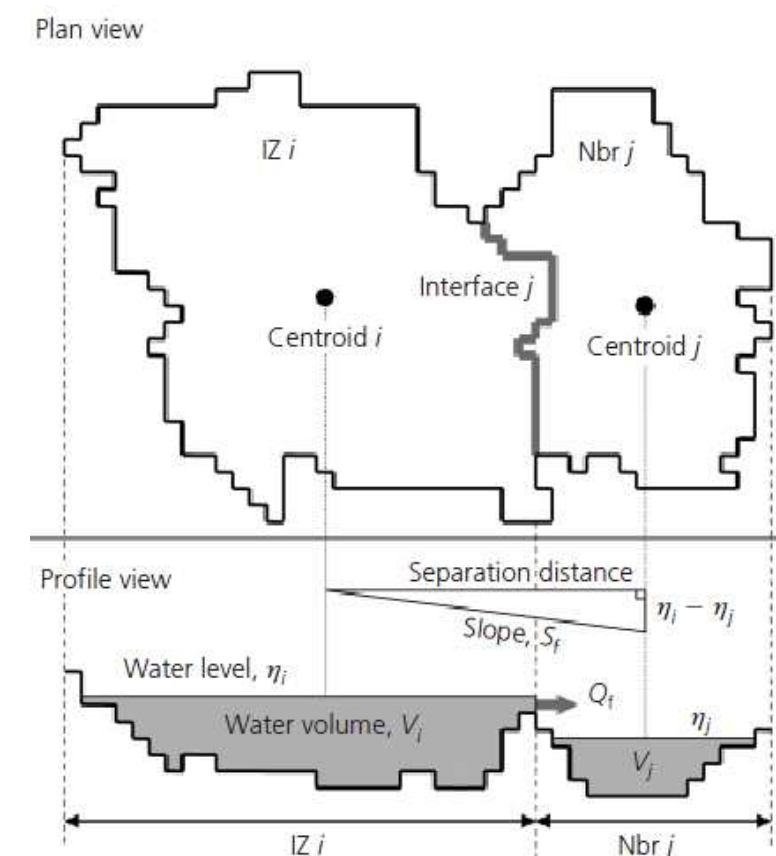


Figura 65. Representação conceitual de dos IZs adjacentes (Jaimeson et al., 2012)

RFSM-EDA tem a capacidade de ser eficiente em todas as escalas, ocasionando profundidades de água sobre o terreno e velocidades com tempos de execução pequenos. Seu algoritmo permite levar em conta os recursos característicos da topografia como crestas e pontos baixos derivados de um Modelo Digital de Terreno (MDT) de alta resolução utilizando elementos computacionais relativamente grandes. Deste modo, mediante este método é possível alcançar execuções rápidas e precisão ao mesmo tempo.

O modelo selecionado, portanto, tem o potencial de oferecer um passo mais além na elaboração de mapas de inundação a grande escala assim como no modelo de sistemas de risco de inundação (Jaimeson et al., 2012).

A figura 59 mostra o processo de transferência da série de nível de TWL reconstruída ao domínio de inundação a través dos contornos da malha.



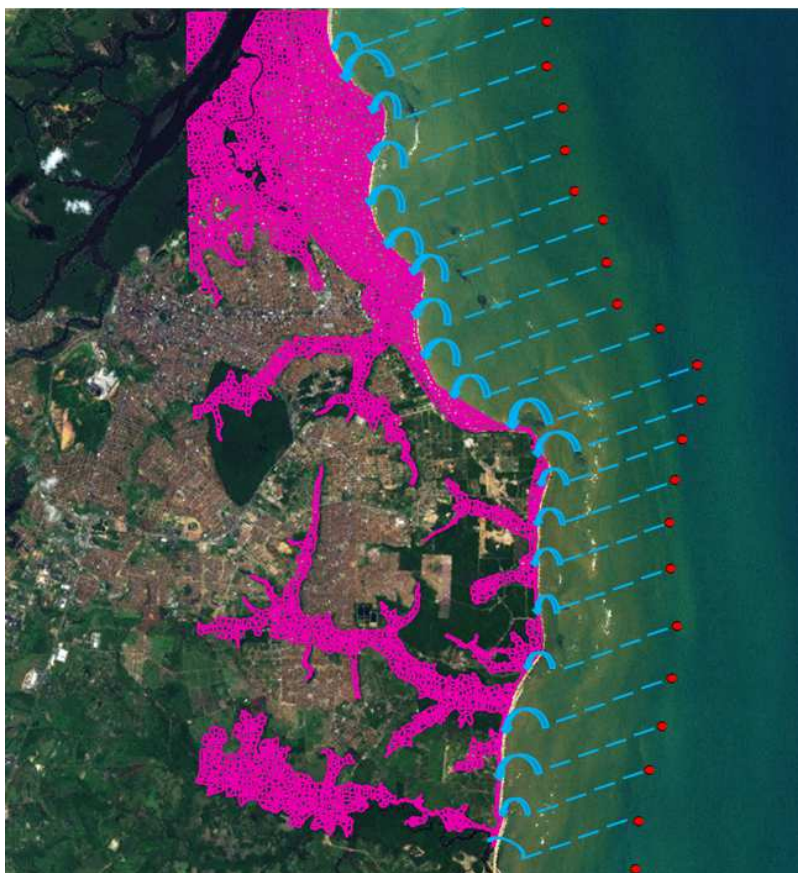


Figura 66. Representação conceitual da transferência de TWL do mar ao domínio de inundação

Na figura 60 se pode apreciar uma vista geral e de detalhe da malha de inundação de alta resolução de RFSM-EDA criada para João Pessoa a partir do MDT disponível

Realizaram-se diversos testes nos quais se procedeu a ajustar o tamanho das telhas da malha em um categoria compreendido entre os 2.000 e os 20.000 m2, de acordo à qualidade dos dados topográficos dos que se dispõe. A malha final obtida é adequada para uma simulação estável e é capaz proporcionar uma representação precisa e realista dos eventos de inundação, com um tamanho médio de Impact Zone de 14.962 m2.

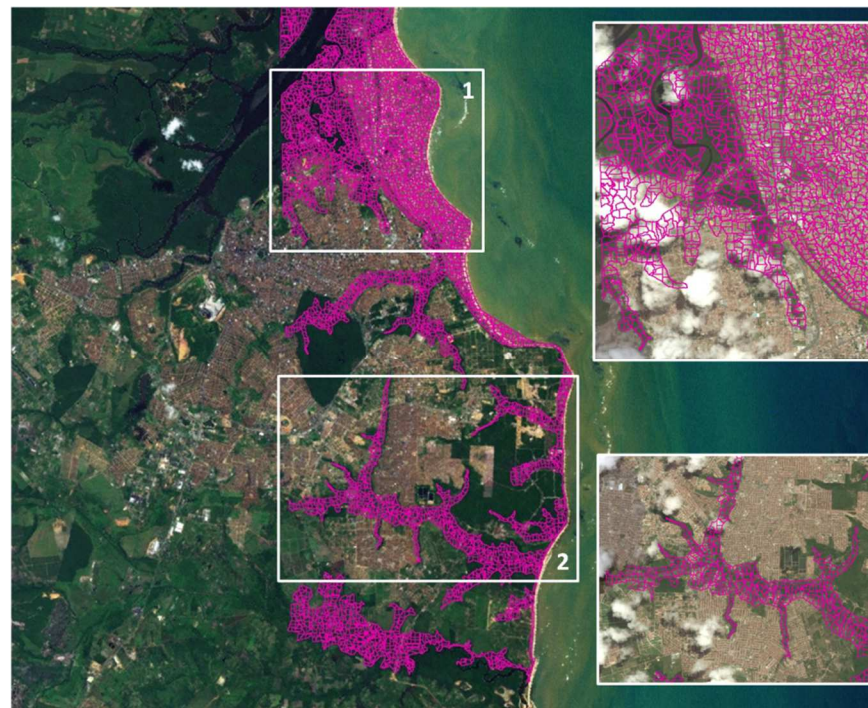


Figura 67. Detalhe da malha de inundação de RFSM-EDA de João Pessoa

#### 4.4 Resultados

Nas seguintes figuras se mostram os resultados obtidos para os distintos Períodos de Retorno (R) e cenários de subida do nível do mar (SLR). A escala de cores representa a profundidade de inundação alcançada.

##### 4.4.1 Período de retorno= 10 anos

##### R=10 - CLIMA ATUAL



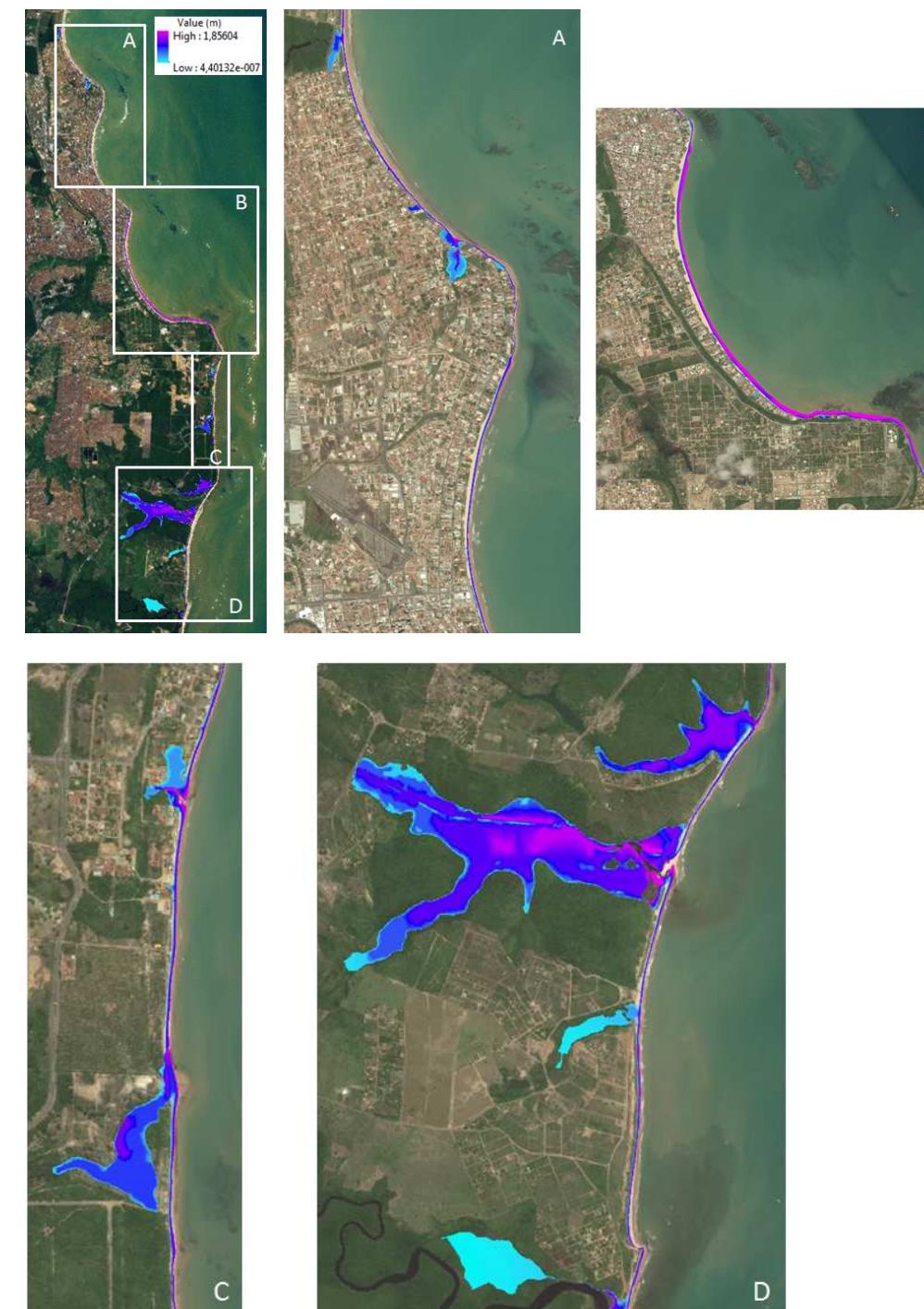


R=10 - CENÁRIO 2: +0.5 m SLR

R=10 - CENÁRIO 1: +0.2 m SLR



R=10 - CENÁRIO 3: +1.0 m SLR





#### 4.4.2 Período de retorno = 50 anos

**R=50 - CLIMA ATUAL**



**R=50 - CENÁRIO 1: +0.2 m SLR**



**R=50 - CENÁRIO 2: +0.5 m SLR**



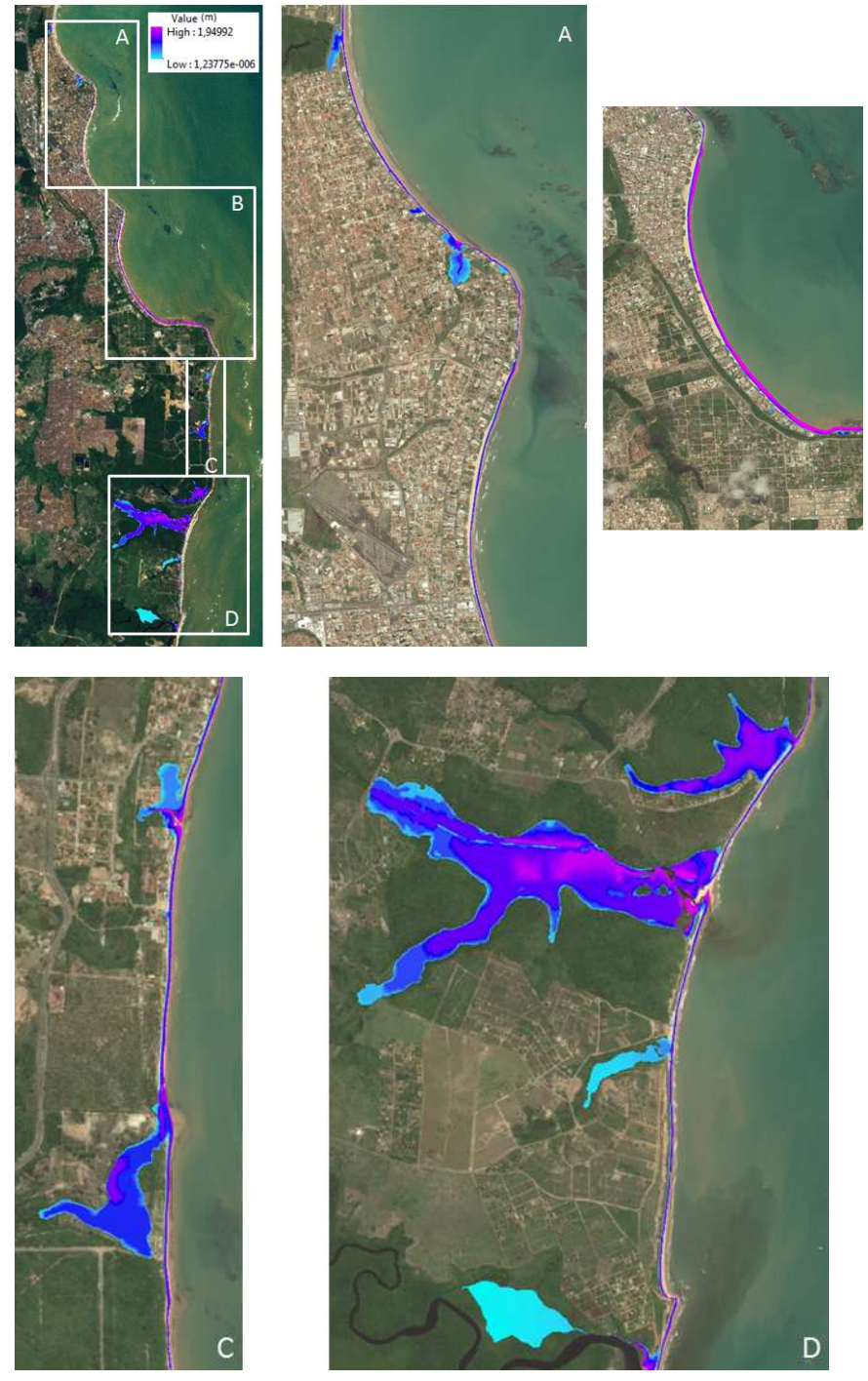


4.4.3 Período de retorno= 200 anos

R=200 - CENÁRIO 1: +0.2 m SLR

R=50 - CENÁRIO 3: +1.0 m SLR

R=200 - CLIMA ATUAL

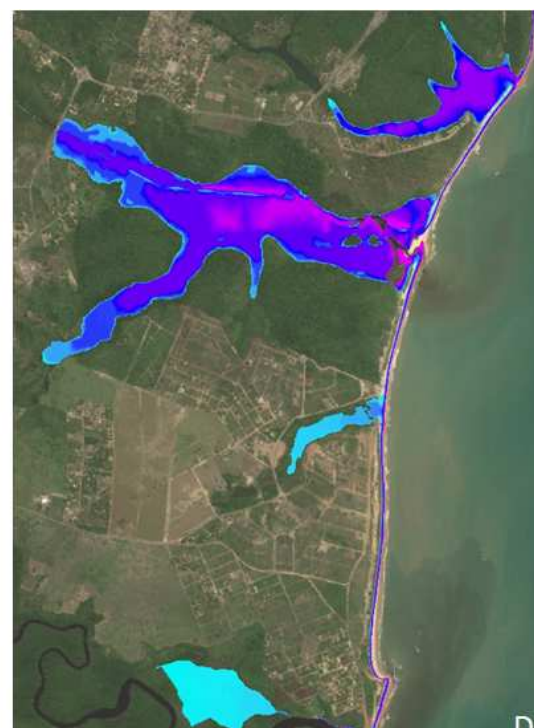
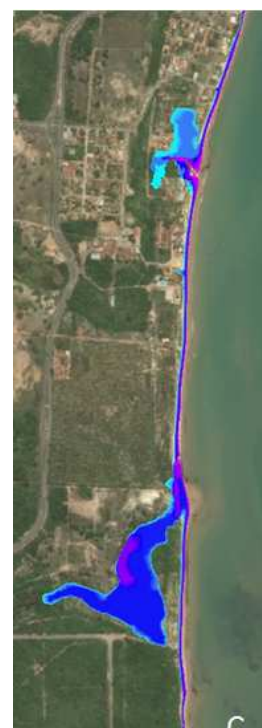
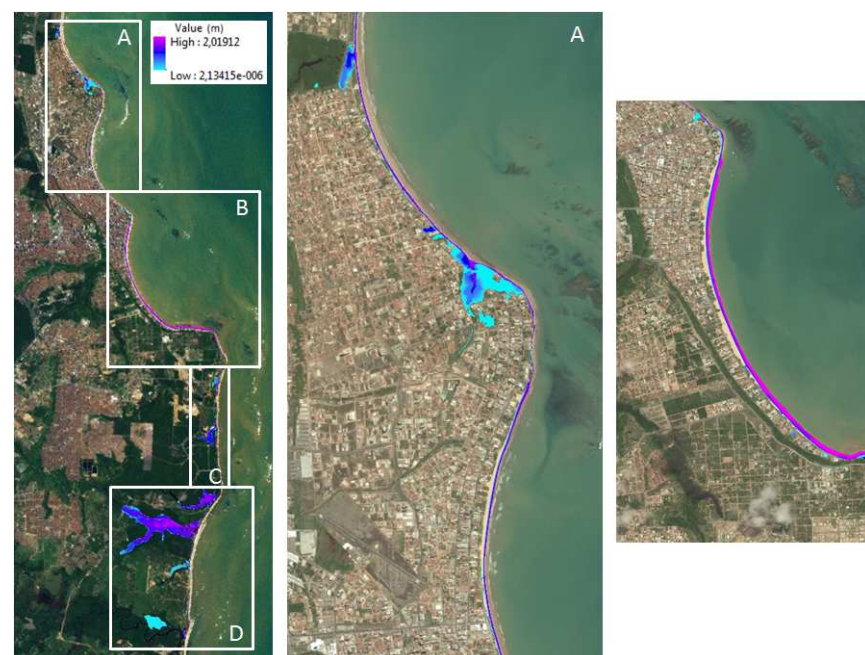




**R=200 - CENÁRIO 2: +0.5 m SLR**



**R=200 - CENÁRIO 3: +1.0 m SLR**



## Referências

Bates, P.D., Horritt, M.S., Fewtrell, T.J., (2010). A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling. *Journal of Hydrology* 387(1-2): 33-45.

Gouldby, B., Sayers, P., Mulet-Marti, J., Hassan, M. and Benwell, D., (2008). A methodology for regional-scale flood risk assessment. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Water Management* 161(3): 169-182.

HR Wallingford (2006). *Rapid Flood Spreading Methodology (RFSM)*. Thames Estuary 2100 Report DT4. Environment Agency, Bristol, UK.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Pano on Climate Change.

IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Pano on Climate Change. Chapter 5.

Jamieson, S., Lhomme, J., Wright, G. and Gouldby, B. (2012). Highly efficient 2D inundation modelling with enhanced diffusion-wave and sub-element topography. *Proc. Inst. Wat. Man.* 165 (10): 581-595.

Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Marco das Nações Unidas sobre a alteração climática - Volume 2. Coordenação Geral de Mudanças Globais do Clima. Ministério de Ciência e Tecnologia. Brasília, 2010.

Slangen, A.B.A., Carson, M., Katsman, C.A., van de Wal, R.S.W., Köhl, A., Vermeersen, L.L.A. and Stammer, D., (2014). Projecting twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic Change* 124:317-332.



## 5 Análise de susceptibilidade aos deslizamentos

### 5.1 Análise dos processos, fatores condicionantes e fatores desencadeantes

Os fatores que controlam os processos de remoção de massas são aqueles capazes de modificar as forças internas e externas que atuam sobre o terreno.

Habitualmente em sua análise se consideram fatores condicionantes e detonantes.

Dentro dos fatores condicionantes, se identificam os seguintes.

**Litológicos:** presença de materiais de baixa resistência, alterados ou fraturados.

**Geomorfológicos:** são aqueles que controlam as geoformas e depósitos na zona de estudo. Trata-se principalmente dos processos relacionados com a erosão fluvial o marinha assim como com as formas acumulativas que produzem (terraços, barras arenosas, dunas...).

**Usos do solo:** os usos do solo condicionam a estabilidade do mesmo. A agricultura intensiva ou a urbanização devem considerar-se como atividades agressivas do solo, que impedem a correta estabilidade do mesmo mediante o desenvolvimento da vegetação. A preservação da coberta vegetal deve considerar-se como um fator favorecedor à estabilidade do solo, limitando as ações erosivas do mesmo e restando o substrato ante possíveis eventos gravitacionais.

**Vegetação:** o tipo de vegetação, assim como o uso do solo determina a resistência do mesmo aos processos de remoção em massa. Quanto maior porte da mesma, maior capacidade estabilizadora do sobre o substrato.

Caso aparte são os mapas **derivados do modelo digital** do terreno sendo os principais o mapa de pendentes e o de orientações. O primeiro tem uma influência clara nos processos de ladeira, enquanto que o segundo aporta informação referente à insolação, dessecação ou entrada preferencial das frentes de chuvas.

Entre os **fatores desencadeantes** principal fator é o da pluviosidade, sendo outro fator desencadeante e importante o da sismicidade apesar de na zona de estudo não haver repercussão devido à baixa sismicidade da zona.

Finalmente se encontram os fatores de origem **antrópico**. Consideram-se geralmente como fatores desencadeantes e entre eles cabe citar a escavação em ladeiras para obras civis (caminhos, habitações, canais), o exploração de pedreiras. Também são importantes as sobrecargas em zonas próximas a taludes, a existência de preenchimentos, habitações e terraplanagem, construídos na coroa e o corpo do talude.

Analisando os processos cartografados se pode concluir que o principal fator desencadeante dos processos em seu ambiente natural são as chuvas. Trata-se de eventos muito pontuais e que rapidamente são revegetados. Estes processos em seu estado natural são mais profusos ao sul do rio Gramame, possivelmente devido à maior alteração tectônica dos planaltos.

Por outro lado se verificou que na zona do município de João Pessoa existem afecções tanto a pessoas como a infraestruturas, limitadas quase exclusivamente aos assentamentos irregulares realizados nas zonas de piores condições para a edificação, onde o corte de taludes para a execução de plataformas para as edificações, realizados sem nenhum tipo de controle terminam afetando às edificações.

Durante as visitas se observaram distintos taludes em estradas de alturas consideráveis que superavam os 15- 20 m e pendentes que rondavam os 60-70°, executados em materiais da formação Barreiras e que não apresentavam nenhum tipo de instabilidade, um claro indicador que a unidade por si mesma não é propensa a este tipo de processos.

### 5.2 Metodologia

Levanta-se um estudo de susceptibilidade a deslizamentos em duas fases, analisando o município de João Pessoa em uma primeira fase enquanto que em uma segunda fase se procederá à análise da microrregião em estudo.

A diferenciação de ambas as fases vem dada pela escassa informação tanto temática como cartográfica na totalidade da área de estudo, já que foram encontradas informações precisas apenas para a zona do município.

Os processos identificados são de características similares, desenvolvendo-se nas litologias areno-argilas da Fm Barreiras e nos coluviões existentes. Geralmente, são de pequenas dimensões, apesar de que em alguns casos pontuais amalgamam a favor da incisão da rede de drenagem formando depressões remontantes.

#### 5.2.1 Município de João Pessoa

A análise de susceptibilidade de João Pessoa parte de um modelo digital do terreno extraído a partir de curvas de nível de 1 m. A partir desta informação se procedeu à elaboração dos mapas de pendentes (categorizado em classes agrupando rasgos de pendentes de 10 graus sexagesimais) e em um mapa de orientações (categorizadas em 8 classes).

Conta-se também com um mapa litológico de escala 1:100.000 apesar de se ter delineado de novo as unidades litológicas a partir de estudos existentes na zona <sup>8</sup>

<sup>8</sup> Carta Geomorfológica de João Pessoa de Max Furrier, Mapa de Coutinho (1967) e Martins (2006), extraído da Tese Doctoral de Wanessa Cartaxo Soares "Banco de dados geológicos e geotécnicos em base a resultados SPT" da Universidade de São Paulo.

Outras variáveis condicionantes não introduzidas no cálculo são as cartografias de usos do solo e vegetação aportadas pelo Município de João Pessoa, apesar de que pela ausência de representação contínua para toda o área de estudo não terem sido tomadas em consideração para a análise.

Abordou-se o desenvolvimento da cartografia de susceptibilidade a partir de uma metodologia clássica que se resume na seguinte figura:



Figura 68. Desenvolvimento metodológico para a cartografia de suscetibilidade

Para o cálculo da susceptibilidade dos processos de ladeira se procedeu a utilizar em método bivalente levantado por vão Westen. O método consiste em ponderar cada uma das categorias das respectivas capas temáticas em base à superfície afetada por deslizamentos de cada uma delas. Para isso se utiliza a totalidade do inventário de eventos existentes na zona, havendo procedido a sua restituição aproximada dada a dificuldade deste processo em zonas urbanas adensadas.

O método se baseia na seguinte fórmula:

$$\ln W_i = \ln \frac{Densclass}{Densmap} = \ln \left( \frac{Npix(Si)}{\sum Npix(Ni)} \right)$$

Sendo:

- $W_i$  o peso dado a uma classe ou categoria
- Densclass densidade de deslizamentos para uma determinada classe
- Densmap densidade de deslizamentos para toda a zona de estudo
- $Npix(Si)$  número de pixels pertencentes a deslizamentos contidos em uma classe
- $Npix(Ni)$  número total de pixels de uma determinada classe

A densidade de deslizamentos na zona de estudo é muito baixa, tanto por sua quantidade como por suas dimensões.

Tabela 8. Densidade de deslizamentos na zona de estudo

Superfície deslizamentos	5.75 Ha
--------------------------	---------



Superfície total	21,152.77 Ha
Densidade de deslizamentos	0.00027177409

Para o estudo estatístico as variáveis deverão ser contínuas, devendo se definir o peso de cada categoria de cada um dos mapas de fatores condicionantes a empregar. Finalmente se calcula a combinação de todas as cartografias envolvidas em uma calculadora raster. O produto final é reclassificado em três categorias de susceptibilidade (alta, média e baixa).

Para a verificação das cartografias de susceptibilidade se tem algumas zonas não incluídas na capa de eventos relativas a áreas de atuação analisadas dentro da lista de eventos facilitados por Defesa Civil.

Litologia

Identificaram-se distintas séries litológicas descritas já em capítulos anteriores deste documento.

C2 faz referência aos sedimentos carbonatados da Fm Gramame, N1 é correlativo aos materiais argiloso-arenosos da Fm Barreiras e Beberibe.O resto das unidades faz referência a unidades quaternárias que se descrevem a continuação.

Qa quaternário aluvial

Qc quaternário coluvial eluvial

Qeo quaternário depósitos de dunas eólicas

Qm quaternário depósitos de manguezais

Qp quaternário depósitos de praias e linhas de terra

A continuação se reproduz a tabela de cálculo dos pesos desta capa.

Tabela 9. Valoração dos pesos referentes às litologias existentes

		Ha	Densclass	Lnwi
C2	Classe	620.1618004	0.000001	-5.614560051
N1	Classe	14824.20193	0.000364918	0.285113768
	Deslizamentos	5.409624334		
Qa	Classe	2225.253416	5.52193E-05	-1.603246986
	Deslizamentos	0.122877002		
Qc	Classe	473.8428307	0.000335682	0.20160359
	Deslizamentos	0.159060407		
Qeo	Classe	330.2044039	0.000001	-5.614560051
Qm	Classe	1318.914704	0.000001	-5.614560051
Qp	Classe	1158.926383	5.08703E-05	-1.685280888
	Deslizamentos	0.058954927		

Da tabela se deduz que as principais litologias que apresentam deslizamentos correspondem à Formação Barreiras e aos colúviais-eluviais.

Pendentes

Calculou-se um mapa de pendentes a partir do mapa topográfico com curvas de nível de 1 m. As classes se categorizaram de 10 em 10º de pendente. Procedeu-se a analisar o mapa de pendentes com a mesma metodologia juntando-se a continuação a tabela dos pesos desta capa.

Tabela 10. Valoração dos pesos referentes às pendentes existentes.

Classe			Área	Densclass	Lnwi
1	0	Classe	20363.19922	0.000132471	-0.718603641
1	0-10	Si m Deslizamentos	2.697543502		
2	0	Classe	718.8740234	0.003382535	2.521409484
2	10-20	Si m Deslizamentos	2.431616373		
3	0	Classe	49.82569885	0.009325103	3.535494088
3	20-30	Si m Deslizamentos	0.464629751		
4	0	Classe	11.8288002	0.013102385	3.875578373
4	30-40	Si m Deslizamentos	0.15498549		
5	40-50	0	3.284940004	0.00001	-3.30238606
6	50-60	0	0.0096	0.00001	-3.30238606
7	60-70	0	0.0004	0.00001	-3.30238606

Os processos de vertente se observam nas classes 2,3 e 4 geralmente. Os baixos valores de pendente da classe do solo se podem justificar em base à qualidade do MDE, um modelo suavizado, mas que representa grandes categorias de distintas zonificações.

Orientações

A partir do mesmo MDT se procedeu a calcular o mapa de orientações, classificando-as em 8 classes segundo os quadrantes tradicionais da rosas dos ventos. N, NE, E, SE, S, SW, W, NW e N, juntando à continuação a tabela dos pesos desta capa.

Al final se considerou oportuno não introduzir a variável de orientações na análise por piorar extraordinariamente o resultado do mesmo, dado o pequeno tamanho dos pixels analisados (1 m).

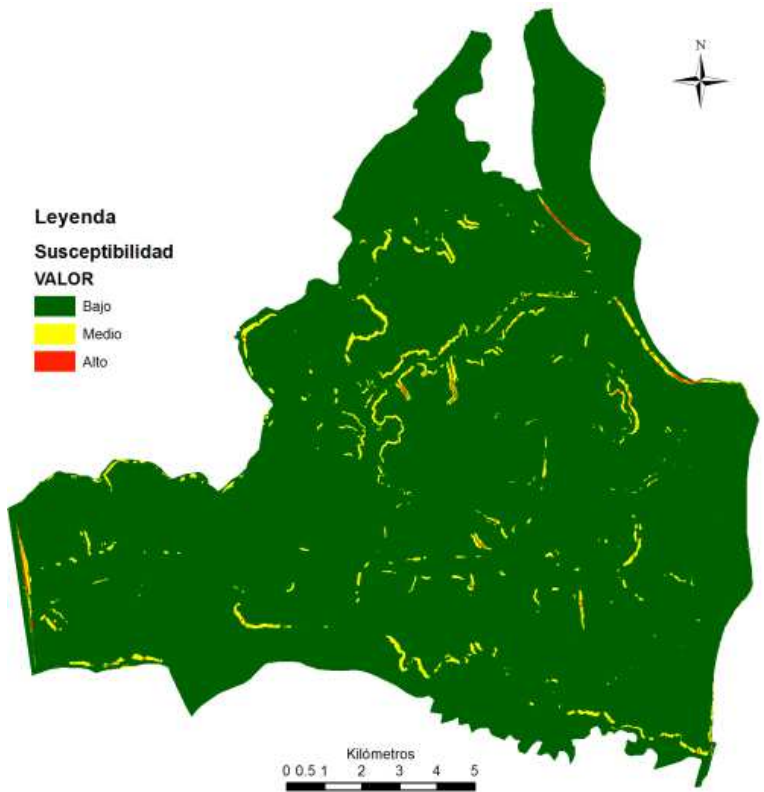


Figura 69. Análise bivalente para a Município

5.2.2 Microrregião

Para a zona da Microrregião se lançou uma análise bivalente. Os resultados obtidos põem de manifesto a escassa precisão desta análise devida à anômala distribuição de eventos cartografados, concentrados em duas zonas correspondentes ao município de João Pessoa e ao litoral de Conde, e fortemente influenciado pela geomorfologia, fato constatado pela literatura como se refletiu em anteriores epígrafes.

Para este estudo se empregaram as capas temáticas de geologia, geomorfologia e pendentes, esta última extraída a partir de MDE com resolução de 90 m descarregado da página web do IBGE. Selecionou-se este raster, apesar de sua baixa resolução, por ser o que melhor qualidades apresentava, com menor número de artefatos que desvirtuaram a análise. Em qualquer caso a este modelo se realizou um filtrado de passo baixo com o fim de reduzir os artefatos existentes.



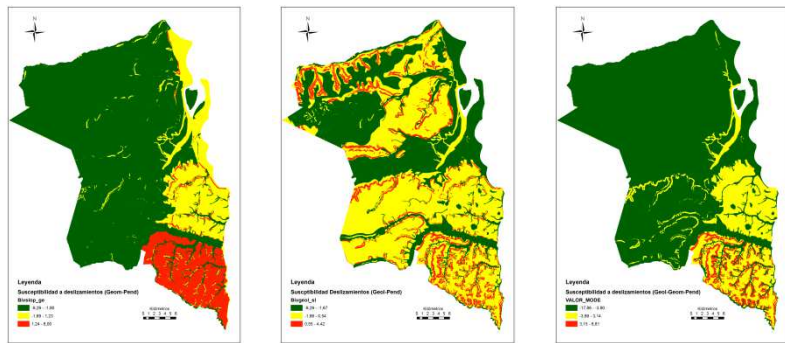


Figura 70. Análise bivariante para a microrregião

Os resultados obtidos no se ajustam à realidade, com amplas zonas de suscetibilidades médias altas completamente planas. Assim se optou por um análise multivariante com capas pesadas, se somam à continuação os parâmetros estabelecidos para este cálculo.

Tabela 11. Valoração dos pesos referentes à análise da Microrregião

Capa/valor	Peso	1	2	3	4	5
Pendentes	3	0-5		5-10	10-15	15-20
Geomorfologia	1	APF, APM, API,ATF	ACTF, ACTPF	DT41-13	DT42	
Litologias	1	C2	C1	N1	Q	
Usos	0.5	Humedal, linhas de água, manguezais	Bosque		Agrícola, Urbano	

Estes valores se justificam com o fim de ressaltar as zonas de maiores pendentes, já inicialmente muito suavizadas pelos dados de origem. Ajustaram-se os valores com base em cartografia do município obtida pelo método bivariante.

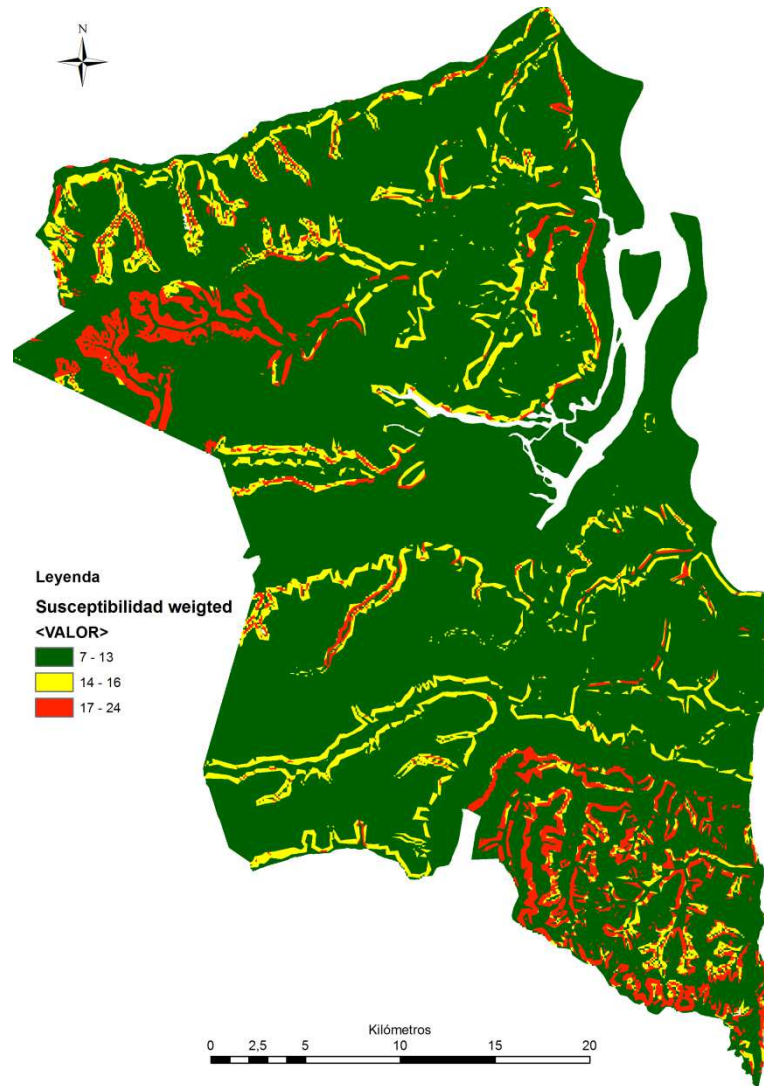


Figura 71. Análise multivariável para a microrregião

### 5.3 Valoração de resultados

Analizados os processos existentes, pode-se concluir que uma das principais medidas de mitigação tem que ver com a planificação das atividades antrópicas.

Os eventos existentes se encontram intimamente ligados com a pressão humana. As zonas onde se encontram os principais problemas são zonas livres de edificação até os anos 70 do passado século, onde se instalaram comunidades com baixos recursos, que desenvolveram a zona sem nenhum controle urbanístico.

Claros exemplos disso são Saturnino do Brito, uma zona de elevada pendente, onda comunidade se desenvolveu a favor do

aplanamento para a construção de um coletor, Timbó onde a comunidade se expandiu nas margens de uma antiga pedra abandonada ou a habitual invasão das ladeiras dos cursos existentes, inicialmente com coberta vegetal de porte, que foi desaparecendo a favor da implantação de edificações de baixa qualidade. Isso unido à execução de explanações e taludes e à realização de desperdícios tanto sólidos como líquidos sem nenhum tipo de controle, favorecem a aparição dos processos de instabilidade.



Figura 72. Comunidades e susceptibilidade no município de João Pessoa

A continuação se apresenta uma lista das distintas comunidades em risco correspondente ao estudo do município de João Pessoa e uma valoração das superfícies afetadas.

Tabela 12. Comunidades com áreas expostas a zonas de susceptibilidade média-alta.

Comunidades com áreas de susceptibilidade alta	Filipeia
Saturnino de Brito	Jardim Bom Samaritano
Santa Clara	Jardim da Mônica,Miramangue/Beira da Linha
Da Mata, Sal Geraldo	Lagoa António Lins
Jardim Mônica,Miramangue/Beira da da	Maria de Nazaré



Linha	
Timbó I, Timbó II	Miramar
Jardim Bom Samaritano	Padre Hildam Bandeira
Barreira do Cabo Branco	Paulo Afonso III
A. Barreira,A. Leito do Rio, Chatuba I,II e III	Piral D'água
Comunidades com áreas de susceptibilidade média	Pé de Moleque
A. Barreira,A. Leito do Rio, Chatuba I,II e III	Renascer
Abandonados	Riacho
Asa Branca	Santa Bárbara,Cuiá
Baleado	Santa Clara
Barreira do Cabo Branco	Santa Emília de Rodat
Boa Esperança, Pedra Branca	Saturnino de Brito
Brasília de Palha	São Rafael
Buraco da Gia I, Novo Horizonte	Tanques,Via União I
Cafofo/Liberdade	Timbó I, Timbó II
Citex	Tito Silva
Da Mata, São Geraldo	

Estatisticamente as zonas em risco são muito reduzidas mas devido à elevada densidade de população nas comunidades pode resultar em perdas de vidas humanas.

Tabela 13. Valoração areal e percentual da distribuição da susceptibilidade a processos de ladeira nas comunidades de João Pessoa

SUSCEPTIBILIDADE EM COMUNIDADES			
BAIXO	4,328,507.20	m²	90.37%
MÉDIO	418,669.32	m²	8.74%
ALTO	42,725.04	m²	0.89%

Quanto à análise da microrregião há que apontar claramente à influência da geomorfologia na distribuição do risco. Os planaltos e a zona de Conde, apresentam mais risco de instabilidade que os existentes ao norte do rio Gramame. Isto coincide com as observações recolhidas na seção de geomorfologia na qual se comentava a maior incidência da rede de drenagem ao sul do

Gramame, possivelmente devido a uma maior tectonização da zona.

A maior susceptibilidade na zona noroeste da microrregião se deve à existência cartográfica de uns materiais coluviais que cobrem os planaltos.

Uma correta planificação e fiscalização reduziria enormemente a exposição tanto de pessoas como de bens a este tipo de processos.

## 5.4 Bibliografia

Almeida Filgueira, H.J. "Assentamentos Espontâneos nas Zonas de Risco: Estudo de Caso em João Pessoa, Paraíba, Brasil" cadernos de habitação e urbanismo. Vol. 2, no. 3, 2009: 72 – 91.

BID "Guía metodológica". Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis.Primeira edição. 2012

Carneiro Nascimento, V.M..L; Viana de Lima, E.R.; Guimarães Santos, C.A."SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB". Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n.1, p. 107-123, jan./mar. 2009. ISSN 1678-8621 © 2005.

Félix Gomes, L.C.; Glauciene Justino da Silva, F; Mirtes, de Alcântara Silva; de Alcântara Ribeiro, V.H.; Leite do Nascimento Wanderlei, R "Use Of Gis In Identification Of Risk Areas And Social Vulnerability Due To Local Rainfall". Journal Of Hyperspectral Remote Sensing 12 (2012) 083-097

Martins, V. P.; Lima, E. R. V. De; Ribeiro, E. L. "Análise Ambiental Da Ocupação Territorial Da Cidade De João Pessoa / PB, Numa Visão Sistêmica" Anais – Iii Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aracaju/SE, 25 a 27 de outubro de 2006.

Naranjo, J.L., van Westen, C.J. and Soeters, R. (1994). Avaliating the use of training areas in bivariate statistical landslide hazard analysis- a case study in Colombia. ITC Journal 1994-3, pp 292-300.

Van Westen, C.J." Análise Estatístico de Risco de Deslizamento" ITC journals

Van Westen, C.J. (1994). GIS in landslide hazard zonation: a review, with examples from the Andes of Colombia. In: Price, M. and Heywood, I. (eds.), Mountain Environments and Geographic Information Systems. Taylor & Francis, Basingstoke, U.K. pp 135-165.

## 6 Análise de erosão costeira

Os processos de erosão costeira se encontram englobados na dinâmica litoral, definida como o conjunto de mudanças, em muitos casos muito ativos, que se produzem na zona que compreende franja costeira e que podem comportar grandes variações na morfologia litoral.

A principal força que provoca estas mudanças é o movimento das grandes massas de água por meio das ondas, as correntes e as marés. Outros fenômenos excepcionais que podem provocar um efeito sobre as zonas costeiras são os tsunamis ou a variação do nível do mar (eustatismo). A ondulação é o principal agente que contribui a que ocorram maior número de zonas em situação de risco.

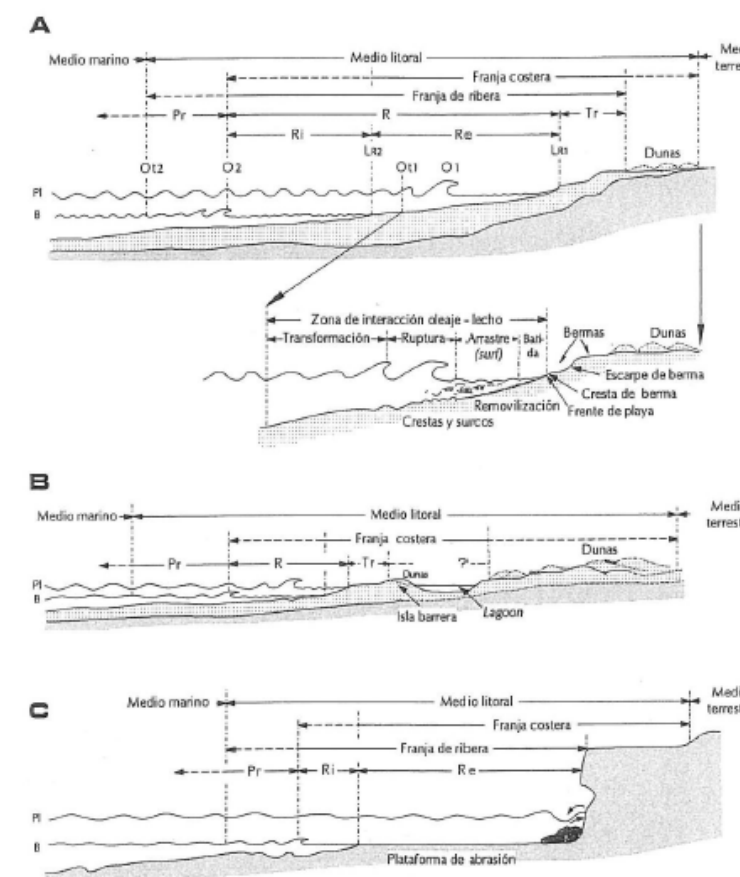


Figura 73. Zonificação do área litoral

As **correntes marinhas** são consideradas um dos principais agentes dinâmicos da zona litoral. Classificam-se em três tipologias que se descrevem a continuação:

**Superficiais:** por efeito do vento sobre a superfície. Afetam aos primeiros 300 ou 400m. Transportam material fino em suspensão. Em zonas tropicais, com maior velocidade, podem chegar a modificar a morfologia costeira, formando cordões litorais ou linhas de terra. Se transportarem argila, podem dar lugar a correntes de turvação

**Profundas,** geradas por marés. O movimento das marés é vertical, mas produz transporte lateral por convecção, com células de distinta profundidade. Não tem capacidade erosiva, mas de transporte.

**Correntes de turvação,** com abundante material argiloso. No talude continental.



Outro fator importante são as **marés**. O tipo de maré determina o tempo de exposição na zona intermaré, assim como a atividade biológica e a velocidade das correntes. Produzem correntes periódicas associadas à elevação e queda contínuos do nível do mar, devido ao deslocamento de grandes massas de água entre as zonas de baixa maré e alta maré. Podem ser unidirecionais ou giratórias, e podem alcançar grandes velocidades (20 km/h), tendo efeitos de transporte muito intensos.

O terceiro fator é a **ondulação**. Apresenta uns efeitos erosivos e de transporte e sedimentação muito intensos. Ademais, nas costas abertas, quando há fortes ventos, as ondas se vão desviando de forma paralela à costa, formando as correntes de deriva.

As ondas geradas pelo vento pertencem a um tipo conhecido como **ondas oscilatórias**, porque a onda se propaga a través da água originando nesta um movimento oscilatório. Na onda oscilatória uma partícula diminuta, tal como uma gota de água o um pequeno objeto flutuante, descreve um círculo vertical completo sua órbita com o passo de cada onda. O diâmetro desta órbita na superfície do mar é igual à altura da onda, e diminui com a profundidade. À medida que as ondas se aproximam à zona de escassa profundidade, o movimento orbital queda alterado pelo atrito com o fundo. Esta profundidade crítica é aproximadamente a metade da longitude de onda. Ao continuar se aproximando da orla a longitude de onda diminui e a altura aumenta, a onda é instável, a cresta avança para frente e a onda rompe, gerando uma massa de água para a praia, com grande energia. Depois se origina um fluxo de retorno. neste movimento de retrocesso a água leva consigo cascalho e areia da praia.

Em literatura se consideram distintos tipos de ondulação:

**Ondas livres ou oscilatórias** se representam em toda a superfície do mar e se devem às variações do nível do mar. Em elas a água no avança, só descreve um giro ao subir e baixar quase no mesmo local no qual se originou a subida da onda.

**Ondas de tempestade.** Produzem-se pelo vento e em ocasiões podem ser altas como consequência dos furacões.

**Ondas de tsunamis.** São ondas produzidas por um terremoto ou uma explosão vulcânica. Podem ocorrer duas situações, uma é que no centro da perturbação se fundam as águas, ou que estas se levantem explosivamente. A zona de estudo não é propensa a este tipo de fenômenos.

Em ambos os casos o movimento provoca uma onda única de dimensões formidáveis, que avança a grande velocidade, podem ser mais de quilômetros por hora, e chega a ter uma altura superior aos 20 metros. Os tsunamis são muito frequentes no Oceano Pacífico.

Todos estes fatores produzem uma série de produtos no litoral diferenciando-se em erosivos e acumulativos.

## 6.1 Formas erosivas

Produzem-se por efeito de ondulações, pela própria força da água e dependendo da morfologia prévia da costa. é importante a erosão por choque das partículas transportadas pelas ondas

contra a costa, assim como os processos de me teorização química e bioquímica nas rochas, o que unido à atividade da fauna produz cavidades nas rochas.

As falésias litorais se originam mediante a ação erosiva das ondulações contra a base do terreno costeiro. À medida que progride a erosão, as rochas, que sobressaem pelo solapamento da base da falésia, desmoronam com as ondulações, e a mesma retrocede.

A falésia em recessão deixa para trás uma superfície relativamente plana em forma de banco, denominada **plataforma de abrasão**. A plataforma se amplia à medida que as ondas continuam seu ataque. Um bom exemplo de ambas as estruturas é o existente na zona de Cabo Branco.

## 6.2 Formas deposicionais o de acumulação

Dão-se geralmente em costas baixas, de pendentes suaves.

**Depósitos arenosos.** As correntes e as ondulações depositam na **praia** materiais erodidos procedentes de zonas onde o mar impacta diretamente nas rochas. Junto a estes sedimentos de origem costeira, as praias recebem materiais que provem do transporte fluvial. Onde derivam e as correntes litorais são ativas podem desenvolver-se várias formas características relacionadas com o movimento dos sedimentos ao longo da costa. As **linhas de terra e barras** são acúmulos de areia que se projetam desde a terra à desembocadura de uma baía adjacente. Aos poucos, o extremo situado na água se curva para a terra em resposta às correntes geradas pelas ondas. Se podem considerar como linhas de terra ou restingas as de Gramame e Cabedelo.

**Estuário:** Desembocadura fluvial alargada, onde se produz um contato da água do rio e do mar. Dependendo da força da maré e da extensão e força da corrente fluvial, a água do mar pode penetrar no rio. O estuário do rio Paraíba é um bom exemplo disto.

Os estuários são zonas de contato entre águas doces e saladas, constituindo ecossistemas de grande produtividade devido ao elevado conteúdo de nutrientes e às altas temperaturas da água fluvial, e onde abunda o fitoplâncton e grande quantidade de consumidores primários e secundários.

**Manguezais:** Às vezes, os terrenos baixos do continente se inundam durante marés altas, formando-se manguezais. Sua composição fundamental são os limos, argilas e um pouco de areias. Caracterizam-se por serem zonas com abundante conteúdo em matéria orgânica. O ecossistema do manguezal cumprem diversas funções, entre elas amortizar e minimizar as correntes reduzindo o impacto erosivo no litoral. As margens do estuário do rio Paraíba estão encobertas de manguezais. Outros rios de menor vazão têm também importantes zonas de manguezais nas zonas próximas ao litoral como os existentes nos rios Jaguarapé, Cuiá, Gramame, Guruji e Mucatu.

**Arrecifes:** São estruturas sólidas do relevo do fundo marinho formadas predominantemente pelo desenvolvimento acumulado de corais pétreos em zonas costeiras (coralinos) ou por precipitação de carbonatos (rochosos). Ambos estão presentes na zona de estudo. O desenvolvimento do arrecife de coral requer

uma temperatura da água entre 20°C e 28°C. Caracterizam-se por desenvolver-se dentro da zona fótica (menos de 50 metros de profundidade), onda luz solar alcança o solo e oferece aos corais suficiente energia. Formam um ecossistema de grande importância. Existe um importante desenvolvimento deste tipo de estruturas em todo o litoral da microrregião, limitando a energia das ondas e protegendo o litoral das correntes oceânicas. Na zona de estudo, estes se encontram desde os 100 m aos 1.500 m da costa.

## 6.3 Metodologia

Analisa-se os processos erosivos na zona de estudo desde um ponto de vista geomorfológico. O seguinte esquema sintetiza a metodologia empregada.

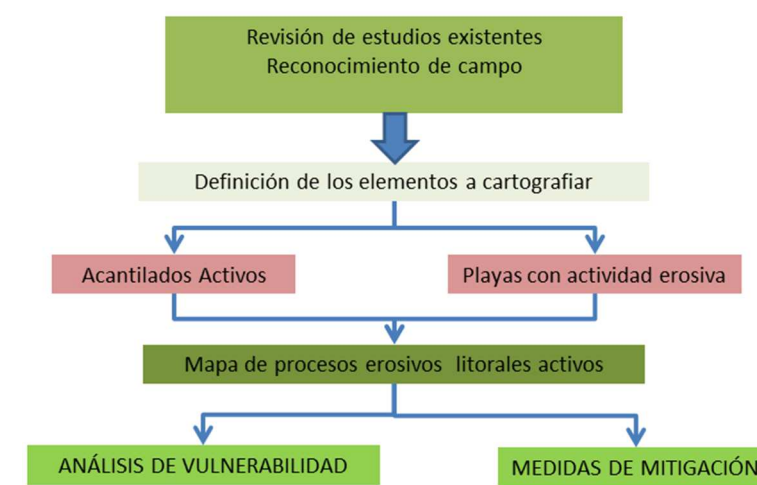


Figura 74. Desenvolvimento metodológico para a análise dos processos de erosão litoral

Com esse fim se procedeu a revisar a informação existente na zona de estudo<sup>9</sup>. Trata-se de estudos recentes pelos quais se inventariaram as zonas descritas nos mesmos, procedendo à realização de visitas de campo com o fim de confrontar as conclusões destes estudos. As zonas não cobertas pelos mesmos foram cobertas igualmente por estudos de campo e análise de ortofotos.

Os critérios definidos para a cartografia de erosão ativa se centraram na identificação de falésias ativas, e zonas de erosão litoral delatada pela existência da afecção à vegetação ou a estruturas existentes. É importante notar o elevado número de zonas nas quais se atuado com a colocação de espigões para favorecer os processos de sedimentação, sendo exitosos em alguns casos, enquanto em outros as estruturas ficaram totalmente desmanteladas.

Na seguinte tabela se inventariam as zonas analisadas.

<sup>9</sup> “Caracterização geomorfológica e do meio físico em João Pessoa” (2007) de Max Furrier, assim como o estudo referente à “Contribuição ao estudo dos impactos e condições ambientais das praias do município de Cabedelo” de Cristiano Cabral Santos (2013)



Tabela 14. Lista de zonificação da erosão

	Erosivo	No Erosivo	Afecções estruturas	a
Praia de Tambaba	Z. Sul	Z Centro e Norte		
Coqueirinho	Pontual na zona de leques aluviais	X		
Tabatinga	X		Si	
Carapibus	Norte	Sul		
Jacumã		X		
Gramame	Centro	Sul e Barra		
Sol		X		
Camurupim	N rio Cuia	X		
Jacarapé		X		
Arraial	X			
Penha		X		
Seixas	X		Si	
Cabo Branco C	X		Si	
Cabo Branco P	Zona sul	X	Si	
Tambaú		X		
Manaíra	Zona sul	X	SI	
Bessa	Zona norte	X	SI	
Intermaré		X		
Ponta Campina	200 m finais	X		
Poço	Zona norte	X	Si	
Camboinha	Zona central		Si	
Areia Dourada		X		
Formosa		X		
Ponta do Matos	Zona sul	X	Si	
Miramar		X		

Fonte: Max Furrier e Cristiano Cabral Santos

Na seção de anexos se inclui um plano no qual se representam as zonas sem atividade erosiva e as que apresentam dada atividade. Em uma terceira classe se identificam as zonas com estruturas tipo espigões que não apresentam mais atividade erosiva.

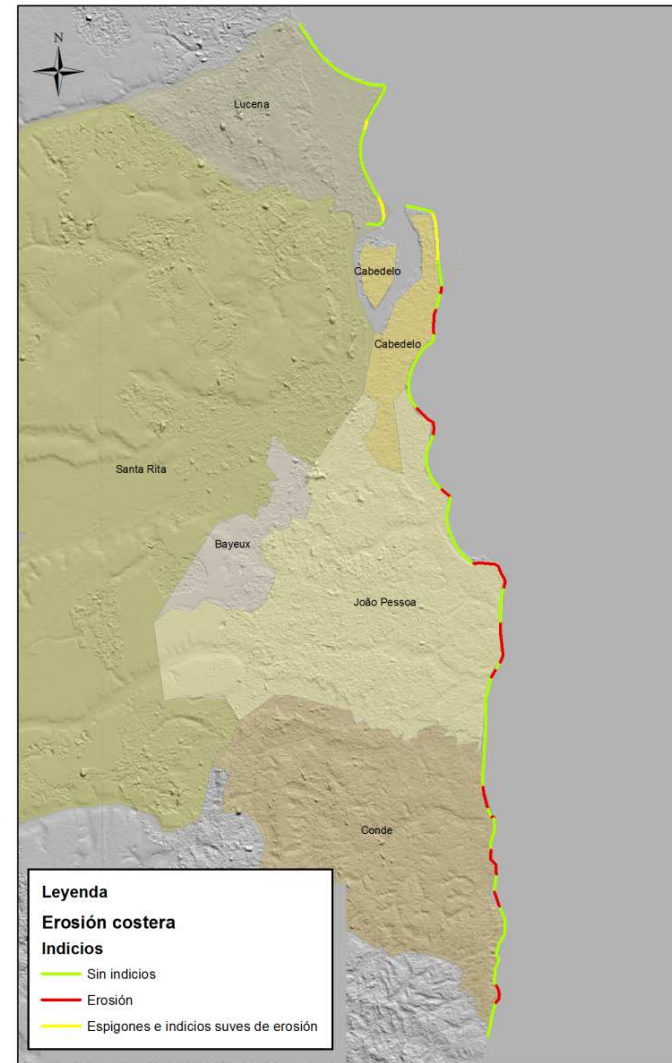


Figura 75. .Plano de distribuição de processos erosivos ativos na zona de estudo

## 6.4 Bibliografia

BID “Guía metodológica”. Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis.Primeira edição. 2012

Cabral Santos, Cristiano, “Contribuição ao estudo dos impactos e condições ambientais das praias do município de Cabedelo” de (2013)

Carneiro Nascimento, V.M.L; Viana de Lima, E.R.; Guimarães Santos, C.A. “SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB”. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n.1, p. 107-123, jan./mar. 2009. ISSN 1678-8621 © 2005.

Cartaxo Soares, Wanessa; Cabral Santos, Cristiano. “Contribuição ao estudo dos impactos e condições ambientais das praias do município de Cabedelo” Tese Doutoral Universidade Sal Paolo (2013)

Eugenio Antonio de Lima; Dilermando Alves do Nascimento; Teotônio Durval de Castro Dourado & Luiz Caros Ribeiro Brandão” Mapeamento Hidrogeológico Da Folha Sb.25-Y-C João Pessoa – Paraíba” XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas

Furrier,. Max ”Caracterização geomorfológica e do médio físico em João Pessoa” (2007)

CPED USF. Atas de Desastres do Brasil 1991-2010. Vol Paraíba. ISBN 978-85-64695-17-7

Paiva Martins, V;. “Análise Ambiental E Legal Do Processo De Ocupação E Estruturação Urbana Da Cidade De João Pessoa / Pb, Numa Visão Sistêmica” Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós- Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba

## 7 Desenvolvimento da valoração de riscos

### 7.1 Introdução

Nos primeiros capítulos deste documento se selecionaram e avaliaram as ameaças naturais mais relevantes que existem na cidade de João Pessoa, isto é, por um lado as inundações fluviais como causadoras de danos de dimensões relativamente maiores e, por outro, as inundações marinhas e os deslizamentos com consequências relativamente menores e inclusive em certo sentido pouco reconhecidas a nível local pela comunidade.

Como primeiro passo na valoração de riscos procede plasmar um resumo das três ameaças descritas prévio a acometer as seguintes etapas metodológicas descritas no primeiro capítulo deste documento, isto é:

- Análise dos elementos expostos;
- Análise da vulnerabilidade; e
- Cálculo do risco acumulado.

### 7.2 Resumo das ameaças

#### 7.2.1 Inundação fluvial

Tal como se explicou previamente, devido fundamentalmente à qualidade do MDT na zona de estudo se centrou o estudo de inundações fluviais no município de João Pessoa, deixando fora os municípios limítrofes da microrregião, e concretamente nas bacias dos rios:

- Jaguaribe;
- Cabelo,
- Aratú; e
- Cuiá.

Na seguinte figura se apresenta a pegada de inundação calculada para estes quatro canais com um período de retorno de 25 anos,



sem previsão de efeitos de alterações climáticas. A pegada se apresenta com categorias de profundidade de cara aos posteriores cálculos de exposição e vulnerabilidade.

No anexo de planos se incluem os correspondentes mapas de inundação com os períodos de retorno de 50, 100 e 500 anos, que serão usados da mesma forma que este no cálculo de riscos para esses períodos.

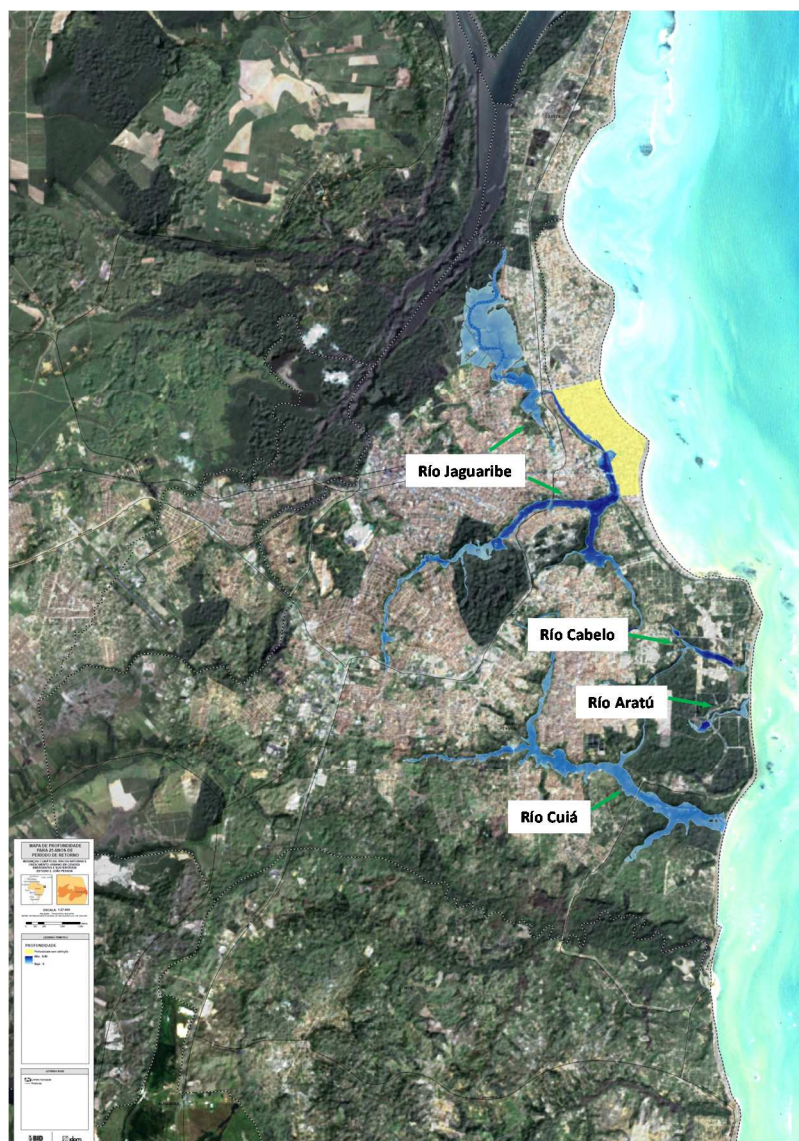


Figura 76. Identificação das pegadas de inundação dos quatro canais modelados

### 7.2.2 Inundação marinha

As categorias de pegada de inundação marinha modeladas de acordo aos períodos de retorno de 10, 50 e 200 anos com distintos cenários climáticos, atual e com 0,2, 0,5 e 1 m SLR, se apresentam no informe elaborado por IHC apresentado no anexo de planos.

Em princípio, as extensões das distintas pegadas de inundação são relativamente pequenas, tornando a área aparentemente mais sensível, isto é, a zona cêntrica anexa ao passeio marítimo de João Pessoa, praticamente preservada, salvo uma pequena zona no cenário de máxima elevação (zona A em seguinte figura). nas zonas inundáveis por esta ameaça mais ao sul, apesar de se observar um avance da intrusão marinha com o incremento do período de retorno e o maior subida do mar. Não obstante, nestas zonas sulinas se reduz significativamente a densidade de edificações e infraestruturas potencialmente expostas.

Para ilustrar esta ideia se apresentam à continuação as pegadas de inundação dos cenários mais extremos, respectivamente o correspondente a um período de retorno de 10 anos com o clima atual e o obtido para um período de retorno de 200 anos e uma elevação da cota média do nível do mar (SLR) de 1 m.

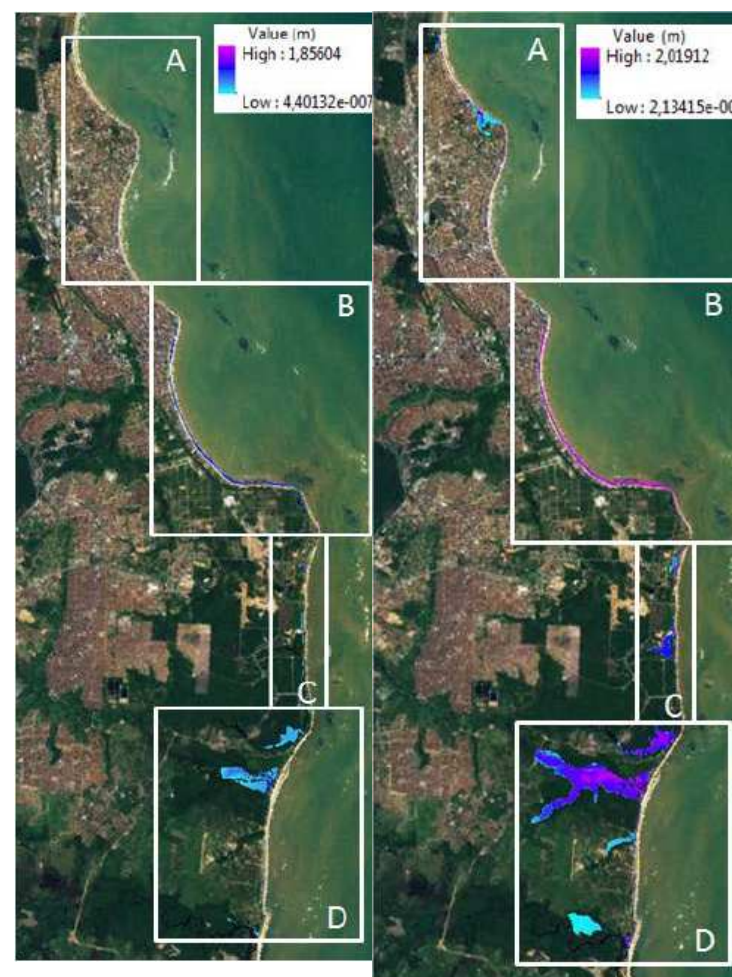


Figura 77. Pegadas de inundação (profundidade) obtidas para os cenários de PR de 10 anos com clima atual (esquerda) e PR de 200 anos com 1 m de SLR (direita)

### 7.2.3 Deslizamentos

Em relação aos deslizamentos cabe indicar que esta ameaça em realidade deve ser considerada como menos significativa para

João Pessoa e seu entorno dado que a maior parte de eventos registrados se encontram junto às falésias costeiras, distantes de núcleos urbanos densos o diretamente relacionados com a geração antropogênica de taludes em formações menos resistentes nos quais com o tempo se produzem zonas instáveis e erodidas.

Não obstante, tentando valorar este aspecto quantitativamente se apresenta a continuação o plano do resultado da análise bivariante de deslizamentos sobreposto à foto aérea do município de João Pessoa. Neste plano se destacam dois graus de nível de susceptibilidade, a média em amarelo e a alta em vermelho. Tal como se pode deduzir das formas das pegadas destacadas, estas zonas margeiam boa parte dos taludes, barrancos e fundos de vale mais pronunciados da cidade.



Figura 78. Superposição do resultado de análise bivariante de deslizamentos sobre a ortofoto de João Pessoa. Destacam-se as zonas com susceptibilidade média (amarelo) e alta (vermelho)

Ainda que tenha sido realizado um estudo de deslizamentos mais amplo, a nível microrregião, se limita a avaliação do risco por esta ameaça ao município de João Pessoa devido à escala dos MDT da microrregião que no permite uma análise coerente desta zona periférica.

Uma vez definida a ameaça, e seguindo o esquema de trabalho apresentado na seção 7.1, avança com a análise de elementos expostos.



### 7.3 Elementos expostos

A análise dos elementos expostos se pode realizar de acordo com diversas escalas de detalhe e sistemas considerados. No presente documento, a continuação se tentará realizar uma avaliação a nível:

- Funcional: número e tipo de infraestruturas e instalações sociais de distintos tipos que poderiam ser afetadas pela ameaça considerada;
- Material: número e tipos de materiais expostos, fundamentalmente edifícios; e
- Humano: número de pessoas residentes dentro das zonas cobertas pelas pegadas de inundação e de susceptibilidade ao deslizamento.

À continuação, se aprofunda nestas matérias.

#### 7.3.1 Análise dos elementos materiais

Devido ao grande número de construções, edifícios, plantas e naves industriais e outras, que podem ser afetadas pelas inundações periódicas, fluviais ou marinhas, assim como anexas a zonas com susceptibilidade de deslizamento média o alta, torna-se impossível avaliar as características de cada uma destas de forma individual de modo a estabelecer a vulnerabilidade do conjunto de elementos que compõem sistema vulnerável. Por esta razão se trabalha de acordo com uma caracterização geométrica do grupo de elementos recolhidos em um formato *Shape* para sua gestão dentro de uma plataforma de dados GIS em combinação com os registros cadastrais, ou outra informação disponível, nos quais se especificam as características do elemento e eventualmente sua ocupação para finalmente aplicar uma ponderação referencial por unidade de elementos, por exemplo uma quadra, para os distintos componentes do elemento a considerar. Lamentavelmente, neste caso não se dispõe de um registro cadastral detalhado, de tal forma que a avaliação dos edifícios expostos realizou-se mediante a revisão de ortofotos e a estimação de densidade de zonas construídas.

Nesta ocasião, a classificação das habitações coincidentes com as pegadas de inundação, fluvial ou marinha, e as zonas suscetíveis de sofrer deslizamentos se realizou de acordo com a avaliação de distribuição de tipo e nível econômico de edificações elaborado para o estudo 3 deste projeto e cujo mapa resultante se apresenta abaixo.

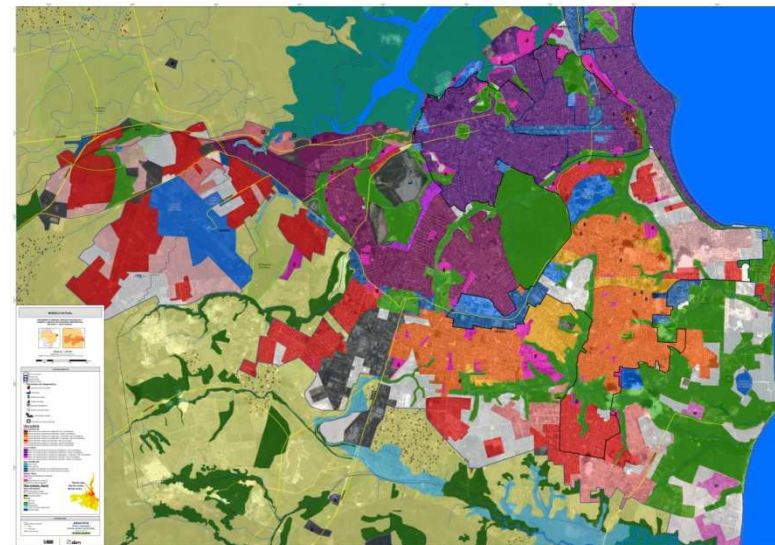


Figura 79. Distribuição de tipo de edifício e nível econômico para a cidade de João Pessoa

À continuação se apresentam fotografias representativas dos distintos tipos de edificação existentes ao longo das zonas de risco em João Pessoa, para as três ameaças descritas.

#### Inundações fluviais

Em as seguintes imagens se apresentam os dois tipos extremos de edificação existente junto ao rio Jaguaribe na zona central da cidade. As habitações humildes de tijolo aparentemente no reforçado e blocos de pisos de concreto armado.



Figura 80. Exemplo de habitações humildes junto ao canal do rio Jaguaribe na zona central (São José) de João Pessoa



Figura 81. Exemplo de habitações humildes junto ao canal do rio Jaguaribe na zona central (São José) de João Pessoa



Figura 82. Bloco de pisos e centro comercial que caem dentro da pegada de inundação do rio Jaguaribe

No entanto, existem amplas vizinhanças mistas nas quais se combinam edifícios elevados com casas residenciais unifamiliares de uma ou mais plantas e de boa construção. À continuação se apresenta um imagem típica que exemplifica ambos os tipos de habitação.





Figura 83. Exemplo de bairro misto típico de João Pessoa no que combinam blocos elevados de pisos com habitações unifamiliares de um o dos pisos

As características construtivas deste tipo de habitações unifamiliares seriam semelhantes às de alvenaria reforçada,

#### Inundações marinhas

A magnitude de possíveis inundações marinhas nos cenários de clima atual e possível no futuro por efeito da alteração climática em caso de se produzir uma elevação média do nível do mar de até 1 m SLR se pode classificar como relativamente pequena, especialmente em relação a danos a edifícios. A pegada de inundação mais invasiva apresenta uma cobertura com uma pequena área da zona norte da cidade. A continuação se apresenta uma fotografia de uma das habitações que se encontra nesta zona.



Figura 84. Habitação uni familiar junto à franja costeira em área com potencial de ser invadida em caso de uma elevação do nível do mar.

Trata-se de uma habitação uni familiar de dois níveis que pode considerar-se semelhante a um edifício de alvenaria reforçado.

Ademais, na zona relativamente virgem ao sul do município, para Conde, se observam edificações de madeira, algumas com uso

turístico que poderiam coincidir com uma parte da pegada de inundação marinha. Este tipo de edificação se apresenta nas seguintes fotografias.



Figura 85. Vista da franja costeira sul do município de João Pessoa com edificações de uso turístico e quiçá residencial de madeira



Figura 86. Detalhe de várias destas edificações junto à praia

Em relação a sua potencial vulnerabilidade, este tipo de edificação seria semelhante a habitações precárias de adobe ou madeira não reforçada, Em todo caso, convém destacar que se trata de um número relativamente reduzido de unidades.

#### Deslizamentos

Quanto às edificações suscetíveis a sofrer danos por deslizamentos, se considera que o mais adequado é apresentar alguma imagem representativa das fichas do inventário de eventos de deslizamento elaborado como parte do estudo (Anexo III). A continuação se apresentam as fotografias selecionadas. Geralmente, se trata de habitações em bairros humildes da cidade, apesar de em alguns casos os taludes com risco de deslizamento se encontram junto a edificações de um nível econômico.



Figura 87. Bairro de habitações unifamiliares humildes junto a talude com risco de deslizamento (Zona Timbó)



Figura 88. Habitações com aspecto de precárias junto a um talude com risco de deslizamento (Zona São Rafael)



Figura 89. Edifício de nível econômico aparentemente elevado junto a um talude no que se ha produzido um importante deslizamento (Zona Porto Capim)



Portanto, geralmente o tipo de edificação em zona de risco por deslizamentos deve associar-se a habitações de alvenaria não reforçada, apesar de eventualmente existir alvenaria reforçada e inclusive estruturas de concreto.

7.3.2 Estimação do valor exposto

A estimação do valor total exposto se realizou mediante o cruzamento do mapa de zonificação de edificações segundo nível econômico local (Figura 61) e os distintos planos de pegada de ameaça (inundação fluvial e marinha, e deslizamentos), Esta operação se realizou com todos os mapas de distinto período de retorno e cenário de alteração climática definido (para o caso da inundação marinha).

A extensão dos polígonos resultantes se converteu em uma série de matrizes com as quais se calcula em primeiro lugar a extensão das edificações expostas mediante a soma de polígonos. À continuação se realizou uma inspeção de polígonos de igual categoria para estabelecer uma densidade média aproximada de ocupação da mesma. Desta forma se estabeleceu a extensão construída potencialmente exposta.

Os preços de reposição dos danos foram recalculados com base em preços de mercado de construção médios de João Pessoa consultados a través da internet em páginas web especializadas. A partir destas referências se realizou uma estimação de ponderação para cada tipo de edificação selecionando segundo o nível social e econômico ao que corresponde. À continuação se apresenta a tabela de preços médios elaborada.

Tabela 15. Preços médios de construção estimados para o cálculo do valor total exposto

Classe de Análise	Valor medio construcción (m2)	Zona tipo (ejemplos)
ALTA Essencialmente residencial multifamiliar, alta consolidacao	2.070	Apartamentos de alto padrao
ALTA Essencialmente residencialunifamiliar, alta consolidacao	2.070	Apartamentos de alto padrao
ALTA Misto com predominancia residencial multifamiliar, alta consolidacao	2.070	Apartamentos de alto padrao
ALTA Misto com predominancia residencial multifamiliar, media consolidacao	2.070	Apartamentos de alto padrao
MEDIA Essencialmente residencial multifamiliar, alta consolidacao	1.470	casas medio padrao
MEDIA Essencialmente residencialunifamiliar, alta consolidacao	1.470	casas medio padrao
MEDIA Essencialmente residencialunifamiliar, baixa consolidacao	2.070	Casas unifamiliares em condominios
MEDIA Essencialmente residencialunifamiliar, media consolidacao	845	Casas perifericas
MEDIA Essencialmente residencial multifamiliar y unifamiliar, alta consolidacao	1.470	casas medio padrao
MEDIA Essencialmente residencial multifamiliar y unifamiliar, baixa consolidacao	1.470	casas medio padrao
MEDIA Misto com predominancia residencial multifamiliar, alta consolidacao	2.070	Apartamentos de alto padrao
MEDIA Misto com predominancia residencial multifamiliar, media consolidacao	1.470	casas medio padrao
MEDIA Misto com predominancia residencialunifamiliar, media consolidacao	1.470	casas medio padrao
MEDIA Misto com predominancia residencial multifamiliar y unifamiliar, alta cons.	1.470	casas medio padrao
MEDIA Segunda Residencia unifamiliar, alta consolidacao	1.470	Áreas de Residência Secundário
MEDIA URBANIZACAO ISOLADA unifamiliar	845	Casas perifericas
BAJA Essencialmente residencial multifamiliar, media consolidacao	845	Casas perifericas
BAJA Essencialmente residencialunifamiliar, alta consolidacao	845	Casas perifericas
BAJA Essencialmente residencialunifamiliar, baixa consolidacao	845	Casas perifericas
BAJA Essencialmente residencialunifamiliar, media consolidacao	845	Casas perifericas
BAJA Essencialmente residencial multifamiliar y unifamiliar, alta consolidacao	845	Casas perifericas
BAJA Essencialmente residencial multifamiliar y unifamiliar, baixa consolidacao	845	Casas perifericas
BAJA Misto com predominancia residencial multifamiliar, alta consolidacao	845	Casas perifericas
BAJA Misto com predominancia residencial multifamiliar, media consolidacao	1.470	casas medio padrao
BAJA Misto com predominancia residencialunifamiliar, alta consolidacao	845	Casas perifericas
BAJA Misto com predominancia residencialunifamiliar, media consolidacao	845	Casas perifericas
BAJA Misto com predominancia residencial multifamiliar y unifamiliar, alta cons.	1.470	Casco historico Cabedelo
BAJA Segunda Residencia unifamiliar, alta consolidacao	1.470	Áreas de Residência Secundário
BAJA Segunda Residencia unifamiliar, baixa consolidacao	1.470	Áreas de Residência Secundário
BAJA Segunda Residencia unifamiliar, media consolidacao	1.470	Áreas de Residência Secundário
BAJA URBANIZACAO ISOLADA unifamiliar	845	Casas perifericas
Atividades economicas com predominancia terciaria/industrial	1470	General
Assentamentos precarios	450	Barrio de San José

Finalmente, o valor exposto foi obtido da multiplicação entre superfície exposta (m²) e custo unitário de construção (R\$/m²) estimado.

A continuação se apresentam três tabelas resumo com os valores expostos para as distintas ameaças e períodos de retorno.

Tabela 16. Resultado do cálculo do valor exposto para as inundações fluviais

PERIODO DE RETORNO	SUPERFICIE CONSTRUIDA EXPUESTA (m2)	VALOR EXPUESTO (R\$)
25 años	265.604,2	231.282.229,6
50 años	270.667,4	234.596.588,4
100 años	273.043,1	237.199.411,5
500 años	288.694,3	246.026.768,4

Tabela 17. Resultado do cálculo do valor exposto para as inundações marinhas

ESCENARIO	PERIODO DE RETORNO	SUPERFICIE CONSTRUIDA EXPUESTA (m2)	VALOR EXPUESTO (R\$)
Clima actual	10 años	1.721,5	2.834.638,5
	50 años	1.943,7	3.195.500,8
	200 años	2.975,5	4.732.811,1
CC +0,2 m SLR	10 años	3.080,8	4.893.517,4
	50 años	3.522,4	5.563.662,1
	200 años	3.791,6	5.972.833,3
CC +0,5 m SLR	10 años	4.248,6	6.666.172,5
	50 años	4.521,7	7.062.934,0
	200 años	7.760,0	12.520.841,6
CC +1 m SLR	10 años	11.026,3	17.730.122,9
	50 años	11.993,5	19.274.440,2
	200 años	21.562,5	33.909.703,7

Tabela 18. Resultado do cálculo do valor exposto para deslizamentos

GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	SUPERFICIE CONSTRUIDA EXPUESTA (m2)	VALOR EXPUESTO (R\$)
ALTA	94.589,5	93.840.775,5
MEDIA	801.032,0	1.118.615.436,4

7.3.3 Exposição de infraestruturas e edifícios públicos e sociais

A exposição de infraestruturas e edifícios públicos e sociais se realizará primeiro para a ameaça de inundação fluvial e posteriormente para os deslizamentos, evidenciando a inundação marinha ao não se encontrar quase nenhum serviço funcional dentro da zona de potencial inundação marinha.

Como passo prévio à avaliação geral da exposição funcional da cidade ante a ameaça por **inundação fluvial** se avalia a rede de saneamento do limite municipal que se apresenta na seguinte imagem sobreposta à foto aérea de pegadas de população e inundação.

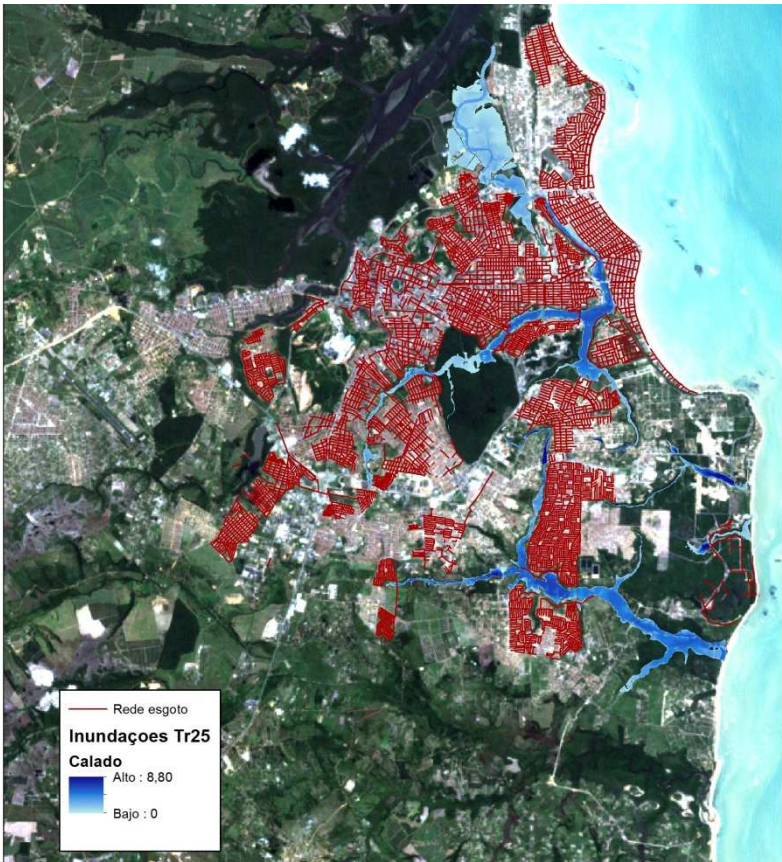


Figura 90. Cobertura da rede de saneamento em João Pessoa

Como se pode notar, esta infraestrutura não cobre o conjunto das zonas desenvolvidas urbanisticamente, o que indica que em amplas zonas da cidade se pode gerar inundações por chuvas torrenciais com certa facilidade. Por outro lado, os sistemas de saneamento parciais vertem diretamente aos rios o que resulta em um impacto ambiental potencialmente importante.

Quanto à vulnerabilidade deste sistema, em relação às possíveis inundações, se entende que este pode se dar em zonas paralelas aos rios coincidentes com as pegadas de inundação. Dado que em principio o tipo de inundação de João Pessoa será de velocidade contida, se crê que o impacto sobre as redes se limitará a sua saturação e obstrução mas não a sua ruptura, de tal



Figura 91. Vista da exposição de infraestruturas e edifícios de uso social às possíveis inundações fluviais

Susceptibilidad	Rodovias	Estradas	Linha tren	Rede Esgoto
Media	1.302	64	460	19.269
Alta	34	0	0	2.736

Figura 92. Vista da exposição de infraestruturas e edifícios de uso social em zonas com susceptibilidade de deslizamentos de nível médio e alto

De acordo com a definição apresentada no programa “Aproximação holística para a avaliação probabilística do risco” (*Central America Probabilistic Risk Assessment CAPRA*, 2005) a



vulnerabilidade é a predisposição de um sistema, elemento, componente, grupo humano ou qualquer grupo biológico ou não, a ser afetado ante a ação de uma situação de ameaça específica.

A análise de vulnerabilidade deve identificar os elementos componentes ou sistemas de uma comunidade ou grupo de comunidades (cidade, região, país, etc.) objeto de avaliação, tais como os sistemas de educação, saúde, proteção civil (polícia e bombeiros), redes elétricas e de esgoto, etc.

Existem distintos enfoques para a avaliação deste parâmetro, destacando-se bibliograficamente, por exemplo<sup>10</sup>:

- **Vulnerabilidade física:** o potencial de impacto físico sobre o entorno construído e a população; expresso numericamente como um valor entre 0, nenhuma deterioração, e 1, colapso total.
- **Vulnerabilidade econômica:** os potenciais danos gerados pelo conjunto de ameaças a ativos econômicos e processos, por exemplo, interrupção de uma atividade econômica, perda de postos de trabalho, incremento da pobreza, etc.
- **Vulnerabilidade social:** os potenciais danos sofridos por grupos sociais concretos, tal como os pobres, idosos, crianças, etc.
- **Vulnerabilidade ambiental:** os potenciais impactos derivados de uma ameaça sobre o entorno ambiental de uma zona.

No caso presente, vamos nos centrar na valoração da vulnerabilidade física, edificações e pessoas, considerando que a análise de exposição mostrou que a vulnerabilidade funcional da cidade é relativamente baixa, dado o pequeno número de instalações de uso público que coincidem com as pegadas de inundação e zonas com susceptibilidade média ou alta de deslizamentos, e por outro lado, tanto a análise da vulnerabilidade econômica como ambiental, tal como estão aqui definidas, estão fora do alcance de trabalho deste projeto.

#### 7.4.2 Vulnerabilidade material ante inundações

Em relação à metodologia seguida para a definição da vulnerabilidade diante de inundações, fluviais e marinhas, se optou por uma calibração e extrapolação entre as curvas e tabelas de vulnerabilidade propostas por CAPRA, a agencia federal de gestão de riscos americana (Federal Emergency Management Agency-FEMA) em 2001<sup>11</sup> e o instituto Flood Hazard Research Centre (FHRC)<sup>12</sup> de Reino Unido. O objetivo é cobrir com esta diversidade de fontes os distintos tipos de edificação descritos anteriormente que coincidem com as pegadas de inundação comentadas. Estas fontes estão baseadas em observações empíricas realizadas em

países como EUA. e Reino Unido, nos quais as inundações fluviais se produzem com certa frequência em internos urbanos e rurais, e onde existe uma importante rede de cobertura de seguros, de tal forma que se pode confiar que os níveis de destruição, estrutural e de conteúdos definidos estejam contrastados desde vários pontos de vista.

À continuação, se apresentam dois gráficos e uma tabela na qual se baseará a valoração de vulnerabilidade por inundações de João Pessoa.

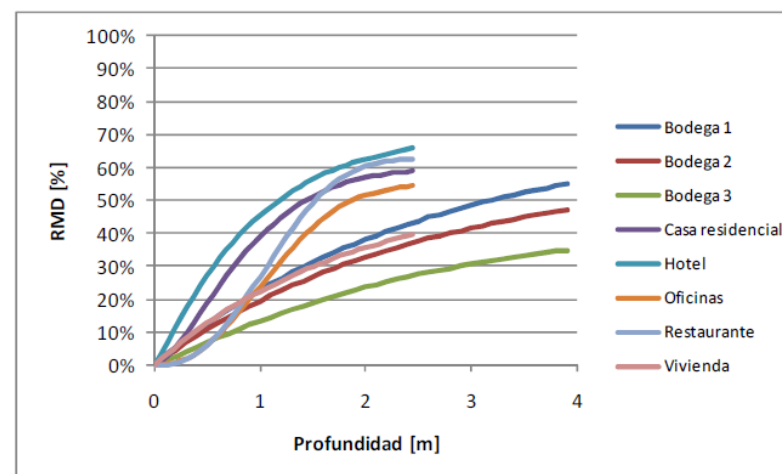


Figura 93. Exemplos de funções de vulnerabilidade a inundação para estruturas de um nível, inclui dano à estrutura e aos conteúdos; fonte CAPRA

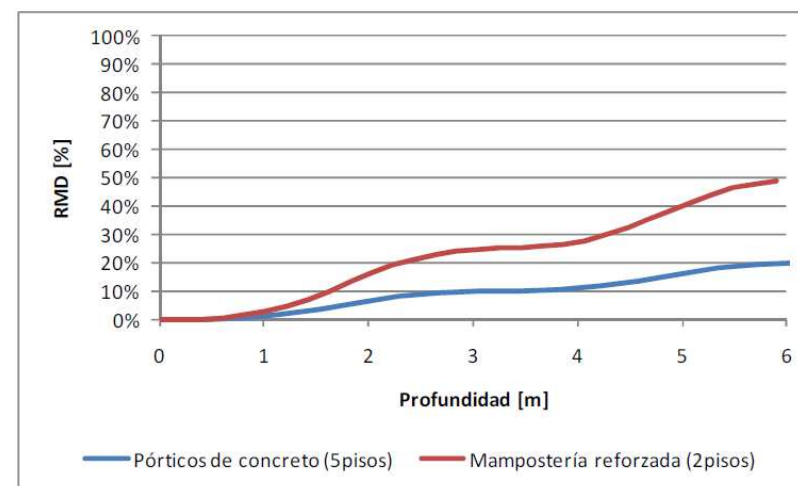


Figura 94. Exemplos de funções de vulnerabilidade a inundação para edifícios de um ou vários níveis; fonte CAPRA

Flood Depth (feet)	One Story No Basement (% Building Damage)	Two Story No Basement (% Building damage)	One or Two Story With Basement (% Building damage)	Manufactured Home (% Building damage)
-2	0	0	4	0
-1	0	0	8	0
0	9	5	11	8
1	14	9	15	44
2	22	13	20	63
3	27	18	23	73
4	29	20	28	78
5	30	22	33	80
6	40	24	38	81
7	43	26	44	82
8	44	29	49	82
>8	45	33	51	82

Figura 95. Quadro de estimativa de danos em edifícios por inundação; fonte FEMA

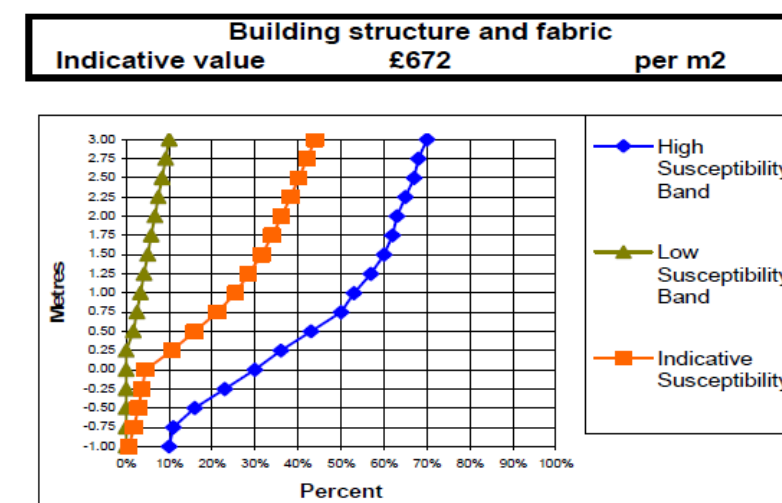


Figura 96. Representação gráfica das curvas de vulnerabilidade aplicadas como base orientativa de cálculo; fonte FHRC

De acordo com estas curvas e tabela, se pode resumir o critério de projeção da vulnerabilidade para os distintos tipos de edifício de acordo com a seguinte tabela-resumo.

Tabela 21. Correlação entre tipo de edificação e curva de vulnerabilidade considerada mais representativa

Classe de Análise	Curva de Vulnerabilidad Aplicable
Residencial multifamiliar	CAPRA Multinivel; Pórticos de concreto (5 pisos)
Residencial unifamiliar	CAPRA Multinivel; Mamposteria reforzada (2 pisos)
Misto com predominância residencial multifamiliar	CAPRA Multinivel; Pórticos de concreto (5 pisos)
Misto residencial multifamiliar y unifamiliar	CAPRA Multinivel; Pórticos concreto / Mamposteria
Essencialmente residencial unifamiliar, baixa consolidación	CAPRA 1 nivel; Vivienda
Assentamentos precários	FEMA; Manufactured home/CAPRA 1 nivel; Vivienda
Atividades económicas com predominância terciária/industrial	FHRC; baja susceptibilidad
Área especial	CAPRA Multinivel; Pórticos de concreto (5 pisos)

<sup>10</sup> Multi-hazard risk assessment guide book: United Nations University – ITC School am Disaster Geoinformatiam Management, 2011

<sup>11</sup> Understanding your risks – Identifying hazards and estimating losses. FEMA 386-2, 2001.

<sup>12</sup> Evaluating flood damages: guidance and recommendations am principles and methods (T09-06-01). Messner et al., 2007. Editado na web [www.floodsite.net](http://www.floodsite.net).



Em zonas nas quais claramente se observe uma proporção similar de dois tipos de edificação se optou por aplicar um valor intermédio entre duas curvas representativas, tal como é o caso do uso misto multi e unifamiliar.

Por outro lado, para os bairros de casas humildes ou precárias se optou por uma combinação dos valores de danos publicados por FEMA para as casas pré-fabricadas (*manufactured home*) e a curva proposta por CAPRA para habitações de um nível que é algo mais conservadora em quanto a danos totais, considerando que em bairros como São José se produzem inundações com certa periodicidade, ao mesmo tempo em que o bairro parece relativamente consolidado e estável, do que se deduz que o tipo de construção aplicado poderia qualificar-se como básico, é mais resistente que as típicas habitações pré-fabricadas ou frágeis (a base de adobe, madeira, chapa, etc.).

### 7.4.3 Vulnerabilidade humana ante inundações

CAPRA aplica a seguinte curva de vulnerabilidade humana diante de inundações que tem caráter empírico e está baseada no número estimativo total de vítimas, ou afetados, em eventos recentes.

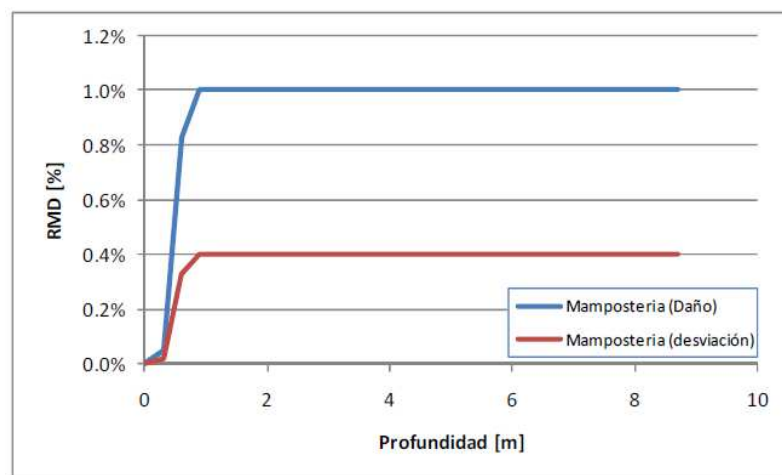


Figura 97. Função de vulnerabilidade humana para estruturas de alvenaria; fonte CAPRA

## 7.5 Cálculo do risco

### 7.5.1 Risco e PML por inundação

Os cálculos do risco (específico) e a perda máxima esperada (PML) se realizaram de acordo com os seguintes passos e suposições:

- Sobrepos-se o *shape* da distribuição de tipo de edifício nível econômico elaborado para a cidade de João Pessoa com os *shapes* das pegadas de inundação fluvial e marinha.
- Os polígonos obtidos foram ordenados em uma folha de cálculo *Exco* de acordo com sua classificação de acordo com a distribuição de tipo de habitação predominante e

nível econômico apresentada na tabela 14 (alta, média o baixa).

- A continuação foram estabelecidas no GIS as superfícies destes polígonos anotando-os na mesma folha *Exco* de forma ordenada. Foi estabelecido um segundo nível de categorização baseado na profundidade de inundação (0-1 m, 1-2 m, 2-3 m, 3-4 m e >4 m).
- Devido ao fato de não se ter contado com uma base *shape* do cadastro de João Pessoa foi necessário fazer uma estimação da superfície de construção exposta mediante estimação da densidade de edificação em cada grupo de polígonos de idêntica categoria.
- Mediante multiplicação de superfície e densidade obteve a superfície de edificação exposta.
- À continuação se estimou o valor de edificação exposto multiplicando a superfície de edificação exposta com o custo médio de reposição para a correspondente categoria, de acordo aos preços estimativos reunidos na tabela 15.
- A vulnerabilidade da edificação de acordo com o nível de profundidade da inundação foi extraído das curvas de vulnerabilidade e critérios de estimação apresentados na seção 7.4.2
- A perda máxima esperada (PML-probable maximum loss) foi obtida multiplicado o valor de edificação exposta pela correspondente vulnerabilidade para todas profundidades de inundação (0-1 m, 1-2 m, 2-3 m, 3-4 m e >4 m).
- Esta operação foi repetida para todos os períodos de retorno modelados, isto é, 25, 50, 100 e 500 anos (sem consideração de possíveis efeitos de alterações climáticas) no caso da inundação fluvial e 10, 50 e 200 anos para a inundação marinha, considerando neste caso até quatro cenários climatológicos distintos, o atual e com efeitos de alteração climática com 0,2, 0,5 e 1 m de elevação do nível do mar.

A continuação se apresentam as tabelas resumo com os resultados obtidos após a finalização deste processo para as inundações.

Tabela 22. Cálculo de PML para a inundação fluvial

PERIODO DE RETORNO	SUPERFICIE CONSTRUIDA EXPUESTA (m2)	PÉRDIDA MÁXIMA ESPERADA-PML (R\$)
25 años	265.604,2	39.912.606,0
50 años	270.667,4	40.726.513,7
100 años	273.043,1	41.729.481,1
500 años	288.694,3	44.075.649,3

Tabela 23. Cálculo de PML para a inundação marinha

ESCENARIO	PERIODO DE RETORNO	SUPERFICIE CONSTRUIDA EXPUESTA (m2)	PÉRDIDA MÁXIMA ESPERADA-PML (R\$)
Clima actual	10 años	1.721,5	56.692,8
	50 años	1.943,7	63.910,0
	200 años	2.975,5	94.700,7
CC +0,2 m SLR	10 años	3.080,8	97.972,1
	50 años	3.522,4	111.675,9
	200 años	3.791,6	120.153,5
CC +0,5 m SLR	10 años	4.248,6	134.812,8
	50 años	4.521,7	143.457,2
	200 años	7.760,0	254.905,8
CC +1 m SLR	10 años	11.026,3	363.279,2
	50 años	11.993,5	395.455,2
	200 años	21.562,5	696.260,5

### 7.5.2 Representação gráfica do risco por inundação

À continuação se apresentam os gráficos de PML e curva de excesso de perdas elaborados para a inundação fluvial e marinha. No caso da inundação marinha se optou por elaborar estes gráficos para os cenários mais extremos, o referido ao clima atual e o que contempla efeitos de alteração climática com elevação do nível do mar de 1 m.

Para facilitar a leitura e compreensão de cada gráfico, este é precedido por uma tabela com os dados numéricos nos quais o mesmo se baseia.

Tabela 24. Dados de cálculo da curva de PML por inundação fluvial

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	PÉRDIDA MÁXIMA ESPERADA-PML (R\$)	ORIGEN DATO
0	0	Extrapolado
25	39.912.606,0	Calculado
50	40.726.513,7	Calculado
100	41.729.481,1	Calculado
500	44.075.649,3	Calculado



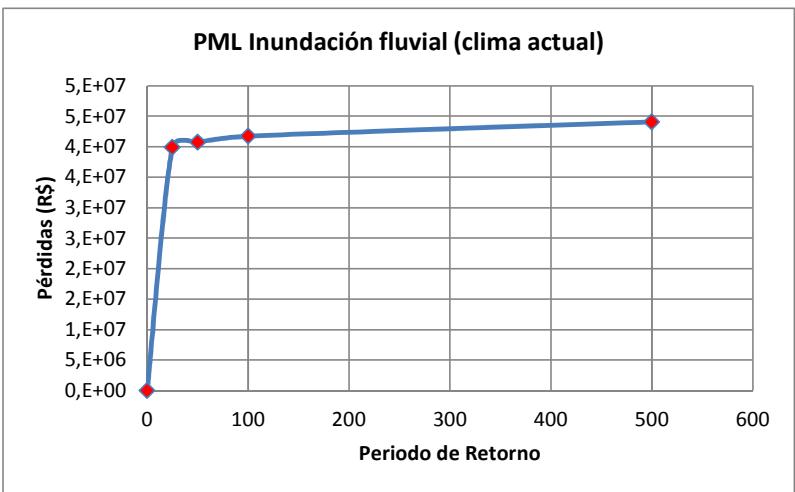


Figura 98. Representação gráfica da PML por inundação fluvial

Tabela 25. Dados de cálculo da curva de excesso de perdas por inundação fluvial

PÉRDIDAS (R\$)	PROBABILIDAD ANUAL	ORIGEN DATO
0	0,95	Extrapolado
39.912.606,0	0,04	Calculado
40.726.513,7	0,02	Calculado
41.729.481,1	0,01	Calculado
44.075.649,3	0,002	Calculado

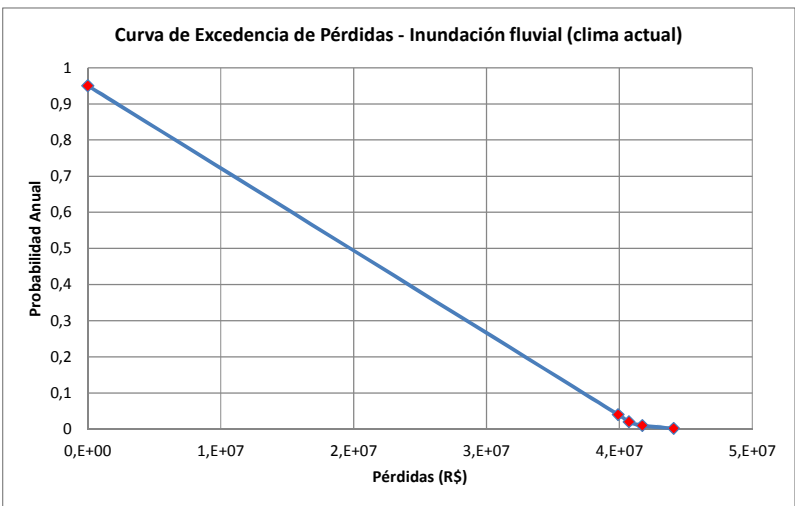


Figura 99. Representação gráfica curva de excesso de perdas por inundação fluvial

Tabela 26. Dados de cálculo da curva de PML por inundação marinha com cenário de clima atual

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	PÉRDIDA MÁXIMA ESPERADA (R\$)	ORIGEN DATO
0	0	Extrapolado
10	56.892,8	Calculado
50	63.910,0	Calculado
200	94.700,7	Calculado

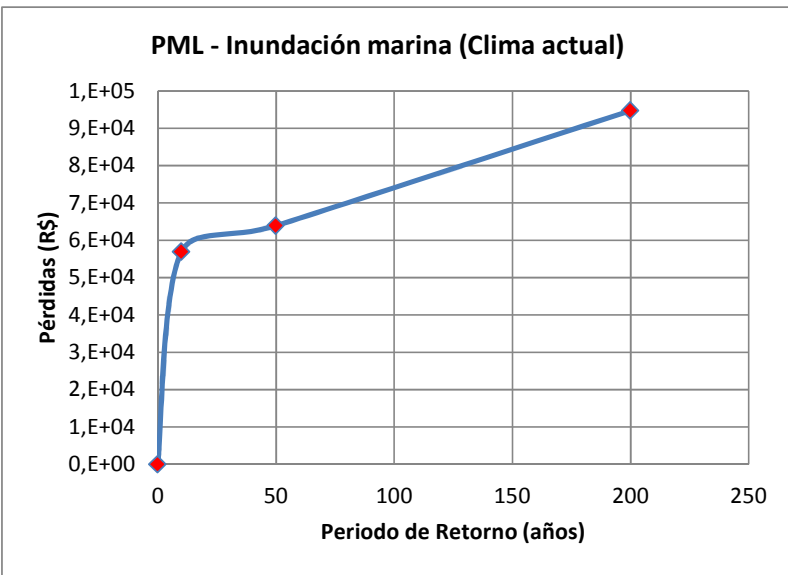


Figura 100. Representação gráfica da PML por inundação marinha com cenário de clima atual

Tabela 27. Dados de cálculo da curva de excesso de perdas por inundação marinha com cenário de clima atual

PÉRDIDAS (R\$)	PROBABILIDAD ANUAL	ORIGEN DATO
0	0,95	Extrapolado
56.892,8	0,1	Calculado
63.910,0	0,02	Calculado
94.700,7	0,005	Calculado

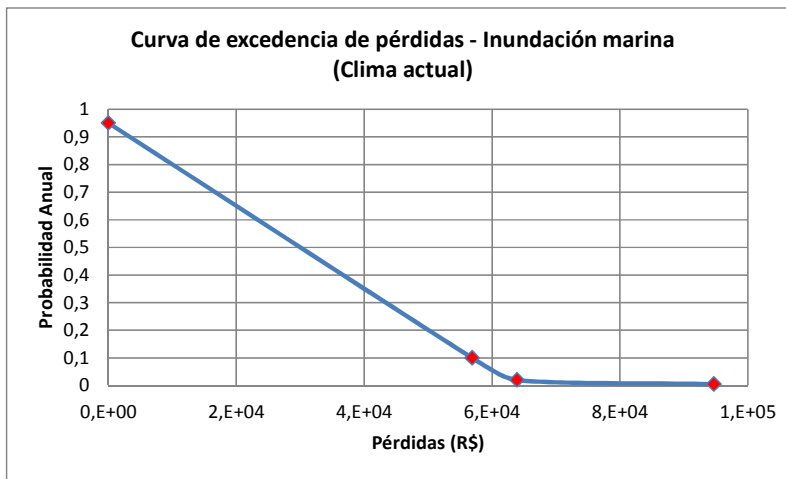


Figura 101. Representação gráfica curva de excesso de perdas por inundação marinha com cenário de clima atual

Tabela 28. Dados de cálculo da curva de PML por inundação marinha com cenário de clima com efeitos de alteração climática e 1 m de elevação do nível do mar (+1 SLR)

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	PÉRDIDA MÁXIMA ESPERADA (R\$)	ORIGEN DATO
0	0	Extrapolado
10	56.892,8	Calculado
50	63.910,0	Calculado
200	94.700,7	Calculado

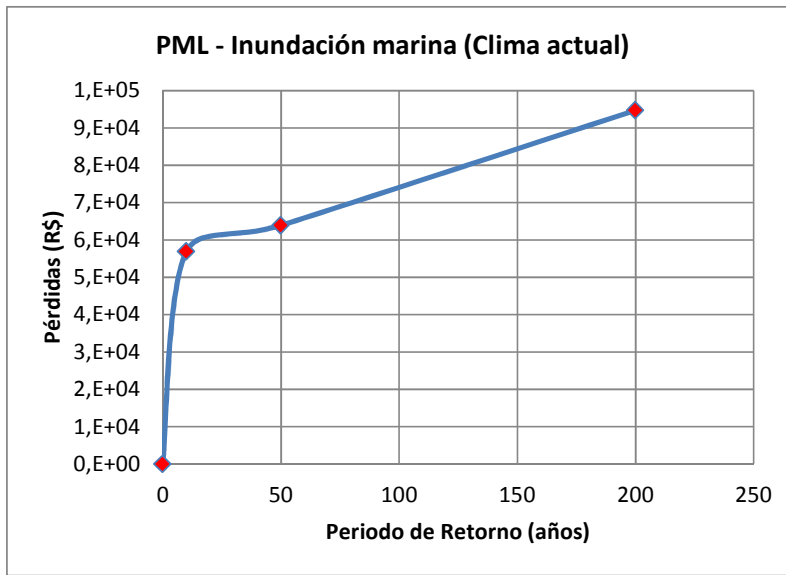


Figura 102. Representação gráfica da PML por inundação marinha com cenário de clima com efeitos de alteração climática e 1 m de elevação do nível do mar (+1 SLR)



Tabela 29. Dados de cálculo da curva de excesso de perdas por inundação marinha com cenário de clima com efeitos de alteração climática e 1 m de elevação do nível do mar (+1 SLR)

PÉRDIDAS (R\$)	PROBABILIDAD ANUAL	ORIGEN DATO
0	0,95	Extrapolado
56.892,8	0,1	Calculado
63.910,0	0,02	Calculado
94.700,7	0,005	Calculado

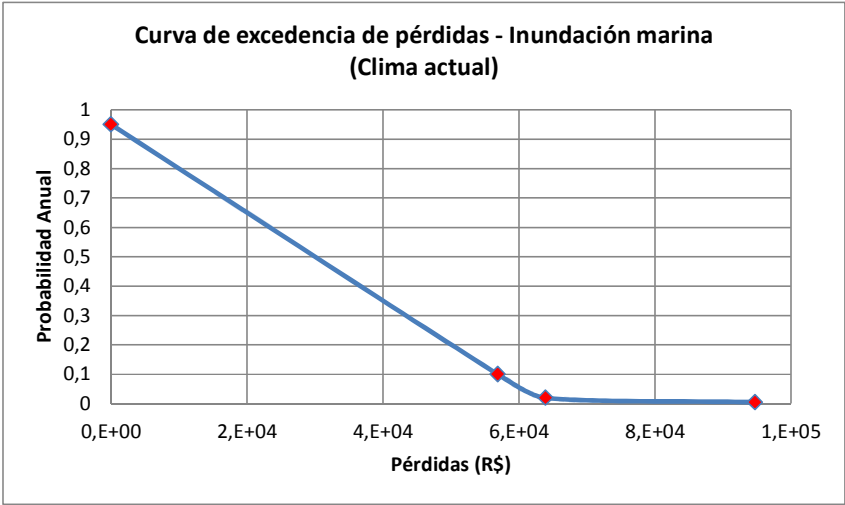


Figura 103. Representação gráfica curva de excesso de perdas por inundação marinha com cenário de clima com efeitos de alteração climática e 1 m de elevação do nível do mar (+1 SLR)

### 7.5.3 Cálculo da Perda Anual Esperada por inundação

De acordo aos gráficos das curvas de excesso de perdas para inundação fluvial e marinha apresentados na seção anterior foi estimada a perda anual esperada (PAE) que coincide com a superfície sob estas curvas. A continuação se apresentam os resultados desta estimação.

Tabela 30. Cálculo de Perda Anual Esperada para a inundação fluvial e marinha

AMENAZA	ESCENARIO	PAE AMENAZA(R\$)	PAE COMBINADA (R\$)
Inudación Fluvial	Clima actual	19.840.000,8	19.871.305,1
Inudación marina	Clima actual	31.304,3	
	CC (+1 m SLR)	194.803,8	

Isto é, de acordo com o cálculo acima apresentado se pode concluir que a **perda anual esperada (PAE) para a ameaça de**

**inundação considerando o cenário de clima atual soma R\$ 19.871.305**, ou seja, este parâmetro se encontra na ordem dos 20 milhões de reais. Evidentemente esta cifra se poderia incrementar ligeiramente considerando custos de conteúdos não incluídos em alguma das curvas de vulnerabilidade usadas, assim como por custos de limpeza após cada evento de inundação.

Não foi realizado cálculo similar para os cenários de alteração climática por não ter sido calculado o risco por inundação fluvial para os mesmos dado que seu resultado seria aparentemente contrário ao marinho, ou seja, menor pegada de inundação por queda da pluviometria a nível regional.

### 7.6 Afetação humana por inundação

Considerando as pegadas de inundação fluvial e marinha com máximo período de retorno, isto é, respectivamente 500 e 200 anos sem efeitos de alterações climáticas, e calculando a densidade de população existente em cada um dos polígonos vetoriais anteriormente descritos e usados para o cálculo de risco foi estabelecido o número de habitantes residentes nas zonas de afecção. Este cálculo se apresenta na seguinte tabela.

Tabela 31. População assentada e potencialmente afetada em zona de perigo por inundação

Escenario de Inundación	Población con probable afección (habitantes)	Total Clima Actual
Fluvial PR 500 años	10.622	10.794
Marina PR 200 años Clima Actual	172	
Marina PR 200 años (CC + 1 m SLR)	1.402	

Portanto, **o número de pessoas potencialmente afetadas pela ameaça de inundação em João Pessoa, em condições de clima atual, excede ligeiramente as 10.000 pessoas.**

Na seguinte figura se apresenta a título orientativo a distribuição da população potencialmente afetada no cenário do clima atual. neste caso, dado que os núcleos de impacto à população pela ameaça marinha são muito reduzidos em tamanho de tal forma que se perca nitidez da imagem optou-se por centrar o enfoque na parte principal de afetação, isto é, na zona central da cidade.

Visando a cobrir a zona de maior extensão, optou-se por combinar, para o cenário de clima atual, as pegadas de inundação fluvial e marinha mais amplas, correspondendo estas respectivamente aos períodos de retorno de 500 e 200 anos.



Figura 104. Zonificação da principal afetação humana por inundação de acordo ao clima atual, mas com períodos de retorno para a inundação fluvial e marinha respectivamente de 500 e 200 anos.

A anterior imagem tem que ser considerada a nível orientativo visando a priorizar as medidas preventivas nos bairros potencialmente mais sensíveis desde a perspectiva humana. Concretamente se pode concluir que São José seria o bairro principal no qual centrar estas medidas.

### 7.7 Impacto associado a deslizamentos

#### 7.7.1 Risco funcional

De acordo com os resultados obtidos do cruzamento entre os *shapes* de susceptibilidade a deslizamento (baixa, média e alta) de João Pessoa e as infraestruturas e edifícios (Fig.72) e tabelas 18 e 19 foi estabelecido o seguinte acordo de custos de restituição de elementos em caso de se produzir uma afetação significativa das mesmas por efeito de um deslizamento direto coincidente com as mesmas. Para o caso das infraestruturas foram aplicados preços unitários por quilômetro trabalhados por técnicos da IDOM, enquanto que o custo de reposição de unidades de saúde e educação foi estabelecido em um preço médio de 500.000 R\$ considerando se tratar de instalações de bairro.



Tabela 32. Quantificação dos custos de reposição de infraestruturas por deslizamentos (R\$)

Susceptibilidad	Rodovias	Estradas	Linha tren	Rede Esgoto
Media	16.275.000	134.400	3.956.000	4.142.835
Alta	425.000			588.240

Tabela 33. Quantificação dos custos de reposição de centros de saúde e educação alocados em zonas suscetíveis de sofrer deslizamentos (R\$)

Susceptibilidad	Saude	Educação
Media	4.000.000	3.000.000
Alta	1.000.000	500.000

Em resumo, se pode indicar que o **valor de reposição das infraestruturas e centros sociais alocados em zonas com susceptibilidade alta de deslizamentos sobe para:**

- **Rodovias: R\$ 425.000;**
- **Redes de saneamento: R\$ 588.240;**
- **Centros de saúde: R\$ 1.000.000; e**
- **Centros escolares: R\$ 500.000.**

Há que considerar também um custo potencialmente superior em zonas com categoria de susceptibilidade média, ainda que aqui se considere mais acertado tomar os dados a título orientativo, ou seja, como ordem de magnitude potencial.

### 7.7.2 Risco estrutural

Em relação às habitações e edifícios terciários ou industriais associados, se pode resumir que o valor total exposto a esta ameaça está na seguinte ordem de magnitude:

- **Susceptibilidade Alta: cerca de 90 milhões de R\$; e**
- **Susceptibilidade Média: Em torno aos 1.100 milhões de R\$.**

## 7.8 Afetação humana por deslizamentos

Na seguinte tabela, se apresenta o número da população potencialmente exposta nas zonas da cidade de João Pessoa com grau de susceptibilidade de deslizamentos médio e alto.

Tabela 34. Desmembramento da população potencialmente exposta em zonas de susceptibilidade de deslizamentos

Susceptibilidad	Población	Total Población
Media	17.245	19.330
Alta	2.085	

Tal como foi indicado anteriormente, as aproximadamente 19.300 pessoas residentes nas zonas identificadas como propensas a esta ameaça devem ser tomadas como ordem de magnitude considerando o nível de detalhe do estudo, assim como a qualidade da informação histórica existente em relação aos danos históricos causados e população afetada na cidade por esta ameaça.

## 7.9 Conclusões da valoração de riscos

Os principais resultados da apresenta avaliação de riscos naturais se podem resumir de acordo com os seguintes dados, que de acordo com o grau de precisão da informação disponível para o processo de análise deve ser considerada como limites de ordem de magnitude:

- Desde um ponto de vista funcional se pode considerar que a cidade de João Pessoa é relativamente pouco sensível.
- A perda máxima esperada (PML) por inundação fluvial varia em uma categoria de aproximadamente 39 a 44 milhões de reais de acordo com os períodos de retorno respectivos de 25 e 500 anos, considerando o cenário de clima atual.
- A perda máxima esperada (PML) por inundação marinha varia em uma categoria de uns 56.000 a 95.000 reais de acordo com os períodos de retorno respectivos de 10 e 200 anos com o cenário de clima atual, sendo possível incrementar teoricamente até uns 700.000 reais com um período de retorno de 200 anos em um cenário incremento do nível do mar de 1 m, por efeito das alterações climáticas.
- A perda anual esperada (PAE) por efeito de inundações fluviais e marinhas, de acordo ao cenário de clima atual, subiria para cerca de 20 milhões de reais.
- O número de pessoas potencialmente afetadas pela ameaça de inundação em João Pessoa, em condições de clima atual, excede ligeiramente as 10.000 pessoas.
- O valor de reposição das infraestruturas e centros sociais alocados em zonas com susceptibilidade alta de deslizamentos alcança:
  - Rodovias: R\$ 425.000;
  - Redes de saneamento: R\$ 588.240;
  - Centros de saúde: R\$ 1.000.000; e
  - Centros escolares: R\$ 500.000.
- O valor estrutural, habitações e edifícios terciários e industriais associados, exposto à ameaça de deslizamentos, está na seguinte ordem de magnitude:
  - Susceptibilidade Alta: cerca de 90 milhões de reais; e

- Susceptibilidade Média: em torno aos 1.100 milhões de reais.

- O número de pessoas residentes em zonas com susceptibilidade média e alta de deslizamentos se eleva a algo mais de 19.000.

Bibliografia:

CAPRA – Metodologia de modelagem probabilista de riscos naturais;

FEMA Understanding your risks – Identifying hazards and estimating losses. FEMA 386-2, 2001.

ITC Multi-hazard risk assessment guide book: United Nations University – ITC School on Disaster Geoinformatiam Management, 2011

Messner et al., 2007 - Avaliating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods (T09-06-01). Messner et al., 2007. Editado na web [www.floodsite.net](http://www.floodsite.net).

SUBDERE - *Guía Análise de Riscos Naturais para o Ordenamento Territorial* publicada em 2011 pela Subsecretaria de Desenvolvimento Regional e Administrativo (SUBDERE) do Governo de Chile

## 8 Recomendações de gestão e/ou de engenharia

São abordados nesta seção, com maior detalhe, as recomendações de gestão e de engenharia em relação com as inundações, por derivar destas o principal risco na zona de estudo. Para o resto se riscos, de pequena repercussão, unicamente se efetuam recomendações gerais.

### 8.1 Recomendações relacionadas com as inundações fluviais

Da análise de inundações fluviais se desprende que, em geral, os canais se encontram deteriorados, supondo um risco para a população e para o ecossistema da zona. Por outro lado é necessário ter em conta as zonas inundáveis dos córregos não urbanos, à hora de levantar a ocupação futura de suas margens de uma forma racional nos níveis ambiental, hidráulico e formal.

Existe uma franja paralela ao canal diretamente afetada pela dinâmica fluvial submetida aos crescimentos e às estiagens, é uma zona fértil, rica e, às vezes, sensível, na qual o rio impõe suas condições físicas (regime hidráulico, estacionariedade e outras) e na qual é frequente observar mudanças significativas em períodos de tempo muito curtos. Esta superfície se define como margem.

Identifica-se pelo limite zona marginal, “a parte da planície de inundação que forma uma única unidade ambiental com o rio”. Os componentes físicos (biótopo) de um ecossistema estão estreitamente inter-relacionados com os elementos bióticos



(biocenoses) e portanto sua problemática deve ser analisada de forma conjunta.

O rio é um ecossistema natural, dotado de diversos cenários sobre os quais atuar, meio urbano, paisagem, etc.

As atuações em margens devem incorporar mais condicionantes que o de segurança estrutural, o de capacidade de deságue e o econômico. O entorno geomorfológico, os ecossistemas naturais, o médio urbano, a paisagem e a acessibilidade são alguns dos condicionantes cuja atenção melhora a qualidade final da margem tratada.

O conhecimento hidrológico das bacias estudadas nos informa, da magnitude e distribuição espacial e temporal de vazões em um lugar concreto da rede.

As atuações que se levantam nos córregos estudados se classificam em estruturais e não estruturais ou de gestão.

As atuações estruturais são todas as que exigem a execução de uma obra civil com o objeto de eliminar um problema já produzido no canal com um efeito imediato sobre ele, estas podem ser:

- Reservatórios de laminação.
- Correção e regulação de canais.
- Proteção de margens.
- Canalização de emergência e trasvases.
- Obras de drenagem.

As atuações não estruturais ou de gestão são aquelas que necessitam uma planificação previa, uma visão de longo prazo e a coordenação de diferentes organismos públicos para que estas sejam factíveis. Entre as distintas atividades que entram nesta classificação se encontram:

- Conservação de solos e reflorestamento.
- Zonificação e regulações legais.
- Implantação de um sistema de vigilância e controle
- Criação de um organismo sancionador e de uma legislação em acordo com a zonificação levantada

### 8.1.1 Atuações estruturais

Na maioria dos rios estudados foi detectada a incapacidade dos canais para conduzir as vazões de avenida sem transbordamentos, muito especialmente no rio Jaguaribe onde os assentamentos se encontram em zonas de fluxo preferencial, isto é, em zonas cuja seção hidráulica colabora no transporte de vazões de avenidas.

Portanto se encontram muitos deles com uma escassa seção hidráulica disponível ao encontrar-se constrangidos pelos assentamentos em suas margens, na mesma linha as estruturas de cruzamento dos caminhos que os atravessam não tem seção suficiente nem sequer para as avenidas correspondentes aos períodos de retorno mais baixos, em muitos casos nem sequer para os crescimentos ordinários, provocando uma sobre-elevação da lâmina de água e aumentando a zona inundável.

As atuações estruturais que resultam necessárias nos córregos estudados são a adequação dos canais e margens, a recolocação

das habitações afetadas e a ampliação das seções de cruzamento dos caminhos:

- Adequação dos canais e margens: Esta atuação tem uma dupla função, por um lado melhorar a capacidade de deságue do canal diminuindo a rugosidade e ampliando a seção onde seja necessário por um lado, e por outro por em valor os canais como uma via de comunicação para uso e desfrute da comunidade que pode ser inundada de forma excepcional para as avenidas maiores sem perigo para a população.



Figura 105. Exemplo de adequação de canal, margens e margens

- Ampliação das seções de cruzamento: Em geral as estruturas dos caminhos que cruzam os rios não tem capacidade suficiente, é necessário ampliar estas seções para evitar não só o corte da via no caso das avenidas, mas para evitar o efeito represa que produzem estes elementos, barrando a água, subindo o nível da lâmina de água e inundando as habitações mais próximas ao canal.
- Recolocação da população afetada situada nas margens dos canais. Esta atividade exige ações de gestão de grande envergadura pelo que é uma atividade estrutural e não estrutural ao mesmo tempo.

### ALGUNS EXEMPLOS DE ATUAÇÕES ESTRUTURAIS PROPOSTAS:

1. Rio Jaguaribe com R.. Estud. José Paulo Maia Filho

Dimensões: 2x(3x2.5) m<sup>2</sup>

Incapacidade: T 2.33 anos (Máximo Crescimento Ordinário)

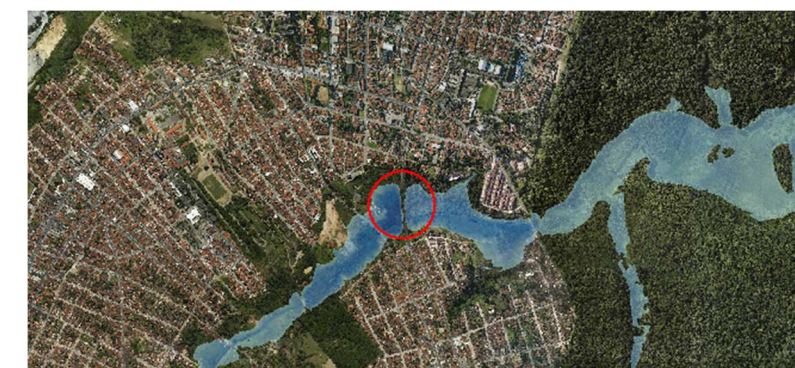


Figura 106. Alocação da atuação proposta nº 1

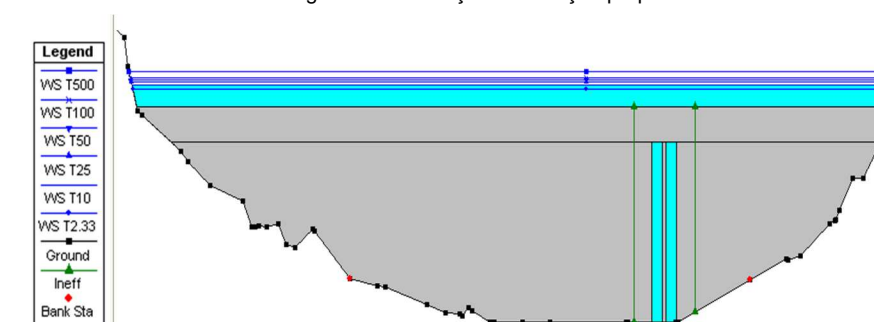


Figura 107. Incapacidade da seção de cruzamento para a Máximo crescimento ordinário (T2.33 anos). Modelo

Proposta de atuação: Eliminar a obra de drenagem transversal e substituir por ponte deixando livre ao menos 12 metros de largura no canal.

2. Comunidade de São José no rio Jaguaribe

Incapacidade: T 2.33 anos (Máximo crescimento ordinário)



Figura 108. Situação da comunidade de São José para uma vazão correspondente à Máximo crescimento ordinário (T 2.33 anos)



Proposta de atuação: Reassentamento de toda a comunidade de São José situada nas margens. Para chuvas superiores à Máximo crescimento ordinário o rio transborda escorrendo pelas ruas do bairro de Manaíra para o mar, é necessário canalizá-lo com muros e peitoril de concreto para diminuir a rugosidade na zona onde se encontra a comunidade na atualidade

3. R. Brasilino Alves da Nóbrega com o rio Cuiá

Dimensões: 3x(2x1) m<sup>2</sup>

Incapacidade: T 2.33 anos (Máximo crescimento ordinário)

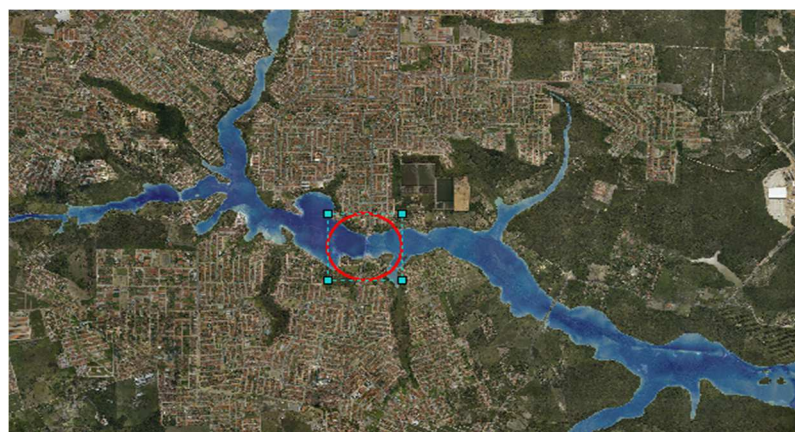


Figura 109. Alocação da atuação proposta nº 3

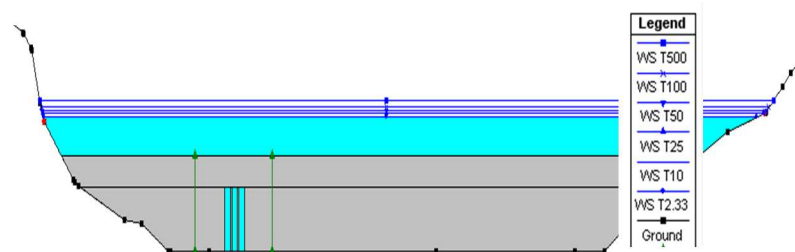


Figura 110. Incapacidade da seção de cruzamento para a Máximo crescimento ordinário (T2.33 anos). Modelo

Proposta de atuação: Eliminar a obra de drenagem transversal da estrada e substituir por ponte para aumentar a distância entre o canal e a via, aumentando desta forma a seção hidráulica.

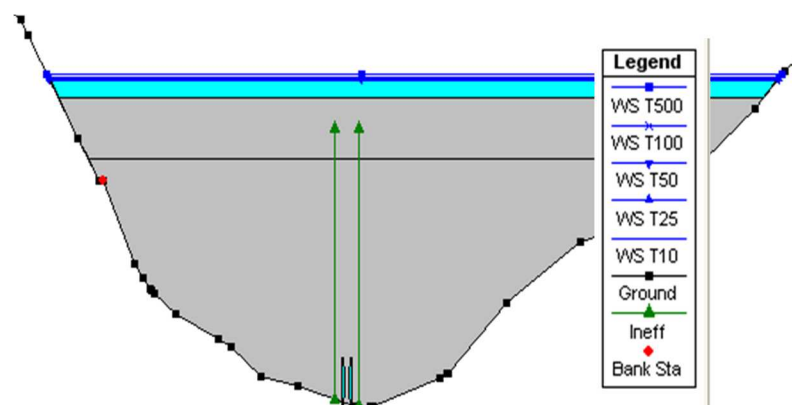
4. PB-008 com rio Aratú

Dimensões: 2x  $\phi$  0.8m

Incapacidade: T 2.33 anos (Máximo crescimento ordinário)



Figura 111. Alocação da atuação proposta nº 3



Proposta de atuação: Substituir os dois tubos por seção de ao menos 6 metros de largura

### 8.1.2 Atuações no estruturais

Nos córregos urbanos é muito difícil ordenar o território ao redor dos canais de forma que se permita o deságue das crescidas e é necessário como foi visto, executar ações estruturais nos próprios canais. Dentro das atuações não estruturais, a mais importante é a zonificação e a regulação legal das margens.

Nas bacias situadas fora do núcleo urbano, que ainda não estão desenvolvidas se deve ordenar de maneira racional o uso do território., de forma que as áreas mais expostas às inundações se destinem a atividades nas quais os danos potenciais não sejam muito importantes. Esta ordenação pode ser feita de forma direta e definitiva, mediante a proibição de implantar determinados usos, o em forma indireta obrigando, para permitir a relocação das instalações correspondentes, a dispor determinadas proteções e impondo coeficientes de seguridade e determinadas peculiaridades na construção de edifícios que, em qualquer caso, minimizem os perigos e danos potenciais.

A regulação consiste em diferenciar três zonas progressivamente menos sujeitas a limitações de uso, definindo-as, respectivamente, como zonas de proibição, restrição e precaução. A primeira –zona de proibição– corresponderia ao canal de avenidas ordinárias e dentro de seus limites se veta a construção de qualquer edifício ou obra. A zona de restrição, adjacente à anterior, é deixada inundada durante as avenidas extraordinárias, mas nela a água escorre muito lentamente, às vezes inclusive em sentido contrário ao normal, e contribui pouco ao deságue eficaz da inundação. Mesmo que não se impeça a construção de edifícios, nem outras obras, dentro de seus limites, se regulamentam as condições que devem observar-se em seu projeto e construção assim como as especificações dos materiais empregados; aos poucos se fixam as cotas mínimas por cima das quais devem situar-se as habitações permanentes e os locais de maquinaria custosa, armazéns de produtos caros e perigosos, etc. A zona de precaução é a mais distante do canal e corresponde àqueles lugares que poderiam ser alcançados por uma inundação de uma frequência extremadamente pequena e pouco provável, mas não impossível; não se impede construção de nenhum tipo de obras nem se impõem condicionamentos nos projetos, mas se informa aos proprietários que querem desenvolver alguma atividade em seu interior sobre a cota até a qual pode chegar o nível das águas:

- 1- **Canal natural:** É o terreno coberto pela águas nas máximos crescimentos ordinários. Considera-se como vazão no máximo crescimento ordinário, a média das máximas vazões anuais, em seu regime natural, ou a vazão para um período de retorno de 2.33 anos se o ajuste estatístico dos dados for realizado mediante a Lei de Gumbel. Considera-se zona de **proibição**
- 2- Entende-se por **margens** os terrenos que tangenciam com os canais. Deve-se manter uma zona de serviço de 5 metros e uma zona de vigilância de 100 metros, na qual se condicionará o uso do solo e as atividades, isto é, será zona de **restrição**.
- 3- A zona de **precaução** se identifica com as zonas que podem ser alcançados pela inundação com uma probabilidade muito baixa, estabelecendo esta com a zona inundável para 500 anos de período de retorno.



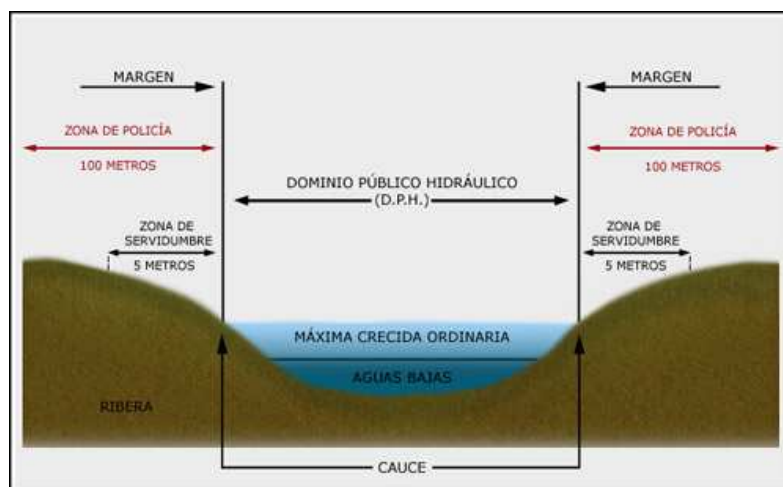


Figura 112. Zonas de proibição e de restrição.



Figura 113. Lâmina de inundação para a máximo crescimento ordinário e para um período de retorno de 500 anos

A zonificação e ordenação legal das margens não podem funcionar sem um **organismo competente** que se encarregue de

supervisionar estas zonas sensíveis. Por um lado, mediante a vigilância e controle das atividades realizadas nestas zonas, e por outro, mediante a criação de um mecanismo sancionador que não permita que a população faça um uso não adequado destes terrenos.

Por outro lado, a melhor forma de conseguir que esta zonificação seja um bem comum, respeitado por toda a população, é fazer com que a comunidade participe da gestão destes ecossistemas mediante a comunicação e a **informação** detalhada das vantagens que esta zonificação exige a nível ambiental e social por um lado e informar dos perigos que supõem não respeitar os usos permitidos nestes pontos por outro. isto é, tudo passa por efetuar as **campanhas de conscientização cidadã** pertinentes que podem chegar a todos os cidadãos que são o fim de todas as atividades.

**Tudo isso leva à necessidade de conseguir os seguintes objetivos:**

- Marco normativo para a regulação e zonificação das margens. Lei de Domínio Público Hidráulico.**
- Dotação administrativa que permita que se faça cumprir a lei mediante a vigilância e as medidas sancionadoras oportunas.**
- Divulgação e campanha de conscientização cidadã que faça partícipe a toda a população das vantagens e a necessidade de respeitar o Domínio Público Hidráulico.**

### 8.2 Recomendações relacionadas com as inundações costeiras

O clima de inundação costeira pode ser alterado nas próximas décadas por efeito da alteração climática (mudança na dinâmica marinha por elevação do nível médio do mar e mudança na frequência e severidade dos temporais), o que está relacionado aos eventos extremos da dinâmica marinha, às características geométricas e mecânicas das defesas costeiras e à topografia afetada pelos eventos de inundação.

Para a caracterização geométrica e mecânica das defesas costeiras: se requeria uma campanha de campo específica para uma definição correta deste fator, analisada em parte dentro do estudo de erosão costeira.

### 8.3 Recomendações respeito ao resto de riscos analisados

Desde o ponto de vista dos processos gravitacionais, a topografia da zona de estudo limita este tipo de processos a zonas muito discretas da mesma. Uma boa gestão e planificação urbanística, assim como um mínimo controle à hora da execução de taludes evitaria definitivamente a problemática nesta zona.

As atuais normativas de edificação do Brasil, limitam as zonas de edificação a zonas de pendentes moderadas. Apesar disso a problemática existe, razão pela qual o problema exige em uma fiscalização efetiva.

Quanto à erosão costeira, se pode indicar que a interação entre as zonas urbanas com o ambiente litoral exige uma perda da naturalidade da última dificultando a regeneração das praias. A urbanização das zonas de dunas, mais além dos acostamentos, priva ao meio litoral de uma zona de coleta e aporte de areia em épocas de máxima erosão, retardando a regeneração da praia e acrescentando os processos de erosão. Qualquer atuação deve se realizar analisando todas as variáveis do processo litoral (arrecifes, praias, zonas de erosão, zonas de acumulação e correntes) já que o desequilíbrio de uma delas (dragados na zona da plataforma litoral, estruturas de engenharia ou espigões) variará o equilíbrio da zona, modificando as correntes, variando as zonas de acumulação e transporte e transportando o problema de um ponto a outro.

Há que se ter em conta que a principal defesa ante ondulações fortes e pegadas de tormenta provém do arrecife existente localizado na plataforma litoral por o que sua proteção de um ponto de vista ecológico tem importantes implicações desde o ponto de vista do risco litoral.

A melhor ferramenta para a redução de riscos na zona litoral vem então de uma boa ordenação do território, unida a atuações de preservação do meio natural e de atuações de engenharia pontuais que limitem as afecções nas zonas expostas à erosão, por exemplo, uma delimitação da zona litoral suficiente que permita o funcionamento dinâmica litoral, favorecendo uma maior recuperação das praias após os processos erosivos periódicos que estas sofrem.





# ANEXOS







Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
Secretaria do Estado de Recursos Hídricos, Meio Ambiente e Ciência e Tecnologia – Superintendência de Desenvolvimento do Meio Ambiente	Base Cartográfica (ArcGIS ou Autocad) - 5 municípios		
	Mapas topográficos, curvas de nível, topônimos, assentamentos humanos redes viárias		x
	Mapas geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos		x
	Áreas protegidas, cadastro ambiental		x
	Rede hidrográfica, bacias, subbacias e bacias hidrográficas		x
	Dados meteorológicos e climáticos: dados de precipitação (séries de dados, isoietas de precipitação) e medidas de fluxo de água		x
	Vegetação, tipos de solo		x
	Informação cartográfica e Modelo Digital do Terreno (MDT)		x
	Evolução da mancha urbana		x
	Todas as áreas de APP		x
	Documentação e Planos e Programas Existentes		
	Zoneamento Ecológico Econômico do Litoral Sul (diagnóstico e seus mapas);		x
	Gerenciamento Costeiro (diagnóstico e seus mapas);		x
	Diagnóstico e dados do Programa Estadual de Combate a Desertificação;		x
	Programa de Resposta a Acidentes Rodoviários ligados à Produtos Químicos;		x
	Plano de Emissão Veicular;		x

Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
SEMAM - Prefeitura João Pessoa	Projeto do Porto Privado;		x
	Programa de Gestão de Riscos e Respostas a Desastres do PPA- 2012 a 2015;		x
	Diagnóstico Florestal;		x
	Planos de Manejo: APA Costa dos Corais, Parque Estadual Marinho de Areia Vermelha, Jardim Botânico Bejamin Maranhão e Parque Estadual da Mata do Xem-Xem.		x
	Licenciamento de obras e grandes empreendimentos nos municípios de João Pessoa, Cabedelo, Santa Rita, Lucena, Conde e Bayaeux;		X
	Informações e dados sobre a termoeletrica na região metropolitana de João Pessoa		x
	Base Cartográfica (ArcGIS ou Autocad)		
	Mapas topográficos, curvas de nível, topônimos, assentamentos humanos redes viárias;		
	Mapas geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos;		
	Áreas protegidas, cadastro ambiental;		
	Rede hidrográfica, bacias, subbacias e bacias hidrográficas;		
	Dados meteorológicos e climáticos: dados de precipitação (séries de dados, isoietas de precipitação) e medidas de fluxo de água;		
	Vegetação, tipos de solo;		
	Informação cartográfica e Modelo Digital do Terreno (MDT)		
	Evolução da mancha urbana		

Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
CAGEPA e AESA	Todas as áreas de APP;		
	Fotos aéreas históricas do município e imagens de satélite e imagens de radar – SRTM Shuttle Radar Topography Mission	x	históricas
	Documentação e Planos e Programas Existentes		
	Dados sobre licenciamento ambiental municipal		x
	Cadastro de atividades representativas por setor (comércios, instituições, construções, residências)		x
	Relatórios, dados e informações sobre o transporte público no município		X
	Dados do Sistema de Áreas Verdes Protegidas		x
	Base Cartográfica (ArcGIS ou Autocad) - 5 municípios		
	Rede hidrográfica, bacias, subbacias e bacias hidrográficas;		x
	Localização dos poços artesanos		x
	Localização de todas as estações elevatórias		x
	Mapa de geologia e geotecnia		x
	Mapa com localização de toda infraestrutura instalada, em projeto e em obras		x
	Documentação e Planos e Programas Existentes		
	Projeto do Rio São Francisco		x
	Relatórios de descrição dos sistemas de abastecimento de água e de saneamento		x





Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
	Relatório sobre o Canal de Vertentes		x
	Dados municipais da rede e cobertura de água e esgoto (e formas de tratamento) em uma série histórica		x
	Informação sobre pontos de qualidade de nível nacional		x
	Relatórios de geologia e geotecnia existentes (projetos de expansão dos dutos e da rede)		x
	Projetos de expansão da rede e das estações de tratamento nos municípios do estudo		x
	Relatórios de monitoramento das ETES, desde 2010		x
	Dados de vazão e de colunas d'água, em série histórica		x
	Dados de quantificação dos efluentes produzidos e caracterização (composição)		x
	Dados de hidrogeologia dos municípios (dados de permeabilidade, transmissibilidade, e coeficiente de armazenamento dos aquíferos)		x
	Dados históricos de demanda de água e previsões futuras		x
	Lista de pontos de armazenamento e tratamento de águas/esgoto em pedreiras ou em pressões naturais		x
	Dados de quantidade produzida, caracterização e disposição final do lodo produzido nas ETES		x
	Relatórios, estudos ou informações disponíveis acerca do tratamento de esgoto utilizados por aqueles que não são atendidos pela rede		x
	Relatórios, estudos e informações sobre o tratamento atualmente utilizado nas ETES		X

Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
SEMOB/SEPLAN/SEMAM Prefeitura João Pessoa	Relatórios, estudos e informações sobre o planejamento e a definição de metas para o setor de saneamento		x
	Base Cartográfica (ArcGIS ou Autocad)		
	Mapas topográficos, curvas de nível, topônimos, assentamentos humanos redes viárias;	x	Pavimentação
	Mapas geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos;	x	
	Áreas protegidas, cadastro ambiental;	x	
	Rede hidrográfica, bacias, subbacias e bacias hidrográficas;	x	
	Vegetação, tipos de solo;	x	
	Informação cartográfica e Modelo Digital do Terreno (MDT)	x	
	Evolução da mancha urbana	x	
	Todas as áreas de APP	x	
	Plano Diretor Municipal (macrozoneamento, usos do solo, zoneamento, entre outros)	x	
	Infraestrutura instalada		Esgotamento San./Saúde/ Ensino/Praças
	Lotes, parcelas, quadras, viário		Bairros/ Limites/ Quadras
	Dados de densidade populacional/ bairro ou lote	x	
	Dados de renda/ bairro ou lote	x	
	Informação cartográfica de outros municípios	x	

Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
	Fotos aéreas de diferentes épocas (1989 – escala 1:8000, 1990 e 2012)	x	
	Mapeamento das áreas de risco e encostas	x	
	Áreas de manguezais	x	
	Mapeamento das ZEIS		ZEIS/Comunidades
	Mapa de geologia e tipos de solos	x	
	Mapa de uso do solo (a partir de 2010)	x	
	Documentação e Planos e Programas Existentes		
	Estudos geológicos e geotécnicos de João Pessoa (Euziram)		x
	Projeto Orla Municipal		x
	Projeto da Falésia do Cabo Branco		x
	Dados e quantificação de veículos e quantidade de combustível		x
	Identificação das empresas fornecedoras de combustível		x
	Informações sobre a Matriz Energética		x
	Quantificação das áreas verdes municipais (2008)		x
	Inventário da vegetação fixadora nos níveis arenosos		x
	Localização das áreas potenciais para Unidades de Conservações		x
	Projetos de BRT e BRS		x
	Dados da Pesquisa Origem-Destino e outros dados deste		x





Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
	mesmo estudo		
	Diagnóstico e Lei do Plano Diretor Atual		x
	Estremo Oriental ICMBio		x
	Dados desagregados do IBGE (bairros e lotes)		x
	Mapa das comunidades. 1/34.000 - JPEG	x	
	Mapa da rede de esgoto. 1/34.000 - JPEG	x	
	Mapa de Densidade por Bairros-2010. 1/34.000 - JPEG	x	
	Mapa da Pavimentação. 1/35.000 - JPEG	x	
	Mapa das praças municipais. 1/35.000 -- JPEG	x	
	Mapa das zonas especiais de interesse social. ZEIS. 1/34.000 - JPEG	x	
	Mapa de macrozoneamento. 1/34.000 - JPEG	x	
	Mapa de rede de ensino. 1/34.000 - JPEG	x	
	Mapa da população por bairro-2010. 1/34.000 - JPEG	x	
	Mapa das comunidades. 1/110.000 - JPEG	x	
	Mapa da rede de esgoto. 1/115000 - JPEG	x	
	Mapa de Densidade por Bairros. 1/114.674 - JPEG	x	
	Mapa da Pavimentação. 1/114.000 - JPEG	x	
	Mapa das praças municipais. 1/114.000 - JPEG	x	

Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
	Mapa das zonas especiais de interesse social. ZEIS. 1/114.000 - JPEG	x	
	Mapa de zoneamento - JPEG	x	
	Mapa de rede de ensino. 1/114.000- JPEG	x	
	Mapa de população por bairro. 1/125.000 - JPEG	x	
	Relatórios, dados e informações sobre o transporte público no município		x
Companhia Docas da Paraíba	Documentação e Planos e Programas Existentes		
	Plano Diretor do Porto (PDZ, 2008)		x
	Dados sobre movimentação, tipo de cargas e distribuição das mesmas (inclusive containers) - relatórios mensais		x
	Dados sobre resíduos, composição e forma de tratamento		x
	Informações do fluxo de caminhões dentro do porto		x
	Estudos de hidrologia e hidrotecnia do Porto e áreas da costa que possam disponibilizar		x
	Fotos aéreas, inclusive uma série histórica		x
	Relatório de Desastres Naturais		x
	Mapa com área de canal, fundeio e área de dragagem		x
Empresa Municipal de Limpeza e Urbanização	Documentação e Planos e Programas Existentes		
	Relatórios e dados sobre lixo doméstico desde 2010.		x
	Planilha de composição do resíduo por bairro (série		x

Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
	histórica).		
	Informações e dados sobre as usinas de beneficiamento.		x
	Relatórios sobre monitoramento de emissão de gases, águas superficiais e subterrâneas.		x
	Relatórios, dados e informações sobre a queima de metano no aterro de João Pessoa		X
	Relatórios/documentos com planejamento e metas para o futuro		X
	Estudo e Plano de Limpeza Congêneres.		x
	Dados sobre monitoramento das águas superficiais do entorno do Roger.		x
	Outros dados sobre Roger.		x
	Relatórios mensais de monitoramento do Aterro Sanitário.		x
Prefeitura Municipal de Cabedelo	Base Cartográfica (ArcGIS ou Autocad)		
	Quadras		x
	Lotes		x
	Viário		x
	Edificações		x
	Áreas Verdes		x
	Hidrografia		x
	Mapas do Plano Diretor		x
	Mapas do Projeto Orla		x
	Documentação e Planos e		





Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
	<b>Programas Existentes</b>		
	Mapas e Relatório do Plano Diretor Municipal com mapas de uso e ocupação do solo		x
	Diagnóstico prévio do Plano Diretor		x
	Projeto Orla e seus respectivos mapas		x
	Projeto de Medidas de Mitigação para o antigo Lixão Municipal		x
	Cadastro de atividades representativas por setor (comércios, instituições, construções, residências)		X
	Relatórios, dados e informações sobre o transporte público no município		x
	Estudos geológicos e geotécnicos existentes para o município		x
Prefeitura Municipal de Santa Rita	<b>Documentação e Planos e Programas Existentes</b>		
	Plano Municipal de Habitação de Interesse Social (seu diagnóstico e mapas associados)		x
	Listagem das indústrias do município		x
	Listagem e caracterização das usinas do município		x
	Estudo Preliminar para o Rio Preto (com seus estudos geológicos e geotécnicos)		x
	Demais estudos geológicos e geotécnicos disponíveis		x
	Demais estudos de emissões atmosféricas, poluição e contaminação disponíveis		x
	Cadastro de atividades representativas por setor (comércios, instituições, construções, residências)		X

Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
Prefeitura Municipal de Conde	Relatórios, dados e informações sobre o transporte público no município		x
	Cartografia em formato Autocad ou ArcGIS que se encontre disponível		x
	<b>Documentação e Planos e Programas Existentes</b>		
	Plano Diretor Municipal atual (seus mapas, de preferencialmente em Autocad ou ArcGIS).		x
	Projeto Orla (seus mapas, de preferencialmente em Autocad ou ArcGIS).		x
	Listagem e caracterização das indústrias instaladas.		x
	Dados e informações sobre antigo "lixão" municipal.		x
	Diagnóstico do Plano de Saneamento Municipal.		x
	Dados e relatórios de monitoramento dos rios e mananciais.		x
	Cadastro de atividades representativas por setor (comércios, instituições, construções, residências)		X
	Relatórios, dados e informações sobre o transporte público no município		x
	Dados e quantificação dos taxis e moto-taxis.		x
	<b>Base Cartográfica (ArcGIS ou Autocad) - 5 municípios</b>		
	Unidades de conservação existentes (nacional, estadual e municipal)		x
ICMBio	Bacias hidrográficas		x
	Áreas de manguezais		x

Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
	Sistema viário existente		x
	Rede de esgoto e água existente		x
	Áreas de risco (inundação, deslizamento, erosão)		x
	Áreas prioritárias de preservação		x
	Mapas geológicos e geotécnicos		x
	Malha de afloramento do estuário		x
	Projeto Extremo Oriente das Américas		x
	Fotos aéreas (série histórica)		x
	Modelo digital do terreno (topografia)		x
	<b>Documentação e Planos e Programas Existentes</b>		
	Estudos de taxa de sedimentação		x
	Dados e relatórios de monitoramento de água e do solo do Rio Paraíba		x
	Inventário florestal da região		x
	Estudos sobre captura de GEE nos mangues		X
	Dados e relatórios dos dois analisadores de CO2 de gases de efeito estufa.		x
Secretaria Municipal de Habitação/ Secretaria Municipal de Defesa Civil/ Secretaria Municipal de Desenvolvimento Social - Prefeitura João Pessoa	<b>Base Cartográfica (ArcGIS ou Autocad)</b>		
	Levantamento das áreas de risco		x
	<b>Documentação e Planos e Programas Existentes</b>		





Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
	Topografia Social 2009		x
	Perfil da população das áreas de risco		x
	Dados quantitativos sobre recebimento de população rural (êxodo rural)		x
	Projetos de urbanização e das unidades habitacionais que estão sendo desenvolvidos e implantados.		x
	Estudo de 2008 com classificação das comunidades e áreas de ZEIS do município.		x
	Plano Municipal de Habitação (com mapas e dados georreferenciados, de preferência, em formato ArcGIS)		x
	Levantamento das áreas de risco em formato ArcGIS		x
	Projeto da Falésia do Cabo Branco		x
	Relatório da CPRM de João Pessoa		x
	Relatórios e informações sobre modelos construtivos para obras estatais		X
	Dados históricos das áreas com desastres naturais e medidas de mitigação.		x
Prefeitura Municipal de Bayeux	Base Cartográfica (ArcGIS ou Autocad)		
	Fotos aéreas (atuais e históricas)		x
	Sistema viário atual		x
	Quadras		x
	Lotes		x
	Edificações		x

Instituição	Informação Solicitada	Recebida	Pendente
	Áreas Verdes		x
	Hidrologia		x
	Áreas de Mangue		x
	Áreas de Risco		x
	Topografia		x
	Mapas do Plano Diretor Municipal		x
	Mapas do Plano de Habitação		x
	Documentação e Planos e Programas Existentes		
	Plano Diretor Municipal (seus mapas correspondentes)		x
	Código de Postura		x
	Código de Obras		x
	Código de Urbanismo		x
	Código de Meio Ambiente		x
	Listagem e classificação das indústrias existentes		x
	Cadastro de atividades representativas por setor (comércios, instituições, construções, residências)		x
	Relatórios, dados e informações sobre o transporte público no município		x
	Dados disponíveis sobre o antigo "lixão" municipal		x
	Dados e mapas de geologia e geotecnia disponíveis		x
	Plano Municipal de Habitação Social	x	



## 1 Introdução

Para determinar la peligrosidad asociada a inundaciones fluviales se hace necesario realizar un estudio hidrológico que determine los caudales en cada sección de los ríos a estudiar. Para ello se debe estimar la capacidad de retención de la cuenca como función del tipo de suelo (geología) y del uso del mismo (cobertura) por un lado, y por otro determinar la probabilidad de que suceda un determinado evento de lluvia. De esta forma se obtiene para cada probabilidad de ocurrencia un caudal en cada sección de cauce estudiada.

## 2 Método de abstracciones

Para conocer el volumen de precipitación que se convierte en escorrentía, es necesario conocer el volumen de agua que se intercepta, infiltra, almacena, evapora y transpira para descontarlo del total de precipitación. La interceptación y almacenamiento superficial representan el almacenamiento de agua por árboles y vegetación, depresiones locales en la superficie de la tierra, fisuras o hendiduras en suelos o techos y superficies donde el agua no puede escurrir libremente.

La infiltración representa el movimiento de agua hacia áreas bajo la superficie terrestre. La infiltración, interceptación, almacenamiento, evaporación y transpiración, en conjunto, conforman las pérdidas de precipitación (USACE, 2009).

Para calcular estas pérdidas existen diferentes métodos; uno de los más utilizados es el método del número de curva (CN) del Soil Conservation Service (SCS). En este método, se establece que para un evento de precipitación, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa  $P_e$  es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación  $P$ ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca  $F_a$  es menor o igual a alguna retención potencial máxima  $S$ . Existe una cierta cantidad de precipitación  $I_a$  (abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es  $P - I_a$ . La hipótesis del método del número de curva consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir (Chow, 1994):

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

A continuación se describen los conceptos de número de curva, retención potencial máxima y pérdidas por interceptación, que se utilizan en el método del número de curva.

### Número de Curva, CN:

El SCS elaboró curvas con la relación entre escorrentía directa  $P_e$  y precipitación  $P$ . Para superficies impermeables, el número de

curva, CN, es igual a 100. Para otras superficies, CN es menor que 100 (Chow, 1994).

Se han elaborado tablas para obtener el CN según los siguientes aspectos:

- Condiciones de humedad antecedente, con base en la lluvia anterior de 5 a 30 días.
  - Condición AMC(I): Suelo seco. No aplicable a crecida de proyecto. Caudales bajos.
  - Condición AMC(II): Suelo medio. Asociado a crecidas anuales o promedios.
  - Condición AMC(III): Suelo húmedo. Crecidas máximas. Caudales altos.
- Tipo de terreno: se refiere al uso del suelo, la cubierta vegetal y las prácticas de cultivo.
  - Poca densidad de vegetación: Condición que conduce a mayores valores de CN y mayores valores de escorrentía.
  - Alta densidad de vegetación: Condición que conduce a menores valores de CN y menores valores de escorrentía.
- Condiciones hidrológicas de los suelos. Existe una clasificación según las condiciones hidrológicas de los suelos que se resume en la siguiente tabla.

Grupo	Infiltración	CN	Q	Tipo de suelo
A	Alta	Muy bajo	Muy bajo	Arena
B	Moderada	Bajo	Bajo	+Arena - Arcilla
C	Lenta	Alto	Alto	-Arena + Arcilla
D	Muy lenta	Muy alto	Muy alto	Arcilla

Tabla 2 Clasificación de las condiciones hidrológicas de los suelos según su tipo. Fuente: Chow, 1994

Ven Te Chow (1994) propone una de estas tablas, donde según el

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada				
Sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
Con tratamientos de conservación	62	71	78	81

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Pastizales					
Condiciones pobres		68	79	86	89
Condiciones óptimas		39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques					
Cubierta pobre, sin hierbas		45	66	77	83
Cubierta buena		25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios					
Condiciones óptimas: 75% de pasto o más		39	61	74	80
Condiciones aceptables: 50-75% de pasto		49	69	79	84
Áreas comerciales (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial					
Tamaño	% impermeable				
1/8 acre	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
Pavimentos con cuneta y alcantarillado		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
		72	82	87	89



Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra				

Tabla 3. Número de curva para condición antecedente de humedad II según el uso del suelo y su grupo hidrológico. Tomado de Chow, 1994.

Para calcular el número de curva para una condición antecedente de humedad diferente a la II, se utilizan las siguientes expresiones (Chow, 1994):

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

#### Retención potencial máxima, S

Es la máxima precipitación absorbida por la cuenca.

S se relaciona con el número de curva CN de escorrentía mediante la siguiente fórmula:

$$CN = \frac{1000}{(10 + S)}$$

Para áreas impermeables, S = 0 y CN = 100. Para área sin escurrimiento, S = ∞ y CN = 0.

#### Pérdidas por intercepción, Ia

Es el almacenamiento en superficie e infiltración antes de presentarse la escorrentía. Para elevada precipitación, ésta se hace igual a la escorrentía. Por experiencia, se tiene que las pérdidas por infiltración la son el 20% de la retención potencial máxima S, así (Chow, 1994):

$$I_a = 0.2S$$

#### Relación entre el coeficiente de escorrentía y el número de curva

Por definición, el coeficiente de escorrentía medio final de un aguacero vale

$$C = \frac{E_s}{P}$$

La escorrentía superficial (ES) que genera cualquier aguacero (P) se puede cuantificar mediante el método del Número de Curva.

Admitiendo la relación habitual  $I_a = P_0 = 0.2 \cdot S$  se tiene que:

$$E_s = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4 \cdot P_0} \quad \text{si} \quad P > P_0$$

Sustituyendo en el cociente de C se tiene

$$C = \frac{E_s}{P} = \frac{\left(\frac{P}{P_0} - 1\right)^2 \cdot P_0^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot P_0}$$

Y a su vez, el umbral de escorrentía  $P_0$  es función del número de curva:

$$P_0 = 0.2 \cdot \frac{25400 - 254 \cdot N}{N} = \frac{5080 - 50.8 \cdot N}{N}$$

Se observa cómo el coeficiente de escorrentía depende de la precipitación analizada y del Número de Curva.

Se muestra a continuación el Número de Curva para antecedente de humedad II obtenido en función de los parámetros explicados, el uso del suelo y el tipo de suelo frente al drenaje:

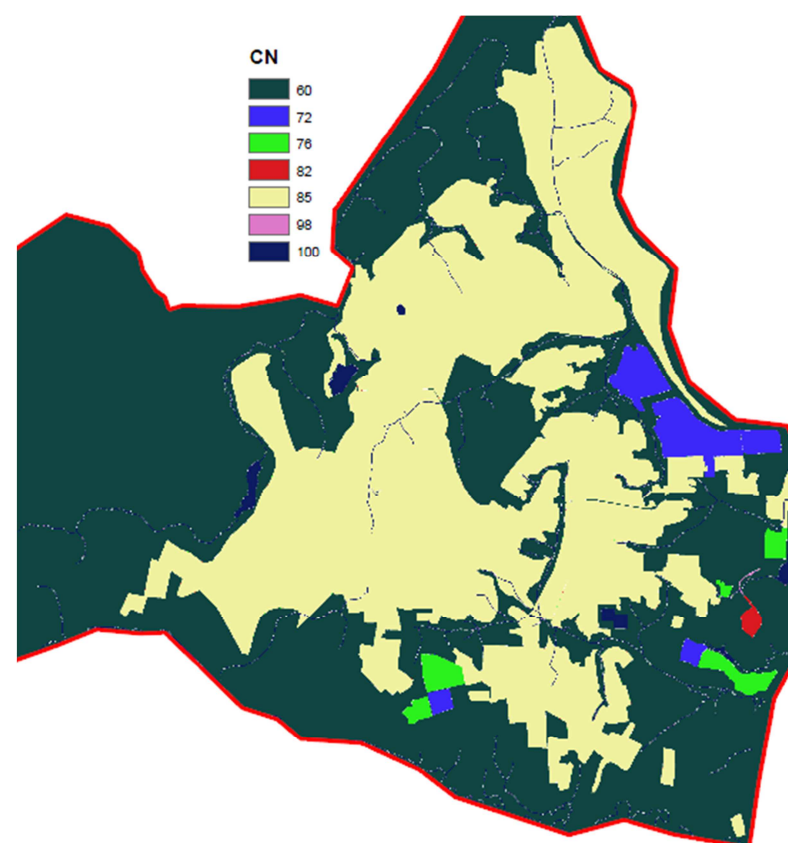


Figura 1. Número de Curva para antecedente de humedad II según la metodología del SCS en João Pessoa

### 3 Pluviometría

La Universidad Federal de Paraíba ha analizado las precipitaciones históricas realizando un ajuste estadístico en el documento “Chuvvas intensas no Estado da Paraíba”

En este documento se obtiene la relación Intensidad Duración Frecuencia en la zona, así como los parámetros a tener en cuenta en función de la cuenca de estudio.

La ecuación general usada en este documento es la siguiente (Bernard, 1930):

$$i = \frac{K \cdot T^m}{(t + B)^n}$$

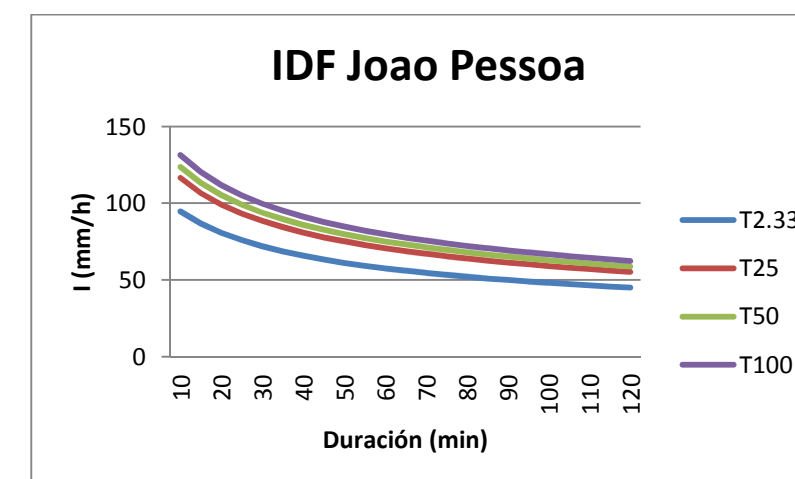
Donde i es la intensidad máxima en mm/h; T expresa la frecuencia en términos de tiempo de recurrencia en años; t es la duración de la lluvia en minutos; B, n, m y K son constantes locales.

Para la determinación de los coeficientes de la ecuación anterior se han analizado los datos de lluvia de 15 estaciones en Paraíba, 14 del banco de datos de SUDENE y 1 operado por la Universidade Federal da Paraíba.

El análisis de frecuencia de las series históricas para una duración dada fue realizado por el método de ajuste de Gumbel.

Como resultado del ajuste anterior se obtuvieron los coeficientes de la ecuación general para João Pessoa:

$$i = \frac{290 \cdot T^{0.087}}{(t + 10)^{0.398}}$$



### 4 Cálculo del tiempo de concentración de las cuencas

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir



del cual el caudal de escorrentía es constante, al tiempo que máximo; el punto hidrológicamente más alejado es aquél desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida.

Existen diversas ecuaciones para calcular el tiempo de concentración de una cuenca, se proponen tres de uso muy extendido, tomándose como valor para este estudio el valor promedio de las tres ecuaciones consideradas, estas son:

#### Ecuación de Témez

$$T_c = 0,30 \left( L / S^{0,25} \right)^{0,75}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en horas.

L: Longitud del cauce principal en km.

S: Pendiente del cauce principal en %.

#### California Culverts Practice

$$T_c = (11,9 \cdot L^3 / H)^{0,385}$$

Donde:

Tc : Tiempo de concentración en horas.

L : Longitud del cauce principal en millas.

H : Diferencia de cota en la divisoria y sitio de interés, en pies.

#### Ecuación de SCS – Ranser

$$T_c = 0,947 \left( L^3 / H \right)^{0,385}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en horas.

L: Longitud de la cuenca en km.

H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente principal en m.

Cuenca	Datos geométricos				
	Área (Km <sup>2</sup> )	Longitud (Km)	Cota sup.	Cota inf.	Pdte (%)
Aratú	4.13	3.38	40	0	1.18
Cabelo	9.63	6.23	44	0	0.71
Cuiá	39.68	1.52	62	0	4.08
Jaguaribe	45.18	6.69	50	0	0.75

Figura 2. Datos geométricos de los principales ríos de Joao Pessoa

Cuenca	Tiempo de concentración (h)			
	Témez	California C. Practice	SCS-Ranser	Promedio
Aratú	0.72	0.93	0.93	0.86
Cabelo	1.26	1.83	1.82	1.64
Cuiá	0.32	0.31	0.31	0.31
Jaguaribe	1.32	1.89	1.89	1.70

Figura 3. Tiempos de concentración de los principales ríos de Joao Pessoa

## 5 Cálculo de los caudales de creciente. Transformación lluvia-escorrentía

El tipo de suelo en la clasificación drenante corresponde con el tipo B, al estar conformado principalmente por arenas, arenas arcillosas en menor cuantía y sedimentos aluvionares.

El método racional, presenta una concepción sencilla y determinista, siendo el caudal:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

Donde,

Q: Caudal correspondiente al periodo de diseño (m<sup>3</sup>/s)

I: Intensidad de la precipitación correspondiente al tiempo de concentración de la cuenca (mm/h)

A: Área de drenaje (Km<sup>2</sup>)

C: Coeficiente de escorrentía (Adimensional)

En las siguientes tablas se muestran el caudal de cálculo obtenido para las distintas secciones de control de cada río y en la desembocadura

Resumen de caudales						
Cuenca	Q <sub>2.33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>25</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>500</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Aratú	27.54	34.59	39.69	43.93	48.51	60.62

Figura 4. Caudales para cada periodo de retorno en el río Aratú

Resumen de caudales						
Cuenca	Q <sub>2.33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>25</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>500</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Cabelo	56.17	69.87	79.75	87.93	96.75	119.98
1	37.95	45.49	50.82	55.19	59.87	72.01
2	39.04	47.50	53.54	58.51	63.83	77.74
3	6.68	8.06	9.05	9.85	10.72	12.97
4	42.66	52.07	58.79	64.32	70.26	85.79
5	18.07	21.85	24.53	26.73	29.08	35.22

Figura 5. Caudales para cada periodo de retorno en el río Cabelo

Resumen de caudales						
Cuenca	Q <sub>2.33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>25</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>500</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Cuiá	151.69	192.18	221.64	246.18	272.79	343.34
2	59.04	72.96	82.95	91.22	100.12	123.49
1	87.32	105.95	119.22	130.12	141.81	172.30
3	165.43	204.18	232.00	254.98	279.74	344.70
4	23.97	29.25	33.01	36.11	39.44	48.13
5	156.26	195.60	224.05	247.66	273.18	340.53
6	19.10	24.04	27.62	30.59	33.82	42.34

Figura 6. Caudales para cada periodo de retorno en el río Cuiá

Resumen de caudales						
Cuenca	Q <sub>2.33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>25</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>500</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Jaguaribe	127.05	160.41	184.64	204.80	226.65	284.49
1	80.64	96.55	107.81	117.02	126.88	152.46
2	25.20	31.16	35.45	38.99	42.81	52.84
3	104.77	129.86	147.92	162.85	178.96	221.29
4	44.01	54.16	61.45	67.46	73.93	90.89
5	16.17	19.75	22.31	24.41	26.67	32.58
6	49.89	62.20	71.09	78.45	86.40	107.35
7	115.49	145.98	168.13	186.57	206.56	259.51
8	28.30	34.04	38.11	41.45	45.02	54.30

Figura 7. Caudales para cada periodo de retorno en el río Jaguaribe

Resumen de caudales					
Cuenca	Q <sub>2.33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>25</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>500</sub> (m <sup>3</sup> /s)
Mares	88.54	141.65	160.94	182.17	239.72
1	33.69	53.71	60.98	68.96	90.60
2	32.34	45.90	50.60	55.67	69.03
3	37.79	50.81	55.24	59.98	72.29
4	64.23	105.86	121.13	138.02	184.12
5	57.56	94.37	107.85	122.74	163.35

Figura 8. Caudales para cada periodo de retorno en el río Marés

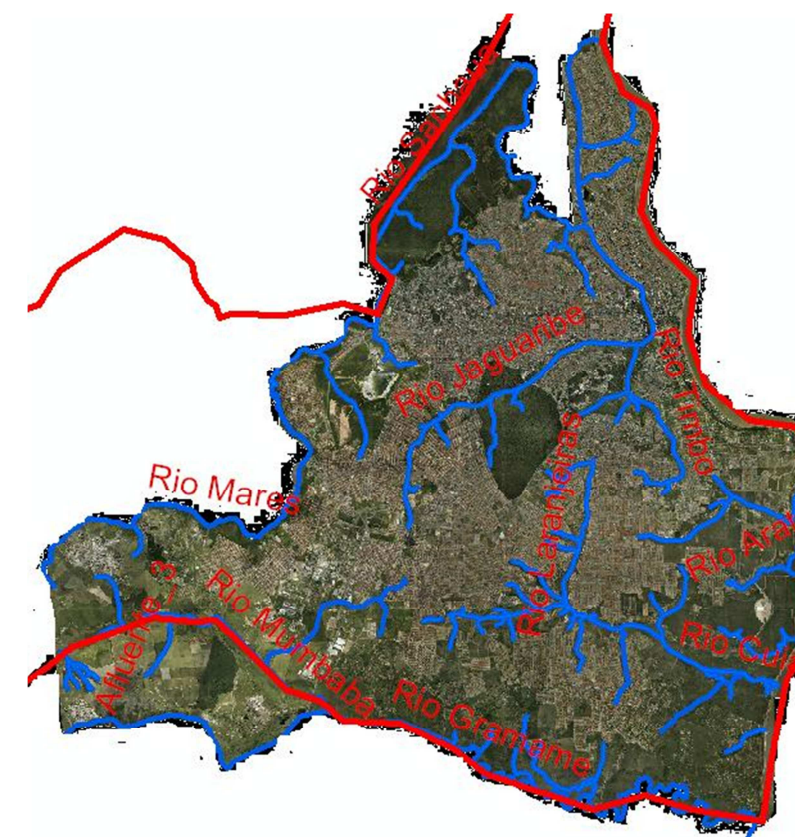


Figura 9. Ortofoto con la situación de los ríos de la zona de estudio



### 5.1 Caudales río Marés

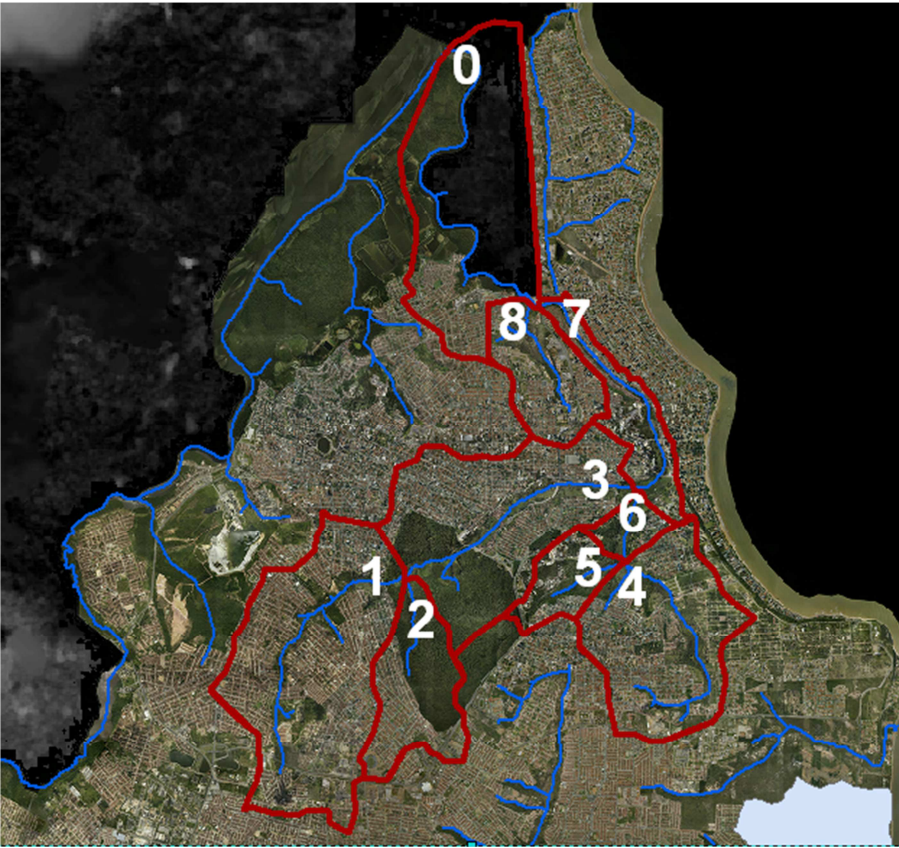


Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 50 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Mares	50.00	45.89	67.49	82.68	53.20	10.64	0.31	160.94
1	50.00	59.69	61.80	78.82	68.26	13.65	0.31	60.98
2	50.00	74.54	71.03	84.94	45.04	9.01	0.52	50.60
3	50.00	92.55	77.02	88.52	32.95	6.59	0.67	55.24
4	50.00	45.00	65.63	81.45	57.83	11.57	0.27	121.13
5	50.00	47.26	64.91	80.97	59.70	11.94	0.28	107.85

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 100 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Mares	100.00	48.74	67.49	82.68	53.20	10.64	0.33	182.17
1	100.00	63.40	61.80	78.82	68.26	13.65	0.33	68.96
2	100.00	79.18	71.03	84.94	45.04	9.01	0.54	55.67
3	100.00	98.31	77.02	88.52	32.95	6.59	0.69	59.98
4	100.00	47.79	65.63	81.45	57.83	11.57	0.29	138.02
5	100.00	50.19	64.91	80.97	59.70	11.94	0.30	122.74

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 500 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Mares	500.00	56.07	67.49	82.68	53.20	10.64	0.37	239.72
1	500.00	72.92	61.80	78.82	68.26	13.65	0.38	90.60
2	500.00	91.08	71.03	84.94	45.04	9.01	0.58	69.03
3	500.00	113.08	77.02	88.52	32.95	6.59	0.72	72.29
4	500.00	54.98	65.63	81.45	57.83	11.57	0.34	184.12
5	500.00	57.74	64.91	80.97	59.70	11.94	0.34	163.35

### 5.2 Caudales ríos Jaguaribe – Timbó – Mandacaru



Cuenca	Datos geométricos					Tiempo de concentración (h)			
	Área (Km²)	Longitud (Km)	Cota sup.	Cota inf.	Pdte (%)	Témez	California C. Practice	SCS-Ranser	Promedio
Mares	41.24	15.58	68.8	-0.4	0.44	2.74	4.42	4.42	3.86
1	11.84	7.43	68.8	19.5	0.66	1.46	2.14	2.14	1.91
2	4.69	4.30	52.9	-0.4	1.24	0.86	1.11	1.10	1.02
3	3.20	2.32	52.7	0.1	2.27	0.48	0.54	0.54	0.52
4	35.61	16.33	68.8	-0.5	0.42	2.86	4.67	4.66	4.06
5	29.58	14.53	68.8	-0.4	0.48	2.57	4.08	4.08	3.57

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 25años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Mares	25.00	43.20	67.49	82.68	53.20	10.64	0.29	141.65
1	25.00	56.19	61.80	78.82	68.26	13.65	0.29	53.71
2	25.00	70.18	71.03	84.94	45.04	9.01	0.50	45.90
3	25.00	87.14	77.02	88.52	32.95	6.59	0.66	50.81
4	25.00	42.36	65.63	81.45	57.83	11.57	0.25	105.86
5	25.00	44.49	64.91	80.97	59.70	11.94	0.26	94.37



Cuenca	Datos geoméritos					Tiempo de concentración (h)			
	Área (Km <sup>2</sup> )	Longitud (Km)	Cota sup.	Cota inf.	Pdte (%)	Témez	California C. Practice	SCS-Ranser	Promedio
Jaguaribe	45.18	22.13	50	0	0.23	4.05	7.52	7.51	6.36
1	9.93	6.62	50	7	0.65	1.34	1.98	1.98	1.77
2	3.45	3.94	49	7	1.07	0.83	1.09	1.09	1.01
3	21.67	11.00	50	1.8	0.44	2.12	3.40	3.40	2.97
4	6.44	5.24	44	3	0.78	1.09	1.54	1.54	1.39
5	1.61	2.34	50	3	2.01	0.50	0.57	0.57	0.55
6	8.92	6.46	44	1.8	0.65	1.32	1.94	1.93	1.73
7	33.01	15.45	50	1.5	0.31	2.90	5.02	5.02	4.31
8	2.94	3.80	44	1.5	1.12	0.80	1.04	1.04	0.96

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 25años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m <sup>3</sup> /s)
Jaguaribe	25.00	35.65	76.22	88.05	34.46	6.89	0.37	164.17
1	25.00	57.86	84.47	92.60	20.30	4.06	0.68	107.81
2	25.00	70.61	72.34	85.75	42.22	8.44	0.52	35.45
3	25.00	47.71	78.98	89.63	29.38	5.88	0.52	147.92
4	25.00	63.13	75.73	87.77	35.39	7.08	0.54	61.45
5	25.00	85.98	71.98	85.52	42.99	8.60	0.58	22.31
6	25.00	58.32	74.10	86.81	38.60	7.72	0.49	71.09
7	25.00	41.41	77.59	88.84	31.89	6.38	0.44	168.13
8	25.00	71.66	80.04	90.22	27.55	5.51	0.65	38.11

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 50 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m <sup>3</sup> /s)
Jaguaribe	50.00	37.87	76.22	88.05	34.46	6.89	0.39	184.00
1	50.00	61.46	84.47	92.60	20.30	4.06	0.69	117.02
2	50.00	75.00	72.34	85.75	42.22	8.44	0.54	38.99
3	50.00	50.68	78.98	89.63	29.38	5.88	0.53	162.85
4	50.00	67.05	75.73	87.77	35.39	7.08	0.56	67.46
5	50.00	91.33	71.98	85.52	42.99	8.60	0.60	24.41
6	50.00	61.95	74.10	86.81	38.60	7.72	0.51	78.45
7	50.00	43.98	77.59	88.84	31.89	6.38	0.46	186.57
8	50.00	76.12	80.04	90.22	27.55	5.51	0.67	41.45

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 100 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m <sup>3</sup> /s)
Jaguaribe	100.00	40.22	76.22	88.05	34.46	6.89	0.41	205.63
1	100.00	65.28	84.47	92.60	20.30	4.06	0.70	126.88
2	100.00	79.66	72.34	85.75	42.22	8.44	0.56	42.81
3	100.00	53.83	78.98	89.63	29.38	5.88	0.55	178.96
4	100.00	71.22	75.73	87.77	35.39	7.08	0.58	73.93
5	100.00	97.00	71.98	85.52	42.99	8.60	0.61	26.67
6	100.00	65.80	74.10	86.81	38.60	7.72	0.53	86.40
7	100.00	46.71	77.59	88.84	31.89	6.38	0.48	206.56
8	100.00	80.85	80.04	90.22	27.55	5.51	0.68	45.02

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 500 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m <sup>3</sup> /s)
Jaguaribe	500.00	46.27	76.22	88.05	34.46	6.89	0.45	263.50
1	500.00	75.09	84.47	92.60	20.30	4.06	0.74	152.46
2	500.00	91.63	72.34	85.75	42.22	8.44	0.60	52.84
3	500.00	61.92	78.98	89.63	29.38	5.88	0.59	221.29
4	500.00	81.92	75.73	87.77	35.39	7.08	0.62	90.89
5	500.00	111.58	71.98	85.52	42.99	8.60	0.65	32.58
6	500.00	75.69	74.10	86.81	38.60	7.72	0.57	107.35
7	500.00	53.73	77.59	88.84	31.89	6.38	0.53	259.51
8	500.00	93.00	80.04	90.22	27.55	5.51	0.72	54.30

### 5.3 Caudales río Cabelo



Cuenca	Datos geoméritos					Tiempo de concentración (h)			
	Área (Km <sup>2</sup> )	Longitud (Km)	Cota sup.	Cota inf.	Pdte (%)	Témez	California C. Practice	SCS-Ranser	Promedio
Cabelo	9.63	6.23	44	0	0.71	1.26	1.83	1.82	1.64
1	3.66	2.92	44	18	0.89	0.69	0.93	0.93	0.85
2	4.68	3.95	44	8.5	0.90	0.86	1.17	1.17	1.07
3	0.59	1.96	41	8.5	1.66	0.45	0.54	0.54	0.51
4	5.37	4.22	44	7	0.88	0.90	1.24	1.24	1.13
5	1.55	1.75	39	7	1.83	0.41	0.47	0.47	0.45



Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 25años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Cabelo	25.00	59.47	74.26	86.91	38.27	7.65	0.50	79.75
1	25.00	74.72	80.46	90.45	26.82	5.36	0.67	50.82
2	25.00	69.19	77.15	88.59	32.70	6.54	0.59	53.54
3	25.00	87.81	75.20	87.46	36.41	7.28	0.63	9.05
4	25.00	67.82	76.65	88.30	33.65	6.73	0.58	58.79
5	25.00	91.06	74.24	86.89	38.33	7.67	0.63	24.53

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 50 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Cabelo	50.00	63.17	74.26	86.91	38.27	7.65	0.52	87.93
1	50.00	79.36	80.46	90.45	26.82	5.36	0.68	55.19
2	50.00	73.49	77.15	88.59	32.70	6.54	0.61	58.51
3	50.00	93.27	75.20	87.46	36.41	7.28	0.65	9.85
4	50.00	72.04	76.65	88.30	33.65	6.73	0.60	64.32
5	50.00	96.72	74.24	86.89	38.33	7.67	0.64	26.73

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 100 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Cabelo	100.00	67.09	74.26	86.91	38.27	7.65	0.54	96.75
1	100.00	84.29	80.46	90.45	26.82	5.36	0.70	59.87
2	100.00	78.05	77.15	88.59	32.70	6.54	0.63	63.83
3	100.00	99.07	75.20	87.46	36.41	7.28	0.66	10.72
4	100.00	76.52	76.65	88.30	33.65	6.73	0.62	70.26
5	100.00	102.73	74.24	86.89	38.33	7.67	0.66	29.08

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 500 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Cabelo	500.00	77.18	74.26	86.91	38.27	7.65	0.58	119.98
1	500.00	96.96	80.46	90.45	26.82	5.36	0.73	72.01
2	500.00	89.79	77.15	88.59	32.70	6.54	0.67	77.74
3	500.00	113.96	75.20	87.46	36.41	7.28	0.70	12.97
4	500.00	88.02	76.65	88.30	33.65	6.73	0.65	85.79
5	500.00	118.17	74.24	86.89	38.33	7.67	0.69	35.22

## 5.4 Caudales río Aratú



Cuenca	Datos geométricos					Tiempo de concentración (h)			
	Área (Km²)	Longitud (Km)	Cota sup.	Cota inf.	Pdte (%)	Témez	California C. Practice	SCS-Ranser	Promedio
Aratu	4.13	3.38	40	0	1.18	0.72	0.93	0.93	0.86

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 25años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Aratu	25.00	74.32	67.41	82.63	53.38	10.68	0.47	39.69

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 50 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Aratu	50.00	78.94	67.41	82.63	53.38	10.68	0.49	43.93

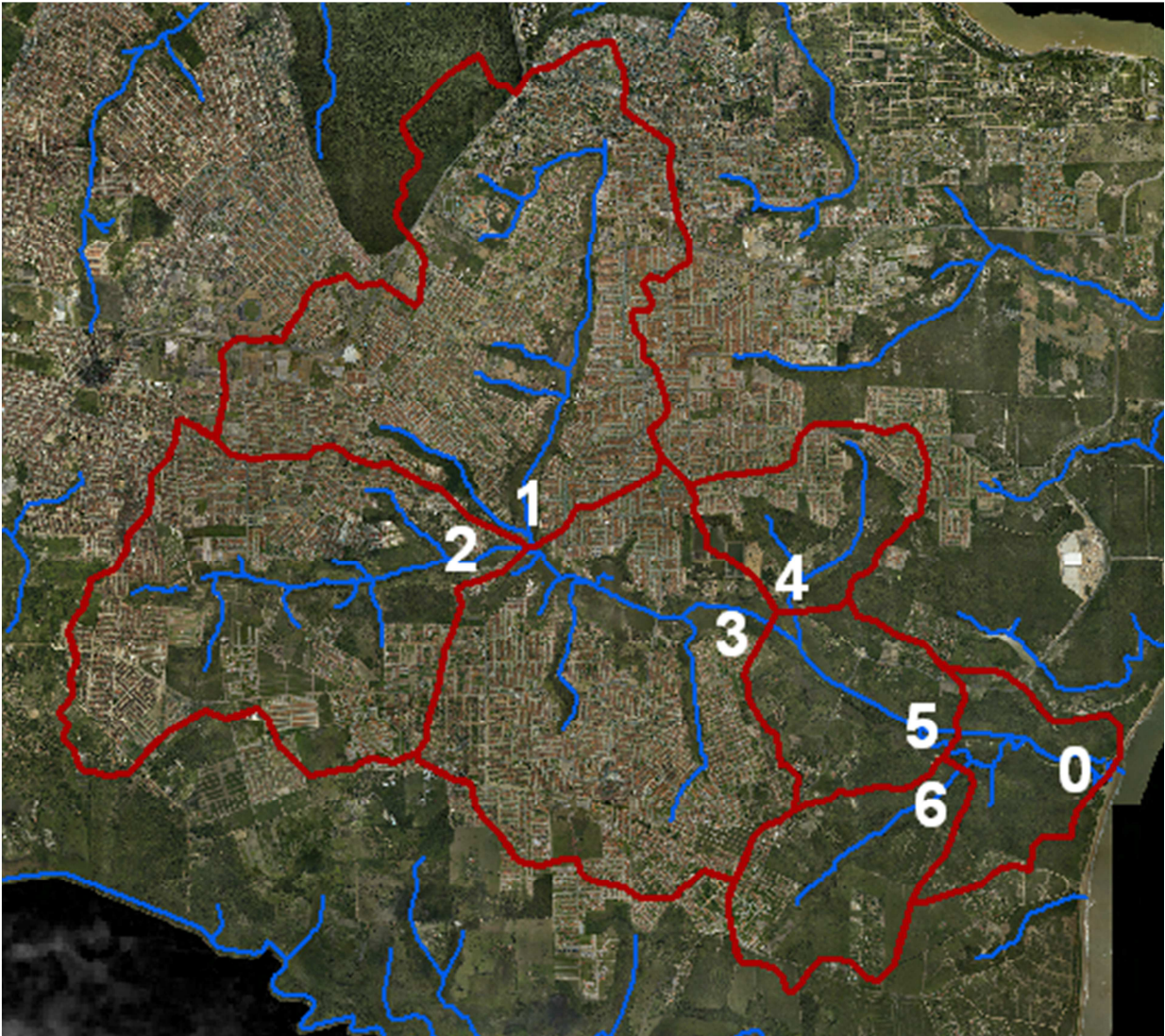
Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 100 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Aratu	100.00	83.84	67.41	82.63	53.38	10.68	0.50	48.51

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 500 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Aratu	500.00	96.44	67.41	82.63	53.38	10.68	0.55	60.62



5.5 Caudales ríos Laranjeiras - Cuiá



Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 50 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Cuiá	50.00	49.09	75.19	87.45	36.45	7.29	0.45	246.18
2	50.00	67.43	74.62	87.12	37.57	7.51	0.55	91.22
1	50.00	64.18	80.22	90.32	27.22	5.44	0.63	130.12
3	50.00	56.07	78.22	89.20	30.74	6.15	0.55	254.98
4	50.00	88.60	72.89	86.08	41.07	8.21	0.60	36.11
5	50.00	51.63	76.61	88.28	33.71	6.74	0.50	247.66
6	50.00	81.78	66.09	81.76	56.66	11.33	0.48	30.59

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 100 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Cuiá	100.00	52.14	75.19	87.45	36.45	7.29	0.47	272.79
2	100.00	71.62	74.62	87.12	37.57	7.51	0.56	100.12
1	100.00	68.17	80.22	90.32	27.22	5.44	0.64	141.81
3	100.00	59.56	78.22	89.20	30.74	6.15	0.57	279.74
4	100.00	94.11	72.89	86.08	41.07	8.21	0.62	39.44
5	100.00	54.84	76.61	88.28	33.71	6.74	0.52	273.18
6	100.00	86.86	66.09	81.76	56.66	11.33	0.50	33.82

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 500 años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Cuiá	500.00	59.98	75.19	87.45	36.45	7.29	0.52	343.34
2	500.00	82.38	74.62	87.12	37.57	7.51	0.61	123.49
1	500.00	78.42	80.22	90.32	27.22	5.44	0.68	172.30
3	500.00	68.51	78.22	89.20	30.74	6.15	0.61	344.70
4	500.00	108.26	72.89	86.08	41.07	8.21	0.66	48.13
5	500.00	63.08	76.61	88.28	33.71	6.74	0.56	340.53
6	500.00	99.92	66.09	81.76	56.66	11.33	0.54	42.34

Cuenca	Datos geoméricos					Tiempo de concentración (h)			
	Área (Km²)	Longitud (Km)	Cota sup.	Cota inf.	Pdte (%)	Témez	California C. Practice	SCS-Ranser	Promedio
Cuiá	39.68	12.83	62	0	0.48	2.33	3.69	3.68	3.23
2	8.92	5.61	57	3	0.96	1.10	1.50	1.50	1.36
1	11.67	6.54	62	3	0.90	1.25	1.73	1.72	1.57
3	29.71	9.20	62	2	0.65	1.72	2.54	2.54	2.27
4	2.44	2.40	40	2	1.58	0.53	0.64	0.64	0.60
5	34.78	11.30	62	1	0.54	2.08	3.21	3.20	2.83
6	2.82	3.04	40	1	1.28	0.66	0.84	0.83	0.78

Cuenca	Caudal de cálculo Tr = 25años							
	Tr (años)	I (mm/h)	CN (II)	CN(III)	S (mm)	la (mm)	C	Q (m³/s)
Cuiá	25.00	46.22	75.19	87.45	36.45	7.29	0.44	221.64
2	25.00	63.48	74.62	87.12	37.57	7.51	0.53	82.95
1	25.00	60.43	80.22	90.32	27.22	5.44	0.61	119.22
3	25.00	52.79	78.22	89.20	30.74	6.15	0.53	232.00
4	25.00	83.42	72.89	86.08	41.07	8.21	0.58	33.01
5	25.00	48.61	76.61	88.28	33.71	6.74	0.48	224.05
6	25.00	76.99	66.09	81.76	56.66	11.33	0.46	27.62



Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización:

Saturnino do Brito

Tipo de reconocimiento

Campo

Zona:

Trincheiras

Tipo de proceso:

Soil-Debris flow

Fecha del evento:

2009-2012

Municipio:

Joao Pessoa

Unidad afectada:

Coluvial, Fm Barreiras

Clase:

SC, CL

Dimensiones del evento:

9x15 m

Descripción del evento:

La zona se caracteriza por la presencia de arcillas, limos y arenas posiblemente coluviales generadas a partir de la Fm Barreiras. Se observan en taludes existentes una alternancia de gravas y niveles más finos. Las primeras en ocasiones presentan lavado de matriz y a traves de ellas se producen surgencias en épocas de lluvias. En 2009 se produjo un accidente mortal por el derrumbe de una edificación (dimensiones 9x15m aprox). Otros eventos han acaecido en 2012 (19-06) todos ellos debidos a las lluvias de junio-julio, localizados bajo la calle Nina Lemos. En la zona se están desarrollando actividades correctoras en forma de desalojos, muros y terraplenado controlado.

idom

X: 291601

Y: 9211918

X: 291585

Y: 9211942

X: 291573

Y: 9211958

idom

X: 291601

Y: 9211918

X: 291585

Y: 9211942

X: 291573

Y: 9211958

idom

X: 291601

Y: 9211918

X: 291585

Y: 9211942

X: 291573

Y: 9211958

idom

X: 291601

Y: 9211918

X: 291585

Y: 9211942

X: 291573

Y: 9211958

idom

X: 291601

Y: 9211918

X: 291585

Y: 9211942

X: 291573

Y: 9211958

Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización:

al sur de la linea del FC, bajo el hotel Globo, Largo de São Frei Pedro Gonçalves

Tipo de reconocimiento

Campo

Zona:

Porto Capin

Tipo de proceso:

soil slide, soil flow

Fecha del evento:

junio-julio 2013

Municipio:

Joao Pessoa

Unidad afectada:

Barreiras

Clase:

SC-CL

Dimensiones del evento:

10x12 m

Descripción del evento:

Muro de una edificación antigua derrumbado. Presenta contrafuertes y un posible relleno. El escarpe se encuentra oculto bajo una lona de plástico aunque se estima un salto superior a los 12 m.

idom

X: 291392

Y: 9213458

X: 291392

Y: 9213458

X: 291392

Y: 9213458

idom

X: 291392

Y: 9213458

X: 291392

Y: 9213458

X: 291392

Y: 9213458

**Daños ocasionados**  
Rotura del muro, desmoronamiento del terraplén o relleno del trasdos

Two photographs showing the damage to the wall and the debris field. The left photo shows a wall with a large section missing, revealing the interior structure. The right photo shows a large pile of debris, including bricks and concrete, with a black tarp covering part of it.

Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2

Localización:

Cabo Branco

Tipo de reconocimiento

Campo

Zona:

Avda Cabo Branco

Tipo de proceso:

Soil flow, planar slide, fall

Fecha del evento:

Activo

Municipio:

Joao Pessoa

Unidad afectada:

Fm Barreiras

Clase:

SC-CL

Dimensiones del evento:

10-20 m3

Descripción del evento:

deslizamiento activo entre las vías de la Avenida Cabo Branco y Joao Cirilo da Silva. Proceso activo recurrente en épocas de lluvias, en una zona de antiguo acantilado. Altura superior a 20 m. El angulo previo al proceso se calcula entorno a los 70º mientras que el actual se aproxima a los 90º. No se observa estructura, ni estratificación. El talud se encuentra parcialmente vegetado.

idom

X: 300341

Y: 9209754

X: 300341

Y: 9209754

X: 300341

Y: 9209754

idom

X: 300341

Y: 9209754

X: 300341

Y: 9209754

X: 300341

Y: 9209754

**Daños ocasionados**  
Invasión recurrente de la calzada

Three photographs showing the landslide area and the road. The left photo shows a view of the landslide area with trees and a road. The middle photo shows a map of the area with a red circle indicating the landslide location. The right photo shows a view of the landslide area with trees and a road.

Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización:

inmediaciones de la calle Jorge de Barrios y Estevao lopes Galvao

Tipo de reconocimiento

Campo

Zona:

Santa Bárbara Valentina

Tipo de proceso:

Caidas y flujos

Fecha del evento:

Municipio:

Joao Pessoa

Unidad afectada:

Barreiras

Clase:

SC-CL

Dimensiones del evento:

Descripción del evento:

Zona donde se abre un importante barranco de unos 8-10 m de profundidad en cuyo margen oriental se han instalado diversas edificaciones que vierten directamente al talud, procediendo a su erosión.

idom

X: 295994

Y: 9203466

X: 295994

Y: 9203466

X: 295994

Y: 9203466

idom

X: 295994

Y: 9203466

X: 295994

Y: 9203466

X: 295994

Y: 9203466

**Daños ocasionados**  
22 familias afectadas actualmente desplazadas

Two photographs showing the landslide area and the debris field. The left photo shows a view of the landslide area with trees and a road. The right photo shows a view of the landslide area with trees and a road.



Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

idom

Localización:

Entre las calles Edmundo Filho y Valda Cruz Cordero

Tipo de reconocimiento

Campo

Zona:

San José

Municipio:

Joao Pessoa

Tipo de proceso:

deslizamientos y flujos del suelo

Fecha del evento:

Recurrente junio-julio 20122

Unidad afectada:

Fm Barreiras

Clase

SC-CL


Dimensiones del evento:


Descripción:

Antigua línea de acantados actualmente separada de la costa por los depositos aluviales del río Jaguaribe y depósitos costeros. El cantil está formado por materiales de la Fm Barreiras si bien se pconsidera que a su pie debe exsitr un potente coluvial, que desciende hasta el cauce del río Jaguaribe. En dicho pie se encuentra los asentamientos antrópicos que presentan problemas asociados a deslizamientos. Apenas se han observado restos de estos procesos si bien se observa un desmatado de la zona a edificar así como procesos de colmatación de los espacios existentes entre las edificaciones y el talud excavado.

Daños ocasionados

Rotura de edificaciones por presion o caídas de materiales





Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

idom

Localización:

Entre la BR 230 y el río Jaguaribe

Tipo de reconocimiento

Campo

Zona:

San Rafael

Municipio:

Joao Pessoa

Tipo de proceso:

Asientos, caídas de suelos en talud

Fecha del evento:

Activo

Unidad afectada:

Rellenos Antrópicos, Fm Barreiras


Clase


Dimensiones del evento:

Descripción:

Se distinguen dos tipos de procesos en esta zona, por un lado un problema de asiento e inestabilidad en una zona de rellenos antrópicos que afectan a varias casas y a un muro, solventado parcialmente mediante un tabliestacado. Por otro lado existen algunos problemas de de inestabilidad afectando a las viviendas más próximas a los taludes abiertos en el terraplén de la BR 230, solventado parcialmente mediante muros de contención en algunos casos.

Daños ocasionados





Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

idom

Localización:

Entre la rua Ruíz Jacinto y las rua Ary Barroso

Tipo de reconocimiento

Campo

Zona:

Alto Mateus

Municipio:

Joao Pessoa

Tipo de proceso:

caídas y flujos de suelos, derrubios

Fecha del evento:

Recurrente 2011-2012

Unidad afectada:

Rellenos, Fm Barreiras

Clase


Dimensiones del evento:


Descripción:

Flujos y caídas de suelos y derrubios de pequeña entidad que afectan a edificaciones existentes. La zona se caracteriza por materiales arcilloso arenosos pertenecientes a la Fm Barreiras. Inicialmente se ejecutaban muros de arrimo que han protegido las zonas de actuación, cuando estos no están presentes se producen flujos y caídas de suelos. Se aprecia la presencia de rellenos antrópicos descontrolados, así como construcción sobre los desechos de edificaciones previas. A pesar de existir una red de drenaje municipal, se observan tuberías de desagüe particulares dentro del sustrato. los deslizamientos se suelen producir durante los meses de junio y julio (2011-2012)

Daños ocasionados

11 edificios demolidos en los últimos años tanto por ruina como por prevención. 28 familias desalojadas entre los años 2011-2012.





Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

idom

Localización:

Rua Margarida Maria Alves e Rosa Lima dos Santos

Tipo de reconocimiento

Campo

Zona:

Timbó

Municipio:

Tipo de proceso:

caídas, flujos de suelos-derrubios

Fecha del evento:

Recurrente

Unidad afectada:

Fm Barreiras

Clase

SC-CL

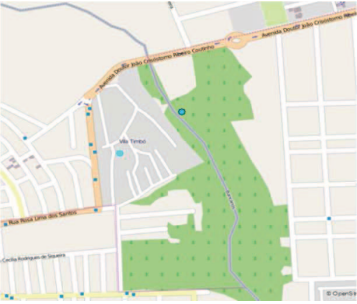
Dimensiones del evento:


Descripción:


Timbó se localiza en una antigua cantera . El frente del mismo supera los 20 m de altura en algunos puntos. Las lluvias favorecieron los procesos de inestabilidad y la presión urbana llevó a desarrolar edificaciones en las proximidades de la corta, tanto al pie como en la parte alta de la misma. Actualmente se encuentra en un proceso de rehabilitación , habiéndose llevado a cabo el desalojo de numerosas casas. Las obras de mitigación contemplan la ejecución de muros de escollera al pie del talud y la colocación de mallas y manta de coco para favorecer la estabilidad del talud

Daños ocasionados

35 familias desplazadas, más de 190 alojamientos para realojamiento









Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: BR 230

X: 291392 Y: 9213458

Tipo de reconhecimento

Campo

Zona:

Boa Esperança-Pedrabranca

Tipo de proceso:

cárcava

Fecha del evento:

Municipio:

Joao Pessoa

Unidad afectada:

Fm Barreiras

Dimensiones del evento:

3x7

Talud artificial desarrollado en la Fm Barreiras. Estable en condiciones normales si bien se está procediendo al vertido de aguas en algunos puntos. Existe una cuneta de guarda en la zona visitada que se encuentra aterrada o desaparecida en largos tramos lo que implica su inutilidad.

Daños ocasionados

Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: BR-230

X: 295623 Y: 9211501

Tipo de reconhecimento

Campo

Zona:

Tipo de proceso:

Fluo de suelos

Fecha del evento:

Recurrente

Municipio:

Joao Pessoa

Unidad afectada:

Fm Barreiras

Dimensiones del evento:

3x5

Descripción: talude de la carretera BR-230, presenta una fuerte inestabilidad en época de lluvias. Altura del talud inestable 5 m en el punto más desfavorable. Superficie del área deslizada, 3x5 m. El volumen deslizado es recurrente afectando ocasionalmente a la calzada. El proceso se inició en 2011 observandose una ampliación del proceso en los últimos años

Daños ocasionados

Afecciones a la carretera

dic-13

2011

Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: NE de Jacumá

X: 295623 Y: 9211501

Tipo de reconhecimento

Campo

Zona:

PB 018

Tipo de proceso:

Fecha del evento:

Municipio:

Conde

Unidad afectada:

Fm Barreiras

Dimensiones del evento:

120x20

Talud artificial con evidencias de erosión superficial y pérdida de vegetación. La zona circundante presenta vegetación de tipo matorral y ninguna evidencia de procesos de ladera.

Daños ocasionados  
pérdida de la cubierta vegetal

Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: Novo mundo II

X: 300912 Y: 9190486

Tipo de reconhecimento

Google earth

Zona:

Litoral

Tipo de proceso:

flujos de suelos, caídas , cárcava

Fecha del evento:

previo al 2011

Municipio:

Conde

Unidad afecta

Fm Barreiras

Dimensiones del evento:

120x20

Zona de caídas de suelos asociados a procesos de flujos de suelos, que conformon una cárcava. Afectan a la zona próxima al cantil

Daños ocasionados  
Erosión remontante, pérdida de suelo



Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: Jacumá norte

X: 300810

Y: 9195940

Tipo de reconocimiento

Google earth

Zona: Litoral

Municipio: Conde

Tipo de proceso:

Debris flows, cárcava

Fecha del evento:


desde 1970

Dimensiones del evento:

Unidad afectada:



Fm Barreiras, depósitos eólicos

140x30



Daños ocasionados

Erosión remontante, pérdida de suelo



Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: Ensenada de Jacumá

X: 301377

Y: 9188946

Tipo de reconocimiento

Google earth

Zona: Litoral

Municipio: Conde

Tipo de proceso:

Debris flows, cárcava

Fecha del evento:

desde 1970


Dimensiones del evento:

Unidad afectada:

Fm Barreiras, depósitos eólicos



X: 301258

Y: 9186968



Daños ocasionados

Erosión remontante, pérdida de suelo



Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: NE de Conde

X: 290955

Y: 9198922

Tipo de reconocimiento

Google earth

Zona: E de Conde

Municipio: Conde

Tipo de proceso:

Flujos de suelos, cárcava

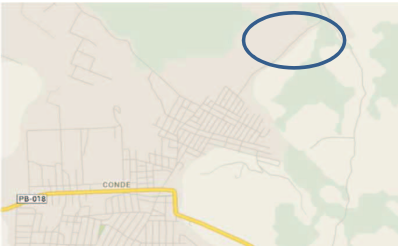
Fecha del evento:

previo a 2005

Dimensiones del evento:

Unidad afectada:


Fm Barreiras




Daños ocasionados

Erosión remontante, pérdida de suelo, destrucción del camino

2013



2005



Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: PB 008 entre Abelardo Jurema y Avda Jacarandú

X: 291392

Y: 9213458

Tipo de reconocimiento

Campo

Zona:

Municipio: Joao Pessoa

Tipo de proceso:

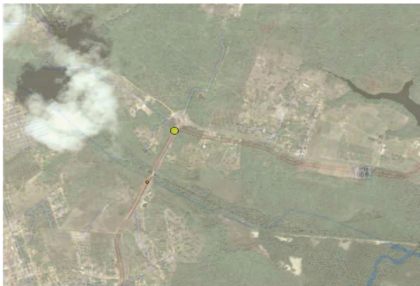
Talud estable

Fecha del evento:

Dimensiones del evento:



Unidad afectada:

Fm Barreiras



Daños ocasionados

Talud de carretera estable





Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: Cruce BR-101 BR-230

Tipo de reconocimiento Campo

Zona:

Municipio: Santa Rita

Tipo de proceso: Talud estable

Fecha del evento:

Dimensiones del evento:

idom

X: 284979 Y: 9212082

Talud estable en la zona de confluencia de las carreteras BR101 y 230 afectando a la Fm Barreiras. Los taludes son subverticales y estables si bien en algunos puntos se observa erosión diferencial dentro del talud a favor de niveles más caoliniticos. A techo se observa una unidad más oscura en forma canaliforme si bien se entiende perteneciente a la misma formación barreiras por su similitud litológica.

**Daños ocasionados**  
Talud estable

Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: BR-230

Tipo de reconocimiento Campo

Zona:

Municipio: Santa Rita

Tipo de proceso: Talud estable

Fecha del evento:

Dimensiones del evento:

idom

X: 281140 Y: 9210096

Talud estable en la carretera BR 230. Talud subvertical sin ningun tipo de medida adicional de sostenimiento. Desmonte de 15-20 m de la carretera en areniscas limo calcáreas blancas y ocre con estratificación subhorizontal.

**Daños ocasionados**  
Talud estable

Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: BR-101

Tipo de reconocimiento Campo

Zona:

Municipio: Santa Rita

Tipo de proceso: Talud estable

Fecha del evento:

Dimensiones del evento:

idom

X: 282725 Y: 9215488

Talud de Carretera estable compuesto por areniscas y arcillas de grano medio color ocre amarillento estables en talud subvertical con manta de coco. A techo la secuencia presenta costra laterítica con niveles ferruginizados. Estratificación subhorizontal. Presenta un nivel de arenas flojas

**Daños ocasionados**  
Talud de

Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: PB 025

Tipo de reconocimiento Campo

Zona:

Municipio: Lucena

Tipo de proceso: Talud estable

Fecha del evento:

Dimensiones del evento:

idom

X: 289085 Y: 9231880

Talud de 2 m en la carretera de acceso a Lucena. Presenta zonas de alteración inestables de reducidas dimensiones. Fm Barreiras.

**Daños ocasionados**  
Talud estable



Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: BR-008

Tipo de reconocimeinto Campo

Zona:

Tipo de proceso: Talud estable

Fecha del evento:

Municipio:

Conde

Unidad afectada:

Dimensiones del evento:

idom

X: 296485 Y: 9199666

Talud de la carretera con una pendiente de 60º, desarrollado en materiales de la Fm Barreiras, (areniscas y arcillas ocre y marrones con niveles de gravas angulosas. Se observa estratificación en surco y también planar, esta última con valoores de dirección y buzamiento de 015, 6 N

**Daños ocasionados**  
Talud de



Inventario de eventos

Proyecto: Estudio 2,

Localización: Cabo Branco

Tipo de reconocimeinto Campo

Zona: Acantilado de CB

Tipo de proceso: erosión litoral

Fecha del evento: episódico

Municipio:

Joao Pessoa

Unidad afectada:

idom

X: 300989 Y: 9209772  
X: 301886 Y: 9209010

Fm Barreiras

Acantilado formado por los materiales arenosos arcillosos arenosos de la Fm Barreiras que en el frente presenta un anticlinal laxo. En la base del cantil se aprecian unidades margoso calcáreas de color grisáceo, sobre las que se encuentra areniscas de grano medio amarillentas con presencia de oquedades por disolución. Se observa un nivel ferruginizado a mitad de cantil. S0 009/15N. El desarrollo del cantil ha afectado a la carretera en diversos puntos, ésta presenta una cuneta lateral que vierte hacia el cantil acelerando el proceso denudativo.

**Daños ocasionados**  
Afección a al carretera y al mirador





Localizacion	X	Y	Tipo	Fotos	Fecha	Descripción
Saturnino de Brito	291601	9211918	Gravitacional	PB220001-31	2009, 2012	Deslizamiento de 9 m de ancho por 15 m de largo. Varios deslizamientos puntuales a lo largo de la calle, algunos de pequeño tamaño, se trata de flujos de suelos debidos a periodos de lluvias intensas. Se observan oquedades en la base del talud por la que mana agua lo que implica importantes aportes de agua al interior del talud posiblemente de las contracciones y carretea que se
Saturnino de Brito	291585	9211942	Gravitacional	PB220001-31	19/06/2012	
Saturnino de Brito	291573	9211958	Gravitacional	PB220001-31	2009, 2012	
PC1	296970	9118492	Costero	PB230032-34		al otro lado de la faro de Besa, cuando la carretera vuelve a la costa. Desde el faro hasta PC1 zona muy erosiva con estructuras de protección tipo gaviones así como espigones mediante tuberías de hormigón, quedando todos ellos expuestos en la actualidad. Entre PC1 y PC2 la zona intermareal se divide en una zona baja con pendientes muy bajas (2º) y una zona intermareal alta con pendientes superiores a 5º, separadas por un punto de inflexión a favor del cual drena el paquete arenoso superior. Berma trasera bien formada con una h de 1 m por encima de la línea de marea alta, se encuentra vegetada accediendo a la playa por un camino desde la carretera litoral. Hacia el sur se observa una zona de playa con pendientes inferiores a los 5º, con buen desarrollo de la zona intermareal de arena calcárea. Al oeste (barlovento?) una buena zona de acumulación de arena con una berma de unos 1.50 m sobre la zona de marea alta. Hacia el norte se observa una zona de playa que presenta fuertes ondulaciones con pendientes superiores a 10º. Existe un escalón con respecto a la zona vegetada. Las ondulaciones presentan una fuerte erosión en la zona de canal.
PC2	297464	9222082	Costero	PB230035-38		Otra zona de acumulación con pendientes suaves de entorno 3º Zona muy erosionada, con escolleras y bloques entre PC4 y PC5 Zona muy erosionada, con escolleras y bloques. En esta localización se realizó un agujero en la arena observándose una capa de arena fina de 35 cm para presentarse posteriormente e unas areniscas gruesas de color rojizo. Altura del escarpe de 3 m pendiente de la playa 6º
PC3	297757	9222330	Costero	PB230039		
PC4	297919	9222720	Costero	PB230040-46		
PC5	297922	9223610	Costero	PB230049-58		Final de la zona erosiva que venía de PC4 y PC5, hacia el norte se observa una zona de playa de suaves pendientes a sotavento se observa una buena conservación de la zona de arena
PC6	298032	9224116	Costero	PB230049-58		Nueva zona de cambio, al sur la zona da pendientes suave (<5º) s, al norte nueva zona erosiva  empalizada de palmeras que marca la zona limite entre una nueva zona de acumulación al norte y la zona más erosiva la sur zona plana? Con una berma de 1.5 m y pendientes inferiores a 10º inicio de zona de gaviones perpendiculares a la playa cruce con la ermita de la virgen siguen los gaviones cada 100 m zona de pendientes muy suaves hasta el espigón del puerto, clara zona de acumulación arena algo limosa y calcárea muy fina en referencia hasta lo visto hasta ahora pendiente de la playa de 2-3º
PC7	298286	9225046	Costero			
PC8	298371	9225372	Costero	PB230058		
PC9	298276	9226322	Costero			Zona de manguizal y desagüe de un pequeño arroyo, la zona se inunda habitualmente desde hace más de 20 años. En las proximidades se encuentra una cantera bajo el NF totalmente seca y no presenta apenas materiales cuaternarios Antiguo vertedero actualmente sellado. Presenta zona de inundación en el margen este donde se han derribado edificaciones trasladando a sus moradores. El vertedero se encuentra rodeado por el manglar Dimensiones del vertedero 1 ha y espesor promedio de 25 m Deslizamiento que ha afectado a una edificación así como el muro existente en la margen superior. El proceso ten unos 7 m de largo por 8 de altura, los materiales afectados son arcillas arenosas pardo rojizas posiblemente coluvioaluviales. El evento se produjo en los meses de junio-julio de 2013
PC10	298188	9227054	Costero			
PC11			Costero			
PC12	296793	9221072	Costero			zona de inundaciones recurrentes cuando coinciden lluvias y marea alta, la zona se inunda unos 30 cm con respecto al punto de medición. EL núcleo se encuentra desarrollado sobre materiales de relleno y se observa en las casas próximas problemas de asentamiento diferencial zona de muro para talud en la misma barriada. Muro de pie de terraplén en buenas condiciones. Material arenoso-arcillosos como terreno natural Acantilado formado por los materiales arenosos arcillosos arenosos de la Fm Barreiras que en el frente del anticlinal presenta un anticlinal laxo. En la base del cantil se parecían unidades margoso calcáreas de color grisáceo., sobre las que se encuentra areniscas de grano medio amarillentas con presencia de oquedades por disolución. Se observa un nivel ferruginizado a mitad de cantil. 009/15N. El desarrollo del cantil a afectado a la carretera en diversos puntos, esta presenta una cuneta lateral que vierte hacia el cantil acelerando el proceso denudativo.
Comunidad S	292513	9214380	Inundacion	PB250074-82		En la zona sur del mismo existe una rede de desagüe que rompe el cantil vertiendo directamente en el mar. La zona se encuentra protegida por gaviones
Antiguo vertedero	292067	9214134	Inundacion			
Porto Capín	291392	9213458	Gravitacional	PB250083-85		
Porto Capín	291312	9213726	Inundacion	PB250086-88		
	295174	9210916				
Cabo Branco	300998	9209772	Costero			
Cabo Branco	301886	9209010	Costero			



Jacarapé	301474	9203864 Costero			zona de estuario del rio del mismo nombre, la playa presenta un cantil (5 m) y el desarrollo de una playa a su pie. En la base del cantil se observan limos arcillosos con restos de costras ferruginizadas lateríticas. En medio se observa un paquete de 1.50 m de arcillas rojas. A techo más de 2 m de limos y arcillas arenosas sueltas que presentan inestabilidad por lavado en las zonas de concavidad así como tubificaciones
Jaguaribe	291528	9207900 Inundacion			
PN008	298746	9204142 Talud	PB280013		Talud artificial de la carretera en materiales arcillosos arenosos de la Fm Barreiras muy compactas y estable con una pendiente de 62º. Presenta nivel intermedio de 30 cm de cantos angulosos. Altura del talud 3.5 m
Barra de Gramame	300767	9199862 Costero			Cantil a base de arcillas arenosas, presenta en la base niveles calcáreos y de cal, no se observa estructura. A techo nivel de arenas ocre. Se observan areniscas con niveles lateríticos ferruginizados. Estratificación subhorizontal posiblemente buzando al norte. Se observan niveles muy blancos de cal. Se observan fracturaciones subverticales coincidentes con algunas fracturas del resto del cantil. La erosión se produce a favor de la zonas de cambio de pendiente de subverticales a convexo, produciéndose tubificaciones. Las areniscas arcillosas presentan tafones. En la base del intermareal se observan arenas arcillosos con niveles ferruginizados con S0 horizontal
Barra de Gramame	300768	9199838 Costero			
Nacimeinto del					
Jaguaribe	291527	9207900 Inundacion	PB 290057-60		
Laguna nº 2	291259	9208396 Inundacion	PB0061-62		depresión cárstica y laguna de 1 m de profundidad
Lagoa		Inundacion	PB270160		profundidad de unos 5 m en la zona central
BR 240 Piedra Branca (Energinsa-Semob)		Talud	PB290068-76		Talud en la carretera de areniscas y más de 5 m de altitud. Talud subvertical y estable. Las inestabilidades provienen del vertido incontrolado de las casas próximas poniendo en peligro las mismas por erosión remontante. Existen vestigio de una cuneta de guarda parcialmente destruida o aterrada. La actuación es de los años 70.
Santa Bárbara-Valentina	295994	9203466 Gravitacional	PB290077-83		Agujero de 8-15 m de profundidad que se abre sorpresivamente en el terreno usado como colector de aguas pluviales y residuales.
Felipeia		Inundacion	PB290084-85		Actuación de desalojo de viviendas en marcha
					Zona de desagüe del barranco de Sta. Bárbara, actualmente encauzado y limpio
Sao Jose	297487	9213420 Inundacion	PC020001, 5,6,10,11,21,22	junio-julio2012	Las casas se inundan bajo una lámina de agua de 30 cm. El desnivel con el cauce actual ronda 1.00 m. En algunas zonas las casas se encuentran por debajo del nivel de marea alta. La barriada desagua bajo la BR 230 con un puente de gálibo de 3 m aprox
Sao Jose	296785	9213944 Gravitacional	PC02002-28	junio-julio2012	Inestabilidad de la ladera occidental por cortes para ampliación de viviendas. Las inestabilidades podrían poner en riesgo las edificaciones del Barrio de Brissa Mar, cimentados por pilotes y con más de 30 m de altura. En algunos puntos se observa deformación del tronco de los arboles por soliflucción de loa materiales arenoso arcillosos de la Fm Barreiras, que forman un pequeño coluvión en la zona. La deforestación acentúa el proceso, así como la creación de plataformas que favorecerán la infiltración de agua
Tanque	291057	9211906 Inundacion	PB250089-94		Zona de inundación que lo hace durante meses por combinación de mareas altas y lluvias
Tanque	291332	9211362	PB250095-96		Zona final de Tanque se inunda más de 0.50 m
San Rafael	295206	9210898 Gravitacional	PB250097-111	jun-12	Zona de rellenos artificiales edificada presenta inestabilidad den el margen abierto estabilizado por un muro de trabliestacado metálico. En la zona baja hay problemas de inundaciones
San Rafael	295201	9211164 Inundacion	PB250105-106	jun-12	En la zona baja hay problemas de inundaciones, por parte del rio Jaguaribe que inunda la zona con una cota de 0.50 m sobre el pto de medición el GPS.
Alto Mateus	289188	9211508 Inundacion			Proceso de inundación periódico que alcanza la línea del ferrocarril
Alto Mateus	289188	9211508 Gravitacional	PB290032,33,34	2011-2012	deslizamiento que afecto la trasera de una casa
Alto Mateus	289111	9211510 Gravitacional	PB290036-40	2011-2012	3 edificios derribados en las lluvias de los dos años. La confluencia de barranqueras y rede de desaguas no controlada ha favorecido el proceso en una ladera de fuerte pendiente totalmente colonizada
Alto Mateus	289026	9211542 Gravitacional	PB290041	2011-2012	Edificio afectado por deslizamiento planar tipo soilflow
Alto Mateus	288539	9211202 Gravitacional	PB290042-55	2011-2012	4 casas demolidas por problemas de asentamientos y deslizamientos a pesar de presentar el terraplén fundacional un muro de contención. Las casas presentaron grietas procediéndose a su desalojo
Alto Mateus	282474	9211164 Gravitacional	PB290042-55		casa derribada por proximidad a un deslizamiento de escasa entidad (2 m3) Pendiente actual del escarpe 70º. Materiales de rellenos ocre rojizos arenoso-arcillosos (coluvial eluvial) presenta cantos dispersos. En la trasera de la casa se encuentra un escarpe donde se observan materiales coluviales de arcillas algo arenosas con cantos dispersos
Timbó	297953	9209586 Gravitacional	PC020037-52		Antigua cantera de calizas margosas rehabilitada. Presenta bermas intermedias y mallas con manta de coco. Se han retirado las edificaciones de la cabeza y pie del talud de la cantera. Muro de gaviones en el pie del talud



Timbó		Inundacion	PC020053-58		Inundaciones en la parte baja de la zona de cantera junto al río, estas son periódicas e implican un incremento de 0.5-1.00 m en los muros de las casas
BR101/BR230	284979	9212082 Talud	PC030060-63		Desmonte de arenisca calcárea de la Fm Barreiras con niveles canaliformes de areniscas. Estratificación Subhorizontal.
BR230	281140	9210096 Talud	PC030071-74		Desmonte de 15-20 m de la carretera en areniscas limo calcáreas blancas y ocre con estratificación subhorizontal
Río Paraíba	278368	9212602 Inundacion	PC030080-98		Zona de inundación del Rio Paraíba que afecta hasta la zona de la carretera
Río Paraíba	273920	9211482 Inundacion	PC030080-98		los niveles tienen hasta 10 m sobre el cauce actual
Espiritu santo		Inundacion	PC30099-106	1975-1976	Núcleo totalmente inundado en los años 70, el núcleo actual esta defendido por un dique por el que discurre la carretera. Se produjeron numerosas muertes
	282526	9213112	PC030114-115		Arcillas oscuras y blanquecinas
BR101/BR230	282725	9215488 Talud	PC030119-124		Areniscas y arcillas de grano medio color ocre amarillento estables en talud subvertical con manta de coco. A techo la secuencia presenta costra laterítica. Estratificación subhorizontal. Presenta un nivel de arenas flojas
	289085	9231880 Talud	PC030143-144		Arcillas arenosas ocre-amarillentas
Cabo Branco	300341	9209748			Ficha de deslizamiento activo, múltiple y sucesivo desarrollado en arenas limosas rojas y ocre con pátinas de oxidación. Presenta una costra laterítica a techo. areniscas y arcillas de la Fm Barreiras. Altura de la corona 20 m Angulo pre rotura 70º. Angulo postrotura 90º. Talud seco . Velocidad del proceso muy rápido afectando 15-20 m3 en épocas de lluvias
Saturnino de Brito	291573	9211918			Ficha de deslizamiento , suspendido, complejo confinado. Translational.
Playa Manaira	298306	9214036 Costero			Gaviones
Lucena	294945	9230220 Costero	Google earth		zona erosión
Lucena	295040	9229703 Costero	Google earth		Espigones acumulación
Lucena	294958	9229166 Costero	Google earth		espigones acumulación puerto
Lucena playa del Buen S	290003	9240628 Costero	google earth		zona de erosión
Lucena	291807	9238225 Costero	Google earth		estable
Lucena	293079	9237351 Costero	Google earth		estable
Lucena	294979	9236536 Costero	Google earth		estable
Lucena	294578	9235604 Costero	Google earth		estable
Lucena	293973	9234236 Costero	Google earth		estable
Lucena	293945	9232130 Costero	Google earth		estable
Río Aratí	300570	9205808 Geología			Fm Barreiras
PN 008	300653	9205718 Geología			Arenas eólicas
Río Gurugú	298873	9197968 Geología			Aluvial-Fm Barreiras
Conde	299230	9196198 Gravitacional			Prone area
BR 230	295624	9211502 Gravitacional			
Unimed	295031	9211534 Gravitacional			
Avd JosÚ AmÚrico	295744	9211938 Gravitacional			
Novo Mundo II	300915	9190488 Gravitacional	Google earh		
Jacumá norte	300811	9195940 Gravitacional	Google earh		
Ensenada de Jacumá	301377	9188947 Gravitacional	Google earh		
Ensenada de Jacumá	301523	9188795 Gravitacional	Google earh		
Ensenada de Jacumá	301165	9187637 Gravitacional	Google earh		
Ensenada de Jacumá	301258	9186969 Gravitacional	Google earh		
Ensenada de Jacumá	301132	9186552 Gravitacional	Google earh		
Norte del rio Mucatu	300811	9182316 Gravitacional	Google earh		
Sur del río Mucatu	300441	9180166 Gravitacional	Google earh		
Escarpe río Abiai	295179	9181603 Gravitacional	Google earh		Paleodeslizamiento
Escarpe río Abiai	296718	9179197 Gravitacional	Google earh		Paleodeslizamiento
Conde	290956	9198923 Gravitacional	google erth		Debrisflows
Conde	290781	9198756 Gravitacional	google earth		Debrisflows



PN008	298746	9204142 Talud	PB280013	
BR101/BR230	284979	9212082 Talud	PC030060-63	
BR230	281140	9210096 Talud	PC030071-74	
BR101/BR230	282725	9215488 Talud	PC030119-124	
	289085	9231880 Talud	PC030143-144	
Talud BR008	296485	9199666 Talud		Fm Barreiras
Tanque	291332	9211362	PB250095-96	
	282526	9213112	PC030114-115	
Saturnino de Brito	291573	9211918		
Río Cabelo	301229	9207420		
Río Cuia	298580	9203794		
Río Cuia	293368	9210280		
Lucena	294047	9228909	Google earth	Fin de playas, comienzo de manglar



