

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

YTALLO RAFAELL TEIXEIRA DE ALBUQUERQUE

**ANÁLISE DE IMPACTOS DE INUNDAÇÕES: Criação de
Programa Computacional utilizando indicadores da Bacia
Hidrográfica**

São Luís
2016

YTALLO RAFAELL TEIXEIRA DE ALBUQUERQUE

**ANÁLISE DE IMPACTOS DE INUNDAÇÕES: Criação de
Programa Computacional utilizando indicadores da Bacia
Hidrográfica**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Maria Teresinha de Medeiros Coelho

Co-orientador: Prof. Luís Carlos Santos Rodrigues

São Luís

2016

Albuquerque, Ytallo Rafaell Teixeira de.

Análise de impactos de inundações: Criação de Programa Computacional utilizando indicadores da Bacia Hidrográfica / Ytallo Rafael Teixeira de Albuquerque. – São Luís, 2016.

146 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

Orientador: Profa. Dra. Maria Teresinha Medeiros Coelho.

1.Inundação urbana. 2.Matriz de Leopold. 3.Impactos. 4.Indicadores.
I.Título

CDU: 627.516:004.4

Dedico este trabalho primeiramente à Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, às minhas mães e à minha irmã.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, o centro e o fundamento de tudo em minha vida, por renovar a cada momento a minha força e disposição e pelo discernimento concedido ao longo dessa jornada.

Às minhas mães, Maria do Socorro de Assis Teixeira e Olivania Maria Teixeira Carvalho, por toda a parceria com que me acompanhou em toda essa longa jornada. Obrigado pelos incentivos e pela admiração desse curso que agora tenho o orgulho de concluir. Obrigado pelas inúmeras noites que me esperaram acordadas para ouvir, atentas, às novidades que a faculdade proporcionava; a cada trabalho entregue. Obrigado, minhas mães, pelos sacrifícios que vocês fizeram em razão da minha educação. Nós sabemos que não foram poucos. Obrigado por tudo. Infelizmente não há espaço para escrever e agradecer aqui. Obrigado novamente. Essa conquista é de vocês também.

À minha irmã Yndyra Nayan Teixeira Carvalho que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades. Obrigado por contribuir com tantos ensinamentos, tanto conhecimento. Espero um dia chegar ao seu nível.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Maria Teresinha Medeiros Coelho, que acreditou em mim; que ouviu pacientemente as minhas considerações partilhando comigo as suas idéias, conhecimento e experiências e que sempre me motivou. Quero expressar o meu reconhecimento e admiração pela sua competência profissional, por ser uma profissional extremamente qualificada e pela forma humana que conduziu minha orientação.

À Érika Bianca Machado do Nascimento e à Gilcyvania Castro Corvelo Costa, minhas amigas de graduação, que se fizeram presentes em minha vida, vivenciando momentos únicos de experiência que foram essências neste percurso onde rimos, choramos e nos ajudamos mutuamente.

E a todos os meus colegas do curso de engenharia, que de alguma maneira tornaram minha vida acadêmica cada dia mais desafiante. Peço a Deus que os abençoe grandemente, preenchendo seus caminhos com muita paz, amor, saúde e prosperidade.

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

Desde o início da urbanização, as inundações são vistas como um problema, onde, muitas vezes, é agravada pelo crescimento anormal e sem planejamento dos centros urbanos. Fatores como impermeabilização do solo e a ocupação em áreas de várzeas, áreas próximas às margens de rios e canais, entre outros, interferem no ciclo hidrológico, prejudicando o curso natural das águas. Nesse contexto, esse estudo tem como objetivo principal analisar os impactos causados por inundações, aplicado em uma determinada área da cidade de São Luís, através da utilização de indicadores físicos da bacia hidrográfica (topografia ou declividade da região, impermeabilização do solo, presença de acúmulos de resíduos sólidos na região e presença de curso d'água natural) desenvolvidos em Mapas Temáticos e em um Programa Computacional proposto para a análise. Este programa foi desenvolvido por meio da utilização de Matriz de Leopold Adaptada, que fundamentou sua estrutura interna por meio de ponderações e equações, que serviram de base para seu processamento. Sua criticidade é apresentada em cinco cenários (Social, Econômico, Hidrológico, Físico e Ambiental) de análise da Matriz aplicada a cada um dos parâmetros estudados. Para a aplicação real do estudo proposto, utilizou-se uma área localizada no Bairro Barreto, que constantemente sofre com fortes impactos de inundação em períodos chuvosos. Esta área foi demonstrada em forma de Mapas Temáticos, que apontaram as regiões mais críticas dessa mesma área e serviram para embasar e trazer mais rigorosidade aos resultados obtidos. Estes resultados mostraram que as regiões que mais sofrem com as inundações estão situadas próximas aos cursos d'água, com valores de impactos bem elevados, demonstrando os indicadores com maior proporção de impacto, a impermeabilização do solo e a proximidade do curso d'água.

Palavra-chave: Inundação urbana. Matriz de Leopold. Impactos. Indicadores.

ABSTRACT

Since the beginning of urbanization, the floods have been seen as a problem, which often is compounded by the unusual and unplanned growth of urban centers. Factors such as soil sealing and occupation in areas of floodplains, areas near the banks of rivers and canals, among others, affect the water cycle, damaging the natural course of the water. In this context, this study aims to analyze the impacts of floods, applied in a particular area of the city of São Luis, through the use of physical indicators of watershed (topography or slope of the region, soil sealing, presence of accumulations of solid waste in the region and the presence of natural water watercourse) thematic maps developed and proposed a computer program for analysis. This program was developed by using Matrix Leopold Adapted, which based its internal structure by means of weights and equations, which served as the basis for processing. Their criticality is presented in five scenarios (Social, Economic, Hydrological, Physical and Environmental) Matrix analysis applied to each of the parameters studied. For the actual implementation of the proposed study, we used an area located in the neighborhood Barreto, which constantly suffers from heavy flooding impacts during rainy periods. This area has been demonstrated in the form of thematic maps that showed the most critical regions of the same area and served to support and bring more rigor to the results obtained. These results showed that the regions suffering the most from the floods are situated close to water courses, with good high impact values, with the indicators with the highest proportion of impact soil sealing and the proximity of the watercourse.

Keyword: Urban Flood. Matrix Leopold. Impacts. Indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção típica de um rio em dia de cheia	23
Figura 2 - Seção Típica de um rio com inundação intensificada pela urbanização	23
Figura 3 - Alterações hidrológicas consequentes do crescimento urbano	30
Figura 4 - Vista da Rua Grande, Bairro Centro, com resíduos sólidos dispostos na via	32
Figura 5 - Vista do Canal do Coroado com depósito de resíduos sólidos na sua calha	32
Figura 6 - Vista da Rua Paparaúbas, Bairro São Francisco, com resíduos de construção na lateral da via	32
Figura 7 - Estágios dos efeitos da urbanização na drenagem urbana	34
Figura 8 - Canalização do córrego dos Afonsos, no distrito de Conselheiro Paulino do município de Nova Friburgo	35
Figura 9 - Características da Canalização do córrego dos Afonsos, localizado no distrito de conselheiro Paulino, Nova Friburgo	35
Figura 10 - Ocupação nas margens do Canal do Coroado	37
Figura 11 - Ocupação das famílias que vivem em áreas extremamente inadequadas ou em situação de risco à margem esquerda do Rio Anil	37
Figura 12 - Formação dos cursos d'água em solo com vegetação e sem vegetação	40
Figura 13 - Esquema da Matriz de Leopold	57
Figura 14 - Modelo da matriz adaptada	60
Figura 15 - Inundação na Avenida Guajajaras, São Luís – MA	64
Figura 16 - Inundação em vias urbanas, São Paulo – SP	64
Figura 17 - Obras de pavimentação urbana no bairro Cidade Operária, São Luís – MA	65
Figura 18 - Bairro urbanizado, em São Luís – MA, com baixa permeabilidade do solo.....	66
Figura 19 - Margens do Rio Anil, com vista da Av. IV Centenária, onde se observa área de vegetação de alta permeabilidade do solo.....	66
Imagem 20 - Resíduos da construção civil acumulados em via central de São Luís – MA ...	68

Figura 21 - Resíduos sólidos despejados na Avenida Vicente Carvalho, Penha, Rio de Janeiro – RJ	68
Figura 22 - Ocupação em áreas próximas à cursos d'água no bairro Barreto, em São Luís - MA	70
Figura 23 - Ocupação na margem do Canal do Rio Anil, em São Luís – MA	70
Figura 24 - Vista de Rua do Bairro Barreto que sofre com problemas de alagamento	79
Figura 25 - Outra vista de Rua alagada próximo ao canal do Bairro Barreto	80
Figura 26 - Bacias Hidrográficas da Ilha de São Luís – MA	82
Figura 27 - Rua Renato Vieira, Bairro Barreto	84
Figura 28 - Pavimentação de Ruas e Avenidas no Bairro Barreto, São Luís – MA	85
Figura 29 - Rua da União, Bairro Barreto, São Luís – MA	85
Figura 30 - Sistemas de Drenagem no Bairro Barreto, São Luís – MA	86
Figura 31 - Normais Climatológicas, em São Luís – MA	86
Figura 32 - Problemas com Inundações no Bairro Barreto	87
Figura 33 - Níveis de Soleiras na Rua Renato Nunes, Bairro Barreto, São Luís – MA	87
Figura 34 - Problemas com Inundações, quando o mesmo atente os Imóveis, no Bairro Barreto, São Luís – MA	88
Figura 35 - Problemas de poluição no canal do Bairro Barreto, São Luís – MA	88
Figura 36 - Coleta de Resíduos Sólidos no Bairro Barreto, São Luís – MA	89
Figura 37 - Descarga de esgoto no canal do Bairro Barreto, São Luís – MA	89
Figura 38 - Descarga de esgoto no canal do Bairro Barreto, São Luís – MA	89
Figura 39 - Esgoto ocasionado na via por falta de desobstrução ou limpeza pública de sistema de esgotamento sanitário na Av. dos Franceses, em São Luís – MA	90
Figura 40 - Sistema de Esgoto do Bairro Barreto	90
Figura 41 - Limites da Bacias Hidrográficas da Área de Estudo – Bairro Barreto	93
Figura 42 - Mapa de Declividade da Área de estudo – Bairro Barreto	94
Figura 43 - Mapa de uso e cobertura vegetal da área de Estudo – Bairro Barreto	95

Figura 44 - Mapa de disposição inadequada de resíduos sólidos da Área de Estudo – Bairro Barreto	96
Figura 45 - Mapa de proximidade dos cursos d'água da Área de Estudo – Bairro Barreto.....	97
Figura 46 - Descrição do Critério Social e obtenção do parâmetro “proliferação de doenças”	98
Figura 47 - Obtenção do parâmetro “riscos de inundação”	99
Figura 48 - Obtenção do parâmetro “qualidade de vida”	99
Figura 49- Descrição do Critério Econômico e obtenção do parâmetro “medidas de controle – estrutural”	100
Figura 50 - Obtenção do parâmetro “medidas alternativas”	100
Figura 51 - Obtenção do parâmetro “classe social da população”	101
Figura 52 - Obtenção do parâmetro “desapropriações”	101
Figura 53 - Descrição do Critério Hidrológico e obtenção do parâmetro “precipitação”.....	102
Figura 54 - Obtenção do parâmetro “evapotranspiração”	102
Figura 55 - Obtenção do parâmetro “nível do lençol freático”	103
Figura 56 - Obtenção do parâmetro “infiltração no solo”	103
Figura 57 - Obtenção do parâmetro “escoamento superficial”	104
Figura 58 - Descrição do Critério Físico e obtenção do parâmetro “assoreamento e sedimento”	104
Figura 59 - Obtenção do parâmetro “limites de construção”	105
Figura 60 - Obtenção do parâmetro “uso e ocupação da área”	105
Figura 61 - Obtenção do parâmetro “estético/paisagístico”	106
Figura 62 - Descrição do Critério Ambiental e obtenção do parâmetro “qualidade do ar”.....	106
Figura 63 - Obtenção do parâmetro “qualidade do solo”	107
Figura 64 - Obtenção do parâmetro “temperatura”	107
Figura 65 - Obtenção do parâmetro “qualidade da água”	108
Figura 66 - Obtenção do parâmetro “contaminação de aquíferos”	108

Figura 67 - Obtenção do valor que quantifica os impactos causados pela análise dos “Critérios Sociais”	109
Figura 68 - Obtenção do valor que quantifica os impactos causados pela análise dos “Critérios Econômicos”	109
Figura 69 - Obtenção do valor que quantifica os impactos causados pela análise dos “Critérios Hidrológicos”	110
Figura 70 - Obtenção do valor que quantifica os impactos causados pela análise dos “Critérios Físicos”	110
Figura 71 - Obtenção do valor que quantifica os impactos causados pela análise dos “Critérios Ambientais”	111
Figura 72 - Obtenção do valor que quantifica os impactos totais causados pelo indicador.....	111
Figura 73 - Tela Inicial do Sistema	112
Figura 74 -Tela de Seleção do Primeiro Parâmetro	113
Figura 75 - Tela de Seleção do Segundo Parâmetro	113
Figura 76 - Tela de Seleção do Último Parâmetro	114
Figura 77 - Tela de Resultados	114
Figura 78 - Resultados de área de Declividade	116
Figura 79 - Resultados do Mapa de Declividade da Área de estudo – Bairro Barreto	117
Figura 80 - Resultados de área de impermeabilização	118
Figura 81 - Resultados do Mapa de Impermeabilização e Uso do Solo da Área de estudo - Bairro Barreto	119
Figura 82 - Resultados de área de Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos	120
Figura 83 - Resultados do Mapa de Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos da Área de estudo – Bairro Barreto	121
Figura 84 - Resultados de área de Proximidade dos Cursos D’Água	122
Figura 85 - Resultados do Mapa de Proximidade dos Cursos D’Água da Área de estudo – Bairro Barreto	123
Figura 86 - Áreas críticas dos Indicadores Físicos em análise	124

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização do Bairro Barreto	81
Mapa 2 - Delimitação Bacia hidrográfica da área de estudo	83
Mapa 3 - Localização de resíduos no Bairro Barreto, São Luís – MA	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ponderação dos valores, pesos, para os atributos de importância	73
Tabela 2 - Modelo da matriz adaptada com importância de parâmetros	74
Tabela 3 - Médias de Precipitações decorrente na cidade de São Luís – MA	86

LISTA DE SIGLAS

APP	- Área de Preservação Permanente
CAEMA	- Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão
GGI	- Common Gateway Interface
CWI	- Centrum Wiskunde & Informatica
DETRAN	- Departamento Estadual de Trânsito
EIA	- Estudo de Impactos Ambientais
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	- Global Positioning System
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NUGEO	- Núcleo Geoambiental
SEMA	- Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recurso Natural
SIG	- Sistemas de Informações Geográficas
SRTM	- Shuttle Radar Topography Mission
UEMA	- Universidade Estadual do Maranhão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Considerações Iniciais	18
1.2	Justificativa	20
1.3	Objetivos	21
1.3.1	Objetivo Geral	21
1.3.2	Objetivos Específicos	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	Inundações Urbanas	22
2.1.1	Aspectos Históricos	24
2.1.2	Processo de Urbanização e as inundações Urbanas	27
2.1.2.1	Os efeitos do Escoamento Superficial causados pela Urbanização	29
2.1.2.2	Produção de Resíduos Sólidos nos Centros Urbanos	31
2.1.2.3	Canalização.....	33
2.1.2.4	Ocupação de Várzeas	36
2.1.2.5	Deficiência de Cobertura Vegetal	38
2.1.3	Impactos Causados pelas Inundações	40
2.1.3.1	Impactos Sociais	42
2.1.3.2	Impactos Econômicos	43
2.1.3.3	Impactos Hidrológicos	44
2.1.3.4	Impactos Físicos	44
2.1.3.5	Impactos Ambientais	45
2.2	Parâmetros Avaliativos dos Impactos	47
2.3	Indicadores da bacia hidrográfica	49
2.3.1	Características dos Indicadores	51
2.3.2	Escolha dos Indicadores Físicos	51
2.4	Matriz de Leopold	52
2.4.1	Matriz de Leopold Adaptada	59
3	METODOLOGIA	61
3.1	Escolha dos Indicadores	62
3.1.1	Declividade	63

3.1.2	Impermeabilização ou Uso do Solo	65
3.1.3	Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos	67
3.1.4	Proximidade dos Cursos D'Água	69
3.2	Formulação da Matriz de Leopold Adaptada	71
3.3	Linguagem de Programação Python	75
3.4	Seleção de uma área de estudo para aplicação de metodologia desenvolvida	78
3.4.1	Caracterização da Área	78
3.4.2	Pesquisa de Campo	84
3.5	Análise de Mapas Temáticos Propostos	93
3.5.1	Mapa de Declividade	94
3.5.2	Mapa de Impermeabilização e Uso do Solo	95
3.5.3	Mapa de Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos	96
3.5.4	Mapa de Proximidade dos Cursos D'Água	97
4	FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL	98
5	PROCESSAMENTO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL	112
6	APLICAÇÃO E RESULTADOS	115
6.1	Correlação entre Programa e Mapa de Declividade	115
6.2	Correlação entre Programa e Mapa de Impermeabilização e Uso do Solo	117
6.3	Correlação entre Programa e Mapa de Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos	119
6.4	Correlação entre Programa e Mapa de Proximidade dos Cursos D'Água	121
6.5	Resultado Geral	123
7	CONCLUSÃO	125
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
	APÊNDICES	131
	Apêndice A - Questionário de Pesquisa em Campo	132
	Apêndice B - Programa Computacional utilizado	133

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Desde o início da urbanização, a ocorrência de problemas como enchentes e inundações são comuns e tão antigas quanto os próprios centros urbanos (TUCCI, 2003). Os problemas que surgem são decorrentes da ausência ou das falhas em estruturas de drenagem que, atualmente, vêm ocorrendo em diversas cidades brasileiras, em função de vários aspectos políticos, econômicos, sociais e ambientais, associados às cheias urbanas (MONTES; LEITE, 2009). Esses problemas podem ocorrer por diversos fatores, sendo a principal, a urbanização desenfreada e sem planejamento, associada à ineficiência de sistemas de drenagem (FRANCISCO, 2016).

As inundações urbanas ocorrem por muitos fatores, tais como: impermeabilização excessiva de solos, ocupação indiscriminada das áreas de várzeas situadas às margens de rios e canais, deficiência na cobertura espacial das redes de infraestrutura urbana, saturação de canalizações provocadas por obstrução de resíduos, assoreamento do leito dos rios (TUCCI, 2003; 2007), onde, para Francisco (2016), como medidas de prevenção de ocorrências de inundações, estão o planejamento urbano, a não construção de cidades em áreas ribeirinhas, o desenvolvimento de projetos de engenharia eficazes para a captação de águas pluviais (diques, bueiros, galerias, canais, etc.), a políticas de ocupação do solo, a educação ambiental, a instalação de métodos compensatórios de drenagem, entre outras.

Segundo o Portal Ambiente Brasil (2016), esta atividade antrópica provoca alterações e impactos ambientais, onde cada vez mais se buscam por meios que solucionem, minimizem ou revertam seus efeitos (prejuízos de perdas materiais e humanas, interrupção da atividade econômica das áreas inundadas, contaminação por doenças de veiculação hídrica, contaminação da água pela inundação de depósitos de material tóxico e de estações de tratamentos, entre outros.), que degradam o ambiente e esgotam os recursos naturais, que se observam cada vez menos frequentes.

Nesse contexto, propõe-se neste trabalho analisar o grau de impactos causados por inundações em áreas urbanas de São Luís, a partir da criação de programa computacional e análise comparativa dos resultados entre mapas temáticos de indicadores físicos e o programa computacional de danos sociais, econômicos, hidrológicos, físicos e ambientais, quanto à inundação de uma área.

Os indicadores físicos da região que serão utilizados nessa análise, serão: topografia ou declividade de uma região, impermeabilização do solo, presença de acúmulos de resíduos sólidos na região e presença de curso d'água natural (COELHO et al. 2012).

O presente trabalho, em face à problemática de inundações, apresenta o processo de desenvolvimento de um programa computacional com o objetivo de determinar quão impactada (social, econômico, hidrológico, físico e ambiental) é uma área, quando um indicador físico é submetido à análise. Além desta abordagem, foi exemplificado o grau de danos proporcionados por estes indicadores da bacia hidrográfica. Cada um destes possui diferentes especificidades, se adequando menos ou mais negativamente à determinada situação. Para avaliar como cada um se comporta, foram selecionados cinco critérios para análise, que são os seguintes: Social, Econômico, Hidrológico, Físico e Ambiental. Para cada um destes critérios, existem parâmetros que detalham a análise de um ambiente (BUENO, 2014).

Para formulação do programa computacional foi utilizada a linguagem de programação Python. Esta linguagem Python foi criada em 1991, pelo matemático Guido van Rossum, nos laboratórios da CWI. Sua sintaxe é singela e elegante, contendo uma compreensão simples da estrutura, apresentando uma linguagem interpretada, de alto nível e orientada a objeto (WIKILIVROS, 2016).

Os dados que foram utilizados no algoritmo são provenientes de uma variante da Matriz de Leopold, método muito utilizado para avaliar impactos ambientais no Brasil (IBAMA, 1985 apud AMORIM, 2013), onde consiste na união de dois aspectos, magnitude e importância, que é feito por meio da incorporação de roteiros para caracterizar os impactos em termos desses aspectos em uma escala de 1 a 10 (LEOPOLD et. al, 1971). Então resolveu-se criar uma adaptação da matriz de Leopold original, que se difere da matriz original por conter apenas uma única coluna vertical contendo os componentes da construção e a escala de avaliação variando de -4 a 0, com cinco valores possíveis (LUCENA et. al, 2013).

Para verificar a aplicabilidade da metodologia proposta, será feita uma aplicação, a partir dos mapas temáticos em comparação com os resultados do programa computacional para a mesma área, selecionando-se a Bacia do Bairro Barreto, localizado na cidade de São Luís – MA, que historicamente sofre com problemas de inundações. Ressaltando-se que os Mapas Temáticos são resultados de uma pesquisa científica elaborada e executada pelo autor deste trabalho em 2015.

1.2 Justificativa

O tema escolhido para a elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso partiu do interesse em aprofundar o conhecimento na área da Engenharia Hidrológica, especialmente nos temas relacionados à inundação urbana, onde há a possibilidade de aplicar o aprendizado teórico ao aprendizado prático, desenvolvidos ao longo do curso de graduação.

O assunto proposto por este trabalho busca esclarecer e conscientizar a sociedade sobre os impactos causados pelas inundações urbanas, que são de suma importância para a comunidade científica, abordando tópicos importantes e necessários para melhor compreensão dos fenômenos que envolvem e potencializam uma inundação urbana.

Simultaneamente, foi percebida a inexistência de um programa computacional que mensurasse os agravantes de inundações, com resultados em porcentagens, em relação aos indicadores de uma Bacia Hidrográfica, onde sua criação vem a possibilitar que se trabalhe de forma mais dinâmica, confiável e complexa quanto aos impactos de inundação.

Ressaltando-se, que este trabalho não tem a pretensão de esgotar o assunto referente ao conteúdo da área, visto que são conteúdos extensos e muito abrangentes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Desenvolver um programa computacional capaz de mensurar os impactos causados por inundações urbanas.

1.3.2 Específicos

- Selecionar uma área crítica de alagamento em uma determinada região de São Luis – MA;
- Aplicar o programa desenvolvido em uma área crítica de alagamento em São Luís – MA;
- Facilitar por meio de dados estatísticos, a avaliação de danos causados por indicadores de bacias hidrográficas, obtidos através do programa computacional;
- Comparar resultados obtidos entre o programa computacional e os mapas temáticos que permitirão refletir sobre os danos causados pelas inundações em uma determinada região;
- Desenvolver um meio de automação para auxiliar na tomada de decisões por profissionais e estudantes da área.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Inundações Urbanas

A ocorrência da inundação urbana é comum e tão antiga quanto os centros urbanos. O processo para que ocorra uma inundação é natural, todavia pode ser agravado com as ações antrópicas na urbanização pela impermeabilização das superfícies e a canalização dos rios. Esse evento é sucedido quando as águas dos rios, lagos, galerias, riachos saem do leito de escoamento provocado pela deficiência na capacidade de transporte de seus sistemas (escoamento, de infiltração e/ou de drenagem) causando transbordamentos que ocupam áreas utilizadas pela população, tais como moradia, ruas, praças, prédios, entre outros (TUCCI, 2003).

Quando o solo não consegue absorver a precipitação, deixando a água escorrer para o sistema de drenagem, sendo este escoamento em níveis superiores, haverá um excesso de volume não drenado que ocupará as áreas circundantes dos rios, a várzea, inundando de acordo com a geomorfologia das áreas próximas a ela. Este acontecimento é denominado inundações ribeirinhas (TUCCI, 2003). As inundações são mais frequentes em locais considerados de áreas de risco, próximos a rios, riachos, lagoas, e por falta de uma drenagem urbana eficiente, fazendo com que ocorra o extravasamento de águas pluviais, causando a inundação.

Algumas referências bibliográficas costumam tratar os eventos, enchentes e inundação, da mesma forma, porém existe certa diferença entre eles. Sendo assim, será destacado, de forma sucinta, o conceito de cada um (COELHO, 2011 apud ALBUQUERQUE, 2015).

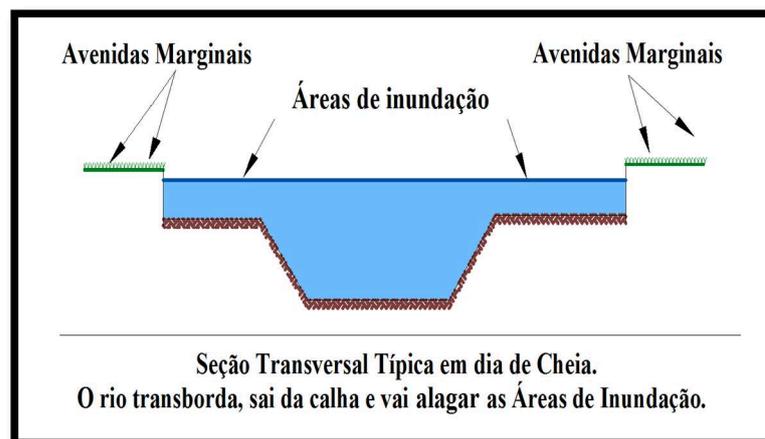
Enchente ou cheia é uma situação natural de transbordamento de água do leito natural de córregos, arroios, lagos e rios, provocado geralmente por chuvas intensas e contínuas. Durante as cheias dos rios, as áreas de várzea, também chamadas de áreas de inundação, ficam alagadas. Quando o transbordamento ocorre em regiões sem ocupação humana, os danos são menores e a própria natureza pode se encarregar de absorver os excessos de água, de forma gradativa, gerando poucos danos ao ecossistema. Essas áreas, após as cheias dos rios, ficam ricas de materiais orgânicos e são largamente utilizadas para o plantio. Porém, quando as cheias ocorrem de forma inesperada podem gerar grandes perdas à agricultura (MEIO AMBIENTE TÉCNICO, 2016).

Segundo Tucci (2003), enchente não é, necessariamente, sinônimo de catástrofe. É apenas um fenômeno natural dos regimes dos rios, porém, passam a ser um problema para o homem quando ele deixa de respeitar os limites naturais dos rios ou quando se altera o ambiente natural de modo que haja modificação da magnitude e o regime das enchentes.

Em relação à inundação, esta ocorre quando as águas dos rios, riachos e galerias pluviais saem do leito de escoamento devido à falta de capacidade de transporte de um destes sistemas e ocupam áreas já urbanizadas (TUCCI, 2003). Uma inundação acontece devido a um excedente de precipitação que não foi suficientemente absorvido pelo solo e pela malha pluvial, sendo intensificada pela ação do homem, onde podem provocar danos em regiões inteiras e ficam marcadas na história por gerar grandes destruições, apresentada nas Figuras 1 e 2.

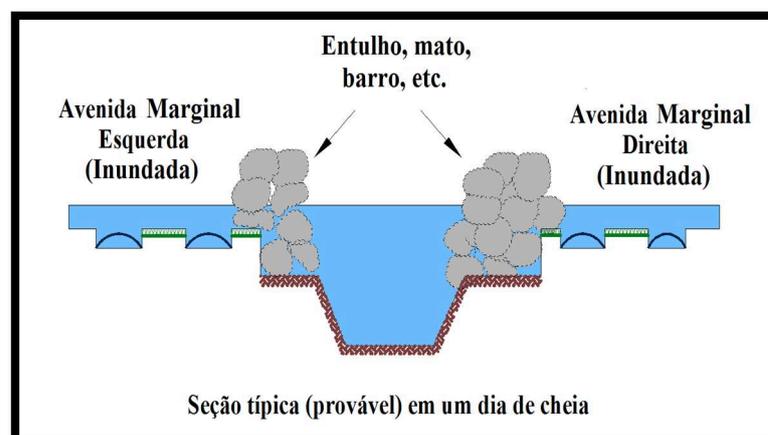
Para fins didáticos é usual adotar a denominação de inundações para qualquer um dos eventos citados anteriormente, como faz a maioria dos autores que se reporta ao tema.

Figura 1: Seção típica de um rio em dia de cheia.



Fonte: TUCCI (2005).

Figura 2: Seção Típica de um rio com inundação intensificada pela urbanização.



Fonte: TUCCI (2005).

Segundo Tucci (2005), as inundações urbanas são consequências de dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados.

O primeiro, Tucci (2005) denomina de inundações de áreas ribeirinhas, que são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios, derivadas da variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica. Essas inundações ocorrem por falta de um planejamento do uso do solo, onde a população ocupa o leito maior do rio, de acordo com eventos chuvosos extremos, com tempo de retorno superior a 2 anos. Isso ocorre devido à ocupação de áreas consideradas de médio risco, áreas que sofrem enchentes com uma frequência menor, juntamente com a invasão de áreas ribeirinhas, que são de poder público, pela população de baixa renda. Nesse aspecto, o autor acrescenta que em quase todas as cidades do Brasil, o Plano Diretor de Drenagem Urbana não exige quanto ao loteamento de áreas de risco de inundações.

O segundo processo a que Tucci (2005) se refere são as inundações resultantes da urbanização, que ocorrem devido a fatores resultantes do desenvolvimento urbano.

No Item 2.1.2 são abordados sobre os problemas de inundações advindos do processo de urbanização.

2.1.1 Aspectos Históricos

Desde o início da civilização, o homem procurou se fixar próximos aos rios, pois havia meios propícios à ocupação humana, como o transporte, a terra mais fértil, a obtenção de água, o despejo de desejos e uma terra mais plana que tornava a construção de moradias mais fácil. Contudo, essas áreas, em época de cheia, tornavam-se alagadas e a população que ocupava a parcela do leito menor, via-se prejudicados. A parcela do leito maior, geralmente, era ocupada pela população com mais experiência e que detinha de mais memórias sobre as inundações e a frequência com que ocorriam (TUCCI, 2003).

Sobre a cidade de Amarna no Egito, que Aquenaton, em 1340 a.C., escolheu para ser uma nova capital foi mencionado “Correndo de leste para oeste, dois leitos secos de rio, nos quais nada se construiu por medo das enchentes repentinas, dividiam a cidade em três partes: o centro e os bairros residenciais de norte e do sul.” Brier (1998 apud Tucci, 2003). Por vários séculos, já se pensava no planejamento e na ocupação dos solos que alagavam, procurando um meio de convivência entre o homem e as inundações (TUCCI, 2003).

Conforme UN (2004), as inundações causaram nas últimas décadas, no mundo, cerca de um terço dos custos totais estimados relacionados a desastres e foram responsáveis por dois terços das pessoas afetadas por desastres naturais.

Jungles (2010) aponta os maiores desastres causados por inundações no Brasil, que foram os seguintes:

- Pernambuco e Alagoas – 2010;
- Rio de Janeiro e São Paulo – 2010;
- Santa Catarina – 2008;
- Paraíba – 2004;
- Minas Gerais – 2001;
- Acre – 1997;
- Rio de Janeiro – 1988;
- Santa Catarina (região de Blumenau) – 1983;
- Minas Gerais e Espírito Santos – 1979;
- Santa Catarina (região de Tubarão) – 1974;
- Rio de Janeiro – 1966 e 1967;
- Rio Grande do Sul (região de Porto Alegre) – 1941;
- Santa Catarina (região de Blumenau) – 1911.

Um dos relatos mais antigos sobre enchente e inundações no Brasil, encontra-se em Blumenau – Santa Catarina, datado no período entre 1852 e 1911. Jornais da época afirmam que o nível de água do Rio Itajaí-açú chegou à marca de 16,90 metros, e o governo recebeu auxílio internacional, principalmente da Alemanha (COELHO, 2011 apud ALBUQUERQUE, 2015). No período de baixas de inundações, a população passou a ocupar o vale de cheia, resultando, em seguida, em grandes prejuízos com a inundação de 1983. Entretanto, a Cia. Hering, fundada em 1980, ano de maior inundação, que manteve na memória esse impacto e instalou-se em cota superior à da inundação de maior tamanho, não sofrendo com inundações posteriores (TUCCI, 1995). Este mesmo Estado, enfrenta até os dias de hoje problemas causados por inundações, totalizando centenas de cidades já prejudicadas, milhares de pessoas desabrigadas e centenas de pessoas mortas (JUNGLES, 2010).

Na cidade de Porto Alegre, ocorreram inundações com relatos de 1899 a 1967. A maior inundação desse período, em 1941, atingiu grande parte do centro da cidade e algumas áreas ribeirinhas quando as águas do rio Guaíba chegaram à cota de 4,75 metros devido às chuvas intensas que ocorreram nas cabeceiras de seus afluentes. Em 1966 foi construído um sistema de diques de proteção para a cidade, permanecendo até hoje (TUCCI, 1995).

Ainda em Santa Catarina, outra ocorrência mais recente de inundações foi em 2008. Devido ao forte período de chuva durante o mês de novembro, o nível de água no Vale do Itajaí atingiu a espantosa marca de 11,52m (DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA, 2008). De acordo com a Defesa Civil de Santa Catarina (2008), o resultado desta catástrofe foi: 150.000 habitantes ficaram sem energia e houve racionamento de água; 135 pessoas morreram; 9.390 se viram obrigadas a deixar seus lares para trás e quase 6.000 ficaram desabrigadas.

Apesar de a região sul ter sido a mais castigada por enchentes e inundações devido ao seu posicionamento numa zona climática temperada, outras regiões do Brasil também foram palco do fenômeno, nos últimos anos. Como exemplo, as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo. Nesta última, as grandes inundações estão, normalmente, relacionadas com o transbordamento do Rio Tietê (G1.com, 2016).

Entretanto, no estado da Paraíba, em 2002, a causa da inundação foi diferente. A Barragem de Camará, inaugurada naquele ano, foi construída em concreto rolado no leito do rio Riachão (afluente do rio Mamanguape), que serve de divisa entre os municípios de Alagoa Nova e Areia. Na noite de 17 de Julho de 2004, a barragem rompeu após uma falha de construção, atingindo parte dos territórios e moradores desses municípios e os sítios urbanos das cidades de Alagoa Grande e Mulungu, onde o desastre assumiu maior dimensão (P. JÚNIOR, 2004).

No norte e nordeste, as chuvas de abril de 2009 castigaram os estados do Maranhão, Piauí e Ceará. De acordo com as medições do Instituto Nacional de Meteorologia, a cidade de São Luís acumulou cerca de 774 milímetros de chuva, nesse mês, 64% acima da média para o período, representando o mês mais chuvoso de todos os meses, desde o ano de 2000. Já em Fortaleza, os registros apontaram um acréscimo de 61% acima da média. Em Teresina, nessa mesma época, as medições fecharam com o dobro de chuva do normal (COELHO, 2011).

Outro exemplo foi a inundação que ocorreu em junho de 2010 no estado de Pernambuco e Alagoas, que causou a morte de mais de 40 pessoas, deixando mais de 80 mil pessoas desabrigadas e mais de 30 municípios em situação de emergência (O GLOBO, 2010).

São Luís também tem sofrido com problemas de inundações, envolvendo vários bairros, inclusive o Bairro Barreto, que é o objeto de estudo deste trabalho. O relato sobre as maiores inundações data do período em que se intensificou a urbanização na cidade e, conseqüentemente, a ocupação acelerada das áreas situadas nas regiões ribeirinhas, ou seja, a partir de 1970 (ALBUQUERQUE, 2015).

Concomitante ao país, o marco do movimento migratório, em São Luís, também ocorreu a partir de 1970, quando a população urbana representava 77,37% da população total.

No ano 2000, essa porcentagem passou para 96,3%, consequência da migração do interior do estado e da zona rural, para os centros urbanos (IBGE, 2015). No ano 2010, essa porcentagem passou para 94,43% (IBGE, 2015), apontando um pequeno decréscimo (COELHO, 2011 apud ALBUQUERQUE, 2015).

Assim, como a maioria dos médios e grandes municípios brasileiros, São Luís cresceu nas três últimas décadas de forma rápida e desordenada, sem contar com a implementação eficaz de políticas urbanas que buscasse articular o controle do uso do solo urbano com a gestão da drenagem urbana, com enfoque no controle de inundações. Os principais fatos relacionados às inundações na cidade constam de relatos, mais frequentes, a partir de 1970 (COELHO, 2011 apud ALBUQUERQUE, 2015).

Não obstante, foi nesse período, em que se agravaram os problemas de infraestrutura associado à ausência de um planejamento urbano, surgindo a necessidade de implementar normas para disciplinar o uso e a ocupação do solo (ALBUQUERQUE, 2015).

Diante da propagação desses problemas, começaram a surgir projetos de grande envergadura no setor de saneamento básico e de drenagem urbana, podendo-se destacar, as obras de canalização de cursos d'água localizados na área central da cidade, expandindo-se após alguns anos, para outros bairros, tais como, o canal de obras de canalização da Vala da Macaúba (ALBUQUERQUE, 2015).

Em relação aos cursos d'água naturais inseridos na área urbana de São Luís, o que se observa é que são utilizados como receptores dos esgotos sanitários produzidos em suas bacias, tanto diretamente por meio de lançamento das redes coletoras de esgotos existentes, quanto pelo lançamento de galerias de águas pluviais que cruzam a cidade (ALBUQUERQUE, 2015).

A falta de limpeza e desobstrução das galerias, utilizadas também para esgotamento sanitário, tem proporcionado o assoreamento das tubulações e a redução da capacidade de escoamento das mesmas. Uma consequência dessa situação é a deterioração das tubulações de drenagem, pois as mesmas são inadequadas para o escoamento de esgotos residenciais (SÃO LUÍS, 2007).

2.1.2 Processo de Urbanização e as Inundações Urbanas

“A urbanização é um processo de desenvolvimento econômico e social resultado da transformação de uma economia rural para uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas” (UN, 2009).

Segundo Tucci (2003), as inundações devido a urbanização têm sido mais frequentes neste século, ligados ao crescimento populacional exacerbado e às alterações feitas no meio ambiente, onde geram um aumento significativo da urbanização das cidades e somados à falta de instrumentos políticos e às inadequações em obras de drenagem pluvial, geram a tendência de engenheiros drenarem o escoamento pluvial o mais rápido possível das áreas urbanas.

Os principais fatores responsáveis pela produção de inundações urbanas são várias e vão desde o desmatamento, impermeabilização do solo, construção diques, alteração dos cursos naturais dos rios, projetos ineficazes de captação de água pluvial (CERQUEIRA, 2010 apud ALBUQUERQUE, 2015), aumento gradativo do volume de sedimentos e do escoamento superficial, lançamento de resíduos sólidos nos rios, galerias e canais, e inexistência de políticas públicas (SANTOS JUNIOR e SANTOS, 2013). Esses aspectos intensificam o escoamento superficial acelerando-o através de condutos e canais a quantidade de água que chegaria ao mesmo tempo no sistema de drenagem, aumentando a ocorrência de inundações e tornando-as cada vez mais frequentes (TUCCI, 2003).

Há, também, as inundações localizadas que são provocadas por intervenções antrópicas nas drenagens (CERQUEIRA, 2010 apud ALBUQUERQUE, 2015), como estrangulamento da seção do rio devido ao aterro e pilares de pontes, erros em projetos de drenagem de rodovias e avenidas, assoreamento do leito do rio e resíduos sólidos que reduzem as seções dos canais, entre outros (TUCCI, 1995).

As inundações podem causar vários prejuízos, dentre eles estão: a destruição da infraestrutura de locais afetados, perdas agrícolas, propagação de doenças, consequentes desabrigados, feridos e, até, mortos (CERQUEIRA, 2010 apud ALBUQUERQUE, 2015). Esses problemas dependem do grau de ocupação das áreas ribeirinhas e da impermeabilização e canalização de rede de drenagem. Esses prejuízos podem ser prevenidos com a introdução de um Plano Diretor bem planejado, elaborado e respeitado, relacionado às construções de edificações em áreas ribeirinhas, desenvolvimento de projetos de engenharia de águas pluviais e cloacais, educação ambiental, políticas de ocupação do solo, e outros (TUCCI, 2003).

Além de todos os problemas advindos da urbanização pode-se notar ainda outros efeitos. Canholi (2005) observa que a urbanização tem contribuído, também, para alterar os cursos d'água, de forma visivelmente percebida nos mapas urbanos atuais. Antigos cursos d'água não fazem parte da paisagem de muitas cidades, onde foram substituídos por grandes obras de drenagem. Modernamente, as várzeas de rios urbanos passaram a ser incorporados ao sistema viário, por meio das denominadas "vias de fundo de vale". Isso significa que as várzeas,

sazonalmente sujeitas ao alagamento, são suprimidas, o que tem provocado, além da aceleração dos escoamentos, o aumento considerável dos picos de vazão e, conseqüentemente, das inundações (COELHO, 2011 apud ALBUQUERQUE, 2015).

Sem pretender fazer uma discussão exaustiva sobre cada um dos fatores que contribuem para a ocorrência das inundações urbanas, destaca-se, a seguir, aqueles considerados de maior relevância para o cenário de Inundações, enfatizando suas características principais e a forma como atuam no sistema de drenagem.

2.1.2.1 Os efeitos do Escoamento Superficial causados pela Urbanização

O crescimento populacional na área urbana trouxe mudanças significativas na situação original de escoamento superficial, decorrente da substituição da vegetação natural por áreas impermeabilizadas, entre outros fatores (ALBUQUERQUE, 2015).

O surgimento da impermeabilização do solo se deu após Revolução Industrial, com o propósito de embelezar e higienizar as cidades onde trafegavam os operários. Esse processo urbano é um dos fatores preponderantes que tornam as cidades propensas às inundações, pois diminui as áreas verdes, reduz a capacidade de infiltração do solo e aumenta a capacidade de escoamento superficial (TUCCI, 2009 apud BEZERRA, 2015). O excesso de impermeabilização impede a absorção de água pluvial que cai nessa região, fazendo que toda essa água seja escoada com alta velocidade e grande quantidade para as galerias de esgotos, corpos hídricos principais, onde estes não têm capacidade de recebê-las, devido ao grande volume hídrico em instante de tempo mínimo (TUCCI, 1995).

Nos espaços urbanos, o aumento progressivo na implantação de materiais impermeabilizantes, como o asfalto, o concreto, a cerâmica, o telhado, entre outros, leva à perda da capacidade de infiltração nos solos. Para que as construções sejam feitas, as vegetações são eliminadas, provocando a escassez da dinâmica da água e, também, a falta de conservação do solo. Esta conservação intercepta e minimiza os impactos das gotas pluviais, diminuindo a desestruturação da superfície do solo e amenizando os problemas no processo de assoreamento dos rios (SUCOMINI, 2009).

Em várias áreas urbanas do Brasil, em especial, áreas de cursos d'águas, em geral, são transformados em canais retificados onde se despeja tanto a água pluvial, quanto os efluentes domésticos não tratados. Nessa situação, se enquadram diversas bacias que apresentam um cenário de ocupação com considerável degradação ambiental. Onde, em áreas próximas às suas margens, áreas ribeirinhas, existem residências, comércios e indústrias, que contribuem no lançamento de efluentes diretamente no corpo hídrico, os quais alteram a qualidade da água (TARGA et al, 2012).

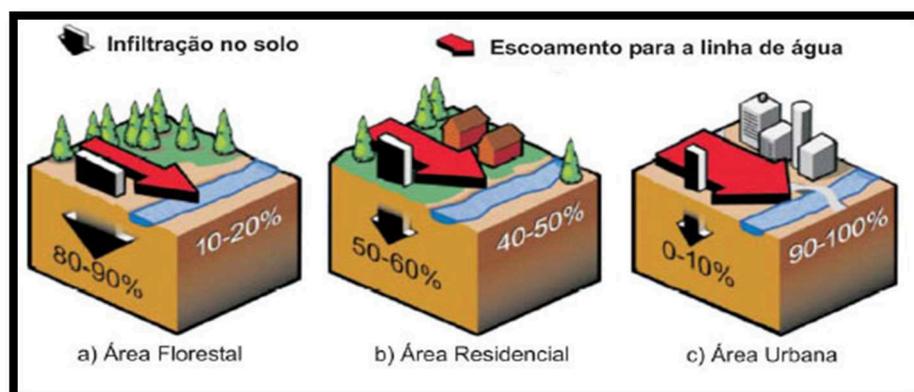
Por outro lado, no processo de escoamento de água proveniente de elevadas precipitações, ocorre a interação entre fatores como o uso e cobertura do solo, a declividade e a forma da bacia hidrográfica. Nesse contexto, a maior alteração da superfície de uma bacia resulta da urbanização que causa a impermeabilização do solo, diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial ocasionando cheias e inundações (TARGA et al, 2012).

Na medida em que uma bacia vai sendo urbanizada, também vai ocorrendo o aumento do escoamento superficial. Como resultado do aumento da impermeabilização, uma maior parcela da precipitação se transforma em escoamento na bacia e com isso aumenta o valor do coeficiente de escoamento superficial (TARGA et al, 2012).

As árvores também participam do processo de ciclo hidrológico através da interceptação da chuva, escoamento superficial, capacidade de infiltração e evapotranspiração. Sua contribuição é fundamental, sendo de suma importância à sua preservação, conciliando a vegetação e a impermeabilização de forma sustentável (GONÇALVES; PAIVA, 2004).

A Figura 3 exemplifica de forma ilustrativa toda a relação dita neste Item, onde as áreas com maior cobertura vegetal e sem urbanização apresentam taxa de escoamento menor, de forma contrária às áreas urbanizadas, que não detêm de vegetação em suas paisagens, e apresentam taxa de escoamento maior.

Figura 3: Alterações hidrológicas consequentes do crescimento urbano.



2.1.2.2 Produção de Resíduos Sólidos nos Centros Urbanos

O desenvolvimento urbano envolve a degradação dos mananciais urbanos por contaminações causados por resíduos sólidos oriundos de indústrias e centros urbanos. Este desenvolvimento caracteriza-se pela contaminação das redes de escoamento pluvial pelo lançamento de esgotos, dificultando a viabilização correta dos mananciais e fazendo necessário a execução de novos projetos para a captação em áreas cada vez mais distantes e sem riscos de contaminação, gerando maior gasto com equipamentos tecnológicos que tratam as águas e esgotos urbanos (TUCCI, 1997).

A produção de resíduos decorre da retirada da proteção do solo, tornando-o desprotegido e potencializando a erosão em período chuvoso, e, também, da produção de lixo gerado pela urbanização (TUCCI, 2003).

Quando a cidade está se desenvolvendo, o aumento dos sedimentos torna-se significativo, uma vez que são originados nas obras. Posteriormente, a proporção de resíduos se eleva, tendo em vista que a cidade está desenvolvida, os lixos provenientes da população aumentam. Por fim, estes incrementos obstruem a drenagem e contaminam os sistemas hídricos (TUCCI, 2003).

O lixo que obstrui a drenagem é devido à: frequência e cobertura da coleta de lixo, frequência da limpeza das ruas, forma de disposição do lixo pela população e frequência de precipitações (TUCCI, 2003).

Nos últimos tempos, a produção de lixo urbano teve um aumento expressivo devido às embalagens plásticas, acarretando problemas aos sistemas de drenagem e aos rios. As principais consequências desse impacto são: assoreamento dos corpos hídricos, com diminuição da capacidade de escoamento e condução de poluentes junto ao sedimento, contaminando as águas das chuvas (TUCCI, 2003).

Vanni (2004 apud COELHO, 2011) observa que esses problemas são mais intensos em países pobres, devido às precárias condições de vida e saneamento básico, muitas das vezes sem recolhimento regular do lixo, aliados à falta de educação ambiental da população, que descarta qualquer objeto indesejado na calha dos rios.

Em São Luís, o quadro sobre acúmulos de resíduos sólidos em áreas urbanas não é diferente e esse problema é facilmente observado em vários locais das bacias metropolitanas, principalmente nas áreas de condições precárias de habitação e de saneamento básico. Como ilustração dessa situação, apresentam-se as Figuras 4, 5 e 6.

Figura 4: Vista da Rua Grande, Bairro Centro, com resíduos sólidos dispostos na via.



Fonte: g1.globo.com (acesso em 20/04/16).

Figura 5: Vista do Canal do Coroado com depósito de resíduos sólidos na sua calha



Fonte: (COELHO, 2011).

Figura 6 - Vista da Rua Papuraúbas, Bairro São Francisco, com resíduos de construção na lateral da via.



Fonte: g1.globo.com (acesso em 20/04/16).

2.1.2.3 Canalização

Para Tucci (2003), soluções do tipo estrutural, como canalização, são advindas quando a população pressiona seus dirigentes, que solicitam por medidas de controle e reparação de impactos causados por inundações. Para o mesmo autor, esse tipo de obra demanda de um custo elevado, que, em geral, os municípios e, muitas vezes, os Estados, não têm condição de suportar, onde torna a implantação dessa estrutura mais difícil.

Para Baptista (2005), a canalização de talvegues ou pequenos cursos d'água é o processo de escoamento urbano das águas pluviais, feito para controlar as enchentes e inundações, minimizando, assim, os impactos das inundações urbanas. Durante décadas, a filosofia de um sistema de drenagem urbana foi canalizar a área em estudo com dutos ou galerias com dimensões necessárias para escoar as águas pluviais. Segundo Baptista (2005), esta solução resulta numa transferência dos problemas de inundação para a jusante da bacia.

Tucci (2005) observa que, normalmente, a ocupação do solo urbano se inicia à jusante da bacia, por ser geralmente uma região de mais fácil acesso, com áreas mais planas. Conseqüentemente, ocorre a ocupação da parte baixa da bacia e, na medida em que vão surgindo os problemas de inundações, são implantados dispositivos de drenagem urbana adequados às vazões ocorridas nessa fase. Segundo o mesmo autor, a implantação de canalização em áreas urbanas pode ser caracterizada em três estágios e apresentar os seguintes impactos:

1º Estágio: A bacia começa a ser urbanizada de forma distribuída, com maior densificação à jusante, apresentando a áreas de inundações um processo natural dos recursos hídricos devido à forma do canal. Com a impermeabilização do solo observa-se o início de algumas inundações. Nesse momento, a bacia está parcialmente urbanizada (geralmente ocorre de montante para jusante).

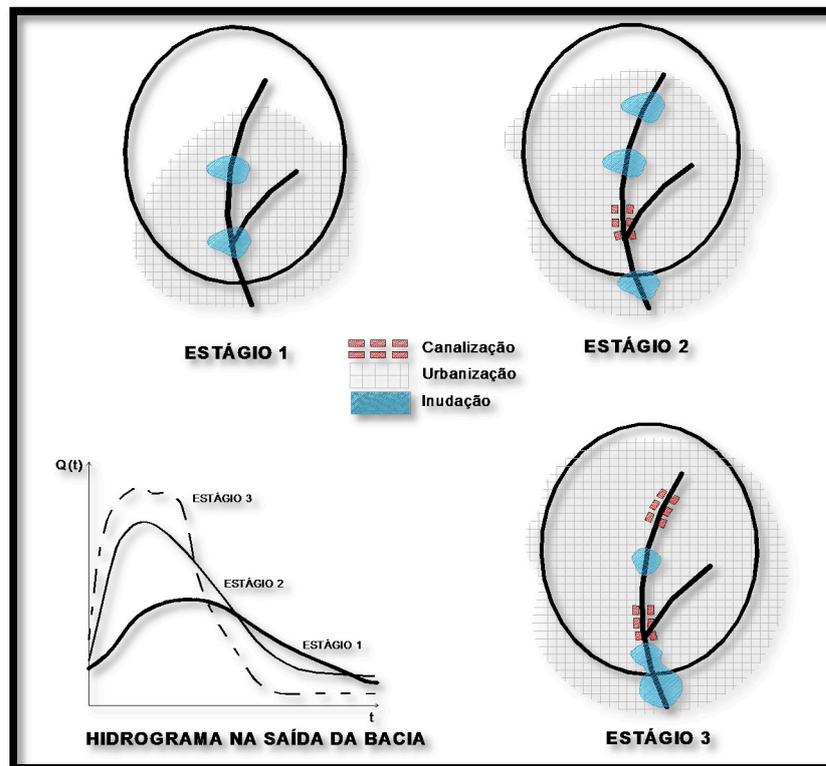
2º Estágio: A urbanização torna-se mais desenvolvida, apresentando intenso o uso e ocupação do solo, provocando mudanças nas canalizações executadas à jusante de pontos de inundações. Com isso, aumenta o lançamento de águas a jusante do trecho canalizado, ou seja, aumento da vazão máxima nesses pontos.

3º Estágio: Com a expansão da urbanização para montante, alta urbanização na área da bacia, juntamente com a canalização, o aumento das vazões máximas e dos volumes se torna significativo, retornando as inundações nos trechos anteriormente canalizados, e reiniciando uma nova rodada de aumento de seções. A canalização simplesmente transfere a inundação para jusante.

Neste último estágio, suas soluções convergem para o aprofundamento do canal, resultando em custos extremamente altos. Esse processo, torna-se inviável para o interesse público e representa um prejuízo bastante alto para a sociedade ao longo prazo.

A Figura 7 apresenta, de forma ilustrativa, o conjunto dos processos que se originam no uso do solo em conjunto com a aceleração do escoamento pluvial através da canalização das águas por um sistema de drenagem.

Figura 7: Estágios dos efeitos da urbanização na drenagem urbana.



Fonte: SCHUELLER (1987 apud Coelho, 2011).

Segundo Canholi (2005), as soluções adotadas para tais problemas, de um modo geral, apresentam caráter localizado, ou seja, os trechos beneficiados com canalizações reduzem o prejuízo das áreas afetadas, mas, por causa da transferência de vazões, as inundações agravam-se para jusante, uma vez que a drenagem urbana é fundamentalmente uma questão de “alocação de espaços”. Isto é, a várzea utilizada pelo rio ou córregos em períodos de cheias, suprimida pelas obras de urbanização, será sempre requerida à jusante.

Como medida de controle de enchentes, neste ano, 2016, no distrito de Conselheiro Paulino do município de Nova Friburgo, na região serrana fluminense, canalizaram o córrego dos Afonsos, que cortava condomínios habitacionais, onde se teve por objetivo, sanar, definitivamente, problemas antigos de inundações nessas localidades (MAURO, 2016).

O córrego teve sua calha ampliada, construída com muro gabião, apresentando dimensões de 4 metros de altura e 3 metros de largura, e extensão de 700 metros, onde antes haviam apenas dois bueiros e uma galeria com diâmetro de 1 metro (MAURO, 2016).

As Figuras 8 e 9 apresentam, de forma ilustrativa, a construção e as características apresentadas sobre essa canalização.

Figura 8: Canalização do córrego dos Afonsos, no distrito de Conselheiro Paulino do município de Nova Friburgo.



Fonte: MARCUS (2016).

Figura 9: Características da Canalização do córrego dos Afonsos, localizado no distrito de conselheiro Paulino, Nova Friburgo.



Fonte: MARCUS (2016).

2.1.2.4 Ocupação de Várzeas

Outro problema gerado pelo efeito do processo de urbanização é a ocupação de várzeas que, de forma relevante, degrada o sistema de drenagem urbana.

Para Tundisi (2016), a questão das várzeas passou despercebida na discussão do Código Florestal, mas suas consequências podem ser vistas nas cidades. O Código Florestal vigente proíbe o cultivo ou a ocupação das áreas de várzea, considerando-as Áreas de Preservação Permanente (APPs). O novo texto reduz a proteção dessas zonas e ainda formaliza as áreas já desmatadas.

Para Tundisi (2016), permitir a construção ou cultivo nas várzeas impermeabiliza as áreas. Assim, durante o período de cheia a água do rio não terá vazão, agravando o problema das enchentes.

As várzeas são terrenos inundáveis próximos de rios, lagos, igarapés e outros. Elas ajudam no controle das enchentes, pois água que transborda tem para onde escoar e, até mesmo, tempo para ser absorvida pelo solo. Quando a área próxima de rios, lagos é impermeabilizada, o escoamento natural deixa de ocorrer, além disso, o emaranhado de raízes, algas e bactérias presentes nesses cursos de água funcionam como um filtro biológico, que retiram metais pesados e nitrogênio da água de maneira natural, melhorando a qualidade da água (TUNDISI, 2012).

Segundo Tucci (2003), a ocupação das áreas de várzea cresce em cursos de nível médio e baixo devido à declividade se reduzir aumentando a incidência de áreas planas, exatamente aquelas que correm alto risco de inundação.

Esta inundação ocupa o leito maior do rio, através de um processo natural. Este leito, geralmente, inunda entre 1,5 e 2 anos e a população que ocupa esta área sofre vários impactos, que são: prejuízo de perda material e humana, interrupção da atividade econômica das áreas ribeirinhas, contaminação por doenças de veiculação hídrica, contaminação da água pela inundação (TUCCI, 2003). Segundo Schueler (1987), com a redução da área de seção de escoamento, estrangulada pela ação antrópica, há um incremento do nível do curso d'água, com alagamentos de áreas antes não alagáveis.

Algumas medidas podem sanar esses problemas, como restringir a ocupação dessas áreas através do Plano Diretor, proibir a invasão clandestina dessas áreas pertencentes ao poder público, tornar áreas de médio risco em áreas de recreação, onde os riscos serão menos significativos (TUCCI, 2003).

Infelizmente, não há incentivos para a prevenção dessa questão, uma vez que as políticas públicas os tratam com descaso, devido a recursos a fundo perdidos que pode ser requerido a qualquer momento, declarada a situação de calamidade pública. Medidas como os programas de educação à população e a atuação com os bancos para o financiamento de obras nessas áreas de risco, fariam com que esse problema minimizasse, gerando uma melhor qualidade de vida para as pessoas (TUCCI, 2003).

Mais uma vez, também em São Luís, ocorrem ocupações de várzeas em vários locais das bacias metropolitanas, mostrando as condições precárias de habitação e de saneamento básico. Como ilustração dessa situação, apresentam-se as Figuras 10 e 11 (ALBUQUERQUE, 2015).

Figura 10: Ocupação nas margens do Canal do Coroado.



Fonte: COELHO (2011).

Figura 11: Ocupação das famílias que vivem em áreas extremamente inadequadas ou em situação de risco à margem esquerda do Rio Anil.



Fonte: CARDOSO (2015).

2.1.2.5 Deficiência da Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal apresenta certa influência nas causas de inundações. As áreas florestadas de clima quente e úmido são propensas a devolver cerca de 70% de precipitação à atmosfera. Este processo ajuda na importante função de regular a temperatura das chuvas e do ar, agindo na retenção e liberação de águas sob forma de vapor, assegurando os elevados teores de umidade que se encontram nas florestas. Os 30% restante, é usado pela cobertura vegetal, que causa atraso no seu processo de reposição à atmosfera, devido ao escoamento superficial nas vertentes de maneira gradativamente lenta, ou que se infiltram no solo, chegando aos cursos hídricos (KARMANN, 2000 apud OLIVEIRA e CAMPOS, 2012).

A retirada de vegetação deixa os solos descobertos, intensificando o processo erosivo, visto que, a vegetação serve como proteção ao impacto direto da chuva no solo, controlando esse processo, que ocorre quando não há os devidos cuidados com o manejo dos solos associados às águas pluviais precipitadas. O desgaste do solo, leva ao acúmulo de resíduos sólidos, onde são levados para as fontes de água e ocorre a sedimentação, que reduz a capacidade e a vazão dos rios (AQUINO, 2016). Portanto, em condições naturais, as inundações são condicionadas por diversos aspectos do meio físico, constituindo-se em processos altamente dinâmicos e evolutivos (KARMANN, 2000 apud OLIVEIRA e CAMPOS, 2012).

O homem promove profundas modificações no cenário natural, mediante atividades físicas, sociais, econômicas, ambientais, hidrológicas e políticas, retratado na urbanização, causando desequilíbrios no balanço hídrico de bacias hidrográficas (KARMANN, 2000 apud OLIVEIRA e CAMPOS, 2012).

A remoção da cobertura vegetal impacta diretamente no funcionamento normal das bacias hidrográficas, causando a impermeabilização de suas áreas, que, conseqüentemente, reduz a infiltração do solo e aumenta o escoamento pluvial, ocasionando o mau uso e ocupação do solo, onde, geralmente, não são levados em consideração as particularidades dessas bacias (LEITE et al, 2011 apud SANTOS JUNIOR e SANTOS, 2013).

Impacto como esse, resultante de ações antrópicas desequilibram o sistema, desestabilizando o meio ambiente (ALMEIDA et al, 2010 apud SANTOS JUNIOR e SANTOS, 2013).

As retiradas de vegetações, na maioria das vezes, dão lugar à pavimentação asfáltica, construção de obras públicas e privadas e obras de drenagem e saneamento, uma vez que essas ações alteram o ciclo hidrológico nas fases de escoamento superficial e de infiltração, potencializando, assim, o aumento de escoamento superficial e impedindo a infiltração da água no solo (FRITZEN e BINDA, 2011 apud SANTOS JUNIOR e SANTOS, 2013).

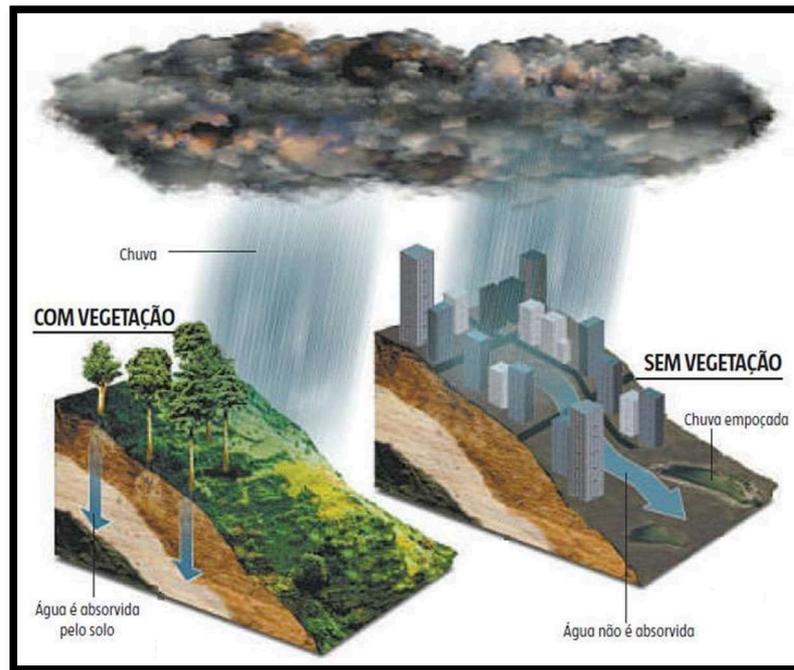
Assim, para Oliveira e Campos (2012), o processo urbanístico, inicia-se pela subdivisão de terra em lotes destinados a edificações e indústrias, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos, que, geralmente, situam-se em encostas, ou seja, em terrenos com relevo mais planos e distantes das áreas inundáveis. Nesse contexto, o processo de ocupação de centros urbanos e de alterações que ocorrem no manejo de águas subterrâneas, de um modo geral, segue a seguinte sequência:

1. Extinção da cobertura vegetal – diminuição do processo de evapotranspiração, aumento do escoamento superficial e redução no processo de infiltração no solo;
2. Erosão e assoreamento – intensificação do escoamento nas margens e diminuição da capacidade hidráulica dos cursos d'água;
3. Impermeabilização do solo – segundo Tucci (2006), provoca o aumento de até sete vezes no escoamento superficial em relação às condições naturais;
4. Canalizações e retificações – Incremento da condutividade hidráulica dos cursos d'água, aumento as vazões à jusante;
5. Ocupação das várzeas – mediante seu aterramento, confinando as águas, e transferindo-as à jusante com mais intensidade;
6. Implantação de condutos e travessias mal dimensionadas – criando pontos de inundações localizados; e
7. Obstrução da drenagem por resíduos sólidos – gerados pelos processos erosivos nas encostas, pela construção civil e os produzidos industrialmente.

Para Barbosa (2015), a solução para se recuperar o solo já degradado exige participação da coletividade, posto que, a curto prazo, não é possível. Ações individuais, como diminuir o consumo de água, apenas ocultam o problema. É preciso investir em pesquisa e repensar em modelos de uso e reuso dos recursos hídricos, onde estão as grandes bacias hidrográficas.

A figura 12 demonstra o processo de formação dos cursos d'água com o solo preservado e degradado.

Figura 12: Formação dos cursos d'águas em solo com vegetação e sem vegetação.



Fonte: em.com.br (acesso em 22/04/2016).

2.1.3 Impactos Causados pelas Inundações

O problema das inundações nos espaços urbanos corresponde ao crescimento desordenado das cidades. Esse problema, destrutura vidas e abala sociedades, onde sua população carrega a expressiva deterioração da qualidade de vida, bem como danos humanos, prejuízos irreparáveis, e materiais, de valor para toda a sociedade. Para os brasileiros, essas ocorrências, de meio natural e social, são bem impactantes, visto que, o Brasil apresenta clima tropical e, conseqüentemente, constantes chuvas de verão (SANTIS; MENDONCA, 2008).

As inadequações e erros em planejamento de sistemas de drenagem e em projetos de engenharia, tornam as enchentes urbanas em um problema de longa data no Brasil. Uma gestão falha é resultante da falta de mecanismos legais e administrativos de controle da ampliação das cheias devido ao processo de urbanização. Os erros em projetos de engenharia voltados à drenagem urbana são cometidos por engenheiros que têm a ideia de que a melhor drenagem é aquela que escoar as águas precipitadas, em uma determinada área, de forma rápida. No entanto, a melhor drenagem é aquela que drena a água escoada sem produzir impactos nem no local e nem na jusante. Assim, conseqüentemente, esses erros produzem custos extremamente altos para a sociedade como um todo (TUCCI, 1995).

Segundo Tucci (1999), na maioria das cidades brasileiras, a origem dos impactos decorrentes da drenagem em centros urbanos ocorre devido aos seguintes motivos:

- Princípio dos projetos: a ideia errônea de que a drenagem urbana tem sido desenvolvida com base de que a melhor drenagem é a que retira a água excedente o mais rápido possível do seu local de origem.
- Não considerar que a bacia age como sistema de controle: Uso exacerbado de condutos e canalizações, transferindo os impactos gerados em cada projeto de um ponto a outro dentro da bacia.

Para Monteiro (1976), a “complexidade da questão e sua importância nacional exigem maiores considerações, no que concerne tanto à gênese do fenômeno como a seu impacto urbano, nos mecanismos de defesa.”, o entendimento e a conscientização sobre os registros de bases científicas, relacionados às inundações, poderá fundamentar planos de desenvolvimento, partindo da compreensão da realidade acerca de suas extensões, que será possível planejar e conduzir, astuciosamente, ações que suscitem a decisão da sociedade na busca de soluções para os efeitos ocorridos em decorrência das inundações.

Os impactos causados pelas inundações são intensificados, principalmente, pelas intervenções antrópicas, uma vez que, apresentam alterações nos regimes dos cursos hídricos situados no raio urbano (TUCCI, 1997).

De acordo com Tucci (1997, 2007, 2010), à medida que o crescimento urbano avança, ocorrem os seguintes impactos:

- Aumento das vazões máximas, em até 7 vezes, devido à impermeabilização do solo, que por sua vez, aumenta a capacidade de escoamento superficial através de condutos e canais, sistemas de drenagem.
- Aumento da produção de sedimentos, devido à falta de proteção das superfícies, gerada pela retirada da cobertura vegetal, e à produção de resíduos sólidos, decorrente da má administração do poder público, de gerir os serviços de limpeza urbana;
- Deterioração da qualidade da água, devido à lavagem das ruas, transporte de materiais sólidos e às ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial, muito comuns em cidades brasileiras;
- Perda material e humana, devido à forma desorganizada de como a infraestrutura urbana é implantada, tais como: pontes e taludes de estradas que impedem o escoamento; redução de seção de escoamento, estrangulamento da

seção de rios, por aterros de pontes e para construção em geral, como aterros para aproveitamento da área; assoreamento, deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixões e sedimentos; projetos e obras de drenagem inadequadas, com diâmetros que diminuem para jusante, drenagem sem esgotamento, entre outros.

Os impactos provenientes do desenvolvimento das cidades são acometidos pelo exacerbado aumento da população, que cresce desorganizadamente sem o devido planejamento das áreas a serem habitadas, acarretando assim na acelerada degradação dos recursos hídricos e a queda na qualidade de vida (ALMEIDA et al., 2010 apud SANTOS JUNIOR e SANTOS, 2013).

Com o passar do tempo, a evolução urbana envolve-se em duas atividades conflitantes, que são: o crescente aumento da demanda de água com a devida qualidade e a degradação dos mananciais urbanos por contaminações dos resíduos industriais e urbanos (TUCCI, 1997).

Alguns outros aspectos negativos quanto à urbanização que envolve os recursos hídricos nas cidades com médio e grande desenvolvimento, estão descritos a seguir: os alagamentos, enchentes e inundações; alterações no ciclo hidrológico; a poluição dos ambientes aquáticos pelo lançamento de esgoto doméstico ou pela falta de redes coletoras de esgoto; os resíduos sólidos; a disposição diferenciada de efluentes no solo, tanques de combustíveis e cemitérios que contribuem para a contaminação de águas subterrâneas (MOTA, 2008 apud SANTOS JUNIOR e SANTOS, 2013).

2.1.3.1 Impactos Sociais

Tucci (1999), aponta os principais impactos sobre a população como sendo:

- Prejuízos de perdas materiais e humanas;
- Interrupção da atividade econômica das áreas inundadas;
- Contaminação por doenças de veiculação hídrica como leptospirose, cólera, entre outros;
- Contaminação da água pela inundação de depósitos de material tóxico, estações de tratamentos e outros equipamentos urbanos.

2.1.3.2 Impactos Econômicos

A inundação das cidades brasileiras é um processo que produz impactos econ micos devido principalmente   total falta de planejamento e a adoção de soluções inapropriadas. Este cenário, duplicou, economicamente, o prejuízo para a população, pois além das medidas de controles adotadas aumentarem os prejuízos dos eventos de inundação, estas são muito mais caras que as medidas alternativas de controle na fonte (TUCCI, 1999).

O planejamento da ocupação do espaço urbano no Brasil, através do Plano Diretor Urbano, geralmente, não considera os aspectos de drenagem urbana e de qualidade da água, que trazem grandes transtornos e custos para a sociedade.   vidente o aumento significativo na frequência das inundações, com o desenvolvimento das cidades brasileiras (TUCCI, 1999).

Em algumas cidades onde a frequência de inundação   alta, as áreas de risco são ocupadas por sub-habitações, porque representam espaço urbano pertencente ao poder público ou desprezado economicamente pelo poder privado. A questão com a qual o administrador municipal depara-se, neste caso,   que, ao transferir esta população para uma área segura, outros se alojam no mesmo lugar, como resultado das dificuldades econ micas e das diferenç as sociais (TUCCI, 1999).

Devido a tais impactos, decorrentes em suas habitações que geralmente encontram-se próximas às áreas de várzeas, a população pressiona seus dirigentes por soluções do tipo estrutural, como canalização, barragens, diques, etc. Onde, estas obras, em geral, apresentam um custo a mais e elevado, que os municípios e, algumas vezes, os Estados, não têm condições de suportar (TUCCI, 1999).

As administrações estaduais, em geral, não estão preparadas técnica e financeiramente para planejar e controlar estes impactos, já que os recursos hídricos são, normalmente, tratados de forma setorizada (energia elétrica, abastecimento urbano e tratamento de esgoto, irrigação e navegação), chegando a ser, em grande maioria, tratadas por empresas privadas, sem que haja maior interação na administração e seu controle (TUCCI, 1999).

Até os dias de hoje, no Brasil, ainda são raros os estudos que d o noção   quantidade de recursos e econ micos perdidos devidas às inundações (TUCCI, 1999). Segundo JICA (1988, apud TUCCI, 1999), estimou-se em 7% do valor de todas as propriedades de Blumenau o custo médio anual de enchentes para essa cidade e em 22 milhões de dólares para todo o Vale do Itajaí. O prejuízo previsto para uma cheia de 50 anos foi de 250 milhões de dólares, para aquela época.

2.1.3.3 Impactos Hidrológicos

O desenvolvimento urbano desordenado e sem planejamento, leva à ocupação inadequada de áreas que causam impactos para os processos hidrológicos, que são gerados pelas superfícies impermeáveis nas bacias do perímetro urbano ou nas zonas de crescimento das cidades (GENZ; TUCCI, 1995 apud SANTOS JUNIOR e SANTOS, 2013). Nesse sentido, para Tucci (1999) e Mota (2008), os seguintes impactos são gerados no ciclo hidrológico:

- Redução da infiltração no solo;
- Menor volume de infiltração que, conseqüentemente, fica na superfície, aumentando o escoamento superficial, devido à impermeabilização e compactação do solo. Além de ocasionar o aumento de vazões máximas e antecipação de seus picos, ocasionadas por construções de condutos pluviais que escoam, superficialmente, mais rápidos, ocorrendo a redução do tempo de deslocamento;
- Diminuição do nível do lençol freático, oriundas da redução da infiltração, por falta de alimentação (principalmente quando a área urbana é muito extensa), reduzindo o escoamento subterrâneo. As redes de abastecimento e cloacal possuem vazamentos que podem alimentar os aquíferos, tendo efeito inverso do mencionado;
- Redução da evapotranspiração, devido a substituição da cobertura natural pela superfície impermeável, que não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo.
- Aumento da precipitação, pois as atividades humanas nas cidades produzem maior número de núcleos de condensação;
- Aumento da ocorrência de enchentes;

2.1.3.4 Impactos Físicos

Os Impactos físicos são aqueles que implicam em mudar a paisagem local do centro urbano atingido, tais como: relevo, uso, ocupação e tipo do solo, e outros. Seus principais impactos produzidos pela urbanização é a incidência de erosão do solo, que, conseqüentemente, aumenta o processo de assoreamento das coleções superficiais de água, a sedimentação das bacias e do leito dos rios e a destruição de infraestruturas e construções urbana.

2.1.3.5 Impactos Ambientais

Os impactos ambientais compreendem a maioria dos demais impactos anteriormente citados, pois todos causam agressão ao meio ambiente, visto que, o processo de inundação é um problema natural potencializado pelo homem, que devasta a natureza.

Mota (2008) aponta que, para cada tipo de ação antrópica, a natureza responde a esta de forma isolada e diferente, gerando assim respostas diferenciadas para cada tipo de ação.

Tucci (1999), cita alguns dos principais impactos ambientais produzidos devido a urbanização, que serão destacados a seguir:

- **Aumento da Temperatura:** A absorção da energia solar pelas superfícies impermeáveis causa o aumento da temperatura ambiente, assim, produzindo as ilhas de calor na parte central dos centros urbanos, onde predomina o concreto e o asfalto. O asfalto, devido a sua cor, absorve mais energia devido a radiação solar do que as superfícies naturais e o concreto, à medida que a sua superfície envelhece tende a escurecer e aumentar a absorção de radiação solar. O aumento da absorção de radiação solar por parte da superfície aumenta a emissão de radiação térmica de volta para o ambiente, gerando o calor. Com a sua elevação, que provoca as condições de movimento de ar ascendente, gera o aumento de precipitação. Silveira (1997 apud Tucci, 1999) mostra que a parte central de Porto Alegre apresenta maior índice pluviométrico que a sua periferia, atribuindo essa tendência a urbanização. Estas condições decorrentes de áreas urbanas, precipitações críticas mais intensas e de baixa duração, contribuem para agravar as enchentes urbanas.
- **Aumento de Sedimentos e Material Sólido:** O aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica durante o desenvolvimento urbano é significativo, devido às construções de edificações, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas. As principais consequências ambientais da produção de sedimentos são as seguintes:
 - Assoreamento das seções da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos. Um exemplo é a lagoa da Pampulha, um lago urbano que tem sido assoreado. Outro exemplo é o arroio Dilúvio em Porto Alegre, devido a sua largura e pequena

profundidade, durante as estiagens, tem depositado no canal a produção de sedimentos da bacia e criado vegetação, reduzindo a capacidade de escoamento durante as enchentes;

- Transporte de poluente contaminador de águas pluviais, junto ao sedimento. A medida que a bacia é urbanizada, causando a densificação consolidada, a produção de sedimentos pode reduzir, mas um outro problema toma a frente, que é a produção de lixo. O lixo obstrui ainda mais a drenagem e cria condições ambientais ainda piores. Esse problema somente é minimizado com adequada frequência da coleta de resíduos sólidos e com a educação ambiental sobre descarte e reciclagem de resíduos para a população com muitas pesadas, caso seja inadequado o seu descarte.
- **Qualidade da Água Pluvial:** A qualidade da água pluvial não é melhor que a do efluente de um tratamento secundário. A quantidade de material suspenso na drenagem pluvial é superior à encontrada no esgoto in natura. Esse volume é mais significativo no início das enchentes. Para que a água da rede pluvial apresente uma boa qualidade, vários fatores são levados em consideração, como: a frequência de limpeza urbana, a intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana. Os parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a quantidade de metais, são representados como os principais indicadores da qualidade da água.
- **Contaminação de aquíferos:** As principais condições de contaminação dos aquíferos urbanos são devido ao seguinte:
 - As águas subterrâneas são contaminadas pelos aterros sanitários, pelo processo natural de precipitação e infiltração. Deve-se evitar que sejam construídos aterros sanitários em áreas de recarga e deve-se procurar escolher as áreas com baixa permeabilidade. Desde a escolha do local de aterro, deve-se fazer a averiguação das águas subterrâneas, quanto aos efeitos de contaminação;
 - A maior parte das cidades brasileiras utilizam fossas sépticas como destino final do esgoto, onde, este feito, tende a contaminar a parte superior do aquífero. Esta contaminação pode comprometer o abastecimento de água urbana quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos através de percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos;

- O solo pode ser contaminado através de perdas de volume de água na rede de condutos pluviais durante o seu transporte e até causar o entupimento de trechos da rede que pressionam a água contaminada para fora do sistema de condutos.

2.2 Parâmetros Avaliativos dos Impactos

Para avaliar como cada Indicador Físico se comporta num ambiente, a Matriz de Leopold Adaptada proposta, item 2.4.1, divide a análise de impactos em cinco critérios básicos: Social, Econômico, Hidrológico, Físico e Ambiental. Para cada um desses critérios, existem parâmetros que detalham a análise do ambiente, e cada um destes parâmetros possui uma importância padrão associada ao seu valor no cálculo final do impacto, conforme exibido na Tabela 1, no item 3.2. Cada um dos parâmetros propostos é avaliado pelo programa no intervalo de -4 a 0, podendo, então, assumir cinco valores diferentes, onde, quanto mais negativo o valor, maior impacto no ambiente causado pelo indicador físico, e, quanto menos negativo o valor, menor impacto no ambiente analisado (LUCENA; BRUMANO, 2013).

Lucena e Brumano (2013), apresentam as especificidades dos cinco critérios básicos de análise da Matriz aplicada a cada um dos parâmetros propostos que avaliam o impacto em determinada situação. Esses critérios são os seguintes:

1. **Critério social:** considera os impactos na vida da população que reside na área de análise em questão, de acordo com o indicador escolhido:
 - a. Proliferação de doenças: avalia a existência de problemas como a proliferação de insetos e doenças de veiculação hídrica (cólera, leptospirose, diarreias, etc.). (Ver figura 46).
 - b. Riscos de inundação: avalia o grau dos incidentes de cheia causados com a influência do indicador. (Ver figura 47).
 - c. Qualidade de vida: avaliação dos impactos que as inundações carregam na vida da população próxima, situada na área do indicador. (Ver figura 48).

2. **Critério econômico:** faz a análise de gastos gerados pelos problemas causados por inundações influenciadas pelo indicador em questão:
 - a. Medidas de controle do tipo estrutural: Avalia custos necessários ou existentes de soluções estruturais, como canalizações, barragens, diques, etc. (Ver figura 49).
 - b. Medidas alternativas: Avalia custos existentes com soluções alternativas, que não tenha recursos financeiros para investimento em obras. (Ver figura 50).
 - c. Classe Social da população: análise do poder aquisitivo da população da região impactada por inundações influenciadas pelo indicador escolhido. (Ver figura 51).
 - d. Desapropriações: avalia o histórico de desapropriações causados por enchentes na região, tendo em vista o indicador analisado. (Ver figura 52).

3. **Critério hidrológico:** avaliação dos efeitos na hidrologia da bacia regional, tanto nos cursos d'água quanto nos lençóis freáticos da região do indicador escolhido:
 - a. Precipitação: analisa a relação de atividades humanas na região impactada em relação com o número de núcleos de condensação, que gera o aumento da ocorrência de enchentes. (Ver figura 53).
 - b. Evapotranspiração: analisa a cobertura vegetal da região que sofre de inundação. (Ver figura 54).
 - c. Nível do lençol freático: análise da quantidade de água no lençol freático, observando a bacia local. (Ver figura 55).
 - d. Infiltração no solo: analisa a relação entre a quantidade de área impermeável e o volume de água infiltrada da região a ser analisada pelo indicador. (Ver figura 56).
 - e. Escoamento superficial: analisa a relação entre a quantidade de área impermeável e o volume de água escoada da região a ser analisada pelo indicador. (Ver figura 57).

4. **Critério físico:** consideração das mudanças causadas no ambiente paisagístico gerados pela intensidade das inundações propiciadas pelo indicador em análise:
 - a. Assoreamento e sedimentação: avalia a decorrência desses impactos na área afetada pelo indicador. (Ver figura 58).

- b. Limites de construção: relação com a estrutura da região – se o tipo de solo natural é favorável à infiltração ou se já apresenta uma forma naturalmente desfavorável, como os solos em processo de formação que ainda possuem pequena profundidade e solos rochosos. (Ver figura 59).
 - c. Uso e Ocupação da área: faz a relação entre as atividades que se desenvolve a respeito do uso e ocupação do solo na área do indicador. (Ver figura 60).
 - d. Estético/Paisagístico: avalia a alteração do cenário paisagístico antes e após o impacto ser causado pela inundação, na área de análise. (Ver figura 61).
5. **Critério ambiental:** avaliação do meio ambiente da região impactada, observando os termos padrões de sustentabilidade, degradação e preservação do meio:
- a. Qualidade do ar: relação com o acúmulo de poluentes superficiais e o mau cheiro, que gera a emissão de gases. (Ver figura 62).
 - b. Qualidade do solo: relação com o acúmulo de poluentes na camada superficial e subsuperficial do solo. (Ver figura 63).
 - c. Temperatura: avalia o grau médio de calor ou frio proporcionado pelo indicador na região sob impacto. (Ver figura 64).
 - d. Qualidade de água: avalia a rede pluvial da região quanto aos fatores: frequência de limpeza urbana, a intensidade da precipitação. (Ver figura 65).
 - e. Contaminação de aquíferos: avalia as águas subterrâneas quanto à contaminação pelos aterros sanitários, pelo processo natural de precipitação e infiltração. (Ver figura 66).

2.3 Indicadores da Bacias Hidrográficas

Segundo Pratt (2004), o termo *indicador* é derivado do verbo latino *indicare*, significando “mostrar ou proclamar”. Os indicadores normalmente focalizam em uma pequena amostra – manejável, tangível e reveladora de um sistema ou grupo – de informações, que possam revelar um senso de um quadro maior.

Os indicadores podem comunicar ou informar sobre o progresso em direção a uma determinada meta, mas também podem ser entendidos como um recurso que deixa mais perceptível uma tendência ou fenômeno, que não seja imediatamente detectável (HAMMOND et al., 1995 apud COELHO, 2011).

Como medida, o indicador é uma estatística direta e válida, que informa sobre a situação de um fenômeno social considerado importante e as mudanças de amplitude e de natureza que esse fenômeno sofre ao longo do tempo (CARDOSO, 2000 apud ALBUQUERQUE, 2015).

Os indicadores podem ser quantitativos ou qualitativos. Ainda segundo Cardoso (2000, apud Albuquerque, 2015), os indicadores quantitativos baseiam-se em amostras probabilísticas, em análises estatísticas derivadas de hipótese dedutiva e em planos experimentais ou quase-experimentais. Caracterizam-se por serem mais fáceis de construir, mas exigem maior qualificação em aspectos formais relativos às questões metodológicas. Permitem respostas curtas, sucintas, parcimoniosas, com a possibilidade de serem formalizadas matematicamente. Os indicadores qualitativos baseiam-se em amostras reduzidas e exigem maior qualificação teórico-conceitual. Dessa forma, são mais difíceis de se utilizar, pois não permitem fácil sistematização, o que limita a generalização.

O principal propósito dos indicadores e sua mais eficaz função é a formulação de índices. Um índice é uma forma de agregar informações associadas a indicadores de distintas naturezas e significâncias, traduzindo-os em um único valor representativo de uma situação real. Este resultado tem por objetivo refletir o efeito conjunto do grupo de indicadores, permitindo assim comparações no tempo e no espaço (ZONENSEIN, 2007 apud ALBUQUERQUE, 2015).

Segundo De Bonis (2006 apud ALBUQUERQUE, 2015), o índice deve desempenhar algumas funções, tais como detectar situações de risco; monitorar tendências na urbanização ou na ocupação e uso do solo; comparar lugares, situações ou alternativas; avaliar condições e tendências em relação às metas e aos objetivos; prover informações de advertência; e antecipar futuras condições e tendências.

Quanto maior o número de indicadores, melhor será a caracterização de um índice. Porém, necessita-se neste caso, de maior esforço na aquisição de dados. Por outro lado, escolher poucos indicadores, ou indicadores muito superficiais, pode tornar as informações insuficientes para a constatação do impacto das intervenções (ALBUQUERQUE, 2015).

2.3.1 Características dos Indicadores

Os indicadores devem apresentar algumas características para que se tenha um bom resultado da análise a que se pretende. Segundo Coelho (2011), Cardoso (2000), De Bonis (2006), dentre outros, apresentam-se a seguir algumas dessas características:

- **Confiabilidade:** devem obter os mesmos resultados se sua medição for repetida em condições similares ou com diferentes avaliadores.
- **Objetividade:** devem se apresentar de forma simples.
- **Clareza:** devem ser de fácil compreensão, utilizar linguagem simples e objetiva.
- **Precisão:** na definição de indicadores, não poderá haver interpretações ambíguas, isto é, indicadores com dois ou mais sentidos.
- **Viabilidade:** os indicadores devem ser estruturados com informações que tragam ações para o momento.
- **Visualização:** devem garantir fácil visualização, podendo ser expressa através de gráfico ou fluxograma.
- **Ajuste:** os indicadores devem ser adaptados de acordo com a necessidade da atividade.
- **Unicidade:** os indicadores não podem ser usados de forma diferente em situações iguais.
- **Mensurabilidade:** devem ser baseados em dados disponíveis ou de fácil obtenção.

Segundo Olave (2003), muitas vezes é difícil atender a todos estes critérios, mas é desejável aproximar-se o máximo de indicadores que sejam úteis e fiáveis.

2.3.2 Escolha dos Indicadores Físicos

Os indicadores físicos da região que serão utilizados neste trabalho, serão: topografia ou declividade de uma região, impermeabilização do solo, presença de acúmulos de resíduos sólidos na região e presença de curso d'água natural.

2.4 Matriz de Leopold

Como técnicas bidimensionais que relacionam ações com fatores ambientais, a Matriz de Leopold incorpora parâmetros de avaliação. Essa matriz é um método, basicamente, de identificação que teve início a partir da tentativa de suprir as deficiências das listagens (check-list), tornando-se uma das mais difundidas nacional e internacionalmente, elaborada em 1971 para o Serviço Geológico do Interior dos Estados Unidos, sendo projetada para avaliar impactos associados a quase todos os tipos de implantação de projetos (COSTA et al., 2005).

O princípio básico da Matriz de Leopold consiste em, primeiramente, assinalar todas as possíveis interações entre as ações e os fatores, para, posteriormente, estabelecer em uma escala que varia de 1 a 10, a magnitude e a importância de cada impacto, identificando se o mesmo é positivo ou negativo. A sua valoração da magnitude é relativamente objetiva ou empírica, por se referir ao grau de alteração provocado pela ação sobre o fato ambiental, a pontuação da importância é subjetiva ou normativa, uma vez que envolve atribuição de peso relativo ao fator afetado no âmbito do projeto (COSTA et al., 2005).

Seu uso se faz a partir de uma análise da necessidade de melhoria e relaciona o seu custo ao seu benefício, em propostas de construção ou melhoria, do ponto de vista da engenharia e da economia. Além dessa análise, deve haver uma avaliação do efeito dessa melhoria ambiental, separadamente da análise monetária de custo-benefício. Essa avaliação compreende, claramente, os impactos ambientais, cuja composição deve ser feita por físicos, cientistas sociais e engenheiros, com adequadas revisões de equipes multidisciplinares (LEOPOLD et al., 1971).

A Matriz de Leopold foi concebida pelo U. S. Geological Survey, cuja composição é feita pelo cruzamento de 88 componentes ou fatores ambientais e 100 ações que, potencialmente, alteram o meio ambiente. Seu resultado é dado em 8.800 quadriculas, e em cada um destes, são indicados algarismos que variam de 1 a 10, correspondendo, respectivamente, à magnitude e à importância do impacto. O número 1, corresponde à condição de menor magnitude e de menor importância, ou seja, respectivamente, a mínima alteração ao meio ambiente e mínima significância da ação sobre o componente ambiental a ser considerado. Quanto ao número 10, correspondem os máximos valores desses atributos. Os números podem ser precedidos pelo sinal (+) ou (-), que indica se o impacto é, respectivamente, favorável ou inadequado, considerando o risco da subjetividade do método (PIZZO et al., 2014).

A magnitude, representa o valor potencial do impacto, considerando ou não a existência de sua ocorrência, e a importância, representa a sua relevância global no contexto espaço-temporal (PIZZO et al., 2014).

Tanto nas técnicas matriciais quanto nos demais métodos quantitativos, a elaboração destes pesos, constitui um dos pontos mais críticos. Sendo, a matriz de Leopold, criticada neste sentido, uma vez que, sua concepção, primeiramente, não explicita claramente as bases de cálculo das escalas de pontuação de importância e da magnitude. Outras características também são criticadas, como a não identificação, analogamente às check-lists, das interrelações entre os impactos, que pode induzir à contagem dupla ou pôr em dúvida os mesmos, bem como, por exemplo, a pouca ênfase atribuída aos fatores sociais e culturais (COSTA et al., 2005).

A pertinência ou não de se calcular um índice global de impacto ambiental resultante da soma ponderada, magnitude e importância, dos impactos específicos é uma questão muito discutida no uso deste tipo de técnica. Diante à diferença da natureza dos impactos, defende-se a prática de não contabilizar o índice global, opinando na elaboração de matrizes para diversas alternativas e na comparação entre elas mesmas, a nível de cada efeito significativo específico (COSTA et al., 2005).

Contudo, salienta-se que é importante assinalar que o índice global só pode ser calculado havendo compatibilização entre as escalas utilizadas para os vários impactos, já que apenas escalas de intervalo ou razão estão sujeitas, matematicamente, à manipulação. Desse modo, os efeitos calculados em escalas nominais ou escalas ordinais devem ser convertidos naquele tipo de escala. A matriz de Leopold não esclarece, em princípio, as bases de cálculo das escalas e a contabilização do índice, ainda que seja útil para apontar o grau global de impacto de um determinado projeto, não é aconselhável, conquanto que sejam incorporadas as considerações acima mencionadas (COSTA et al., 2005).

As matrizes utilizadas atualmente são baseadas na Matriz de Leopold, onde correspondem a uma listagem bidimensional para identificação de impactos, que permite, ainda, a atribuição de pesos de magnitude e de importância para cada tipo de impacto. Os impactos positivos e negativos de cada meio (físico, biótico, social, econômico e ambiental) são destinados ao eixo vertical da matriz, conforme a fase em que se encontra o empreendimento (implantação e/ou operação), e com as áreas de influência (direta e/ou indireta), sendo que alguns impactos podem ser destinados, tanto nas fases de implantação e/ou operação, como nas áreas direta e/ou indireta de projetos, com valores diferentes para alguns de seus atributos, respectivamente. Logo, cada impacto é colocado na matriz de acordo com o meio, e cada um

contém subsistemas distintos no eixo vertical, sobre o qual os impactos são avaliados nominal e ordinalmente, de acordo com seus atributos (COSTA et al., 2005).

Para Almeida et al. (1994 apud Costa et al., 2005), os atributos de impacto com suas escalas nominais – qualificações: alto, médio e baixo – e ordinais – hierarquia: primeiro, segundo e terceiro graus – possibilitam uma melhor análise qualitativa, como destacado a seguir:

- Tipo de ação: número de efeitos que a ação causa, pode ser:
 - Primária – simples relação de causa x efeito;
 - Secundária – relacionado com a ação quando faz parte de uma cadeia de reações; e
 - Enésima – relacionado com a ação.

- Ignição: tempo que a ação leva para aparecer. É o intervalo de tempo entre ação e efeito, pode ser:
 - Imediata – quando o efeito surge ao mesmo tempo que a ocorrência da ação;
 - Médio prazo – quando o efeito se manifesta com certa defasagem de tempo em relação à ação; e
 - Longo prazo – quando o efeito se manifesta com mais defasagem de tempo em relação à ação de médio prazo.

- Sinergia e Criticidade: nível de relação entre a ação e o efeito que ela provoca, pode ser:
 - Alta – alto nível de interatividade entre os fatores que aumentam o poder de modificação do impacto;
 - Média – médio nível de interatividade entre os fatores que aumentam o poder de modificação do impacto; e
 - Baixa - baixo nível de interatividade entre os fatores que aumentam o poder de modificação do impacto;

- Extensão: tamanho da ação ambiental do empreendimento ou área de influência real, pode ser:
 - Maior – quando o impacto sobre o subsistema abrange uma área maior do que a bacia hidrográfica em questão;
 - Igual – quando o impacto sobre o subsistema abrange uma área igual à bacia hidrográfica em questão; e
 - Menor – quando o impacto sobre o subsistema abrange uma área menor do que a bacia hidrográfica em questão;

- Periodicidade: duração do efeito da ação. Tempo que o efeito demora a terminar, pode ser:
 - Permanente – quando os efeitos não param de se manifestar enquanto durar a ação;
 - Variável – quando não se tem conhecimento preciso de quanto tempo dura determinado efeito; e
 - Temporária – quando o efeito tem duração limitada.

- Intensidade: Exuberância da ação impactante. Relação da dimensão da ação com o empreendimento, pode ser:
 - Alta – quando indica alta quantificação da ação impactante;
 - Média – quando indica média quantificação da ação impactante; e
 - Baixa – quando indica baixa quantificação da ação impactante.

Para determinar a magnitude e a importância dos impactos, são empregados os estudos nominais e ordinais, que segundo Bisset (1986 apud Costa et al., 2005), a magnitude é a medida de gravidade de alteração do valor de um parâmetro ambiental, ou seja, é a soma dos valores determinados para os atributos extensão, periodicidade e intensidade. Enquanto a importância do impacto é a medida de significância de um impacto, que, por sua vez, é o resultado da soma dos valores de magnitude e dos atributos de ação, ignição e criticidade.

Por área de influência, apresentam magnitude e importância médias de impactos positivos e negativos os componentes de cada fase do empreendimento, que são computados. Por fim, a magnitude por meio (físico, biótico e antrópico, social ou econômico) constitui-se da média das magnitudes totais, enquanto a importância dos impactos em cada meio é representada pela média das importâncias totais de cada subsistema ambiental (COSTA et al., 2005).

Este método permite fácil compreensão dos resultados, abordando fatores biofísicos e sociais, acomodando dados qualitativos e quantitativos, além de fornecer boa orientação para o prosseguimento dos estudos e introduzir multidisciplinaridade (COSTA et al., 2005).

Já para Pizzo et al. (2014), as seguintes observações caracterizam o seu método:

- Ter como referência, assim como outros métodos, a generalidade da abrangência que se quer buscar, uma vez que esta limita a aplicabilidade de caso em caso;
- Rigorosa seleção das quadrículas preenchidas na matriz, pois, frequentemente, mesmo sendo pré-selecionadas as ações mais pertinentes do projeto, chega-se a uma quantidade elevada de quadrículas, que torna mais trabalhosa sua interpretação e visualização dos impactos, sendo necessária uma nova seleção que elimine os menos significativos; e
- Torna-se necessário a inespecificidade no enfoque para o caso de projetos urbanos, uma vez que uma matriz é gerada com destinação para projetos com relação à impactos, estendendo-se por territórios de amplas extensões (BRAGA et al., 2005 apud PIZZO et al., 2014).

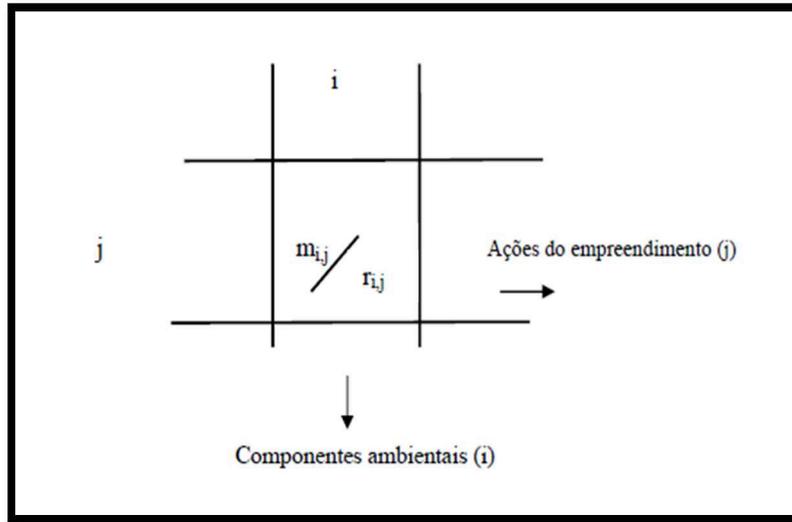
Canter (1977 apud Pizzo et al., 2014) aponta que, embora a matriz de Leopold tenha algumas limitações, frequentemente, ela fornece um direcionamento inicial bastante útil para estudos mais aprofundados. Nesse contexto, o autor sugere que fica a critério do avaliador fazer modificações no padrão da matriz, a fim de suprir as particularidades de cada situação. Recomenda-se, também, o uso de quadrículas, número de células, reduzidas, a fim de se confeccionar uma série de matrizes mais específicas e obtenha, assim, uma visualização inicial de alternativas mais abrangente.

O resultado final de cada célula (interação) é obtido da multiplicação da magnitude pela importância, atribuídas a cada interação, considerando os diversos cenários (situações) de opção. Por exemplo, local mais propício para a implantação de um empreendimento visando o meio ambiental (PIZZO et al., 2014).

Então, torna-se notável que as mesmas interações devem ser adotadas para cada situação analisada, com o intuito de se fazer uma analogia entre os critérios existentes, considerando que cada quadrícula tenha sido resolvida para, posteriormente, passar para a análise seguinte, a fim de que não se perca o critério subjetivo utilizado em cada comparação (PIZZO et al., 2014).

Finalmente, as quadrículas referentes a cada situação são somadas e, a situação que apresentar um maior valor modular, positivo ou menor valor modular, negativo, é a ambientalmente mais favorável ou menos desfavorável, respectivamente. A Figura 13 apresentada a seguir por Canter (1977 apud Pizzo et al., 2014), exemplifica bem a matriz de Leopold.

Figura 13: Esquema da Matriz de Leopold.



Fonte: Canter (1977 apud Pizzo et al., 2005).

$$\sum_{i=1}^{100} (m_{i,j} * r_{i,j}) \quad (1)$$

(Valor relativo do impacto da ação j sobre o ambiente)

$$\sum_{i=1}^{88} (m_{i,j} * r_{i,j}) \quad (2)$$

(Valor relativo do impacto do empreendimento sobre o componente ambiental i)

$$\sum_{i=1}^{88} \sum_{j=1}^{100} (m_{i,j} * r_{i,j}) \quad (3)$$

[Valor relativo do impacto do empreendimento (ou de uma de suas alternativas) sobre a totalidade do ambiente]

A matriz de Leopold tem sido utilizada, principalmente, em estudos de impactos ambientais, onde se procura associar os impactos de uma determinada ação de um empreendimento com as diversas características ambientais de sua área de influência. Mota e Aquino (2002 apud Pizzo et al., 2014), reformularam e propuseram um novo tipo de matriz de interação a ser utilizada em estudos de impacto ambiental, a qual, segundo os mesmos, permite uma avaliação mais detalhada dos impactos de um empreendimento, associando cada uma das ações do mesmo a uma característica específica de um meio.

O desenvolvimento dessa matriz, a partir do conhecimento de outros tipos de matrizes utilizadas em processos de avaliação de impactos ambientais, segundo Mota e Aquino (2002 apud Pizzo et al., 2014), apresentou uma interação entre determinada ação de um empreendimento e seus impactos sobre as diversas características de um meio, de forma mais simples e rápida. Aplicando-se à uma situação real, e obtendo informações mais completas que as geralmente conseguidas através das matrizes convencionais.

Roveda et al. (2005 apud Pizzo et al., 2014), aplicou um esquema simplificado da matriz de Leopold à duas áreas reais em Passo Fundo, como para as ações do empreendimento (alteradoras do ambiente), adotou a introdução de flora específica, a pavimentação, a urbanização, as obras de saneamento e o desmatamento. Enquanto, como componentes (fatores) ambientais, adotou o microclima/qualidade atmosférica, a compactação e deposição do solo, a vegetação local e a densidade populacional. Onde foram geradas 20 interações, 5 alteradoras ambientais e 4 fatores ambientais, sendo cada uma delas feita 2 vezes, totalizando 40 quadrículas.

Em São Paulo, Silva (2006 apud Pizzo et al., 2014), apresentou um projeto sobre melhoria contínua do índice da qualidade de aterro de resíduos, onde propôs a reformulação da metodologia utilizada para a qualificação dos aterros do Estado. Com base conceitual, o autor do projeto escolheu conceitos já consagrados, como o método da matriz de Leopold, onde sua proposta foi baseada na formulação de um questionário mais recente que introduzisse novos itens, apresentando o objetivo de recuperar o biogás do aterro, voltado para sistema de gestão ambiental e avaliação do potencial de aproveitamento energético.

No município de Brejo Santo, Ceará, Carneiro e Campos (2006 apud Pizzo et al., 2014), objetivou seu artigo, na realização de uma análise *ex post* do Estudo de Impacto Ambiental, EIA, do reservatório Atalho. Onde procuraram identificar a viabilidade ambiental do projeto, que, inicialmente, foi sugerido por meio de uma análise dos principais impactos ambientais decorrentes de sua implantação e operação. A avaliação do impacto empreendido foi realizada através da evolução do método matricial proposto por Leopold. Em sua análise

global, os resultados obtidos para as áreas de influência física e funcional, comprovaram que o projeto apresentava uma soma de benefícios ponderados inferior ao conjunto das adversidades e das indefinições presenciadas que, em sua versão original, caracterizava-o como incerto ou mal gerado. Sendo necessário para reverter esse quadro, a incorporação de medidas de proteção ambiental que conduzisse o projeto para uma situação favorável ao meio natural.

2.4.1 Matriz de Leopold Adaptada

Leopold et al. (1971), definiu a Matriz de Leopold como sendo uma tabela utilizada para identificar as interações entre as atividades de construção e operação de um sistema, dispondo-as num eixo e as características ambientais, noutro. Enquanto a Matriz de Leopold Adaptada é a mesma matriz só que com alterações que satisfaçam um determinado fim específico, apresentando modificações na sua estrutura padrão, onde se adiciona ou remove itens, aumenta ou reduz a quantidades de quadrículas, etc. Apresentando bastante utilidade como um resumo da avaliação ambiental para expor facilmente o que são considerados os impactos significativos e a sua importância pelos autores do relatório de impacto. Desse lugar, a matriz possui diversas variantes e tem sido amplamente utilizada em estudos de impactos ambientais, EIA, procurando associar os impactos de uma determinada ação de um empreendimento com as diversas características ambientais de sua área de influência.

No presente trabalho foi criada uma adaptação da matriz original para realizar uma análise dos impactos gerados pelos indicadores físicos de uma Bacia Hidrográfica. Foram selecionados das linhas da matriz original aqueles parâmetros que melhor se relacionam com a drenagem pluvial urbana (TUCCI *et al.*, 1995; CARDOSO, 2008) e, posteriormente, no intuito de facilitar a interpretação da matriz quanto à avaliação de magnitude de importância do impacto, foram subdivididos os seguintes critérios: físico, hidrológico, econômico, ambiental e social.

A figura 14, apresentada a seguir, exemplifica o formato de uma Matriz de Leopold Adaptada.

Figura 14: Modelo da matriz adaptada

MATRIZ DE LEOPOLD ADAPTADA									
Atividades	Aspectos Ambientais							MÉDIAS	ÍNDICE FINAL
	Aspecto Ambiental "1"	Aspecto Ambiental "n"		
Atividade "1"									
.....									
.....									
.....									
Atividade "n"									

Magnitude		Importância
-----------	---	-------------

Fonte: SILVA E MORAES (2012).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo, serão descritas as etapas metodológicas utilizadas para a formulação de um programa computacional proposto para avaliar os impactos de inundações em áreas urbanas, através da análise entre o Programa e os Mapas Temáticos de indicadores físicos, conforme exposto, respectivamente, no objetivo geral e específico deste trabalho.

Para tanto, propõe-se uma metodologia composta pelas seguintes etapas:

- Revisão Bibliográfica;
- Escolha dos Indicadores;
- Formulação da Matriz de Leopold Adaptada;
- Linguagem de Programação adotada;
- Seleção de uma área de estudo e aplicação da metodologia desenvolvida;
- Análise de Mapas Temáticos propostos;
- Redação dos estudos elaborados.

A primeira etapa, apresentada no item anterior, contém os conceitos que servem de embasamento para o estudo proposto, ou seja, entender sobre as definições, histórico, aspectos e impactos de inundações. Inclui também nessa etapa, um entendimento sobre Matriz de Leopold e Indicadores Físicos de uma Bacia Hidrográfica. E, no intuito de alcançar maiores fundamentos sobre os assuntos, foram feitas também consultas em monografias, artigos, sites e livros direcionados ao tema proposto.

Na segunda etapa, serão descritas as considerações adotadas na seleção dos indicadores que irão compor a análise de impactos causadas em áreas de Bacias Hidrográficas, as principais características de cada um e a associação com o que se pretende representar.

A terceira etapa, é constituída em abordagens sobre a formulação da Matriz de Leopold Adaptada proposta ao trabalho, que consiste na união entre duas linhas de verificação, com o objetivo de identificar os possíveis impactos.

Na quarta etapa, já conhecendo o problema, foi possível fazer uma especificação dos requisitos necessários para o desenvolvimento do programa. Nesta etapa, foi definido que o programa iria utilizar a linguagem de programação Python.

Na quinta etapa, é apresentada a descrição de uma área selecionada para estudo, Bacia do Bairro do Barreto, localizada na cidade de São Luís – MA, que é utilizada para a aplicação do Mapas Temáticos propostos e usada como área de aplicabilidade do programa computacional, como forma de obtenção de resultados.

Na sexta etapa, é feita uma análise, com base nos Mapas Temáticos desenvolvidos em pesquisa pelo autor deste trabalho, na área selecionada para estudo, informando os seus aspectos influenciados pelos Indicadores Físicos da Bacia hidrográfica, conflitantes de inundações urbanas.

Por fim, na sétima etapa, é feita a redação final dos estudos onde são apresentadas, também, os resultados de suas aplicabilidades e as conclusões sobre o trabalho desenvolvido.

3.1 Escolha dos Indicadores

A escolha dos indicadores depende, basicamente, das características a serem analisadas e do propósito inicial de estudo. Dessa forma, os indicadores escolhidos devem caracterizar, satisfatoriamente, uma situação particular que refletem fatores que causam ou potencializam as causas das inundações (ALBUQUERQUE, 2015).

Para a seleção das causas mais significativas, utilizou-se como critério considerar os fatores que apontam e fornecem informações sobre a criticidade de uma inundação, resultando nos seguintes efeitos: danos diretos ou indiretos à saúde; integridade física de indivíduos; danos físicos à construção, estrutura, e a seu conteúdo; perdas ou danos a estoques de matéria-prima e produtos acabados e custos de limpeza e de interrupção de serviços públicos e de infraestrutura (ALBUQUERQUE, 2015).

Neste estudo, os indicadores selecionados são representativos dos problemas de inundação que ocorrem na área de aplicação da metodologia proposta, utilizando os mapas temáticos e o programa computacional de avaliação de impactos de inundações urbanas, como estudo de caso, porém podem representar a mesma situação para outras áreas urbanas (ALBUQUERQUE, 2015).

Conforme apresentado no Item 2.3.1, os indicadores devem apresentar algumas características específicas, as quais foram consideradas nesta etapa de trabalho. Dessa forma, os indicadores selecionados permitem medir o que se pretende, são de fácil compreensão e apresentados de forma simples (ALBUQUERQUE, 2015).

Assim sendo, os indicadores foram obtidos como resultado de um levantamento de dados em órgãos governamentais, cartografias e mapas, visitas e questionários aplicados na região urbana, Bairro Barreto, São Luís – MA, para aplicação real do programa e estudo dos mapas temáticos. Alguns exemplos de órgãos governamentais, que serviram como referências, são: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Secretaria Estadual do Meio

Ambiente e Recurso Natural (SEMA – Maranhão), entre outros. É importante observar que essas informações são públicas, cuja aplicação é adequada ao que se propõe (ALBUQUERQUE, 2015).

A seguir, são apresentadas a descrição e as considerações dos quatro indicadores escolhidos, sendo: a declividade da bacia; a impermeabilização do solo; a disposição inadequada de resíduos sólidos; e a proximidade dos cursos d'água. Uma abordagem sobre os efeitos desses fatores nas causas das inundações urbanas está apresentada no Capítulo 2.

3.1.1 Declividade

Quando se fala em áreas inundadas, costuma-se associar às áreas localizadas em regiões mais planas, ou seja, com baixas declividades. Esse indicador utiliza a declividade natural da bacia hidrográfica, como indicativo da probabilidade de ocorrência de uma inundação, pois são em áreas planas, apresenta baixa eficácia no escoamento das águas. A água proveniente da precipitação pluviométrica, por ação da gravidade, tende a ocupar as áreas inferiores e a sofrer armazenagem temporária nas áreas de menores declividades (COELHO, 2011 apud ALBUQUERQUE, 2015).

Segundo Villela (1975 apud Albuquerque, 2015), a topografia de bacias hidrológicas é um importante aspecto causador de inundações, visto que sua declividade influencia em uma parte da velocidade de escoamento superficial, determinando o tempo de concentração e definindo a magnitude dos picos de inundação. Quanto mais alto for o nível do terreno, mais acelerado será o escoamento superficial e, conseqüentemente, menor será o tempo de concentração, elevando os picos de inundação.

Em áreas planas, é reconhecida a invasão das águas pelas ruas, calçadas e nos interiores de comércio e residências. Nessas áreas, as águas tendem a permanecer paradas por mais tempo, criando restrições para o trânsito de pedestres e veículos, danos a estruturas e um aumento na possibilidade de transmissão de doenças de veiculação hídrica ou transmitidas por vetores (ALBUQUERQUE, 2015).

A seguir, têm-se as Figuras 15 e 16 ilustrando situações, em diferentes cidades, que mostram a ocorrência de inundações em áreas de baixa declividade.

Figura 15: Inundação na Avenida Guajajaras, São Luís – MA.



Fonte www.imirante.com (acesso em 30/04/2016)

Figura 16: Inundação em vias urbanas, São Paulo – SP.



Fonte: www.stickel.com.br (acesso em 30/04/2016)

A relação entre a declividade/topografia da região e a probabilidade no que se refere a ocorrências de inundações é bem clara, como também é inquestionável sua influência no potencial de danos causados (ALBUQUERQUE, 2015).

Neste trabalho, esse indicador é denominado de “declividade” e foi utilizado como sendo um dos indicadores físicos utilizados na análise de impactos agravados por suas características em propiciar uma inundação, visto que, seus aspectos foram introduzidos nas questões estatísticas de cada critério, mencionado no Item 2.2, que gera o funcionamento e compõe o banco de dados do programa computacional, além de fazer parte dos mapas temáticos proposto para análise de resultados na área de aplicação junto com o programa.

3.1.2 Impermeabilização ou Uso do Solo

Outro fator de grande relevância na incidência de inundações urbanas é a impermeabilização do solo. Conforme já explanado neste estudo, no Item 2.1.2, o uso e ocupação do solo urbano trouxeram mudanças significativas na situação original de escoamento superficial, decorrente da substituição da vegetação natural por áreas impermeabilizadas, entre outros fatores. Sem a possibilidade de infiltrar no solo, devido à ausência de vegetação (substituída pela presença de pavimentos e edificações, consequentes do processo de urbanização), a água tende a escoar com maior volume e velocidade para as regiões mais baixas, provocando, quase sempre, inundações no local (COELHO, 2011 apud ALBUQUERQUE, 2015).

A relação entre a impermeabilização do solo de uma região e a probabilidade no que se refere a ocorrências de inundações é bem clara e notória nas grandes cidades onde a urbanização é cada dia mais crescente. Consequentemente, é evidente a relação entre esse indicador e os prejuízos causados pela inundação (ALBUQUERQUE, 2015).

A seguir são apresentadas algumas imagens, figuras 17, 18 e 19, que ilustram áreas com diferentes impermeabilizações do solo urbano.

Figura 17: Obras de pavimentação urbana no bairro Cidade Operária, São Luís – MA.



Fonte: www.oimparcial.com.br (acesso em 30/04/2016).

Figura 18: Bairro urbanizado, em São Luís – MA, com baixa permeabilidade do solo.



Fonte: imirante.globo.com (acesso em 30/04/2016).

Figura 19: Margens do Rio Anil, com vista da Av. IV Centenária, onde se observa área de vegetação de alta permeabilidade do solo.



Fonte: blogpedrofernandes.wordpress.com (acesso em 30/04/2016).

Neste trabalho, esse indicador é denominado de “impermeabilização e uso do solo” e foi utilizado como sendo mais um dos indicadores físicos utilizados na análise de impactos agravados por suas características em propiciar uma inundação, visto que, seus aspectos foram introduzidos nas questões estatísticas de cada critério, mencionado no Item 2.2, que gera o funcionamento e compõe o banco de dados do programa computacional, além de fazer parte dos mapas temáticos proposto para análise de resultados na área de aplicação junto com o programa.

3.1.3 Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos

Conforme o exposto no Item 2.1.2, o aumento de resíduos sólidos urbanos está, a cada dia, mais relacionado ao problema de inundações e à questão da drenagem urbana. Uma cidade, no estágio de desenvolvimento, pode-se observar o aumento de resíduos sólidos ou sedimentos decorrentes de obras em execução. Posteriormente, a quantidade de resíduos se eleva, tendo em vista que a cidade está desenvolvida e, os lixos provenientes da população aumentam. Por fim, estes incrementos obstruem os cursos d'água naturais potencializando as inundações (ALBUQUERQUE, 2015).

Segundo Coelho (2011 apud Albuquerque, 2015), o carreamento de resíduos para os cursos naturais são consequências, principalmente, dos fatores: da frequência e da cobertura da coleta de lixo; da frequência da limpeza e da varrição das ruas; da natureza da ocupação e das atividades desenvolvidas na área; e da forma de disposição do lixo pela população. Conjuntamente a esses fatores, também depende da frequência e da intensidade das precipitações pluviométricas ocorridas.

Outro fator que prejudica o escoamento natural das águas e potencializam as inundações é a prática inadequada utilizada para eliminar os resíduos sólidos, dentre elas estão a descarga em mananciais e a disposição em aterros ou em áreas livres. Nesse último caso, os resíduos produzidos e dispostos e acumulados de forma inadequada, podem ser carreados e transportados pela ação do vento ou da chuva e acabam atingindo os cursos d'água naturais e, conseqüentemente, contribuindo para agravar a ocorrência de inundação no local (ALBUQUERQUE, 2015).

Dessa forma, tanto a falta do serviço de coleta, a limpeza e varrição das ruas, bem como a quantidade de locais com disposição inadequada de resíduos sólidos, podem potencializar a probabilidade de ocorrência de inundações urbanas (ALBUQUERQUE, 2015). A seguir, apresentam-se as Figuras 20 e 21, mostrando situações inadequadas de depósitos e acúmulos de resíduos sólidos em áreas urbanas.

Figura 20: Resíduos da construção civil acumulados em via central de São Luís – MA.



Fonte: www.cazombando.blogspot.com (acesso em 30/04/2016)

Figura 21: Resíduos sólidos despejados na Avenida Vicente Carvalho, Penha, Rio de Janeiro – RJ.



Fonte: www.extra.globo.com (2013)

Diante o exposto, entende-se que fica clara a relação entre esse indicador e as causas de uma inundação. No entanto, não há estudos indicativos da relação entre a quantidade de resíduos sólidos que atinge os cursos d'água e a potencialização nas causas de uma inundação. Na ausência de mais informações, considera-se que quanto maior for a quantidade de resíduos, maior será a probabilidade de ocorrer uma inundação (ALBUQUERQUE, 2015).

Entre os fatores que podem contribuir para potencializar uma inundação, são considerados, neste trabalho, a cobertura do serviço de coleta e a quantidade de locais com disposição inadequada dos resíduos sólidos. Cabe ressaltar que a disposição inadequada de resíduos sólidos, muitas vezes, é consequência da pouca frequência do serviço de coleta de lixo (ALBUQUERQUE, 2015).

Neste trabalho, esse indicador é denominado de “disposição inadequada de resíduos sólidos” e foi utilizado como sendo outro dos indicadores físicos utilizados na análise de impactos agravados por suas características em propiciar uma inundação, visto que, seus aspectos foram introduzidos nas questões estatísticas de cada critério, mencionado no Item 2.2, que gera o funcionamento e compõe o banco de dados do programa computacional, além de fazer parte dos mapas temáticos proposto para análise de resultados na área de aplicação junto com o programa.

Como ilustração e também com o objetivo de dar maior credibilidade ao estudo realizado, apresenta-se com mais detalhes no Item 3.1.2 – Pesquisa de Campo, alguns locais observados com disposição inadequada de resíduos, na área de aplicação da metodologia.

3.1.4 Proximidade dos Cursos D'Água

Assim como os outros indicadores, a análise da situação dos domicílios em relação às suas proximidades aos cursos d'águas é de suma importância para o estudo das causas das inundações urbanas (ALBUQUERQUE, 2015).

É conhecido que, na ocorrência de uma inundação, a população mais atingida, é a que ocupa áreas próximas a cursos d'água ou as de várzeas, muitas vezes localizadas em Áreas de Proteção Permanentes. O impacto maior ocorre quando a população ocupa a área que margeia o leito menor, estrangulando o curso d'água, tendo como consequência os alagamentos de áreas antes não alagáveis (ALBUQUERQUE, 2015).

A seguir, apresentam-se as Figuras 22 e 23, que ilustram situações de ocupação em áreas próximas a cursos d'água.

Figura 22: Ocupação em áreas próximas à cursos d'água no bairro Barreto, em São Luís – MA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 23: Ocupação na margem do Canal do Rio Anil, em São Luís – MA.



Fonte: Silva (2006).

Desse modo, entende-se que quanto maior a proximidade de um imóvel do curso d'água maior será a possibilidade de estrangular o curso natural da água, como também sofrer com os danos causados pelas inundações. Deve-se, ainda, considerar o fato de que o assentamento, em áreas próximas a leitos de rios, possibilita o bloqueio de saídas de canalizações e acúmulos de resíduos sólidos gerados pela população.

Assim, o estudo desse indicador parte de uma análise da localização dos imóveis na faixa marginal ao longo do rio, ou de qualquer curso d'água, tendo, como referência, os limites das larguras mínimas, estabelecidas na legislação brasileira (federal, estadual e municipal), que estabelecem metragens de uma faixa lateral aos cursos d'água, com a finalidade de promover sua proteção (COELHO, 2011 apud ALBUQUERQUE, 2015).

Neste trabalho, esse indicador é denominado de “proximidade dos cursos d'água” e foi utilizado como sendo o quarto indicador físico utilizado na análise de impactos agravados por suas características em propiciar uma inundação, visto que, seus aspectos foram introduzidos nas questões estatísticas de cada critério, mencionado no Item 2.2, que gera o funcionamento e compõe o banco de dados do programa computacional, além de fazer parte dos mapas temáticos proposto para análise de resultados na área de aplicação junto com o programa. Essa análise foi feita através de um julgamento subjetivo e, portanto, passível de variações.

3.2 Formulação da Matriz de Leopold Adaptada

Fundamentado na matriz original de Leopold (1971) e no conhecimento de algumas matrizes adaptadas por importantes autores como Mota (2002), Roveda (2005), Costa (2005), Silva (2006) e Pizzo (2014), utilizadas em processos de avaliação de impactos ambientais, buscou-se desenvolver uma matriz que apresentasse da forma mais direta possível uma interação entre as ações do empreendimento e seus impactos sobre as diversas características do meio.

A construção da matriz, já citada, que foi utilizada para avaliar os impactos provocados por inundações, que são potencializadas pelos indicadores físicos de Bacias Hidrográficas, desenvolveu-se em 3 etapas. Na primeira etapa, fez-se conhecimento das ações potencialmente alteradoras do ambiente que seriam os itens de avaliação do impacto causado, em uma determinada região urbana, sendo alvo deste trabalho, a análise do bairro Barreto, em São Luís – MA.

Os itens mencionados anteriormente correspondem aos quatro Indicadores Físicos, atividades potencialmente impactantes aos meios e os aspectos existentes que podem ser afetados por essas atividades.

Os meios e os aspectos, fatores ou componentes, citados anteriormente, foram divididos dentro de 5 critérios ou cenários, distintos para cada análise de impacto, totalizando 21 componentes, sendo os seguintes (LUCENA; BRUMANO, 2013):

1. Cenário de meio Social:
 - a. Proliferação de doenças;
 - b. Riscos de inundação; e
 - c. Qualidade de vida.

2. Cenário de meio Econômico:
 - a. Medidas de controle do tipo estrutural;
 - b. Medidas alternativas;
 - c. Classe social da população; e
 - d. Desapropriações.

3. Cenário de meio Hidrológico:
 - a. Precipitação;
 - b. Evapotranspiração;
 - c. Nível do lençol freático;
 - d. Infiltração no solo; e
 - e. escoamento superficial.

4. Cenário de meio Físico:
 - a. Assoreamento e sedimentação;
 - b. Limites de construção;
 - c. Uso e Ocupação da área; e
 - d. Estético/Paisagístico.

5. Cenário de meio Ambiental:
 - a. Qualidade do ar;
 - b. Qualidade do solo;
 - c. Temperatura;
 - d. Qualidade da água; e
 - e. Contaminação de aquíferos.

Foi gerada, então, uma matriz de 21x1, totalizando 21 interações, salientando-se que foram analisadas as ações impactantes associadas aos impactos de componentes de cada critério, podendo ser mais ou menos forte, dependendo da interação que se está analisando (PIZZO, 2014).

Em seguida, cada cruzamento proposto pela matriz foi ponderado quanto a importância e magnitude. Para a importância, que, usualmente, são de relevância global no contexto espaço-temporal, foi considerado o resultado da soma dos valores dos atributos de ação, ignição e criticidade, obtidos com auxílio de mapas, visitas e questionários aplicados na região urbana, Bairro Barreto, São Luís – MA, área de aplicação real do programa (PIZZO, 2014).

O resultado da ponderação de atributos não é uma medida do impacto, no sentido físico de uma grandeza que possa servir de padrão para avaliar outras do mesmo gênero, mas uma apreciação qualitativa da importância do Impacto (SÁNCHEZ, 2006 APUD SILVA E MORAES, 2012). Nas tabelas 1 e 2 estão expostas, respectivamente, as ponderações de cada atributo para a formação do peso final, referente à importância e o peso final ponderado da importância para cada cenário proposto neste trabalho.

Tabela 01: Ponderação dos valores, pesos, para os atributos de importância

IMPORTÂNCIA = Ação + Ignição + Sinergia e Criticidade	
Ação (Peso: 1 a 3) número de efeitos que a ação causa	▪ Primária (+1): 1 causa x 1 efeito;
	▪ Secundária (+2): 1 causa x 2 efeitos;
	▪ Terciária (+3): 1 causa x 3 efeitos.
Ignição (Peso: 1 a 3)	▪ Imediata (+1): causa → efeito simultâneo
	▪ Médio prazo (+2): causa → efeito simultâneo e/ou tempo depois;
	▪ Longo prazo (+3): causa → efeito surge muito tempo depois, concomitante ou não com os casos anteriores.
Sinergia e Criticidade (Peso: 1 a 3)	▪ Baixa (+1): Baixo nível de ação entre os fatores causa → efeito;
	▪ Média (+2): Médio nível de ação entre os fatores causa → efeito;
	▪ Alta (+3): Alto nível de ação entre os fatores causa → efeito.

Fonte: Adaptado de Rocha (2005 apud Silva e Moraes, 2012).

Tabela 02: Modelo da matriz adaptada com importância de parâmetros.

CRITÉRIOS	PARÂMETROS	Pontuação
SOCIAL	Proliferação de doenças	3
	Riscos de inundação	3
	Qualidade de vida	3
ECONÔMICO	Medidas de controle do tipo estrutural	3
	Medidas alternativas	1
	Classe Social da população	1
	Desapropriações	2
HIDROLÓGICO	Precipitação	2
	Evapotranspiração	2
	Nível do lençol freático	3
	Infiltração no solo	3
	Escoamento superficial	3
FÍSICO	Assoreamento e sedimentação	2
	Limites de construção	1
	Uso e Ocupação da área	1
	Estético/Paisagístico	3
AMBIENTAL	Qualidade do ar	1
	Qualidade do solo	2
	Temperatura	1
	Qualidade de água	1
	Contaminação de aquíferos	2
TOTAL		

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

E para a magnitude foi considerado como sendo os próprios valores de avaliação (ação do empreendimento, no caso de Leopold), que foram definidos em -4, -3, -2, -1, e 0, sendo tanto menor quanto mais falha, valor negativo, for a ação do alterador naquele quesito (PIZZO, 2014). Podendo-se pensar que as respostas anteriores correspondem, respectivamente, às seguintes afirmações às questões:

- a) Péssimo
- b) Muito ruim
- c) Ruim
- d) Levemente ruim
- e) Indiferente/neutro

A última etapa consiste em cruzar o somatório dos valores obtidos para importância e magnitude, multiplicando um pelo outro, obtendo-se assim um índice final para os vários critérios (situações propostas). Dessa forma, o valor de cada quadrícula variará de 0 a -12, enquanto na matriz de Leopold, cada quadrícula assume valores de -100 a +100 (SILVA E MORAES, 2012).

Ao final, deve-se lembrar que não foram resolvidas apenas 21 quadriculas, mas 84 (21 para cada indicador físico). É importante não confundir que o que cada quadricula leva em conta é o critério de avaliação de impacto causado pela inundação. Assim sendo, quanto menor for o valor, significa que mais negativa foi a interação (mais desfavorável, com efeito mais duradouro) (PIZZO, 2014).

Com essa metodologia, baseada em índices, foi possível identificar as atividades mais impactantes para cada meio.

Ao final, realiza-se o somatório geral das quadriculas de cada cenário, e acha-se uma média geral de impactos.

3.3 Linguagem de Programação Python

Python é uma linguagem de programação de altíssimo nível, de sintaxe moderna, orientada a objetos, interpreta via *bytecode*, com tipagem forte e dinâmica, modular, imperativa, funcional, de *script*, multiplataforma, de fácil aprendizado e de implementação livre. Seu lançamento se deu por Guido van Rossum em 1991. Atualmente, a organização sem fins lucrativos Python Software Foundation que gerencia essa linguagem de programação, libera o produto de forma comunitária e aberta (PYSCIENCE, 2016).

Segundo Pyscience (2016), a linguagem foi projetada com a filosofia de enfatizar a importância do esforço do programador sobre o esforço computacional. Prioriza a legibilidade do código sobre a velocidade ou expressividade. Combina uma sintaxe concisa e clara com os recursos poderosos de sua biblioteca padrão e por módulos e *frameworks* desenvolvidos por terceiros.

Python é uma linguagem de propósito geral de alto nível, multi paradigma, suporta o paradigma orientado a objetos, imperativo, funcional e procedural. Possui tipagem dinâmica e uma de suas principais características é permitir a fácil leitura do código e exigir poucas linhas de código se comparado ao mesmo programa em outras linguagens. Devido as suas características, ela é principalmente utilizada para processamento de textos, dados científicos e criação de CGIs para páginas dinâmicas para a web. Os seus Objetivos do projeto da linguagem eram: produtividade e legibilidade. Entre as características da linguagem que ressaltam esses objetivos estão (PYSCIENCE, 2016):

- Baixo uso de caracteres especiais, o que torna a linguagem muito parecida com o pseudo-código executável;
- Uso de indentação para marcar blocos;
- Quase nenhum uso de palavras-chave voltadas para a compilação;
- Coletor de lixo para gerenciar automaticamente o uso da memória; etc.

Além disso, Python suporta múltiplos paradigmas de programação. A programação procedimental pode ser usada para programas simples e rápidos, mas estruturas de dados complexas, como tuplas, listas e dicionários, estão disponíveis para facilitar o desenvolvimento de algoritmos complexos. Grandes projetos podem ser feitos usando técnicas de orientação a objetos, que é completamente suportada em Python (inclusive sobrecarga de operadores e herança múltipla). Um suporte modesto para programação funcional existe, o que torna a linguagem extremamente expressiva: é fácil fazer muita coisa com poucas linhas de comando. E também possui inúmeras capacidades de meta-programação: técnicas simples para alterar o comportamento de comportamentos da linguagem, permitindo a criação de linguagens de domínio específico (PYSCIENCE, 2016).

Python tem uma biblioteca padrão imensa, que contém classes, métodos e funções para realizar essencialmente qualquer tarefa, desde acesso a bancos de dados a interfaces gráficas com o usuário. E, logicamente, existem muitas ferramentas para lidar com dados científicos. Essa característica da linguagem é comumente chamado baterias inclusas,

significando que tudo que se precisa para rodar um programa está presente na instalação básica (PYSCIENCE, 2016).

Python é uma linguagem livre e multiplataforma. Isso significa que os programas escritos em uma plataforma serão executados sem nenhum problema na maioria das plataformas existentes sem nenhuma modificação. E, caso a plataforma objetivo não tenha uma versão de Python, desenvolvedores têm a liberdade de estudar e modificar o código da linguagem para fazer com que ela rode onde quer que seja (PYSCIENCE, 2016).

Esta Linguagem foi escolhida pelas facilidades incríveis para uso geral, onde se torna uma linguagem ideal para aplicações científicas pelo fato de (PYSCIENCE, 2016):

- Python é uma linguagem expressiva, em que é fácil traduzir o raciocínio em um algoritmo. Em aplicações científicas, o raciocínio é essencialmente complicado – essa é a natureza das ciências. É um problema adicional para o cientista ter que se preocupar com, além do assunto básico de sua pesquisa, a correção do programa em detalhes pouco relevantes: alocação de memória, gerenciamento de recursos, etc. Python faz isso tudo automaticamente de maneira muito eficiente, permitindo ao cientista se concentrar exclusivamente no problema sendo estudado;
- Python é extremamente legível. Isso significa que é muito fácil compreender programas escritos há algum tempo. É muito comum que os programas em atividades científicas sejam criados a partir da evolução de algoritmos anteriores. Portanto, é extremamente importante ser capaz de entender o que foi feito antes. Uma vez que as palavras-chave da linguagem Python são voltadas para a estruturação dos programas, não existem trechos de código que são inúteis para o raciocínio.
- Python tem uma comunidade ativa e vibrante, espalhada por todo o mundo. E, sendo uma linguagem livre, todos os seus usuários estão dispostos a contribuir. Isso faz com que a documentação seja abundante e existam módulos para executar virtualmente qualquer tarefa necessária. Isso é importante: não há tempo para reinventar a roda, então poder contar com módulos prontos é ótimo. Mas, mais que isso, uma vez que os programas em Python são distribuídos na forma de código-fonte, qualquer pessoa pode alterar, corrigir e melhorar os algoritmos. Isso faz com que os módulos sejam maduros e seguros, testados contra diversas situações e diversas vezes. Alcançando a robustez importante.

- Python é, além disso, uma linguagem de propósito geral. Muitas vezes, é necessário lidar com tarefas laterais: buscar dados em um banco de dados remoto, ler uma página na internet, exibir graficamente os resultados, criar uma planilha, etc. Linguagens de cunho especificamente científico têm um sério problema aí, mas, uma vez que Python é utilizada em praticamente todo tipo de tarefa, encontram-se módulos prontos para realizar essas tarefas que podem ser tornar complicadas. Novamente, é uma preocupação a menos para quem está desenvolvendo aplicações científicas.

Por esses e ainda outros motivos, Python tem conquistado uma grande popularidade entre a comunidade científica. É uma linguagem simples que dá conta do recado e não fica entre o cientista e a resolução do seu problema. Essa frase provavelmente resume todos os motivos necessários para sua utilização (PYSCIENCE, 2016).

3.4 Seleção de uma área de estudo para aplicação da metodologia desenvolvida

Como objetivo específico deste estudo, em selecionar uma área para análise de impactos de inundação, na área urbana de São Luís – MA, este Item visa verificar a aplicabilidade da metodologia proposta. O resultado será apresentado em mapas temáticos possibilitando a identificação de áreas de maior criticidade e aplicados ao programa, indicando o grau dos impactos causados pelas inundações.

A região selecionada para o estudo, foi a da bacia do Bairro Barreto, sua escolha se deu devido à algumas razões, tais como: pela existência de áreas críticas em relação às inundações urbanas, por apresentar várias situações com imóveis localizados próximos a cursos d'água e por se tratar de um bairro residencial de alta densidade.

3.4.1 Caracterização da Área

O Bairro do Barreto tem acesso através da Avenida dos Franceses, na cidade de São Luís, capital do Estado do Maranhão. A mesma se encontra situada próxima ao Estádio do Castelão e apresenta outros pontos de referência tais como o DETRAN – MA e o Viaduto Alcione Nazaré (ALBUQUERQUE, 2015).

Com o crescimento da cidade, houve um aumento populacional de maneira desordenada dando origem a bairros que cresceram sem infraestrutura, planejamento urbano e saneamento básico. Aos poucos, a população de baixa renda foi ocupando as margens de canais naturais, bem como as áreas de mangues. Logo, essa população assumiu a prática indevida de lançar seus esgotos e resíduos sólidos nos cursos d'água (ALBUQUERQUE 2015).

Dentre os bairros com essas características pode-se citar o Bairro Barreto. Trata-se de um bairro predominantemente residencial, que apresenta áreas com características distintas. Parte do bairro apresenta ruas com traçado em simetria, outra parte do bairro, apresenta ocupações irregulares com pequenos lotes e um traçado de vias sem simetria, contendo várias curvas e ruas estreitas, dificultando o acesso para o seu interior. A densidade populacional desse bairro é alta e seus moradores contam, em grande parte, com uma baixa renda (ALBUQUERQUE, 2015).

Conforme já comentado, são nas regiões próximas aos canais que apresentam os maiores problemas de inundação. Esses problemas têm origem desde a formação do bairro apresentando uma ocupação consolidada nas áreas baixas, ao longo das margens dos cursos d'água o que torna ainda mais complexo e custoso o controle das inundações (ALBUQUERQUE, 2015).

Além do inadequado processo de ocupação e uso do solo outros fatores agravantes podem ser associados, por exemplo: a deficiência dos serviços de esgotamento sanitário e coleta de resíduos sólidos; a falta de limpeza e manutenção dos cursos d'água e dos dispositivos de drenagem existente, e a construção de edificações, próximo ao canal, que obstrui, parcialmente, as suas calhas (ALBUQUERQUE, 2015).

A seguir apresentam-se algumas imagens de alagamentos no Bairro Barreto:

Figura 24: Vista de Rua do Bairro Barreto que sofre com problemas de alagamento.



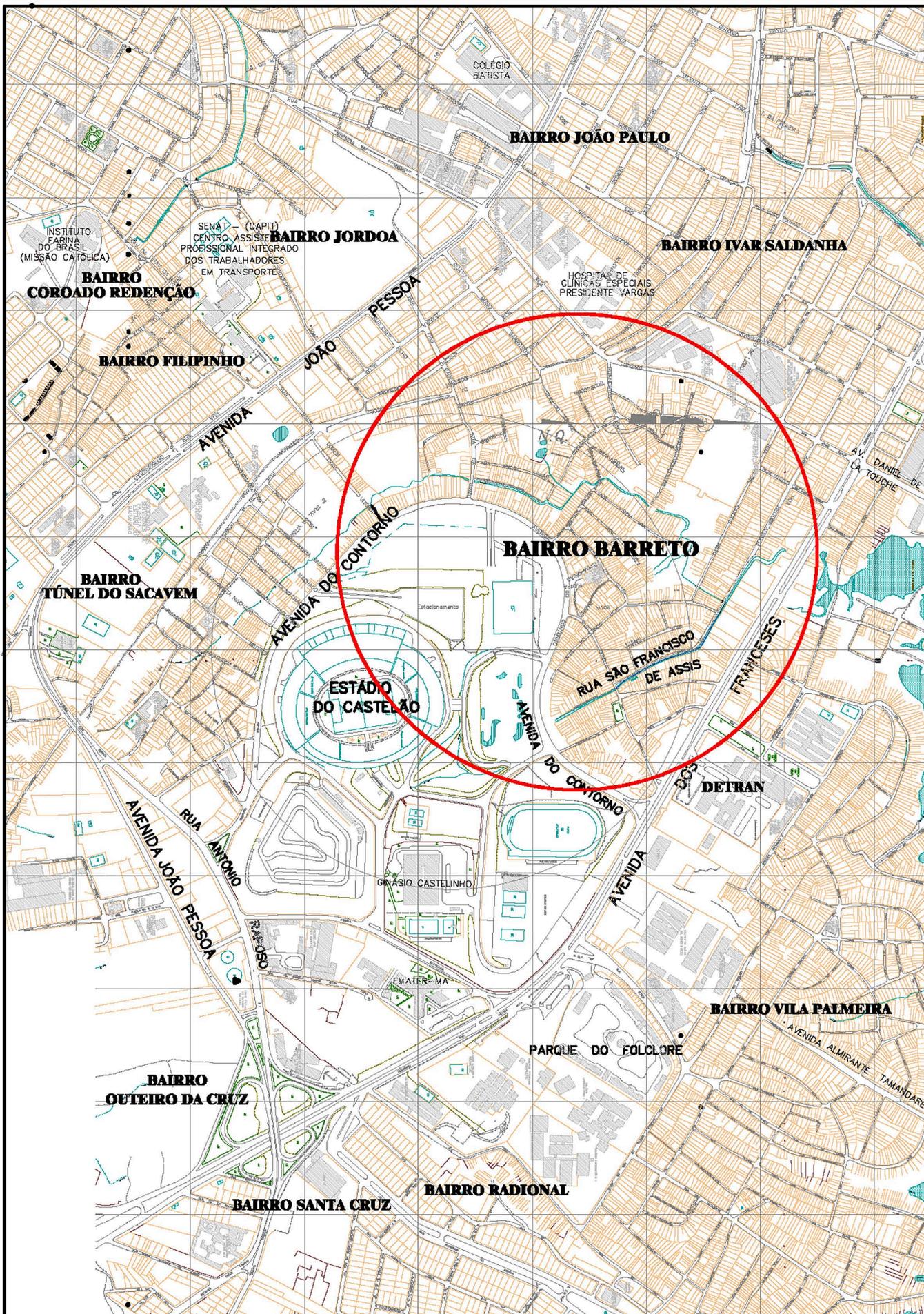
Fonte: www.idifusora.com.br (2015).

Figura 25: Outra vista de Rua alagada próximo ao canal do Bairro Barreto.



Fonte: www.idifusora.com.br (2015).

A seguir apresenta-se o Mapa 01, mostrando com mais detalhes a localização do Bairro Barreto.

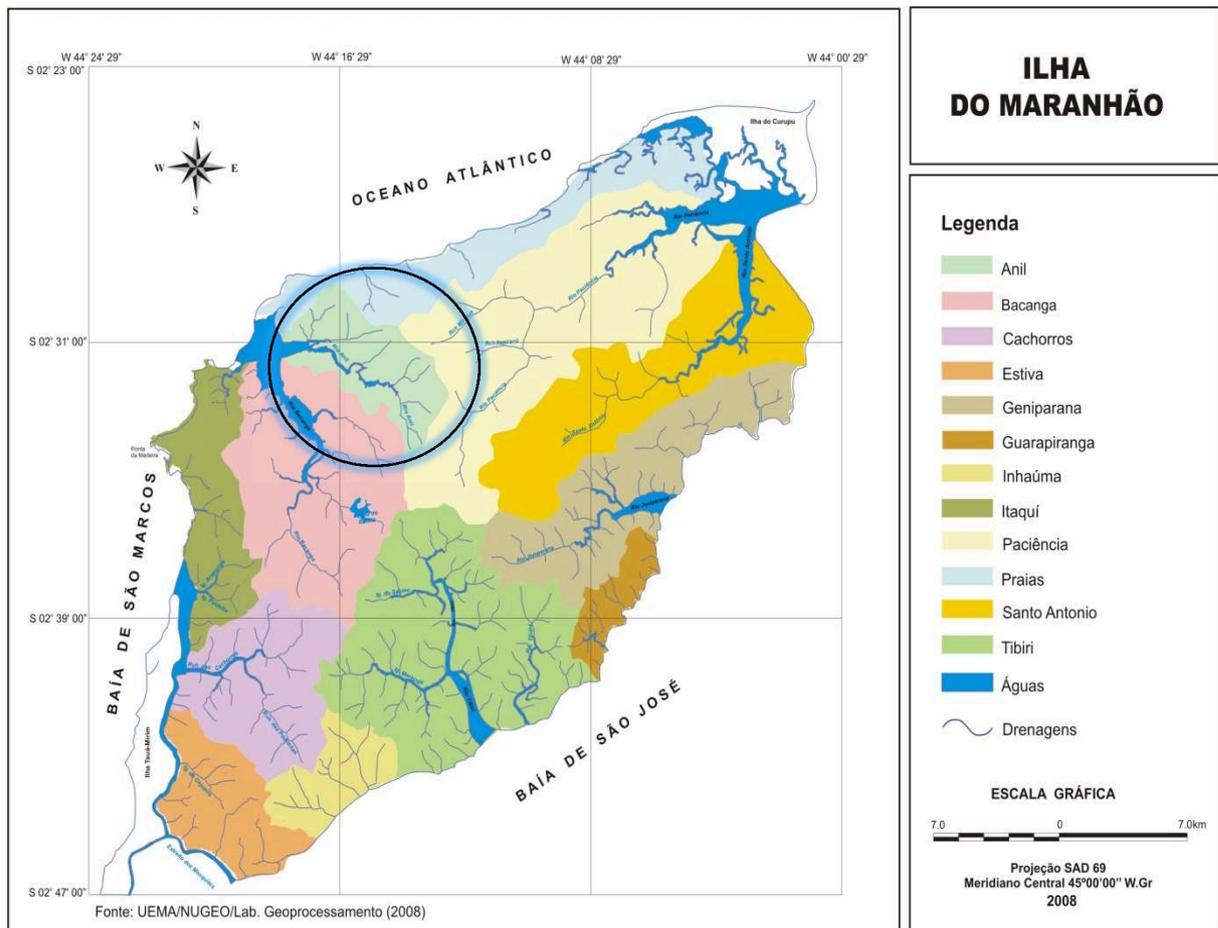


<p>UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO-UEMA</p>	<p>PLANTA DE LOCALIZAÇÃO BAIRRO BARRETO</p>	<p>FEVEREIRO/2015</p>
<p>CONVENÇÕES:</p> <ul style="list-style-type: none"> — - CIRCULO D'ÁGUA — - ÁREA DE ESCLUIÇÃO 	<p>MAPA 01</p>	<p>ESCALA S/ESC.</p>

A bacia do Bairro Barreto é composta, em sua maioria, de cursos d'água de pequeno volume, desembocando em superfícies baixas, e em seguida, cruza a Avenida dos Franceses através de um bueiro, e desagua no Rio Anil (ALBUQUERQUE, 2015).

Ressalta-se que a bacia hidrográfica que envolve a área de estudo pertence à bacia do Rio Anil, que pode ser visualizada na Figura 26, contendo a hidrografia da Ilha de São Luís, composta por doze bacias hidrográficas (ALBUQUERQUE, 2015).

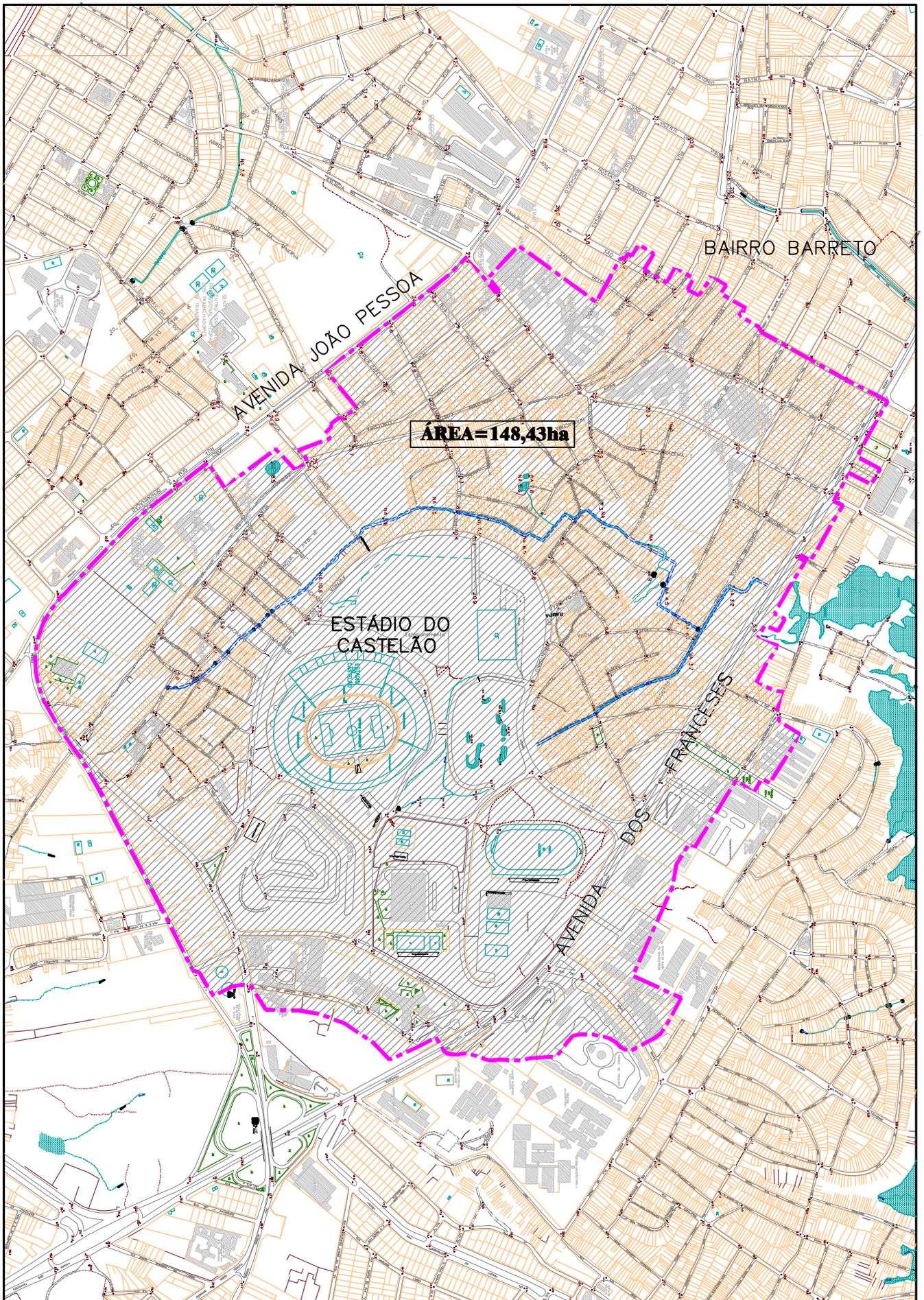
Figura 26: Bacias Hidrográficas da Ilha de São Luís – MA.



Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UEMA/NUGEO (2008).

A bacia em estudo tem uma área aproximada de 148,43 ha, apresenta como seu principal componente hídrico um canal natural que inicia por trás do Estádio do Castelão e caminha por dentro do bairro, em cujo percurso, observam-se alguns pontos de estreitamento e deslocamento de sua calha, provocando pequenos desvios no seu leito natural (ALBUQUERQUE, 2015).

A seguir apresenta-se o Mapa 02, mostrando a delimitação da bacia hidrográfica da área de estudo.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO-UEMA

PLANTA DE BACIA
BAIRRO BARRETO

DATA
FEVEREIRO/2015

CONVENÇÕES:

- EDIFICAÇÃO
- DIVISOR DE BACIA
- CAMINHAMENTO DO CANAL NATURAL

MAPA 02

ESCALA
S/ESC.

Com o intuito de complementar as informações sobre a área de estudo e dar maior credibilidade aos estudos desenvolvidos, realizou-se uma pesquisa de campo por meio da aplicação de um questionário, cujo modelo está apresentado no Apêndice A. Com a aplicação do questionário, coletou-se diversas informações, referentes aos serviços de saneamento básico, situação dos revestimentos das vias, e outros, apresentados a seguir.

3.4.2 Pesquisa de Campo

Devido à grande abrangência e a falta de segurança da área de estudo, foram selecionadas algumas ruas para a realização da pesquisa de campo.

Essa pesquisa foi realizada no dia 29 do mês de julho de 2015, no Bairro Barreto, objetivando a identificação e análise de impactos que podem agravar as cheias. Nessa pesquisa, apresentada, na íntegra, em projeto de pesquisa científica pelo autor deste trabalho, obtiveram-se informações sobre as características que podem gerar inundações no local, e foram ouvidas 50 pessoas.

- Esse grupo de 50 pessoas é uma amostra.
- Cada pessoa ouvida nessa pesquisa é uma unidade estatística.
- Cada informação numérica obtida nessa pesquisa é um dado estatístico.

O objeto dessa pesquisa foi o canal que se localiza no Bairro Barreto, pertencente à Bacia do Rio Anil e suas proximidades.

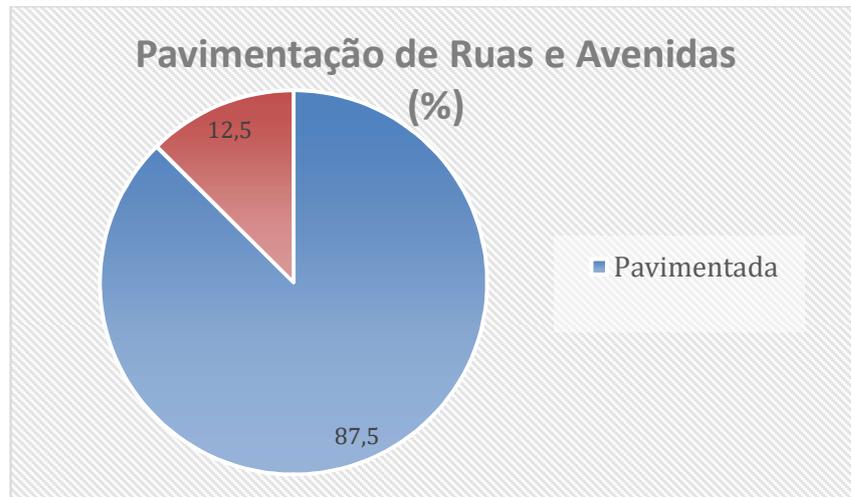
Em relação à pavimentação das vias, essas são quase que em sua totalidade pavimentadas, sendo que, em algumas são de baixa qualidade, conforme ilustrado na Figura 27. Os poucos trechos sem pavimento, são apresentados em algumas travessas e em locais com baixo índice de segurança pública, demonstrado na Figura 28.

Figura 27: Rua Renato Vieira, Bairro Barreto.



Fonte: Google Maps (2012).

Figura 28: Pavimentação de Ruas e Avenidas no Bairro Barreto, São Luís – MA.



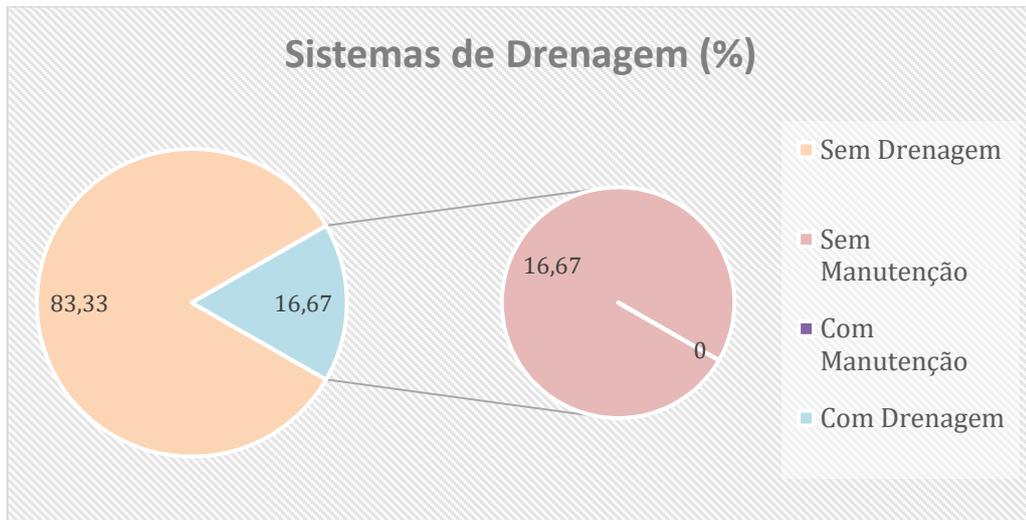
Fonte: Dados de pesquisa realizado pelo autor (2015).

Como já abordado anteriormente, a pavimentação aumenta o escoamento pluvial, diminui o tempo de concentração e reduz o processo de evapotranspiração, consequência da impermeabilização das vias. A maioria da região em estudo, não apresenta estruturas de drenagem, que gera um descontrole e provoca uma maior vazão e uma maior velocidade no escoamento, devido à inexistência de medidas que minimizem os impactos de poluição e inundação do canal, ocasionado pela falta de planejamento. Na região, há, em minoria, sistemas de drenagem nas áreas ao redor do Estádio Governador João Castelo e próximos à Avenida dos Franceses, onde os mesmos são precários de manutenção ou reparo, como mostrado as Figuras 29 e 30.

Figura 29: Rua da União, Bairro Barreto, São Luís – MA.

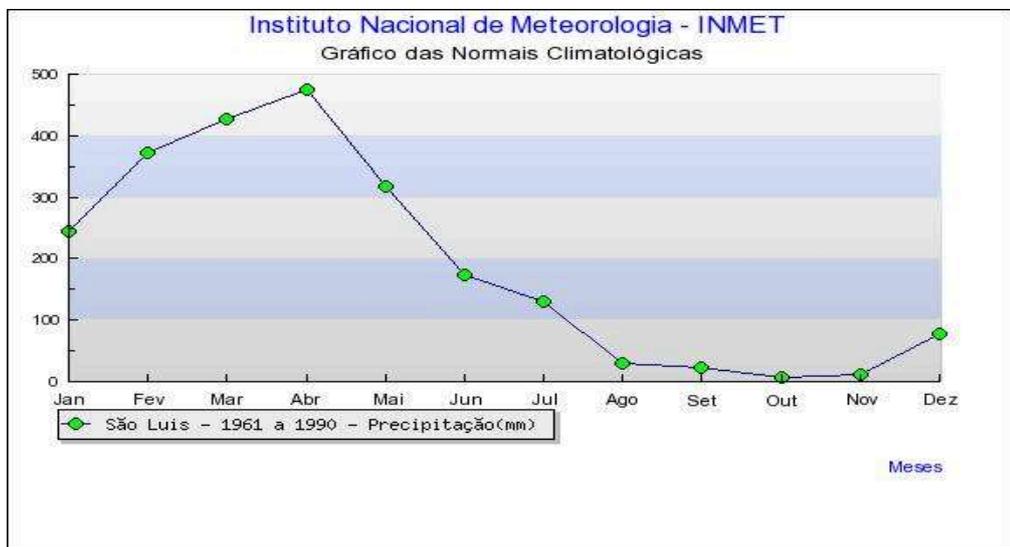


Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 30: Sistemas de Drenagem no Bairro Barreto, São Luís – MA.

Fonte: Dados de pesquisa realizado pelo autor (2015).

Em São Luís, o período chuvoso tem início em dezembro com intensidade de precipitação fraca e encerra em julho, como se observa na Figura 31 e na Tabela 3. Assim, definem-se os prováveis períodos de inundações.

Figura 31: Normais Climatológicas, em São Luís – MA.

Fonte: INMET (1990).

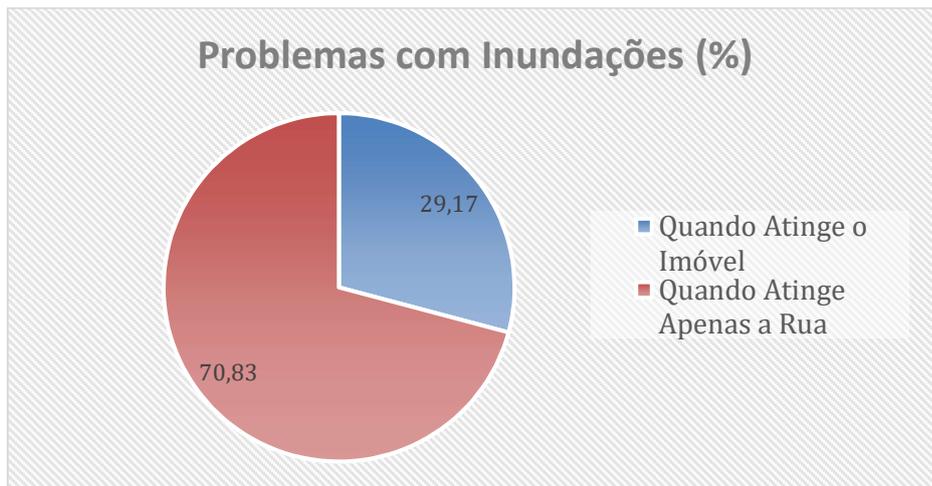
Tabela 3: Médias de Precipitações decorrente na cidade de São Luís – MA

Dados climatológicos para São Luís													
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Precipitação (mm)	244,2	373	428	475,9	316,5	173,3	131,1	29,4	23,3	7,6	10,5	77,4	2.290

Fonte: INMET (1990).

De acordo com a pesquisa realizada, sempre que chove os moradores da região da Bacia, se veem com problemas, visto que, ocorre o transbordamento do canal existente, que causa prejuízos para a população circundante. Nesta pesquisa de campo, observou-se, também, informações sobre a forma de ocorrência de inundação no bairro, ou seja, se a mesma atinge os imóveis ou se ocorre apenas na rua. O resultado obtido está apresentado abaixo, na Figura 32.

Figura 32: Problemas com Inundações no Bairro Barreto.



Fonte: Dados de pesquisa realizado pelo autor (2015).

Em conformidade com a pesquisa realizada em campo, os problemas que se limitam às ruas, ocorrem sempre quando chove, de acordo com o período de chuvas, e sua última ocorrência se dar no mês de julho. Já os problemas que trazem mais prejuízos à população, são aqueles em que as águas pluviais invadem seus imóveis, em maioria, localizados próximos ao canal, em área de várzea, com topografia do terreno em forma de vale, como mostrado a seguir, nas Figuras 33 e 34.

Figura 33: Níveis de Soleiras na Rua Renato Nunes, Bairro Barreto, São Luís – MA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 34: Problemas com Inundações, quando o mesmo atinge os Imóveis, no Bairro Barreto, São Luís – MA.



Fonte: Dados de pesquisa realizado pelo autor, 2015.

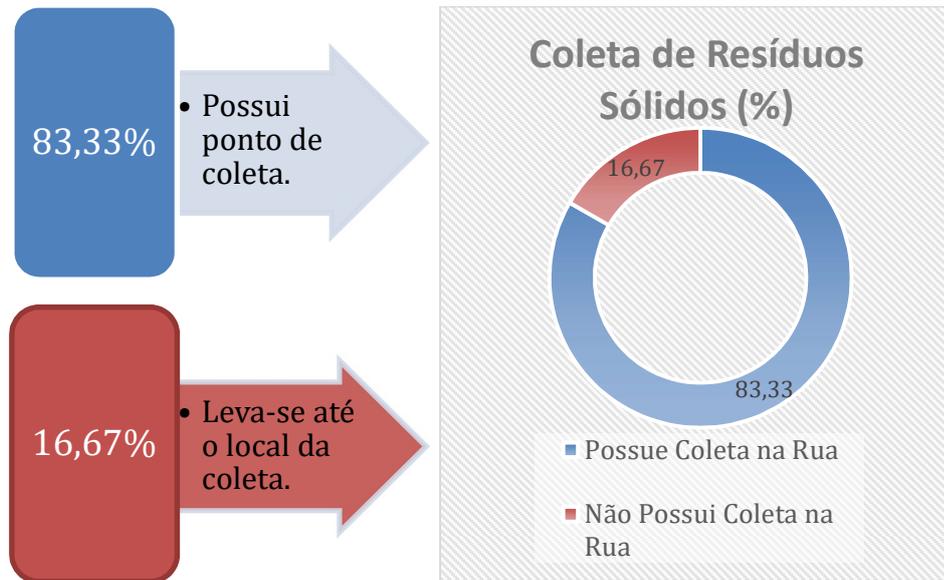
O canal que corta o Bairro Barreto, encontra-se com certo nível de poluição, como mostrado na Figura 35. A coleta de lixo ou resíduos sólidos é feita duas vezes por semana, havendo a impossibilidade de tráfego em algumas ruas, devido ao seu formato estreito e/ou apresentar vias sem saída, onde a população dessas ruas se desloca para o local de coleta mais próximo, onde o caminhão da prefeitura recolhe o lixo. Na pesquisa realizada, sobre coleta de resíduos, obtiveram-se as informações apresentadas na Figura 36.

Figura 35: Problemas de poluição no canal do Bairro Barreto, São Luís – MA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 36: Coleta de Resíduos Sólidos no Bairro Barreto, São Luís – MA.



Fonte: Dados de Pesquisa realizada pelo autor (2015).

O esgoto não chega à estação de tratamento, ele é jogado in natura no rio, seja por lançamento direto ou indireto, além do esgoto que jorra nas vias ocasionado pela obstrução ou falta de limpeza das estruturas de esgotamento. O descaso do Poder Público é visível na área de estudo, como mostram as Figuras de 37 a 39, e esquematizado na Figura 40. Essa é a realidade do canal que sofre por diversos impactos ambientais, onde não há serviços de desobstrução ou limpeza do mesmo, por ações das Políticas Públicas.

Figura 37 e 38: Descarga de esgoto no canal do Bairro Barreto, São Luís – MA.



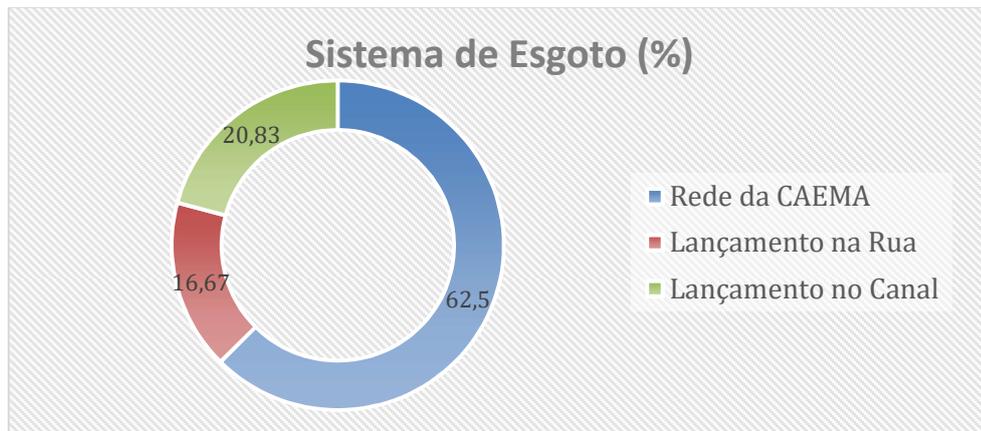
Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 39: Esgoto ocasionado na via por falta de desobstrução ou limpeza pública de sistema de esgotamento sanitário na Av. dos Franceses, em São Luís – MA.



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Figura 40: Sistema de Esgoto do Bairro Barreto.



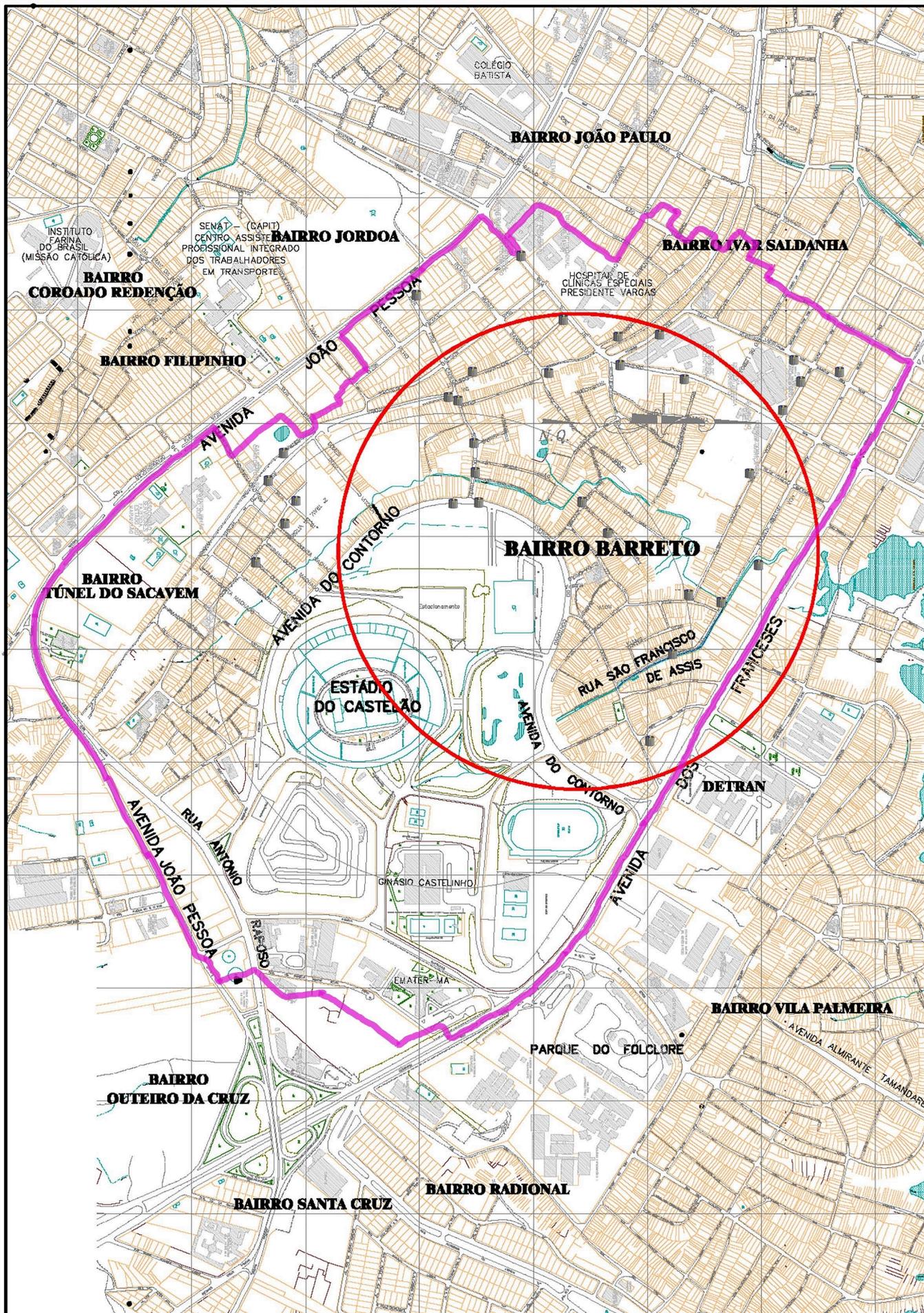
Fonte: Dados de Pesquisa realizado pelo autor (2015).

De acordo com a população, os materiais inservíveis são dispensados em terrenos baldios ou terrenos públicos, que, raramente, é recolhido por caminhões da Prefeitura. Entre esses materiais, estão:

- Móveis velhos;
- Sofás sem utilização;
- Resto de entulhos;
- Papelões e Caixas;
- Pneus, e
- Outros.

Atualmente, no Bairro Barreto, os moradores vivem com problemas de alagamento e problemas de pavimentação. Em alguns trechos, a população coloca entulhos para diminuir este último problema, agravando o problema de inundação, causados por resíduos sólidos. A Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão e a Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos informaram que realizam seus devidos serviços públicos, respectivamente, que minimizem os efeitos causados pelos alagamentos do bairro (IDIFUSORA, 2015).

No mapa a seguir, Mapa 03 (Localização de Resíduos Sólidos na Bacia do Bairro Barreto, São Luís – MA), são apontados os locais onde foram visualizados esses tipos de resíduos inservíveis e sólidos.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO-UEMA

PLANTA DE VISUALIZAÇÃO DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DESCARTADOS
NO BAIRRO BARRETO

JULHO/2015

CONVENÇÕES:

- CURSO D'ÁGUA
- ÁREA DE ESTUDO
- ÁREA DA BACIA EM ESTUDO
- RESÍDUO SÓLIDO
- ÁREA DA BACIA EM ESTUDO

ESCALA
S/ESC.

MAPA 03

3.5 Análise de Mapas Temáticos Propostos

Neste Item, foi feita a análise dos Mapas Temáticos desenvolvidos em projeto de pesquisa científica elaborados pelo autor deste trabalho, na área da bacia hidrográfica do Bairro Barreto, em São Luís, área selecionada para estudo, mencionando no item anterior, onde foram confeccionados os mapas de Declividade, Impermeabilização do Solo, Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos e Proximidade dos Cursos D'Água, caracterizando as áreas que mais são influenciadas pelos impactos causados por inundações urbanas (ALBUQUERQUE, 2015).

Cada Mapas Temáticos foi processado em programas apropriados, utilizando o auxílio de alguns recursos, como: mapas cartográficos, fotos aerofotogramétricas, GPS, programa AutoCAD e SPRING. Esses materiais auxiliaram na confecção de mapas temáticos que facilitou na interpretação dos seus resultados (ALBUQUERQUE, 2015).

A seguir, figura 41, delimita a área pela bacia hidrográfica seguindo os limites de setores censitários de acordo com o IBGE, tendo como referência as coordenadas da área de estudo.

Figura 41: Limites da Bacias Hidrográficas da Área de Estudo – Bairro Barreto

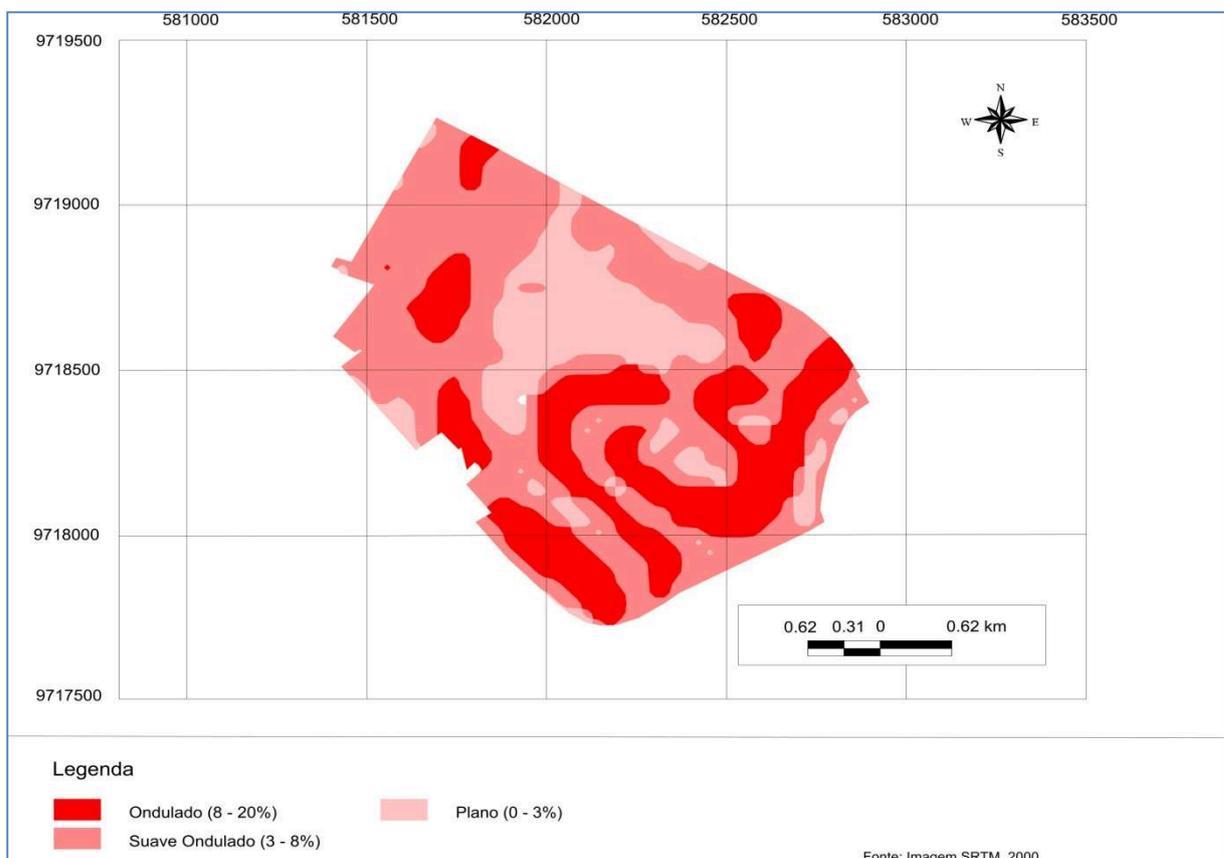


Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – UEMA/NUGEO (2015).

3.5.1 Mapa de Declividade

Para elaborar a carta de declividade, referente à área de estudo, foram utilizadas as cartas georreferenciadas SRTM referentes à folha SA-23-Z-A – São Luís. Gerada a partir da manipulação do Modelo Numérico de Terreno no Laboratório de Geoprocessamento do Núcleo de Geografia, da UEMA, tem como base a classificação da EMBRAPA (2006), como ilustrada na figura 42 (ALBUQUERQUE, 2015).

Figura 42: Mapa de Declividade da Área de estudo – Bairro Barreto

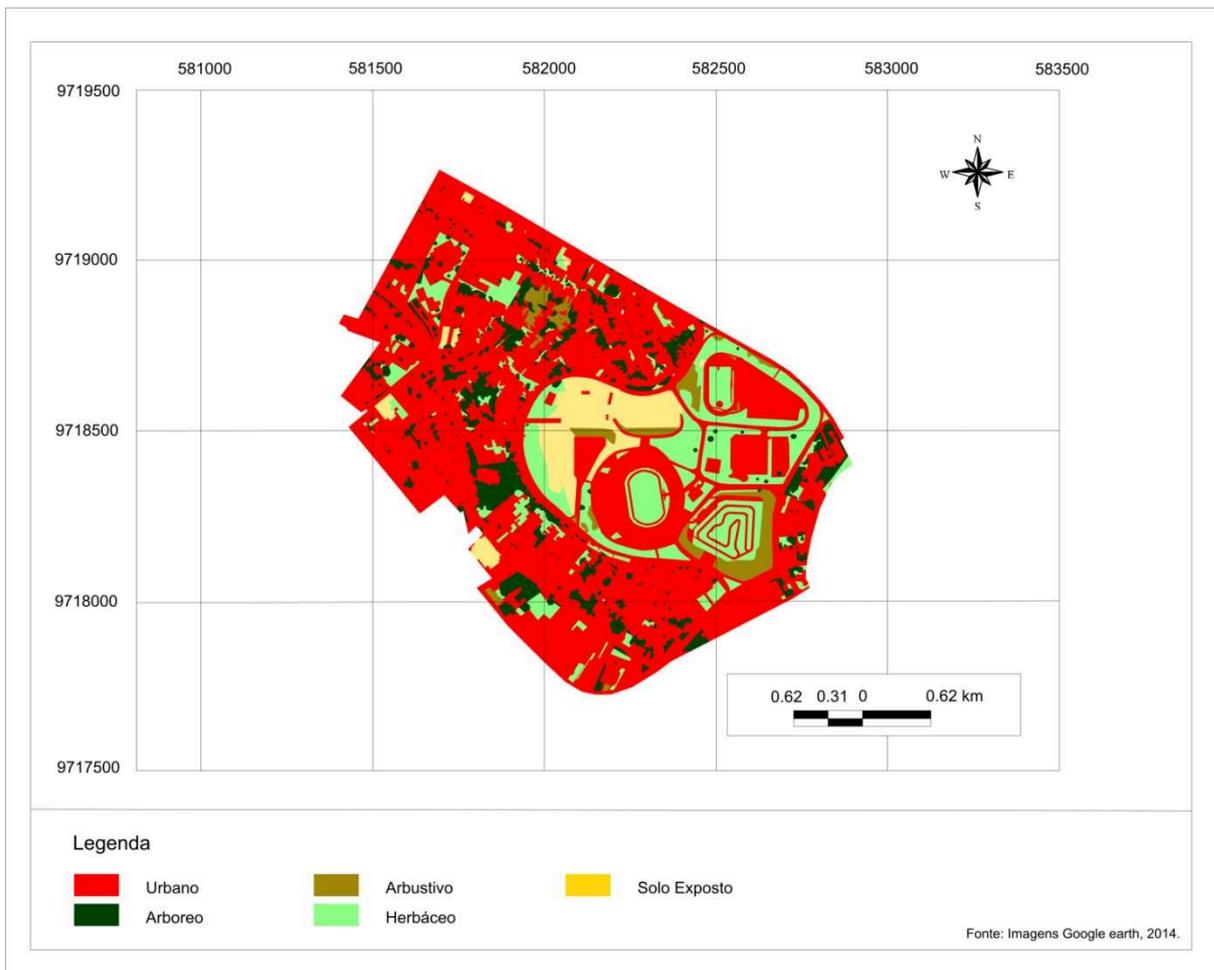


3.5.2 Mapa de Impermeabilização ou Uso do Solo

De forma semelhante ao anterior, para elaborar a carta de permeabilidade do solo, foi necessário consultar a classificação do uso e cobertura do solo, elaborada no Laboratório de Geoprocessamento da UEMA a partir de imagens da cidade de São Luís (ALBUQUERQUE, 2015).

As classes de uso e cobertura do solo foram definidas a partir da interpretação visual de imagens utilizando ferramentas de SIG (Sistemas de Informações Geográficas), por meio da manipulação “aumento linear de contraste”. Dessa forma, as classes de uso e cobertura foram delimitadas e classificadas em cinco grandes dimensões: urbano, arbóreo, arbustivo, herbáceo e solo exposto, conforme mostradas na Figura 43 (ALBUQUERQUE, 2015).

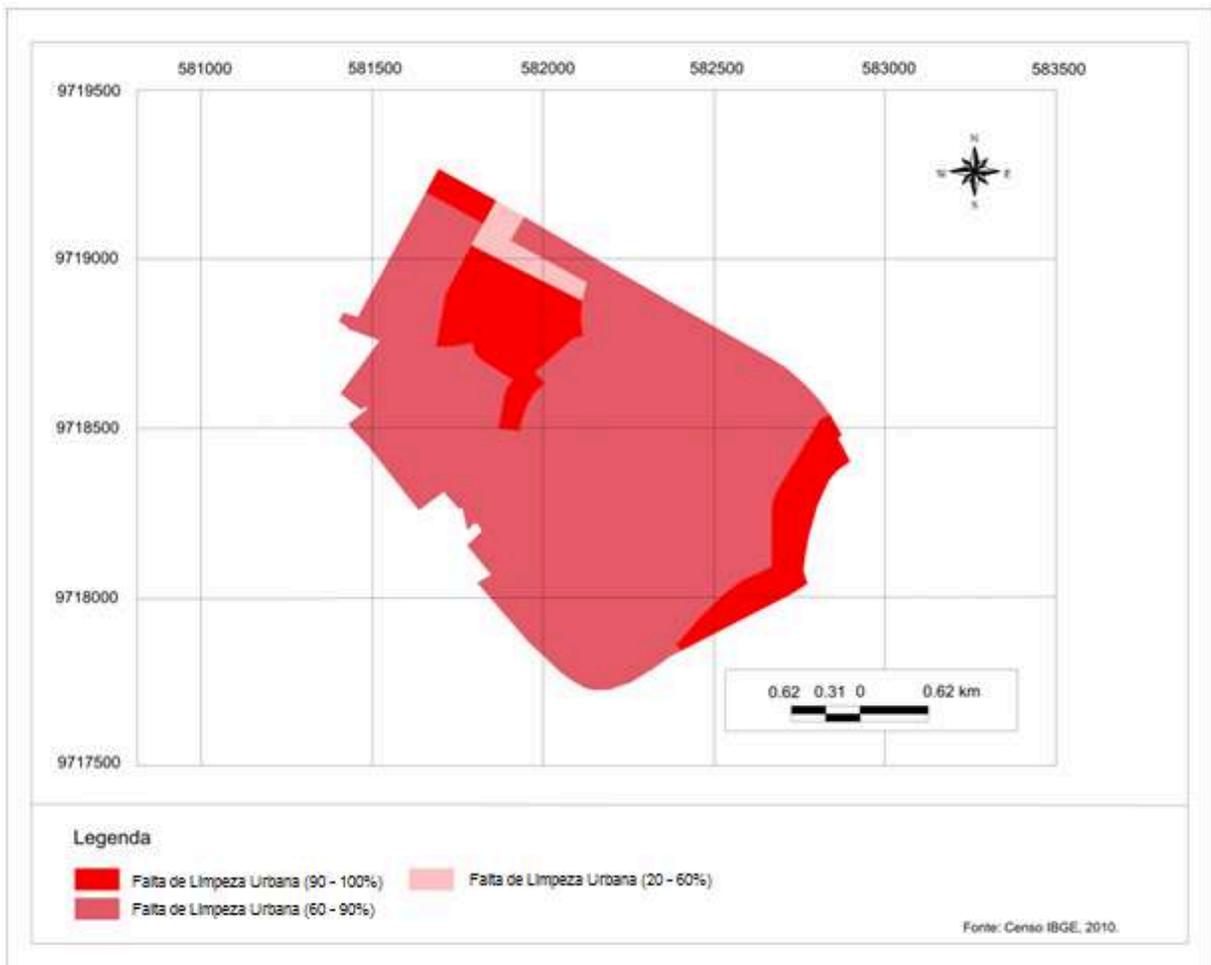
Figura 43: Mapa de uso e cobertura vegetal da área de Estudo – Bairro Barreto



3.5.3 Mapa de Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos

Para confecção desse mapa, foram utilizadas as informações do Censo 2010, por setores censitários, definidos pelo IBGE, considerando os domicílios particulares permanentes com lixo queimado ou enterrado na propriedade, jogado em terreno baldio ou logradouro, jogado em rio, lago ou mar, e com outro destino, conforme ilustrado na figura 44 (ALBUQUERQUE, 2015).

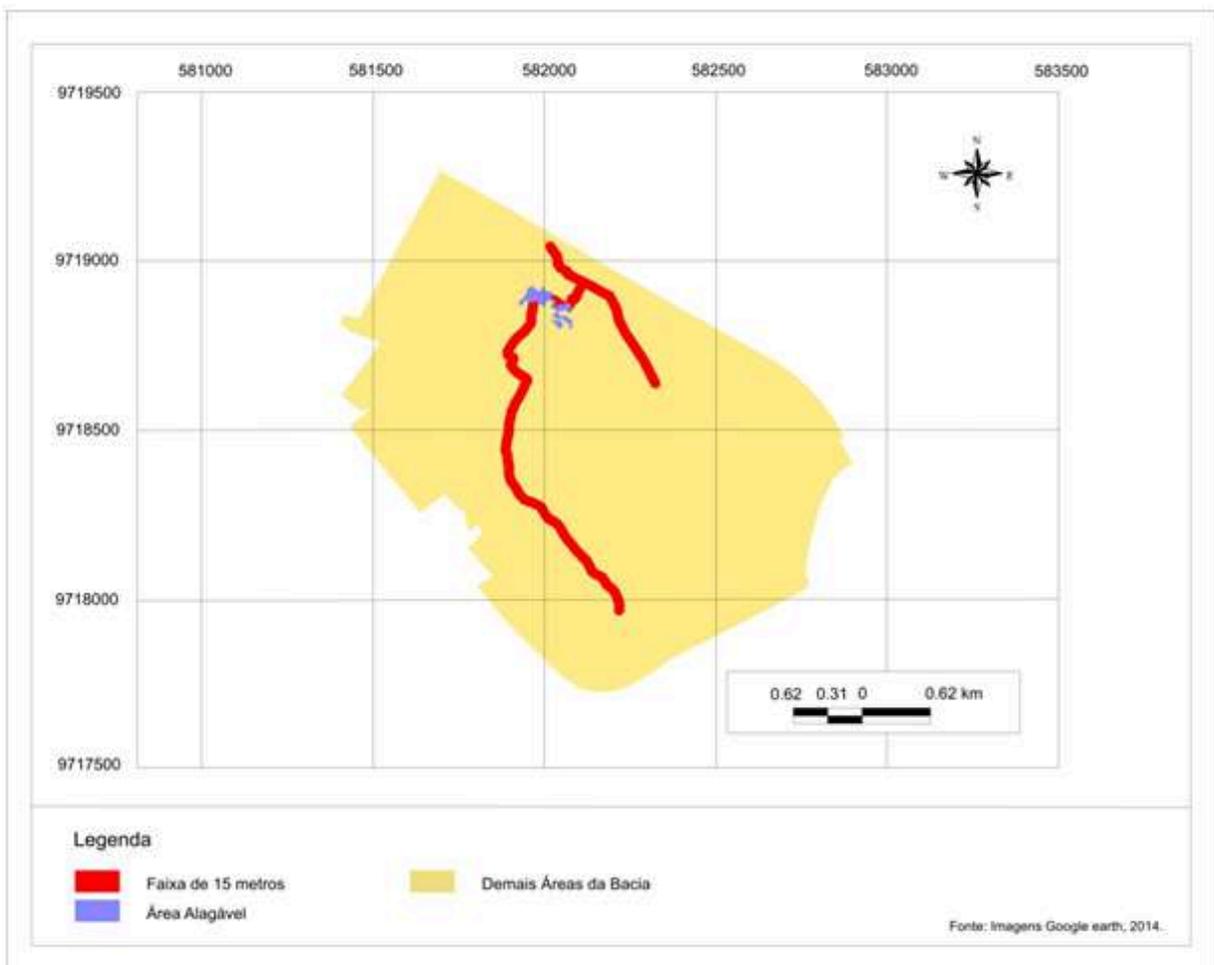
Figura 44: Mapa de disposição inadequada de resíduos sólidos da Área de Estudo – Bairro Barreto



3.5.4 Mapa de Proximidade dos Cursos D'Água

Para elaborar este mapa, precisou-se, analisar a situação de proximidade dos imóveis aos cursos d'água, tendo como referência os limites da largura de 15,00 m, ou em relação à regulação de áreas de proteção permanente e o ordenamento do solo urbano. Para isso utilizou-se o mapa gerado a partir da rede hidrográfica da área de estudo, associando um nível de situação do imóvel, de acordo com sua localização em relação ao curso d'água, conforme demonstrado na figura 45 (ALBUQUERQUE, 2015).

Figura 45: Mapa de proximidade dos cursos d'água da Área de Estudo – Bairro Barreto.



4 FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL

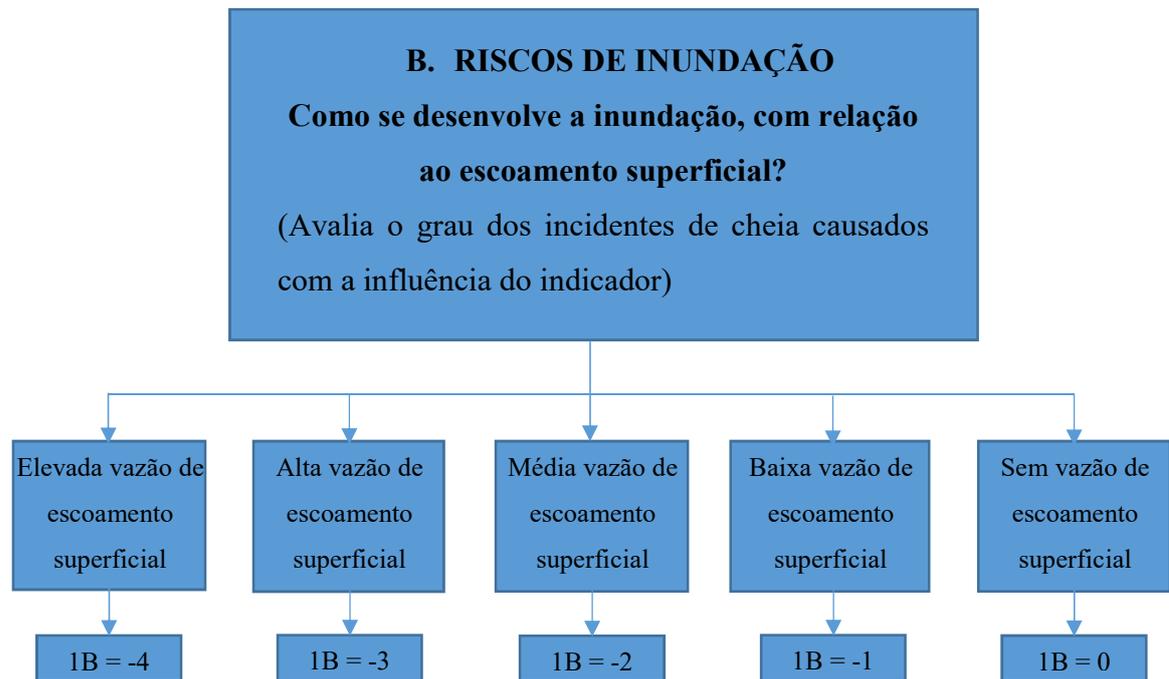
Neste capítulo, é descrita a forma de estruturação do programa computacional proposto para avaliar os impactos de inundações em áreas urbanas, através da análise de indicadores físicos.

O programa teve como parâmetros de entrada as informações sobre o indicador a ser analisado. Neste caso, o resultado esperado é a obtenção de dados quantitativos concretos para analisar o impacto do indicador físico em questão no ambiente. As figuras abaixo ilustram o comportamento do programa ao receber cada um dos parâmetros listados no item 2.2 deste trabalho e os cálculos realizados para a obtenção dos resultados finais.

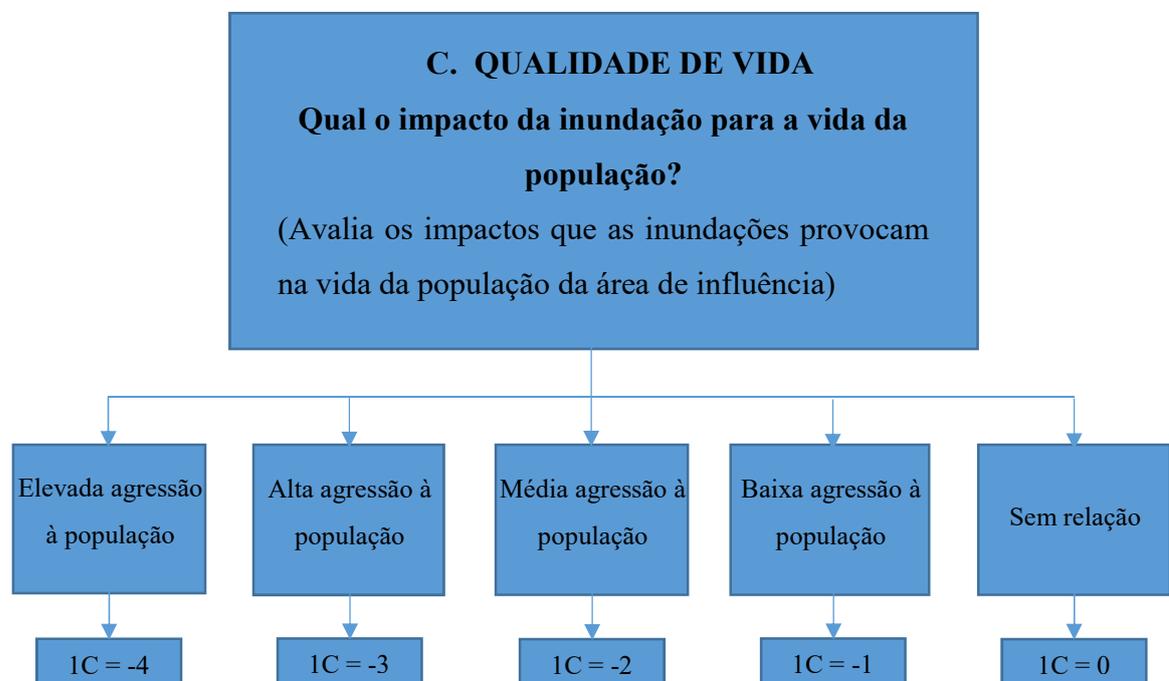
Figura 46: Descrição do Critério Social e obtenção do parâmetro “proliferação de doenças”



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

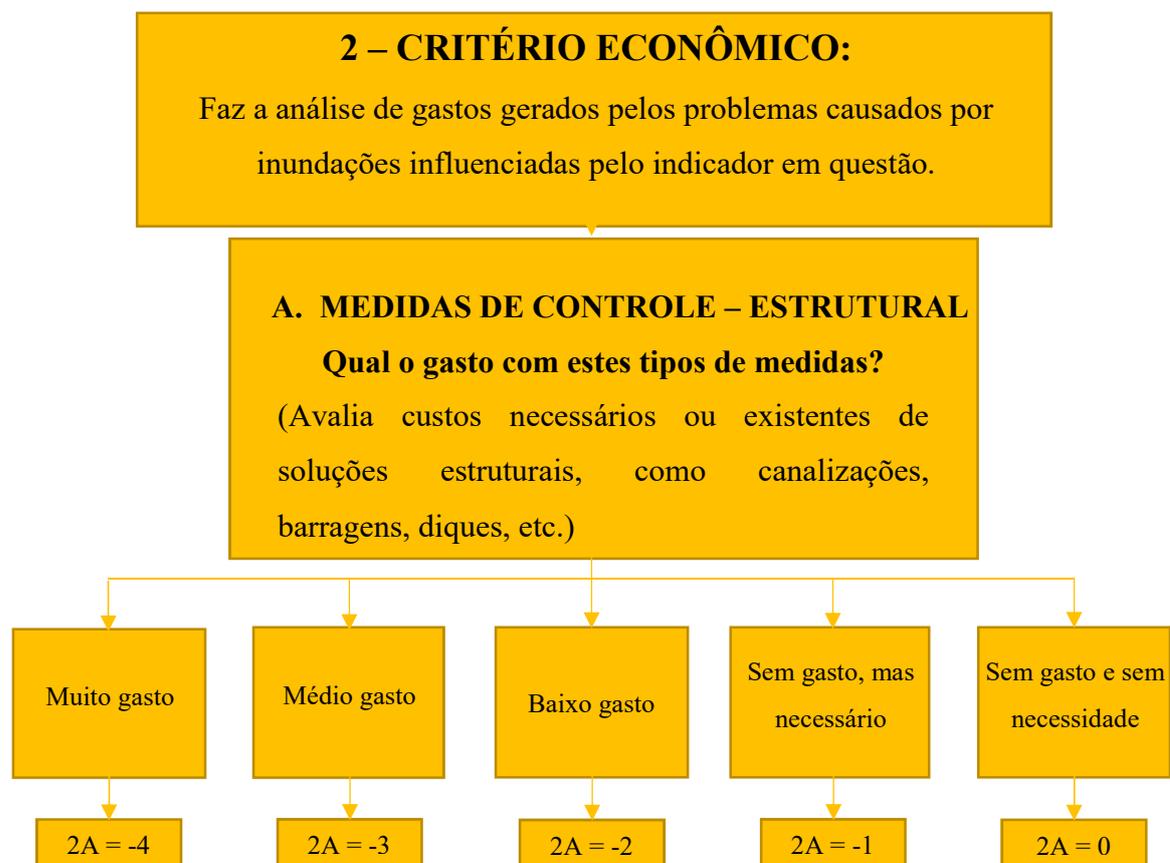
Figura 47: Obtenção do parâmetro “riscos de inundação”

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 48: Obtenção do parâmetro “qualidade de vida”

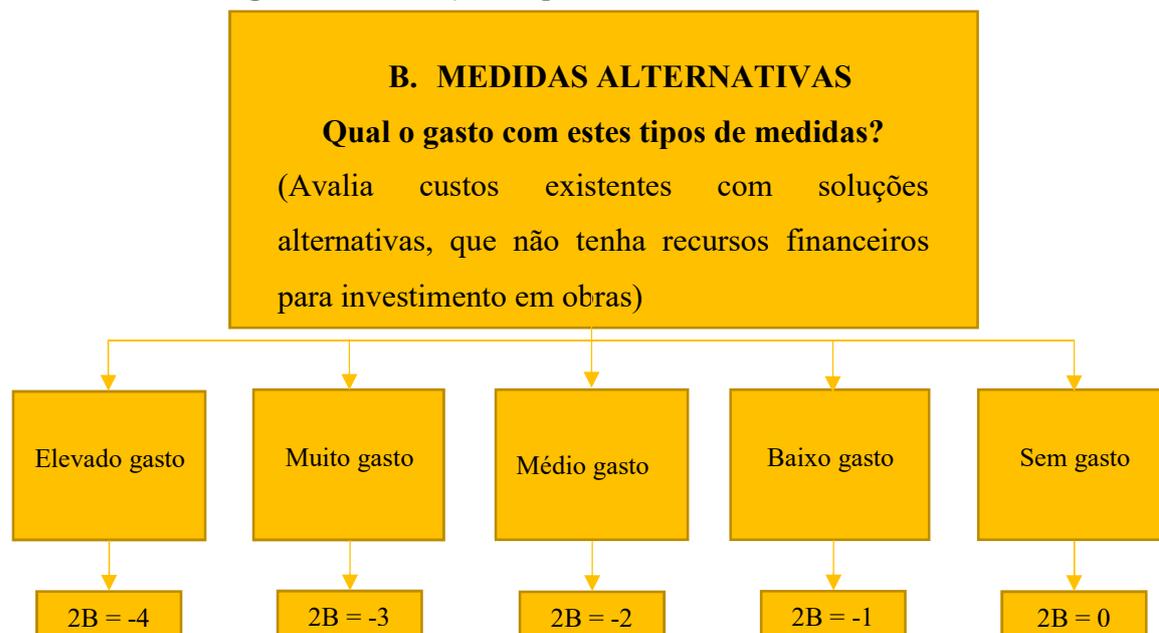
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 49: Descrição do Critério Econômico e obtenção do parâmetro “medidas de controle –estrutural”



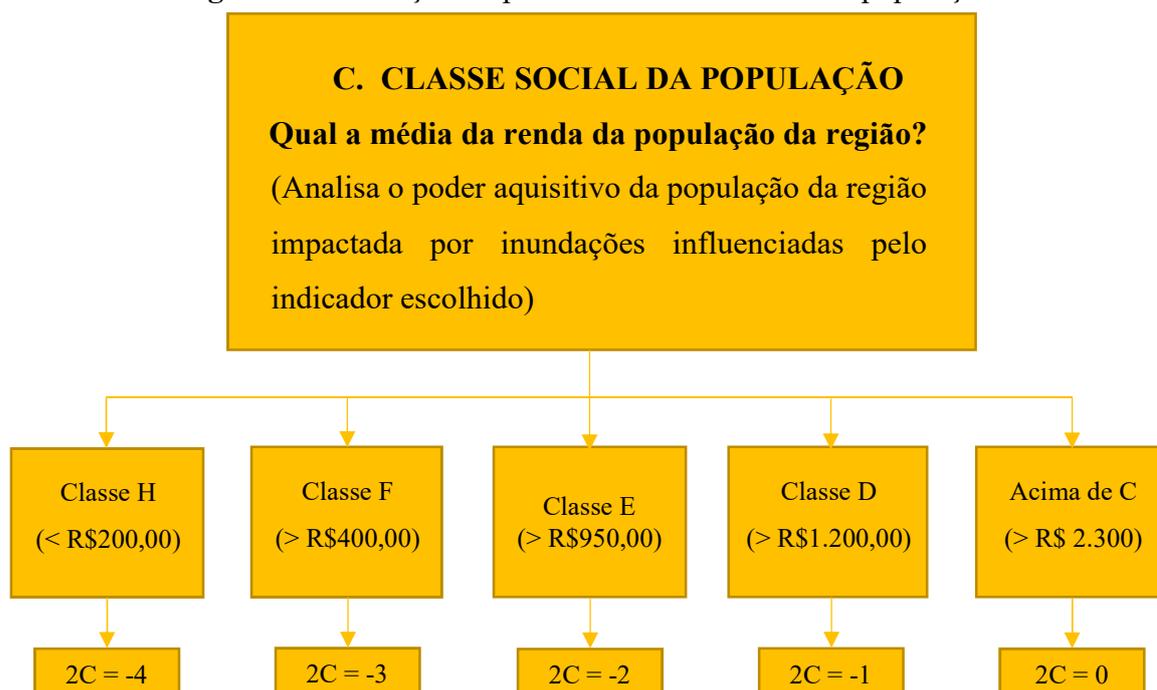
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 50: Obtenção do parâmetro “medidas alternativas”



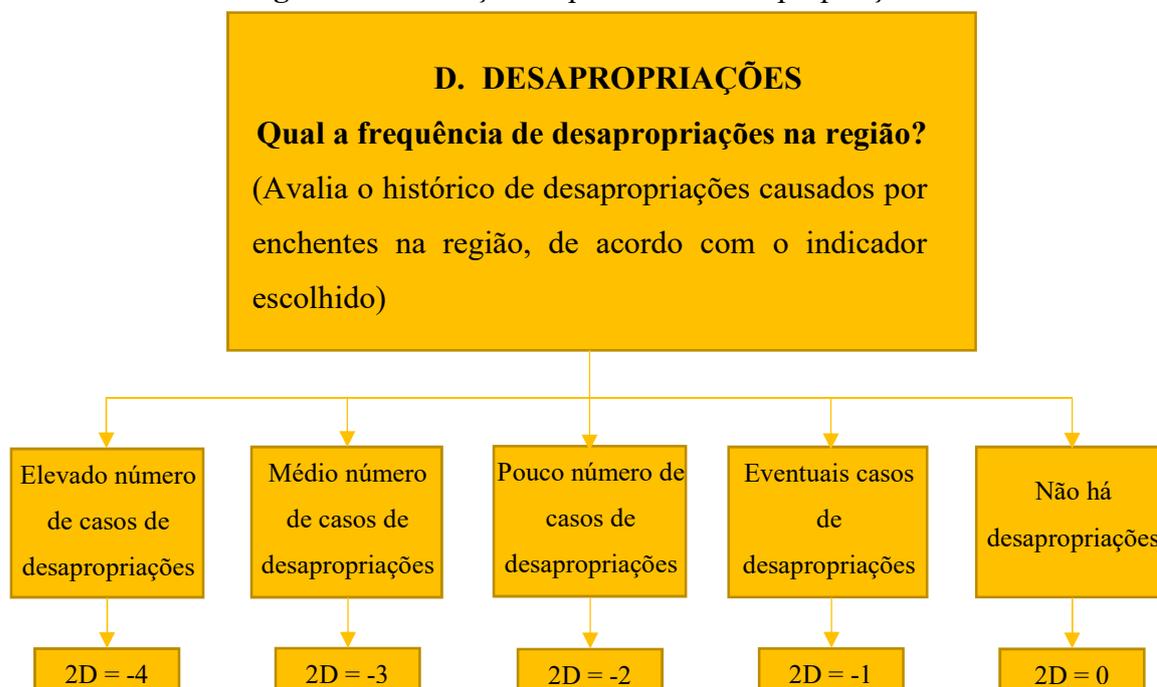
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 51: Obtenção do parâmetro “classe social da população”



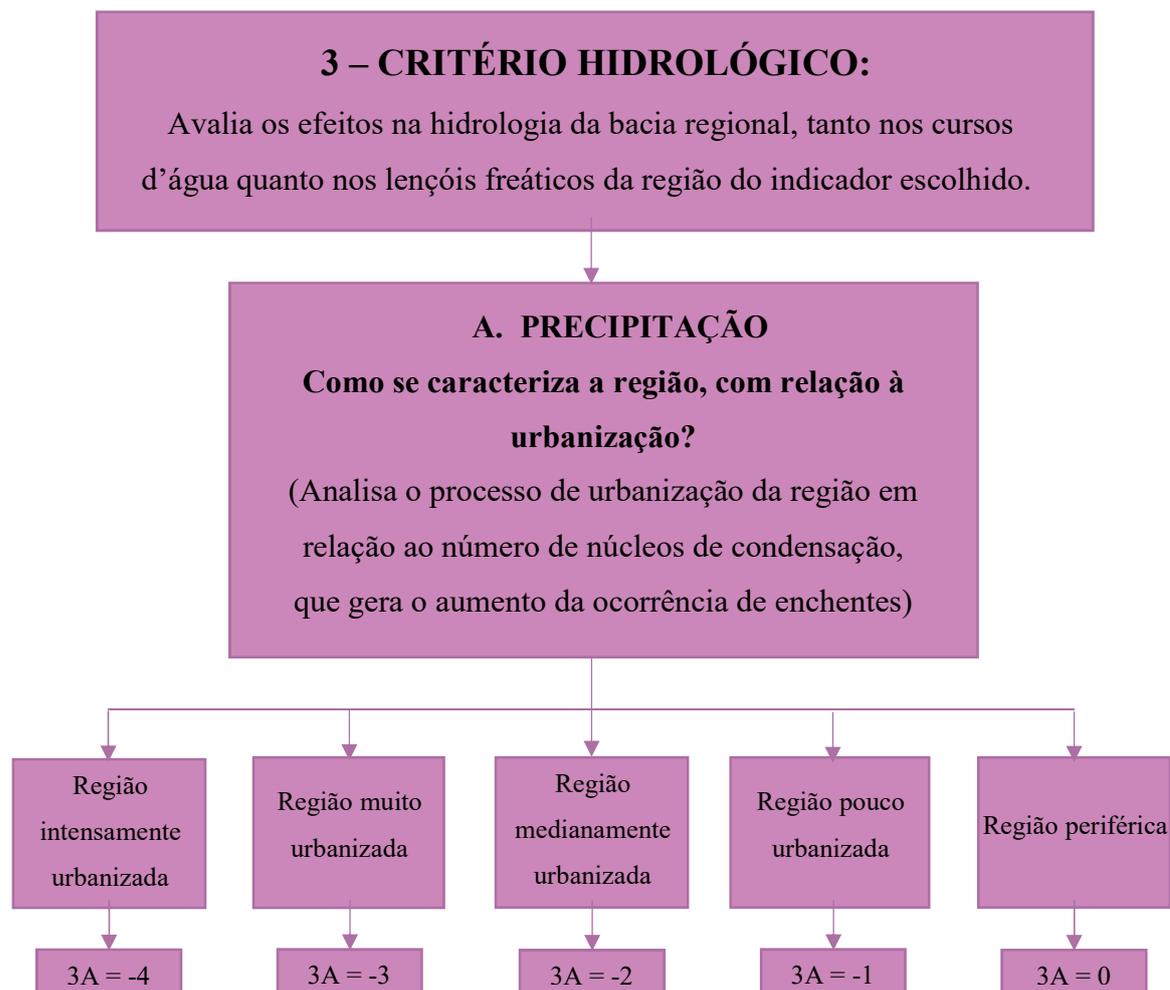
Fonte: Consultoria Target (2012).

Figura 52: Obtenção do parâmetro “desapropriações”



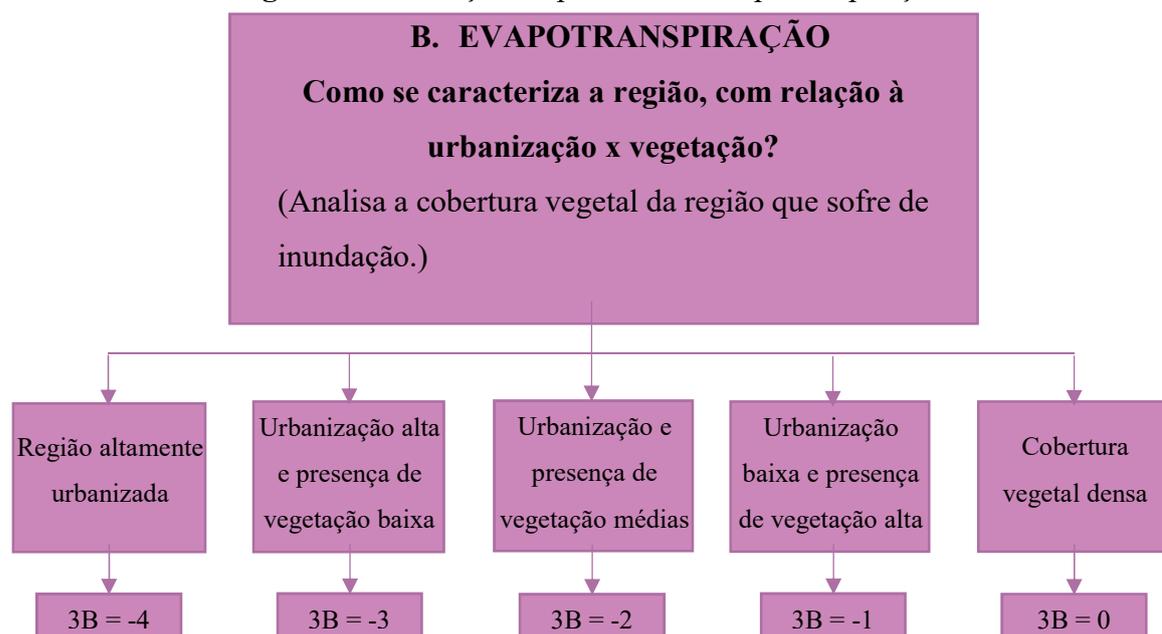
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 53: Descrição do Critério Hidrológico e obtenção do parâmetro “precipitação”



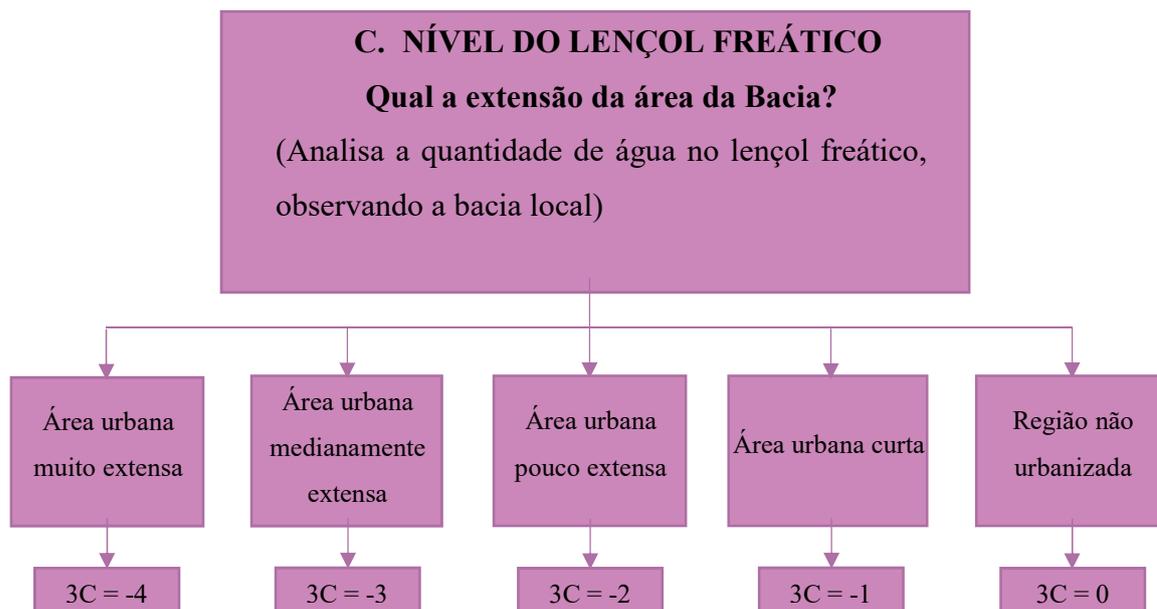
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 54: Obtenção do parâmetro “evapotranspiração”



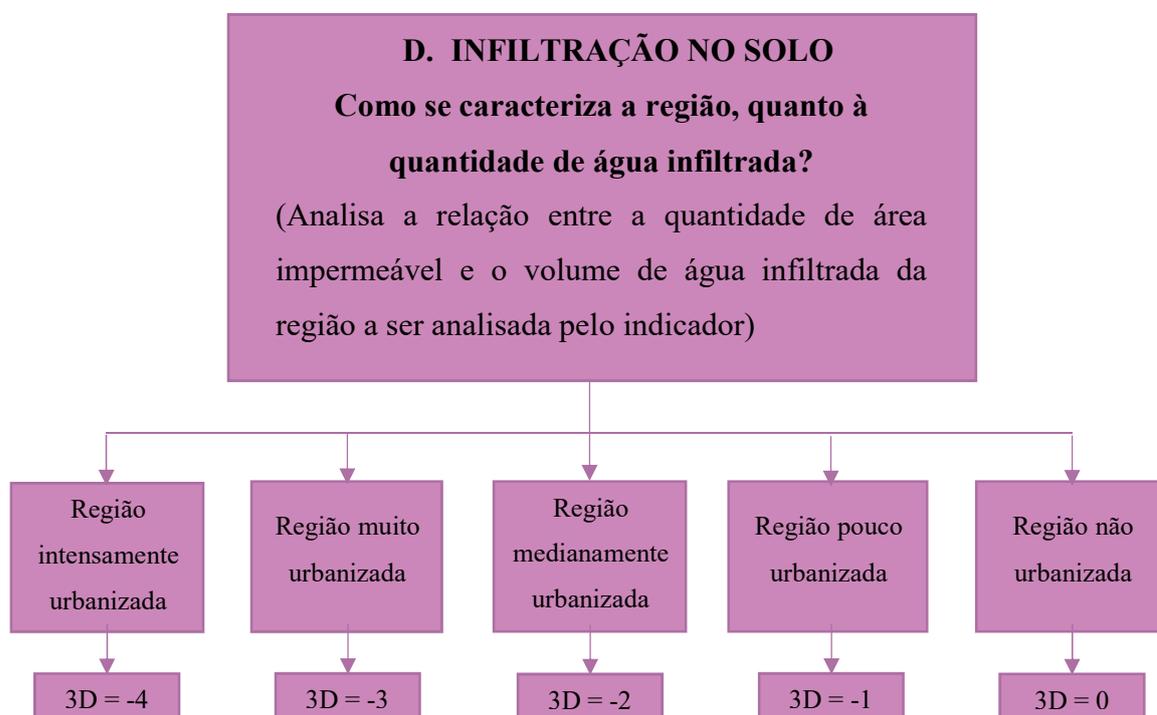
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 55: Obtenção do parâmetro “nível do lençol freático”

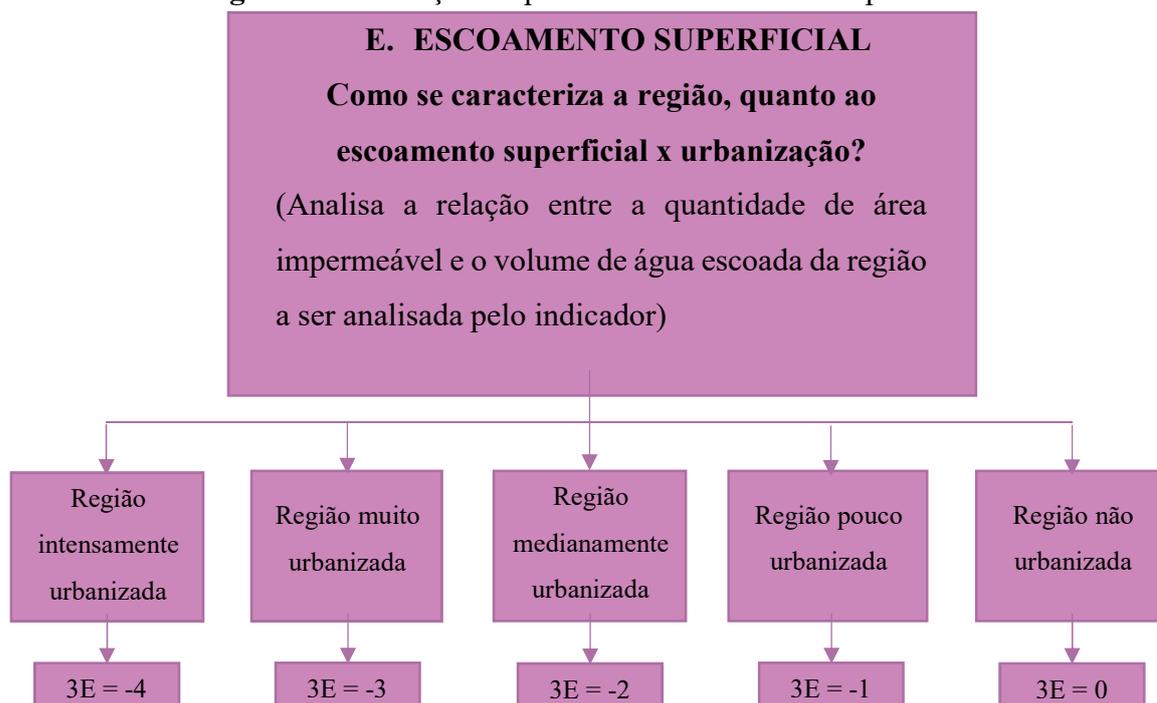


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

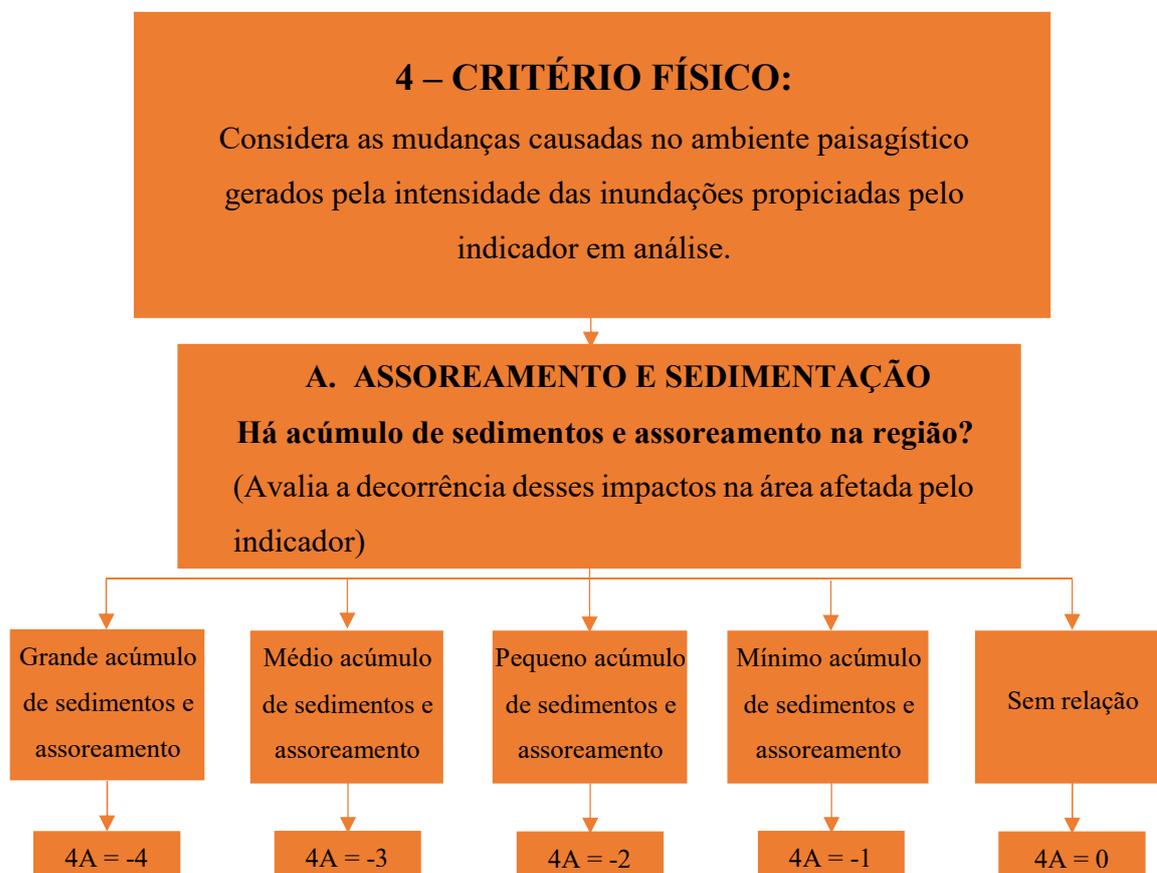
Figura 56: Obtenção do parâmetro “infiltração no solo”



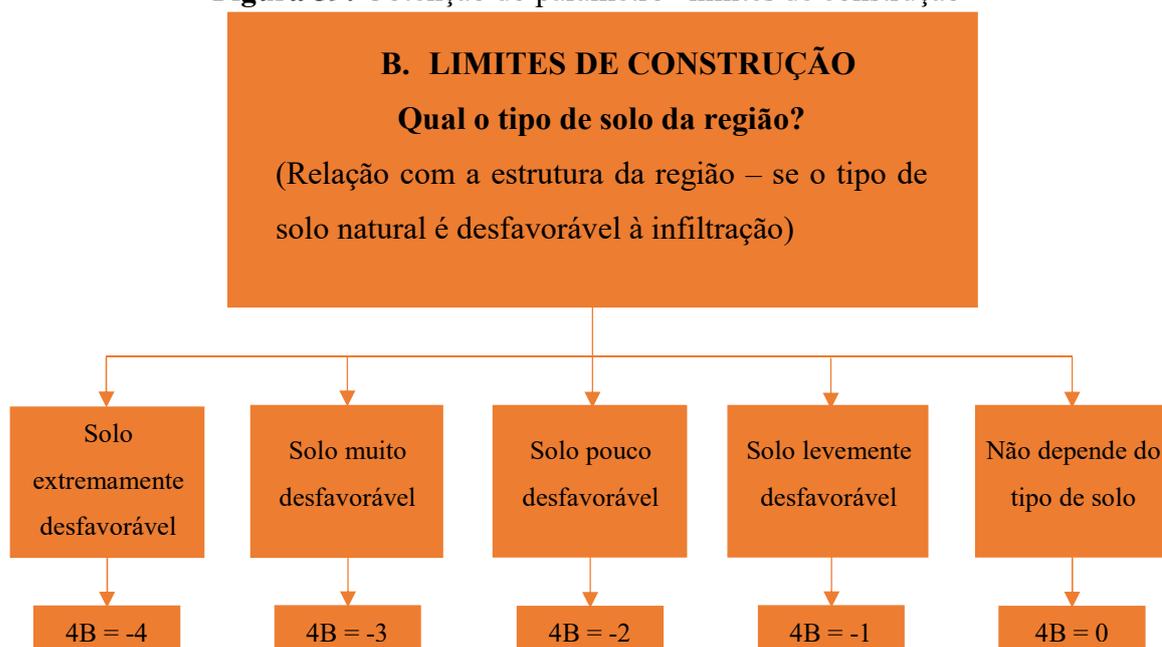
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 57: Obtenção do parâmetro “escoamento superficial”

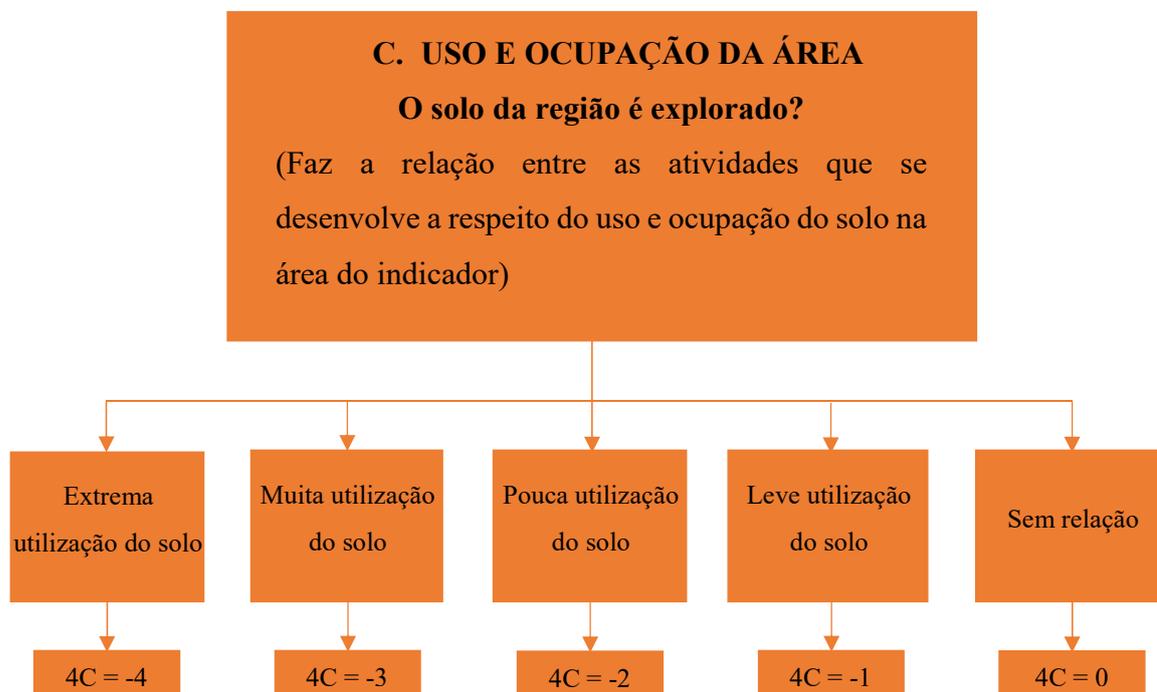
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 58: Descrição do Critério Físico e obtenção do parâmetro “assoreamento e sedimento”

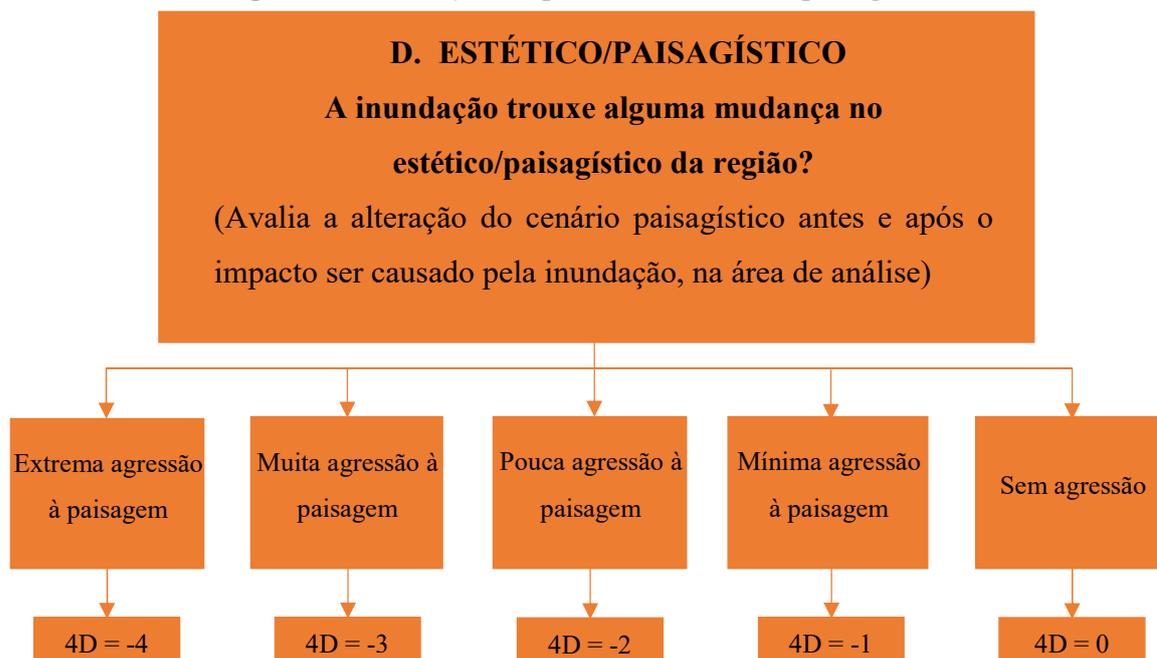
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 59: Obtenção do parâmetro “limites de construção”

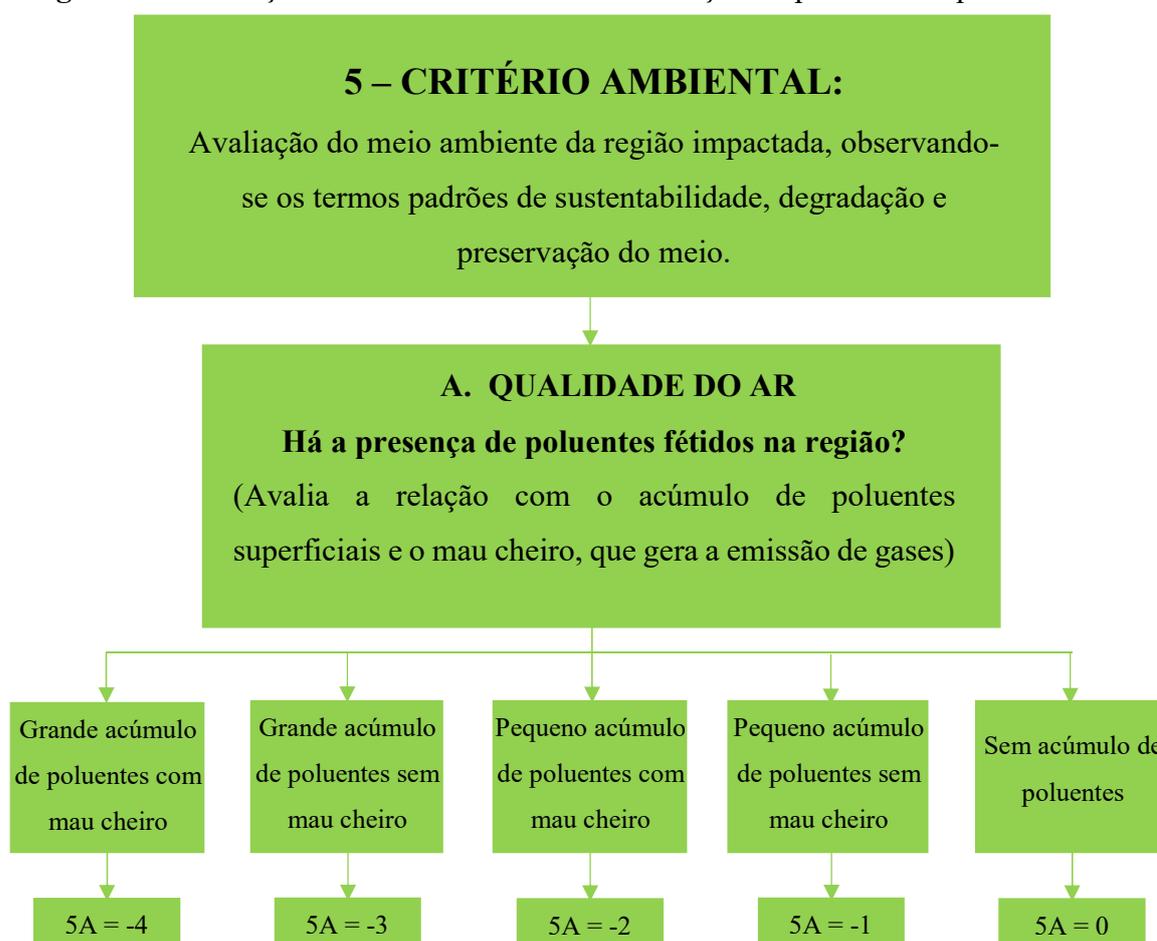
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 60: Obtenção do parâmetro “uso e ocupação da área”

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

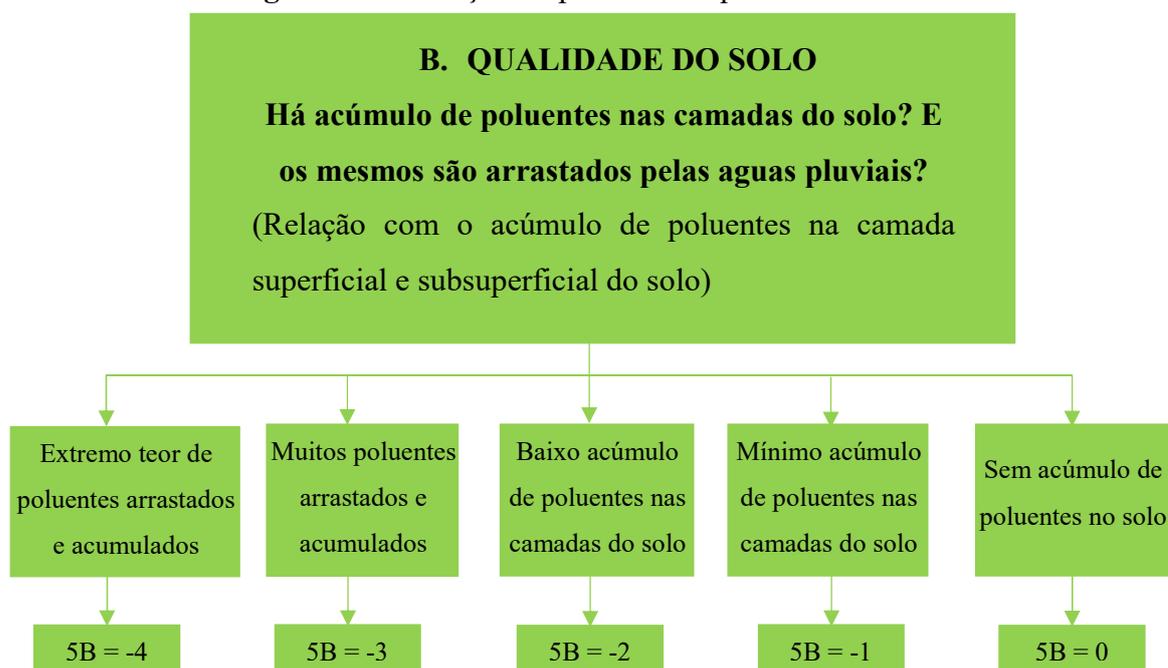
Figura 61: Obtenção do parâmetro “estético/paisagístico”

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 62: Descrição do Critério Ambiental e obtenção do parâmetro “qualidade do ar”

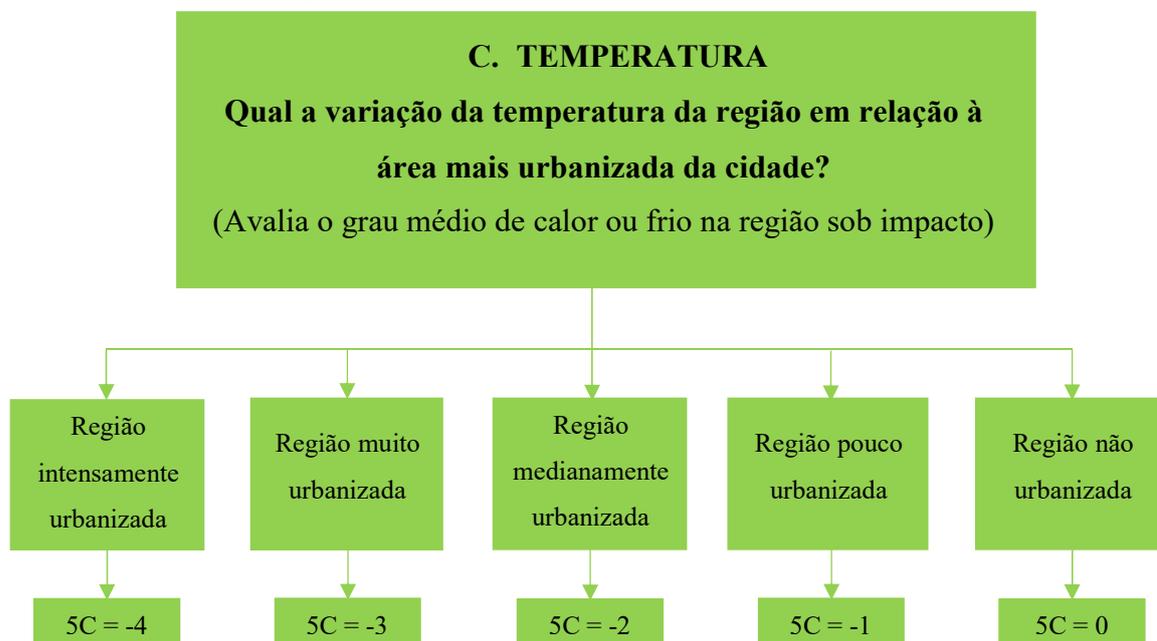
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 63: Obtenção do parâmetro “qualidade do solo”



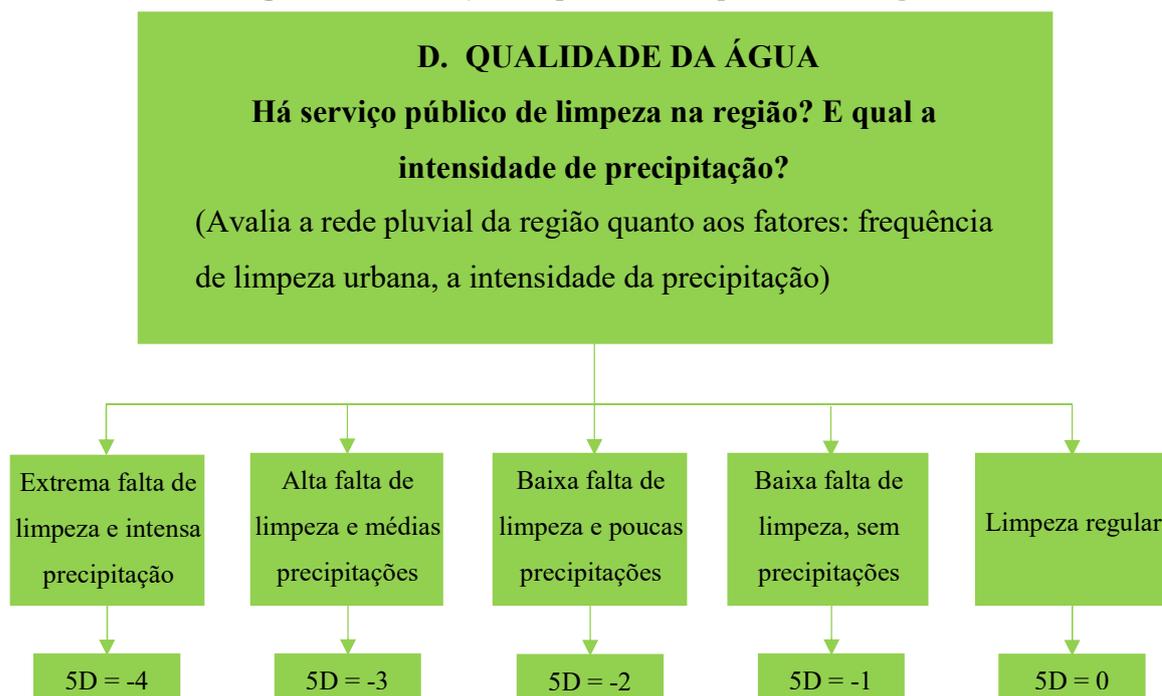
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 64: Obtenção do parâmetro “temperatura”



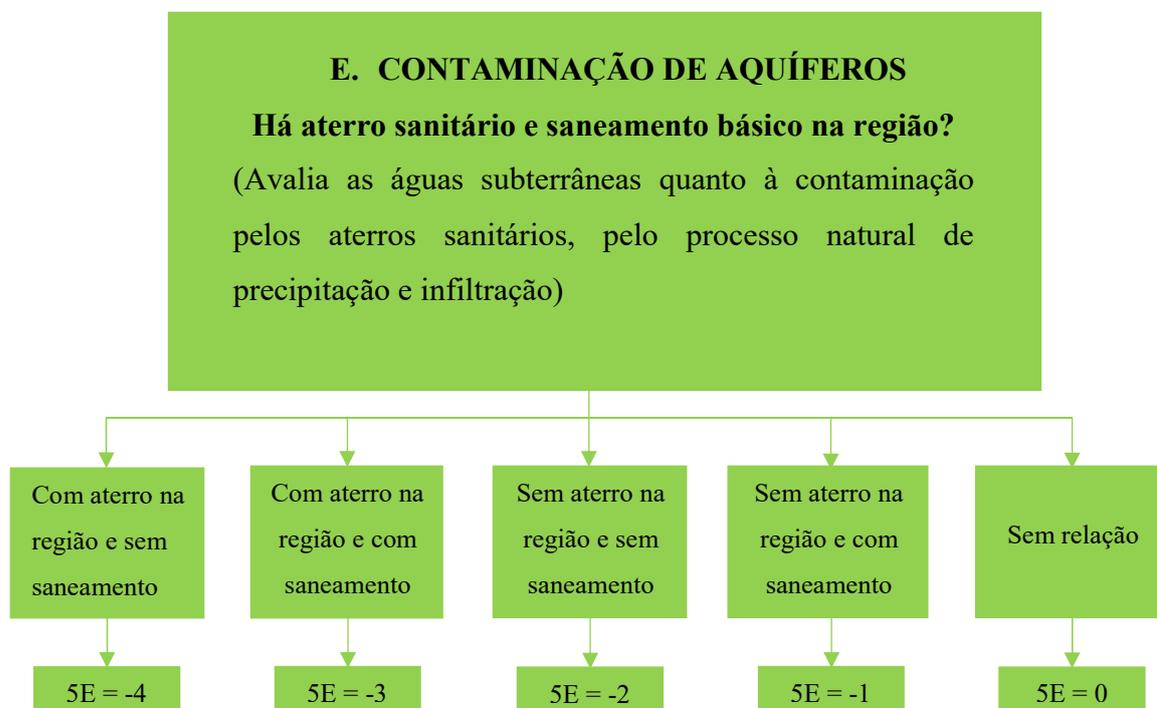
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 65: Obtenção do parâmetro “qualidade da água”



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

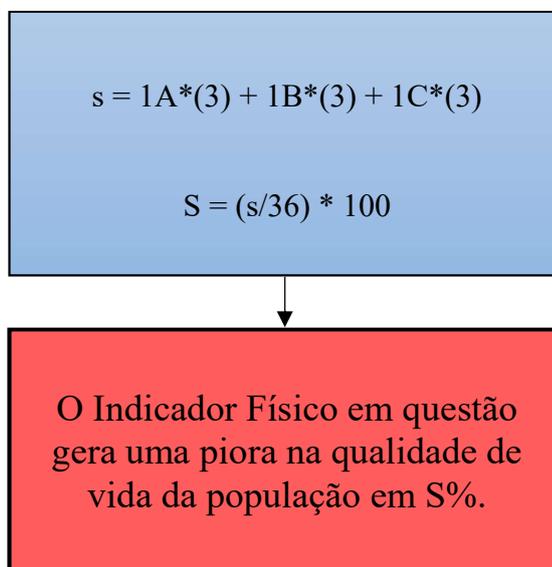
Figura 66: Obtenção do parâmetro “contaminação de aquíferos”



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

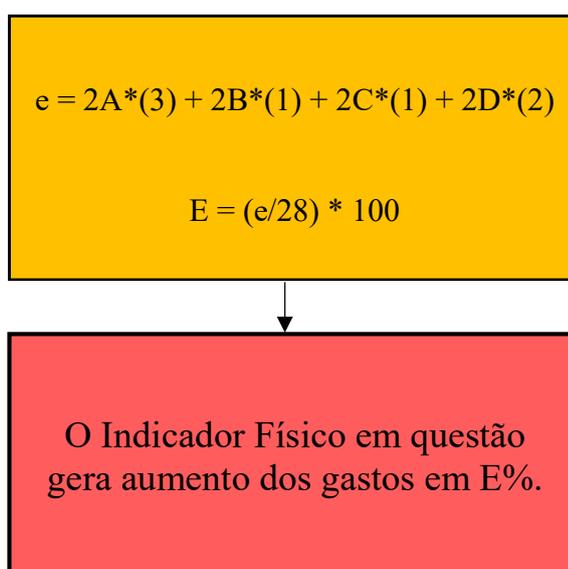
Em posse destes dados, foi possível fazer uma análise quantitativa do indicador físico da bacia hidrográfica analisado através dos seguintes cálculos:

Figura 67: Obtenção do valor que quantifica os impactos causados pela análise dos “Critérios Sociais”



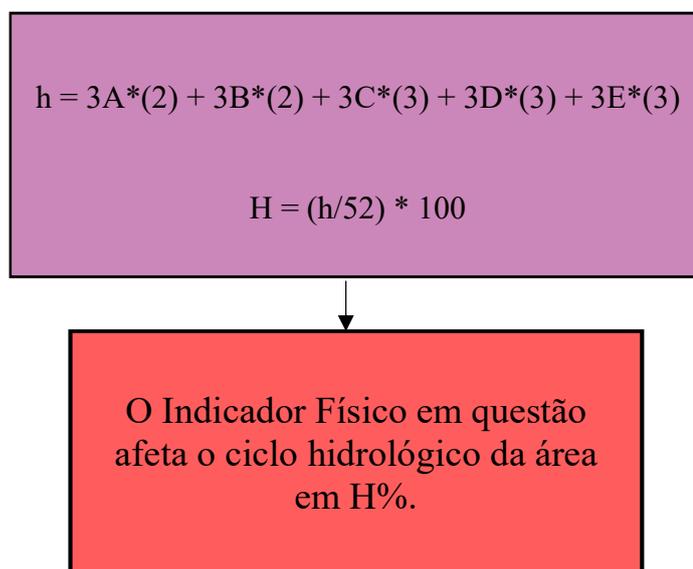
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 68: Obtenção do valor que quantifica os impactos causados pela análise dos “Critérios Econômicos”



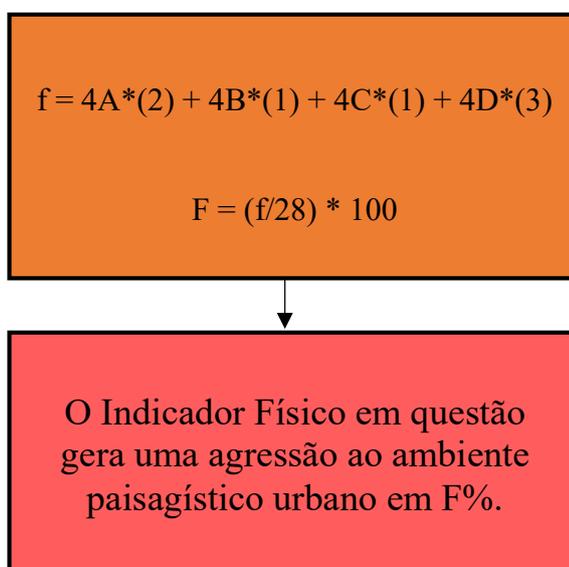
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 69: Obtenção do valor que quantifica os impactos causados pela análise dos “Critérios Hidrológicos”



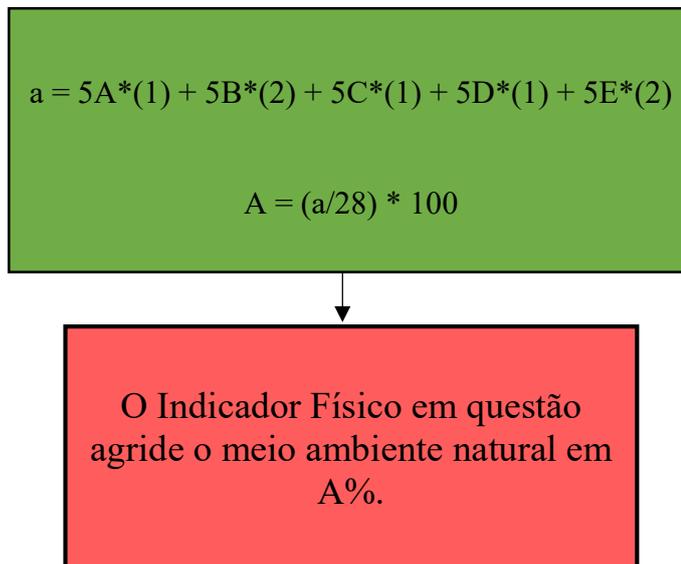
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 70: Obtenção do valor que quantifica os impactos causados pela análise dos “Critérios Físicos”



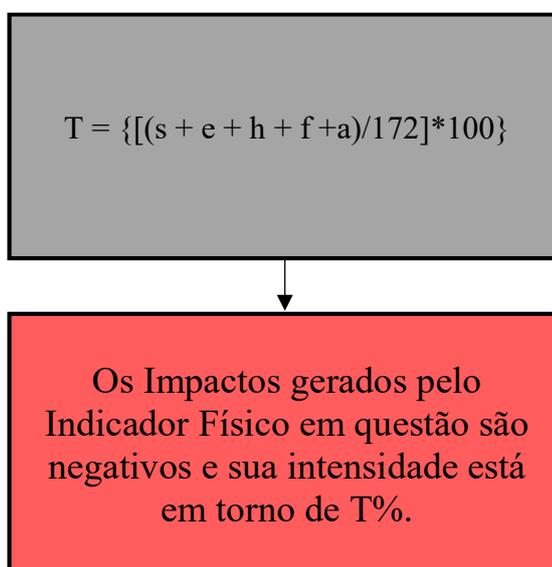
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 71: Obtenção do valor que quantifica os impactos causados pela análise dos “Critérios Ambientais”



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Figura 72: Obtenção do valor que quantifica os impactos totais causados pelo Indicador



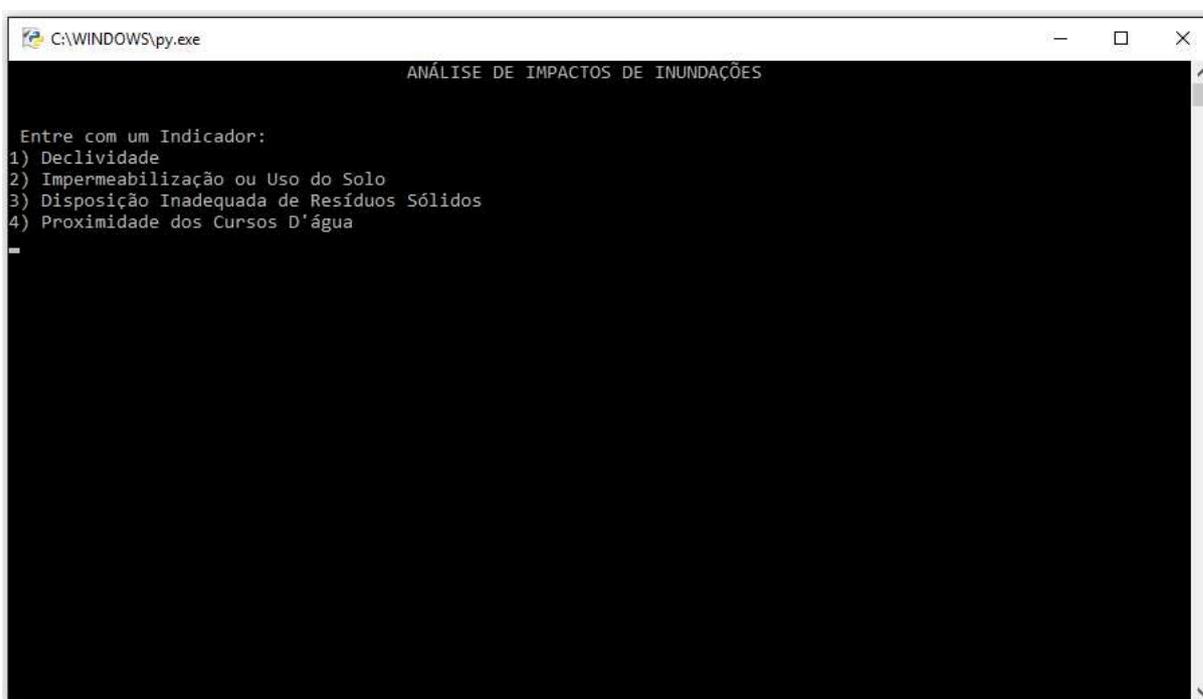
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

5 PROCESSAMENTO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL

Para processar o programa apresentado a seguir, foi utilizado o método proposto, utilizando-se a Matriz de Leopold, onde é atribuído um peso para cada parâmetro de avaliação, no qual este peso representa a magnitude do impacto causado no ambiente.

A Figura 73 demonstra a tela inicial do sistema, onde, o usuário, ao fazer o uso do programa, deve escolher entre um dos Indicadores a ser analisado.

Figura 73: Tela Inicial do Sistema

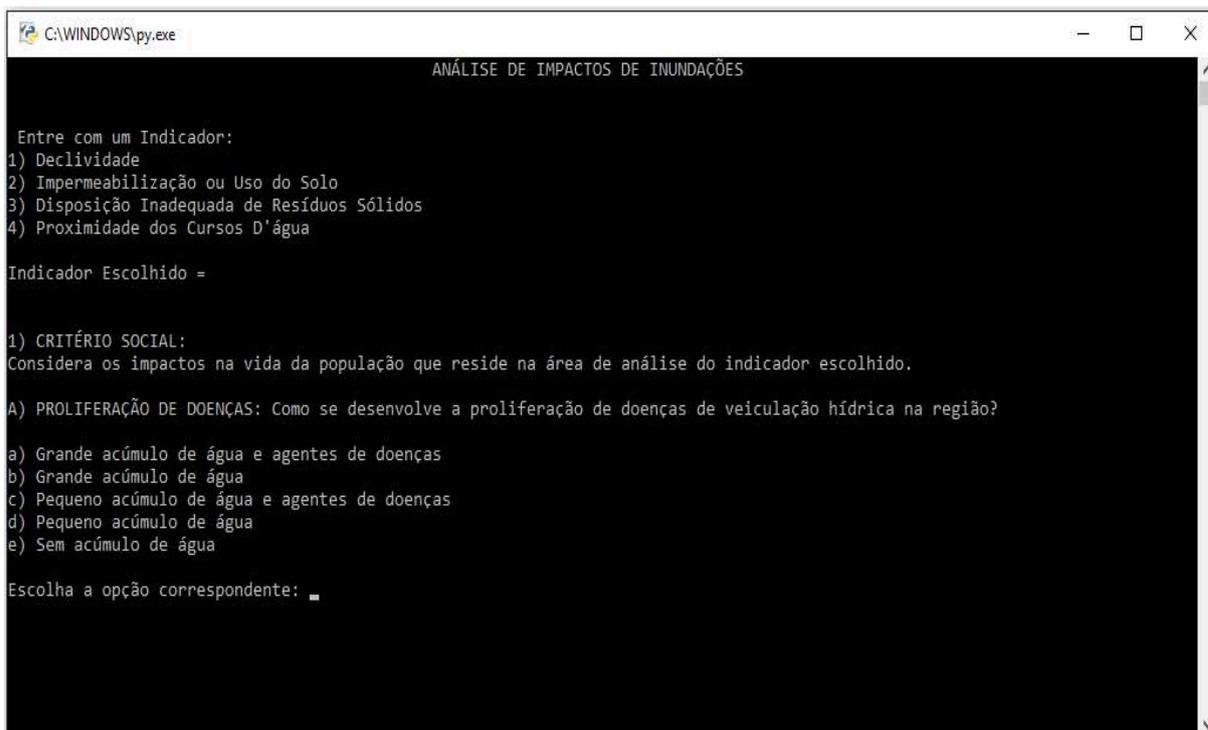


Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Conforme ilustra a Figura 73, após o usuário escolher o Indicador a ser analisado, para dar sequência à execução do programa, é necessário clicar no botão “Enter”.

A Figura 74 mostra a tela seguinte do programa que acrescenta a descrição do primeiro critério a ser avaliado (Critério Social), juntamente com o primeiro parâmetro (Proliferação de Doenças).

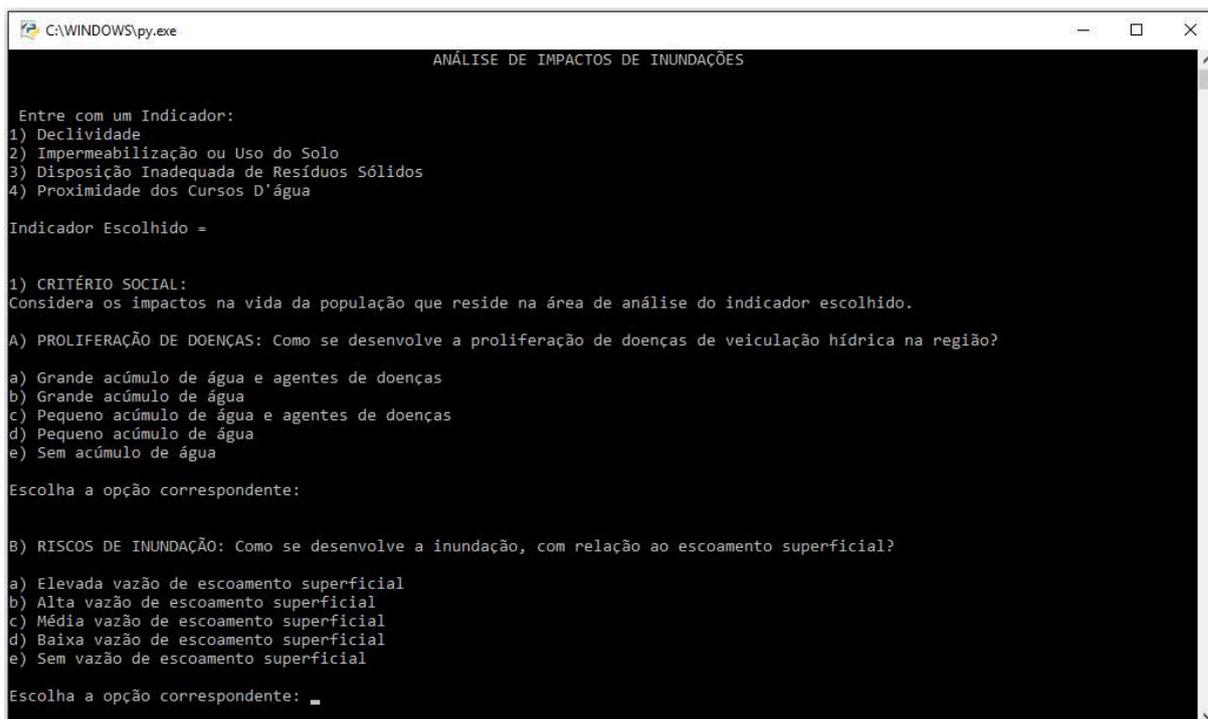
Figura 74: Tela de Seleção do Primeiro Parâmetro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Dando sequência ao programa, a próxima tela exibida, demonstrada pela Figura 75, contém o acréscimo do próximo parâmetro do mesmo critério com um novo texto, e novas opções.

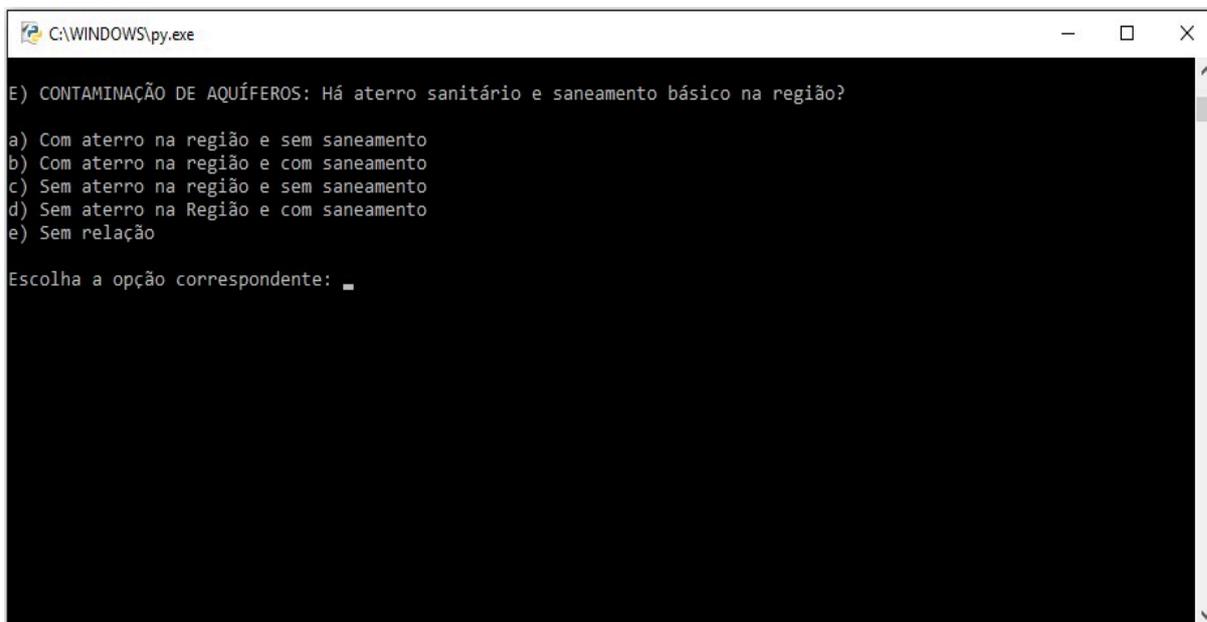
Figura 75: Tela de Seleção do Segundo Parâmetro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Esta operação de mudança de critérios e parâmetros acontece até o último parâmetro (Contaminação de aquíferos) do último critério (Critério ambiental), destacado na Figura 76.

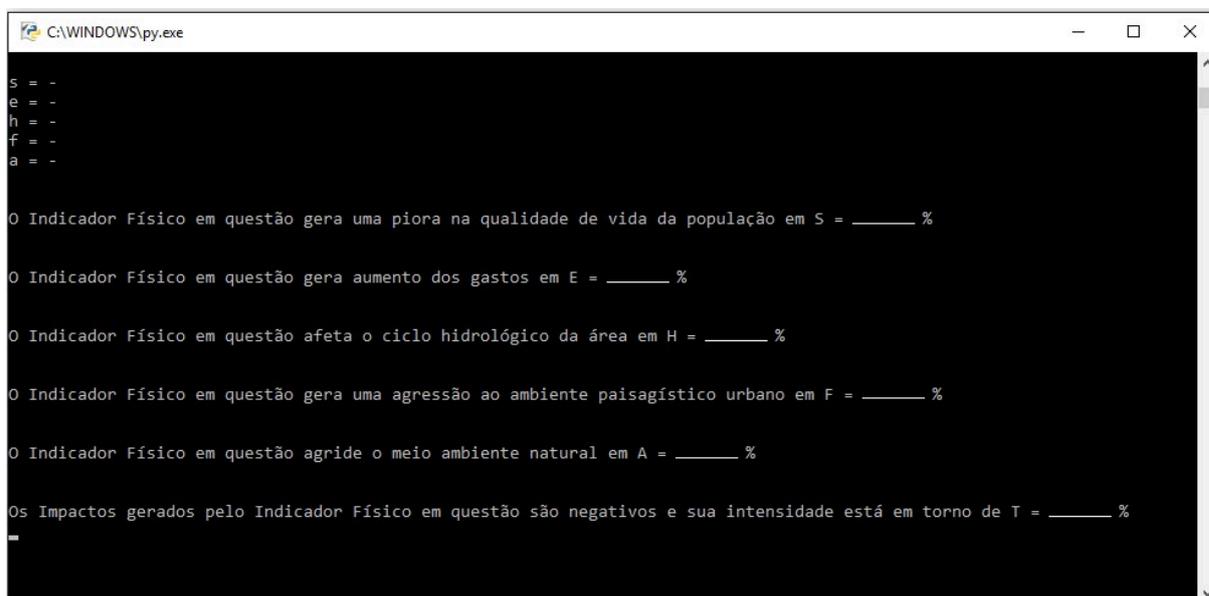
Figura 76: Tela de Seleção do Último Parâmetro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Ao clicar no botão “Enter” a tela demonstrada pela Figura 77 é aberta exibindo a somatória do valor obtido de cada critério e os resultados encontrados com os cálculos efetuados. Sendo o resultado final de um critério negativo, isto é, causa danos ao ambiente em questão.

Figura 77: Tela de Resultados.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

6 APLICAÇÃO E RESULTADOS

Este capítulo discorre sobre a aplicação real na área de estudo, apontado nos objetivos Específicos deste trabalho, e mencionado na metodologia, seleção do Bairro Barreto, e sobre os resultados obtidos quanto à correlação entre o produto final dos Mapas Temáticos com o Programa Computacional.

6.1 Correlação entre Programa e Mapa de Declividade

Baseado nisso, tem-se a figura 78, que demonstra a matriz de resultados obtida ao se analisar a área de Declividade crítica da região de estudo, onde mostra os seguintes resultados:

- Impactos Sociais: -83,33%
- Impactos Econômicos: -35,71%
- Impactos Hidrológicos: -69,23%
- Impactos Físicos: -64,29%
- Impactos Ambientais: -57,14%
- Impacto Geral: -63,95%

Com esses resultados, conclui-se que, no Indicador Declividade, o ambiente social é o mais afetado e o ambiente econômico é o menos afetado, ocasionando um impacto geral de quase 64% negativo. Isso ocorre devido aos danos humanos serem de maior intensidade, causando doenças e riscos que afetam a qualidade de vida da população que sofre com problemas causados por inundações, onde, na maioria das vezes, o poder público não investe em medidas que minimizem ou sanem tais problemas.

Figura 78: Resultados de área de Declividade.

```

C:\WINDOWS\py.exe
s = -30
e = -10
h = -36
f = -18
a = -16

0 Indicador Físico Declividade em questão gera uma piora na qualidade de vida da população em -83.33%

0 Indicador Físico Declividade em questão gera aumento dos gastos em -35.71%

0 Indicador Físico Declividade em questão afeta o ciclo hidrológico da área em -69.23%

0 Indicador Físico Declividade em questão gera uma agressão ao ambiente paisagístico urbano em -64.29%

0 Indicador Físico Declividade em questão agride o meio ambiente natural em -57.14%

Os Impactos gerados pelo Indicador Físico Declividade em questão são negativos e sua intensidade está em torno de -63.95%

```

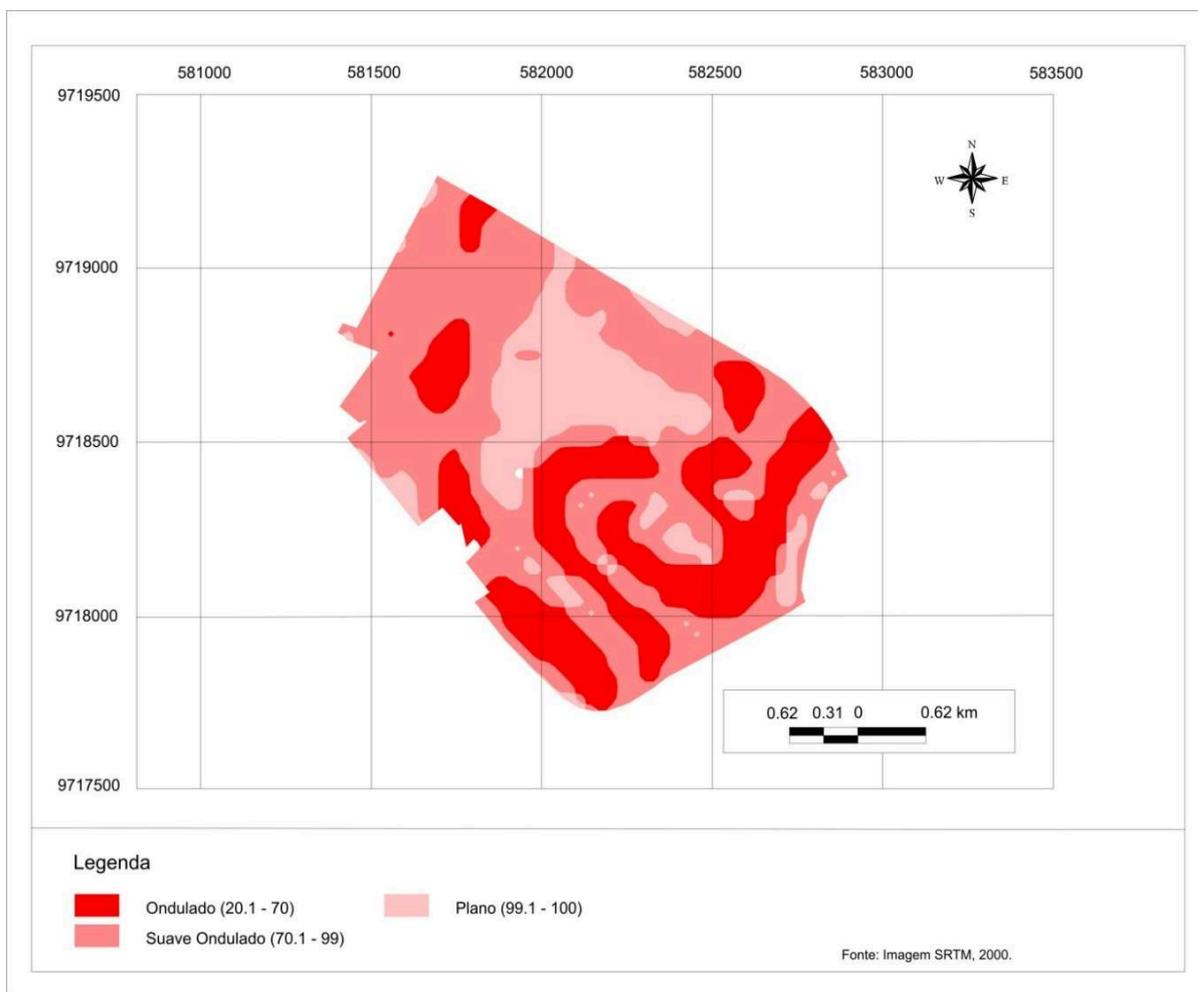
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Enquanto o Mapa de Declividade, os resultados obtidos mostram que as áreas com as situações mais críticas de alagamento são as localizadas próximas aos cursos d'água ou áreas de várzeas, correspondendo às áreas mais planas, como também às suave onduladas. De fato, os alagamentos mais relevantes ocorrem ao longo das margens do canal natural (ALBUQUERQUE, 2015).

No entanto, até mesmo em áreas localizadas nas faixas menos críticas de inundação, como as ruas internas do Bairro Barreto, ocorre alguns alagamentos, pois, apesar de ter um relevo suave ondulado e ondulado, apresentam capacidade de escoamento reduzida em função das condições de lançamento no canal que, frequentemente, está parcialmente obstruído e com seção reduzida. Por outro lado, as regiões de maiores declividades, que são as de características onduladas, observa-se presença de encosta em alguns setores, que geram outros problemas, tais como a instabilidade do solo com a retirada de partículas que escoam com a água para as áreas mais planas (ALBUQUERQUE, 2015).

Ressalta-se que quanto maior o valor do indicador, maior será a possibilidade de ocorrer uma inundação em uma determinada área. Os resultados desse indicador estão apresentados no mapa da Figura 79 (ALBUQUERQUE, 2015).

Figura 79: Resultados do Mapa de Declividade da Área de estudo – Bairro Barreto



6.2 Correlação entre Programa e Mapa de Impermeabilização e Uso do Solo

Na figura 80, é demonstrada a matriz de resultados obtida ao se analisar a área de Impermeabilização e Uso do Solo crítica da região de estudo, onde mostra os seguintes resultados:

- Impactos Sociais: **-91,67%**
- Impactos Econômicos: **-60,71%**
- Impactos Hidrológicos: **-94,23%**
- Impactos Físicos: **-78,57%**
- Impactos Ambientais: **-71,43%**
- Impacto Geral: **-81,98%**

Com esses resultados, conclui-se que, no Indicador Impermeabilização e Uso do Solo, o ambiente social é o mais afetado e o ambiente econômico é o menos afetado, ocasionando um impacto geral de quase 82% negativo. Assim como nos resultados do indicador anterior, isso ocorre devido aos danos humanos serem de maior intensidade, causando doenças e riscos que afetam a qualidade de vida da população que sofre com problemas causados por inundações, onde, na maioria das vezes, o poder público não investe em medidas que minimizem ou sanem tais problemas.

Figura 80: Resultados de área de Impermeabilização.

```

C:\WINDOWS\py.exe

s = -33
e = -17
h = -49
f = -22
a = -20

O Indicador Físico Impermeabilização ou Uso do Solo em questão gera uma piora na qualidade de vida da população em -91.67%

O Indicador Físico Impermeabilização ou Uso do Solo em questão gera aumento dos gastos em -60.71%

O Indicador Físico Impermeabilização ou Uso do Solo em questão afeta o ciclo hidrológico da área em -94.23%

O Indicador Físico Impermeabilização ou Uso do Solo em questão gera uma agressão ao ambiente paisagístico urbano em -78.57%

O Indicador Físico Impermeabilização ou Uso do Solo em questão agride o meio ambiente natural em -71.43%

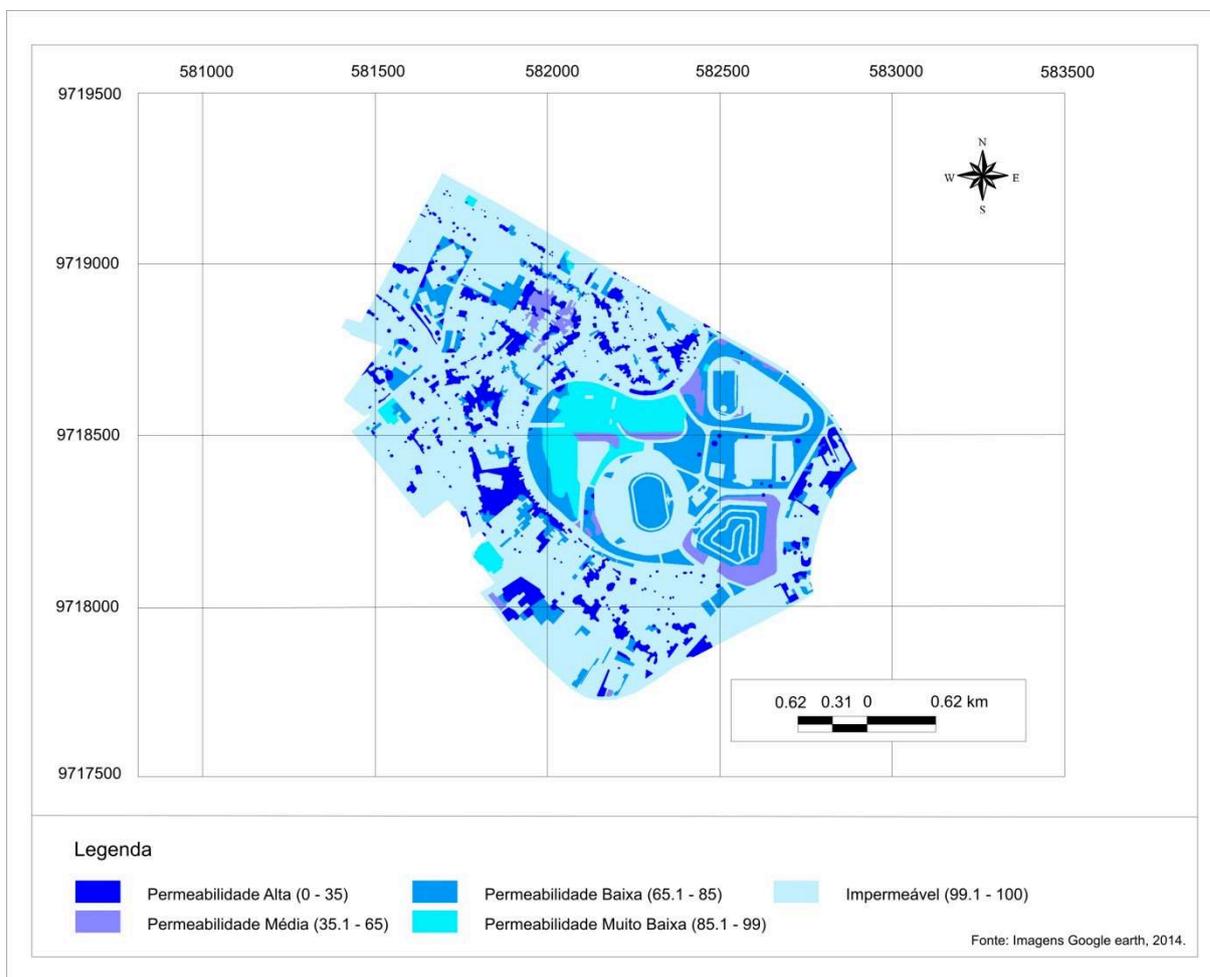
Os Impactos gerados pelo Indicador Físico Impermeabilização ou Uso do Solo em questão são negativos e sua intensidade está em
torno de -81.98%

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Já nos resultados do mapa de Impermeabilização e Uso do Solo, apresentado na figura 81, mostram que as áreas que apresentam situações mais críticas de alagamento são as mais urbanizadas, ou seja, com permeabilidade do solo muito baixa. Essas áreas situam-se em grande parte da bacia, inclusive ao longo do caminhamento do canal natural, onde existe uma concentração de população de baixa renda. Na realidade, nem todos os pontos críticos apontados apresentam problemas de inundação; por exemplo, os localizados próximos ao limite da bacia, ou de encostas, onde os efeitos do escoamento superficial são rapidamente transferidos para as regiões mais baixas, ou então na área limitada pelo Estádio do Castelão. Isso mostra que a construção de um índice considerando a combinação dos indicadores é fundamental para avaliar de forma mais abrangente a situação de inundação (ALBUQUERQUE, 2015).

Figura 81: Resultados do Mapa de Impermeabilização e Uso do Solo da Área de estudo – Bairro Barreto



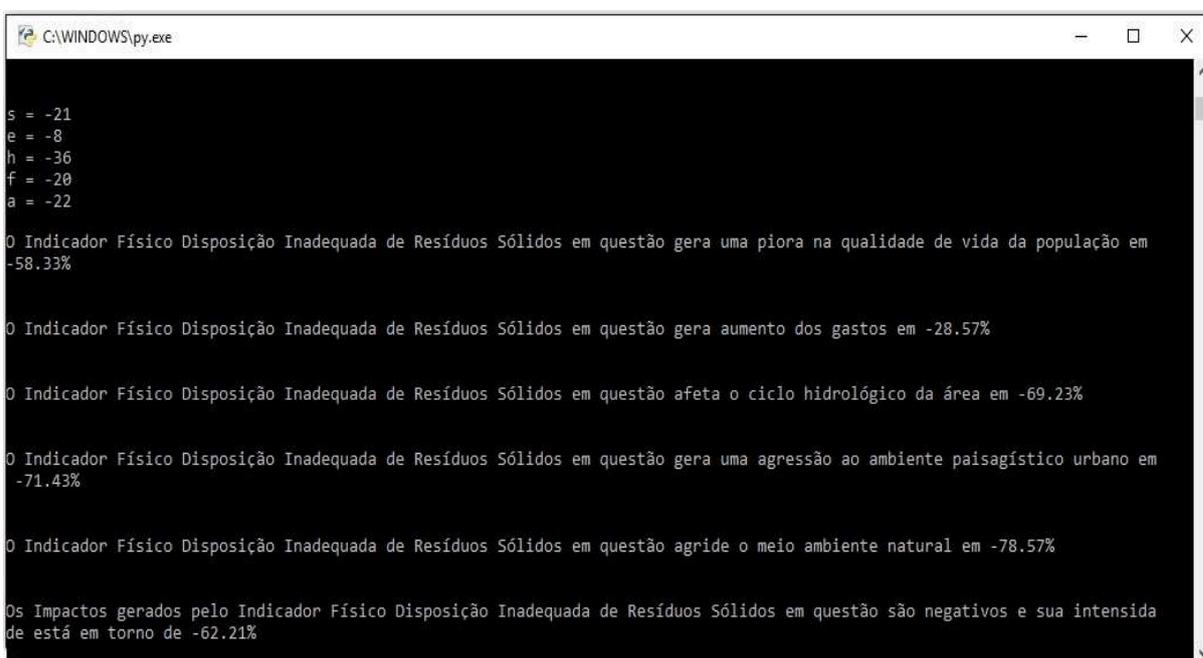
6.3 Correlação entre Programa e Mapa de Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos

Na figura 82, é demonstrada a matriz de resultados obtida ao se analisar a área de Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos crítica da região de estudo, onde mostra os seguintes resultados:

- Impactos Sociais: **-58,33%**
- Impactos Econômicos: **-28,57%**
- Impactos Hidrológicos: **-69,23%**
- Impactos Físicos: **-71,43%**
- Impactos Ambientais: **-78,57%**
- Impacto Geral: **-62,21%**

Com esses resultados, conclui-se que, no Indicador Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos, o meio ambiente natural é o mais afetado e o ambiente econômico é o menos afetado, ocasionando um impacto geral de 62% negativo. Isso ocorre devido aos danos à natureza serem de maior proporção, causando degradação e poluição das diversas formas para vida da população que sofre com problemas causados por inundações, onde, na maioria das vezes, o poder público não investe em medidas que minimizem ou sanem tais problemas, como, por exemplo, limpeza pública e saneamento básico.

Figura 82: Resultados de área de Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos.



```
C:\WINDOWS\py.exe
s = -21
e = -8
h = -36
f = -20
a = -22

0 Indicador Físico Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos em questão gera uma piora na qualidade de vida da população em -58.33%

0 Indicador Físico Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos em questão gera aumento dos gastos em -28.57%

0 Indicador Físico Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos em questão afeta o ciclo hidrológico da área em -69.23%

0 Indicador Físico Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos em questão gera uma agressão ao ambiente paisagístico urbano em -71.43%

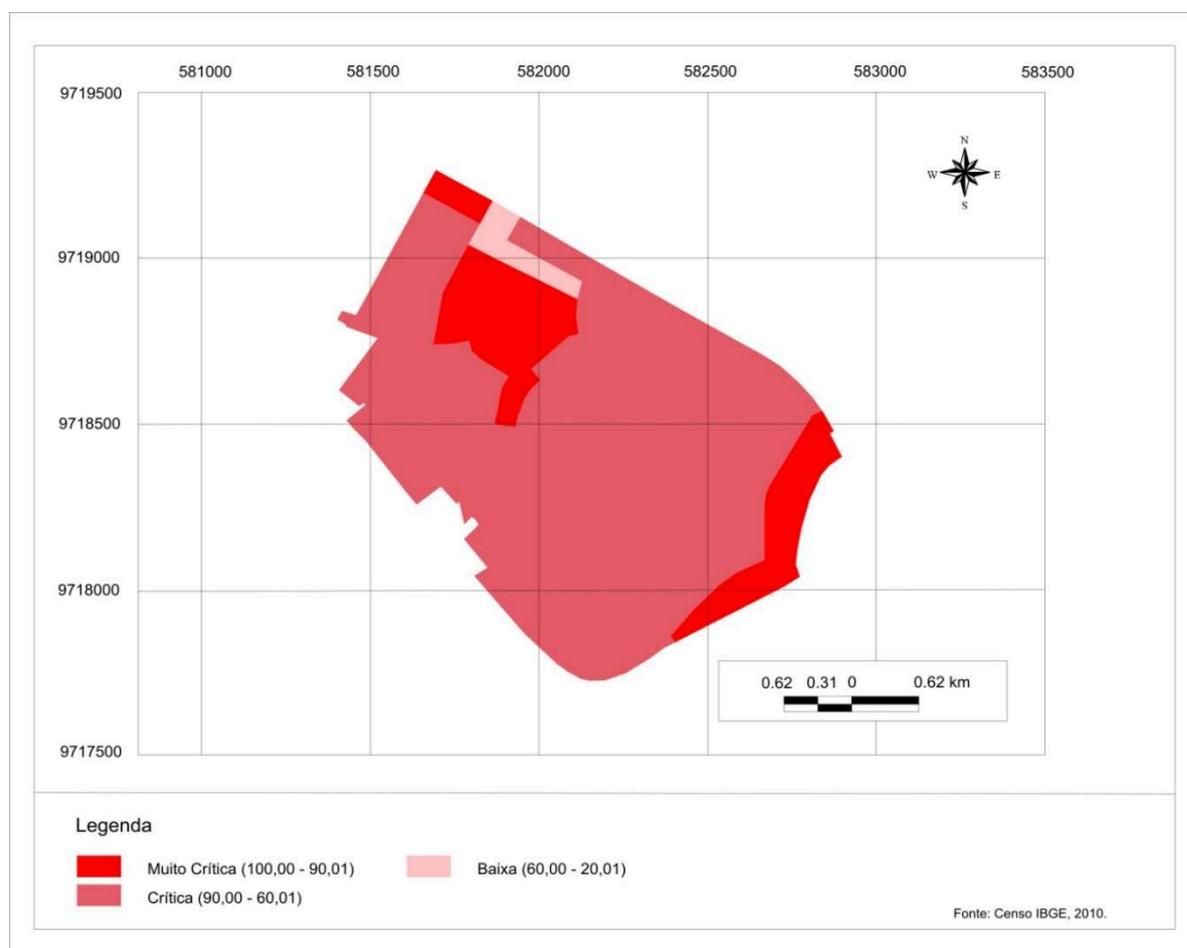
0 Indicador Físico Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos em questão agride o meio ambiente natural em -78.57%

Os Impactos gerados pelo Indicador Físico Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos em questão são negativos e sua intensidade está em torno de -62.21%
```

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Enquanto nos resultados do mapa de Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos, apresentado na figura 83, observa-se que grande parte da área de estudo apresenta situação crítica ou muito crítica de alagamento devido à disposição inadequada de resíduos sólidos. Essa situação agrava as condições de funcionamento do canal natural devido à sua obstrução por resíduos gerados pela população. Os poucos dispositivos de drenagem urbana, bem como o canal natural existente nessa área, funcionam precariamente, com seções reduzidas pela presença de resíduos sólidos no seu interior (ALBUQUERQUE, 2015).

Figura 83: Resultados do Mapa de Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos da Área de estudo – Bairro Barreto



6.4 Correlação entre Programa e Mapa de Proximidade dos Cursos D'Água

Na figura 84, é demonstrada a matriz de resultados obtida ao se analisar a área de Proximidade dos Cursos D'Água crítica da região de estudo, onde mostra os seguintes resultados:

- Impactos Sociais: **-100,00%**
- Impactos Econômicos: **-57,14%**
- Impactos Hidrológicos: **-50,00%**
- Impactos Físicos: **-85,71%**
- Impactos Ambientais: **-71,43%**
- Impacto Geral: **-70,93%**

Com esses resultados, conclui-se que, no Indicador Proximidade dos Cursos D'Água, o meio ambiente social é o mais afetado, chegando a ser 100% de impacto, e o ambiente hidrológico é o menos afetado, ocasionando um impacto geral de quase 71% negativo. Isso ocorre devido aos danos humanos serem de maior proporção, causando doenças e riscos que afetam a qualidade de vida da população que sofre com problemas causados por inundações, e de menor magnitude nos quesitos hidrológicos dessa região.

Figura 84: Resultados de área de Proximidade dos Cursos D'Água.

```

C:\WINDOWS\py.exe
s = -36
e = -16
h = -26
f = -24
a = -20

O Indicador Físico Proximidade dos Cursos D'água em questão gera uma piora na qualidade de vida da população em -100.00%

O Indicador Físico Proximidade dos Cursos D'água em questão gera aumento dos gastos em -57.14%

O Indicador Físico Proximidade dos Cursos D'água em questão afeta o ciclo hidrológico da área em -50.00%

O Indicador Físico Proximidade dos Cursos D'água em questão gera uma agressão ao ambiente paisagístico urbano em -85.71%

O Indicador Físico Proximidade dos Cursos D'água em questão agride o meio ambiente natural em -71.43%

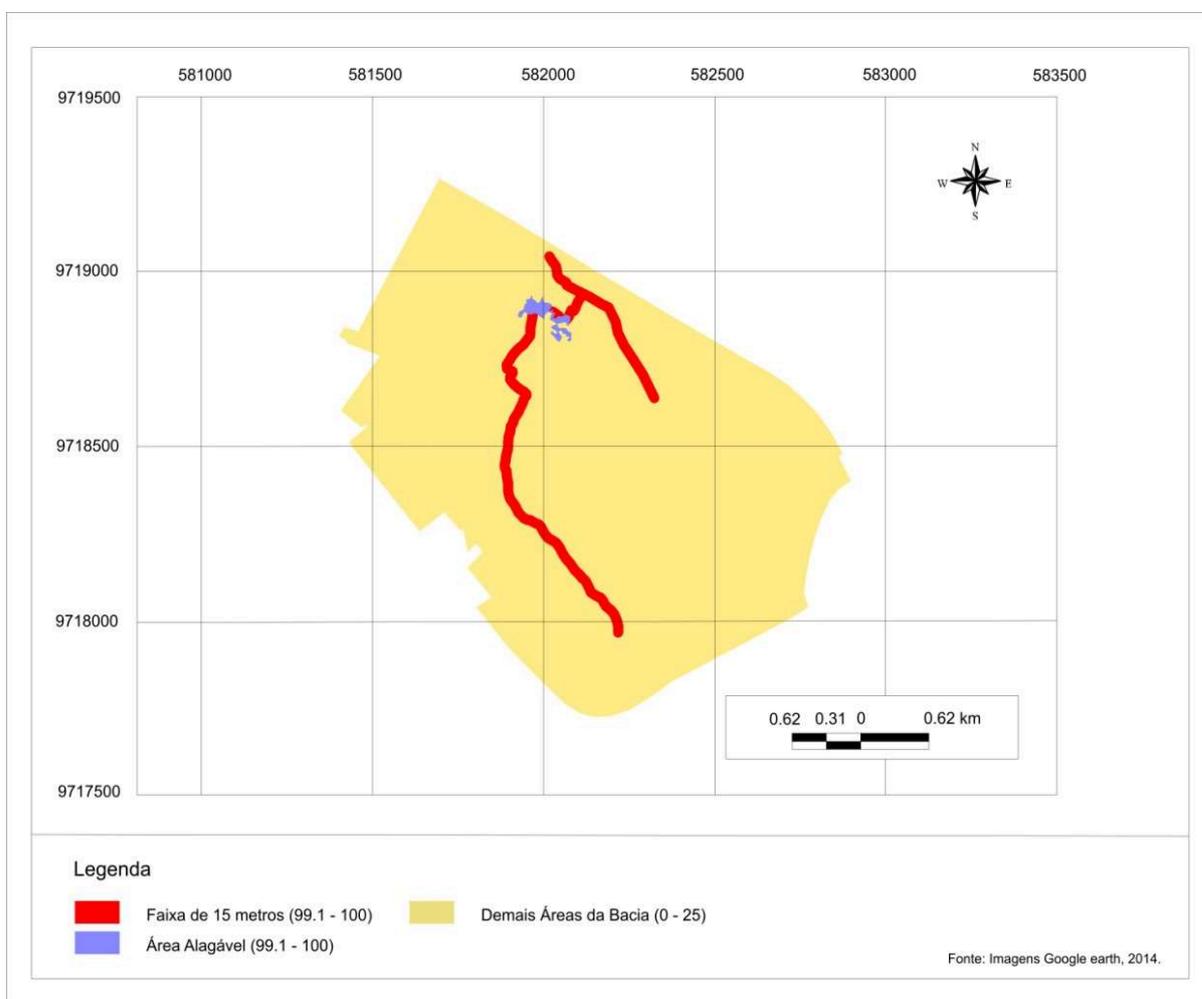
Os Impactos gerados pelo Indicador Físico Proximidade dos Cursos D'água em questão são negativos e sua intensidade está em
torno de -70.93%

```

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Os resultados encontrados no mapa de Proximidade dos Cursos D'Água, apresentado na figura 85, mostra que as regiões onde se observam valores altos desse indicador são justamente as áreas de proteção permanente, onde localizam as várzeas e os canais naturais. Os locais que apresentam esse indicador baixo correspondem às áreas localizadas à montante da bacia, bem como no interior do bairro e no Estádio Castelão, onde não apresenta curso d'água (ALBUQUERQUE, 2015).

Figura 85: Resultados do Mapa de Proximidade dos Cursos D'Água da Área de estudo – Bairro Barreto



6.5 Resultado Geral

Na Declividade, observou-se um alto índice nas regiões planas, regiões críticas de inundação, onde apresenta uma intensidade de quase 64% de impactos proveniente das inundações.

Na impermeabilização do solo, observou-se que as regiões que apresentam um alto índice, correspondem também às mais populosas, onde apresenta uma intensidade de quase 82% de impactos, o maior valor em relação aos indicadores analisados na região, que são provenientes das inundações.

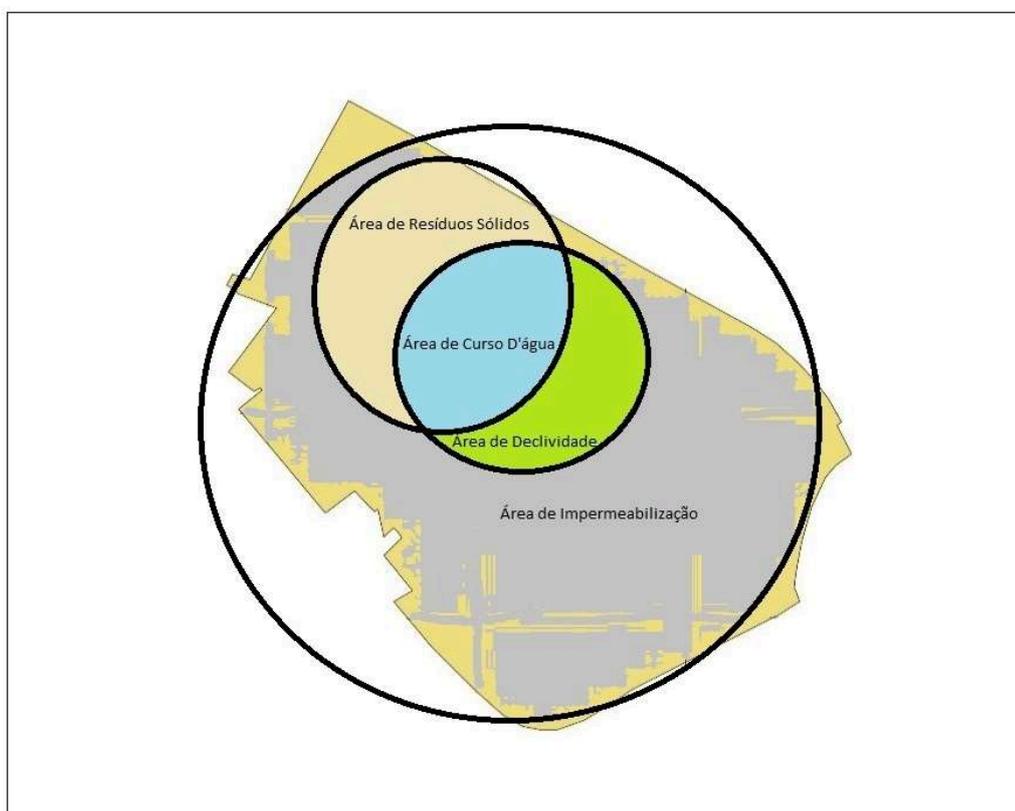
Na Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos, os resultados mostram que grande parte da área estudada apresenta índice alto, em destaque para as áreas localizadas próximas a cursos d'água. Esse resultado é coerente com a situação apresentada quanto a carência do serviço de coleta de resíduos sólidos, conforme exposto nas informações obtidas na pesquisa de campo, onde esse indicador causa cerca de 62% de danos provenientes das inundações urbanas.

Na Proximidade dos Cursos D'Água, observou-se que os maiores índices ocorrem nas áreas próximas aos cursos d'água, gerando o segundo maior impacto dentre os indicadores analisados, com intensidade de quase 71%.

É possível observar que a zona mais crítica se concentra, próximas aos canais, que são áreas mais planas, onde são frequentes as inundações em períodos de chuva. Observou-se também que as áreas mais urbanizadas representam um alto potencial de inundações urbanas, principalmente quando localizadas em regiões onde a coleta de resíduos não é feita com boa frequência.

A imagem a seguir, figura 86, ilustra as áreas mais críticas de cada Indicador Físico analisado na região de estudo.

Figura 86: Áreas críticas dos Indicadores Físicos em análise



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

7 CONCLUSÃO

Considerando o objetivo fundamental proposto neste trabalho, de se analisar os impactos de inundação, através de indicadores físicos, pode-se constatar que foi possível atingi-lo através da criação do programa computacional. O estudo de uma metodologia capaz de quantificar os impactos de cinco ambientes (Social, Econômico, Hidrológico, Físico e Ambiental), bem como a sua aplicação em uma área crítica de alagamento em São Luís, também foi realizado permitindo uma avaliação detalhada a partir da criação de mapas temáticos contendo os resultados obtidos.

Um ponto comum entre os resultados obtido para os critérios propostos para o programa, é que todos apontam para as regiões localizadas próximas aos cursos d'água, como sendo as mais críticas de inundações, com alto valor de impactos que prejudicam a vida da população, sendo apresentados os indicadores com maior proporção de impacto a impermeabilização do solo e a proximidade do curso d'água. Dessa forma, reforça-se a ideia da necessidade de se criar estratégias que impeçam a ocupação dessas regiões, como formas de prevenir as inundações e os riscos advindos dessas inundações para a saúde da população, envolvendo ações que auxiliem na gestão da drenagem urbana. No que se refere aos indicadores escolhidos na confecção do programa, esses se mostraram satisfatórios e representativos das principais intensidades de impactos de inundação.

O programa atendeu ao requisito inicialmente proposto, sendo uma ferramenta desenvolvida capaz de quantificar impactos causados nos ambientes de acordo com preenchimento da Matriz Adaptada de Leopold.

Também, deve-se enfatizar que a utilização de mapas com informações sólidas para a tomada de decisões, tornou este estudo mais conveniente e eficaz, uma vez que possibilitou uma análise dos resultados mais rigorosa, objetiva e clara, representada através de imagens digitais, representadas em mapas.

Uma avaliação geral dos resultados leva a concluir que o problema de inundação no Bairro Barreto é localizado, principalmente, nas regiões mais baixas, concentradas próximas aos cursos d'água, caracterizadas como áreas de ocupação irregular por uma população de baixa renda, onde o fator social é totalmente agredido. Esse fato foi apontado nos resultados da pesquisa de campo, como também, é notório em todos os períodos de chuva, em outras áreas do município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Y. R. T. **Apoio à Análise de Indicadores Físicos para Avaliação das Causas de Inundações em Áreas Urbanas de São Luís – MA.** São Luís – MA: XXVII SEMIC/PPG-UEMA, 2015.

AMORIM, D. D. **Avaliação de Impactos Ambientais.** Governador Valadares – MG: IFMG, 2013.

AQUINO, C. **Retirada da cobertura vegetal do solo contribui para reduzir mais a água nas torneiras.** Disponível em: <<http://www.em.com.br/app/noticia/tecnologia>>. Acesso em 22 de abril de 2016.

BAPTISTA, M.B.; NASCIMENTO, N.O. **Técnicas compensatórias em drenagem urbanas.** ABRH. Porto Alegre, 2005.

BARBOSA, A. S. **Retirada da cobertura vegetal do solo contribui para reduzir mais a água nas torneiras.** Disponível em: <<http://www.em.com.br/app/noticia/tecnologia>>. Acesso em 22 de abril de 2016.

BEZERRA, M. L. F. D. **Taxa de (im) Permeabilidade Urbana Intra-lote: um olhar sob a legislação.** João Pessoa – PB: Revista Campo do Saber/IESP, 2015.

BUENO, D. **Desenvolvimento de um Software para Cálculo de Impactos de um Sistema Tecnológico de Drenagem Pluvial Urbana.** Diamantina – MG: UFVJM, 2014.

CANHOLI, A.P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes.** Oficina de Texto. São Paulo, 2005.

CARDOSO, A. S. **Desenvolvimento de Metodologia para Avaliação de Alternativas de Intervenção em Cursos de Água em Áreas Urbanas.** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG. Belo Horizonte: 2008.

CARDOSO, R. L. N. **Seminário Fluminense de Indicadores, I.** Fundação CIDE, Rio de Janeiro, 2000.

COELHO, M.T.M. **Risco de inundação devido a fragilidade do sistema de drenagem na região metropolitana de São Luís, MA.** Tese de Doutorado, PROURB/UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

COELHO, M. T. M.; BRITTO, A. L. N. P.; MIGUEZ, M. G. **Construção e Avaliação de um Indicador de Risco de Alagamentos em Áreas Urbanas.** João Pessoa – PB: XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2012.

COSTA, M. V.; CHAVES, P. S. V.; OLIVEIRA, F. C. **Uso das Técnicas de Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos Realizados no Ceará.** Rio de Janeiro – RJ: Intercom/XXVIII Congresso Brasileiro de Ciências da Comunicação/UERJ, 2005.

DE BONIS, A. **Gestão Ambiental de Drenagem Urbana no Município do Rio de Janeiro: Apresentação do Caso do Rio dos Macacos.** Tese de Doutorado, COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

Defesa Civil de Santa Catarina. **Municípios com decretos: Desastre SC Enchentes, 2008.** Disponível em: <<http://www.desastre.sc.gov.br>>. Acessada em 28 de abril de 2016.

FRANCISCO, W. C. E. **Inundações Urbanas.** *Brasil Escola.* Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/inundacoes-urbanas.htm>>. Acesso em 22 de março de 2016.

GONÇALVES, W; PAIVA, H.N. **Árvore para o ambiente urbano** (Série Arborização Urbana), v.3, 2004.

G1.com. Chuvas afetam mais de 30 cidades do interior e da Grande São Paulo. **Disponível em:** <<http://g1.globo.com/natureza/noticia>>. Acesso em 25 de março de 2016.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000.** Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default.asp>>. Acesso em 05 de janeiro de 2015.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/default.shtm>. Acesso em 05 de janeiro de 2015.

JUNGLES, L. As maiores inundações e enchentes no Brasil e em Santa Catarina. **ANVerde.** Disponível em <<http://wp.clicrbs.com.br>>. Acesso em 02 de abril de 2016.

LEOPOLD, L.B. et al. **A procedure for evaluating environmental impact.** Geological Survey Circular 645, Washington, 1971.

LUCENA, H. A. N; AMARAL, I. B. C.; BUENO, D.; REIS, A. B. **Desenvolvimento de Software para Análise de Impactos de Sistemas Tecnológicos de Drenagem Pluvial.** Natal: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014.

LUCENA, H. A. N.; BRUMANO, I. **Métodos Compensatórios de Drenagem Pluvial Como Forma de Evitar Inundações Urbanas.** 2013. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina. Minas Gerais.

MAURO, A. Canalização de córrego vai acabar com inundações em centro comercial e industrial em Conselheiro Paulino. **Disponível em:** <<http://novafriburgo.rj.gov.br/2016/02>>. Acessado em 15 de abril de 2016.

MEIO AMBIENTE TÉCNICO, **Enchentes porque ocorrem?** Disponível em <<http://meioambientetecnico.blogspot.com.br>>. Acesso em 26 de março de 2016.

MONTEIRO A. C. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976.

MONTES, R. M.; LEITE, J. F. **A Drenagem Urbana de Aguas Pluviais e Seus Impactos: cenário atual da Bacia do Córrego Vaca – Brava**. Goiânia – Go: Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental, 2009.

MOTA, S.; AQUINO, M. D. **Proposta de uma matriz para avaliação de impactos ambientais**. Vitória – ES: VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008.

OGLOBO. **Enchentes em Alagoas e Pernambuco matam mais de 40**. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/politica/enchentes-em-alagoas-pernambuco-matam-mais-de-40-2990510>> Acesso em 05 de janeiro de 2015.

OLAVE, D.C.S. **Sumário de indicadores e índices relacionados con la evaluación de la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo por eventos naturales**, In: Programa de Información e Indicadores de Gestión de Riesgos de Desastres Naturales, BID – CEPAL – IDEA, Operación ATN/JF-7907-RG, Manizales, Colombia, 2003.

OLIVEIRA, A. M. S.; CAMPOS, D. C. **A Ocupação das Várzeas no Alto Tietê e a Reprodução deste Modelo Urbano na Bacia do Rio Baquirivu Guaçu, Guarulhos e Arujá - SP**. São Paulo: GEOUSP – espaço e tempo, 2012

P. JUNIOR, R. C. **Histórico de Inundações**. In: Word Almanac, 2004.

PIZZO, H. S.; SALAMAR, P. R.; FREITAS, V. E. **Proposta de Utilização da Matriz de Impactos Ambientais (leopold) Variada Aplicada ao Processo Ensino-Aprendizagem em IES: Disciplinas Teóricas**. Juiz de Fora – MG, 2014.

PORTAL AMBIENTE BRASIL, **Artigos Águas Urbanas: Enchentes e inundações**. Disponível em <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos_aguas_urbanas/enchentes_e_inundacoes.html>. Acesso em 22 de março de 2016.

PRATT, C.; KALY, U.; MITCHELL, J. **Manual: How to use the Environmental Vulnerability Index (EVI)**. In: SOPAC Technical Report 383. SOPAC, UNEP, 2004.

PSYSCIENCE BRASIL. **Linguagem de Programação Python**. Disponível em:<<http://pyscience-brasil.wikidot.com/python>>. Acesso em 18 de abril de 2016.

REIS, A. B; LUCENA, H. A. N.; BRUMANO, I. **Adaptação da Matriz de Leopold para avaliação de impactos de sistemas tecnológicos de drenagem pluvial urbana**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XX. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul: 2013.

RIOS, J.L.P. et al. **Revitalização de Rios**. Rio de Janeiro: GTZ-SEMADS, 2002.

ROVEDA, M. et al. **Aplicação do método de Leopold na avaliação de impacto ambiental.** Anais: I Simpósio Sul de Gestão e Conservação Ambiental – Biodiversidade: Ensino e Pesquisa. Erechim: URI, 2005.

SANTIS, D. G. D.; MENDONÇA, F. A. **Impactos de Inundações em Áreas Urbanas: o Caso de Francisco Beltrão/PR.** Beltrão – PR: 2008.

SANTOS JUNIOR, V. J.; SANTOS, C. O. **A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas.** Macapá – AP: Estação Científica – UNIFAP, 2013.

SÃO LUÍS, Prefeitura Municipal. **Relatório Preliminar de Avaliação Ambiental Regional do Programa de Recuperação e Melhoria da Qualidade de Vida da Bacia do Bacanga.** São Luis – MA: 2007.

SCHUELLER, T. **Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban.** BMPS, 1987.

SILVA, A. L. E.; MORAES, J, A. R. **Proposta para uma Matriz para Avaliação de Impactos Ambientais em uma Indústria Plástica.** Bento Gonçalves – RS: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2012.

SILVA, M.F. **Análise de instrumentos de gestão ambiental visando a melhoria contínua do índice da qualidade de aterro de resíduos – IQR do estado de São Paulo.** Campinas – SP: Relatório de Projeto. CETESB/SMA/MCT, 2006.

SUCOMINI, M, N. **Caracterização e Análise do Patrimônio Arbóreo da Malha Viária Urbana Central do Município de São Carlos - SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2009.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. **Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba.** Belém – PA: Ambi-Agua, Taubaté, 2012.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH, 1995.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: Tucci, C.E.M.; Porto, R.L.L.; Barros, M.T. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Água no Meio Urbano.** Porto Alegre – RS: Livro Água Doce, cap. 14, 1997.

TUCCI, C.E.M. **Aspectos Institucionais no Controle de Inundações.** I Seminário de Recursos Hídricos do Centro – Oeste. Brasília, 1999.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: ABRH, 2003.

TUCCI, C. E.M. **Águas urbanas: interfaces no gerenciamento.** In: PHILIPPI JR, A. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável.** Barueri: Manole, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades: Programa de Modernização do Setor Saneamento. Brasília, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasil: Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa Saneamento para Todos, 4 vol., 2006.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2007.

TUCCI, C. E. M. Urbanização e recursos hídricos. In: BICUDO, C. E. de M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.

TUNDISI, J. G. **Ocupação de várzeas pode aumentar enchentes nas cidades**. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/ciencia/sustentabilidade>>. Acessado em 15 de abril de 2016.

UN. (United Nations). **Guidelines for reducing flood losses**. Geneva: UN. 2004.

UN. **Urban and rural**. 2009. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007>>. Acessado em 15 de Janeiro de 2015).

VANNI, G.S. **Controle de enchentes e gestão de drenagem urbana – Estudo para a Bacia do Rio Joana**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da UFRJ. Rio de Janeiro, 2004.

WIKILIVROS, **Python/Introdução**. Disponível em <<http://pt.wikibooks.org/wiki/Python/Introdução>>. Acesso em 25 de março de 2016.

ZONENSEIN, J. **Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes**. Dissertação de Mestrado em Ciências Em Engenharia Civil. COPPE /UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE PESQUISA EM CAMPO

PESQUISA CIENTÍFICA – UEMA
FORMULÁRIO UTILIZADO NA PESQUISA DE CAMPO

09

1. Bairro: BARRETO Rua: _____ Nº: _____
2. A rua é pavimentada: Sim Não
3. Qual o tipo de imóvel: Residencial Comercial Outros: _____
4. A rua possui sistema de drenagem: Sim Não Canal Natural
5. Há manutenção na rede de drenagem existente: Sim Não
Se sim, qual a frequência: _____
6. O canal existente costuma transbordar em períodos de chuva? Sim Não
7. Há problemas com inundações: Sim Não
 - a) Apenas na rua, sem atingir o imóvel:
 - a. Qual a frequência: _____
 - b. A última ocorrência: _____
 - b) Entrou no imóvel:
 - a. Nível de água no imóvel: _____
 - b. Houve perda material: Sim Não
 - c. Houve perda humana: Sim Não. Se sim, qual foi: _____
 - d. Altura aproximada da soleira do imóvel: _____ m
8. O canal recebe serviço de desobstrução ou limpeza do poder público?
 Sim Não. Se sim, com qual frequência? _____
9. Há coleta de lixo na rua? Sim Não
Se sim, qual a frequência da coleta de lixo: _____ dias.
10. Como é feita a coleta de lixo: Caminhão da prefeitura
 Leva-se até o local da coleta
 Outra forma de coleta: _____
11. Se não tem coleta de lixo: Joga-se em terreno baldio
 Lança-se no canal
 Outros: _____
12. Você costuma jogar outros materiais inservíveis no canal? Sim Não
Se sim, quais: _____
13. Qual o sistema de esgoto existente: Rede da CAEMA Fossa
 Lança-se na rua Lança-se no canal Outros: _____

APÊNDICE B – PROGRAMA UTILIZADO NESTE TRABALHO

```
print("ANÁLISE DE IMPACTOS DE INUNDAÇÕES \n \n")
```

```
print("Entre com um Indicador:")
print("1) Declividade")
print("2) Impermeabilização ou Uso do Solo")
print("3) Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos")
print("4) Proximidade dos Cursos D'água\n")
```

```
while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "1":
        indicador = "Declividade"
        print("Indicador Escolhido = Declividade")
        break
    elif resposta == "2":
        indicador = "Impermeabilização ou Uso do Solo"
        print("Indicador Escolhido = Impermeabilização ou Uso do Solo")
        break
    elif resposta == "3":
        indicador = "Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos"
        print("Indicador Escolhido = Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos")
        break
    elif resposta == "4":
        indicador = "Proximidade dos Cursos D'água"
        print("Indicador Escolhido = Proximidade dos Cursos D'água")
        break
    else:
        print()
        print("Opção inválida!")
print("\n")
```

```
print("1) CRITÉRIO SOCIAL:")
print("Considera os impactos na vida da população que reside na área de análise do indicador escolhido. \n")
```

```
print("A) PROLIFERAÇÃO DE DOENÇAS: Como se desenvolve a proliferação de doenças de veiculação hídrica na região? \n")
print("a) Grande acúmulo de água e agentes de doenças")
print("b) Grande acúmulo de água")
print("c) Pequeno acúmulo de água e agentes de doenças")
print("d) Pequeno acúmulo de água")
print("e) Sem acúmulo de água\n")
```

```
while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
```

```

    A1 = -4
    break
elif resposta == "b" or resposta == "B":
    A1 = -3
    break
elif resposta == "c" or resposta == "C":
    A1 = -2
    break
elif resposta == "d" or resposta == "D":
    A1 = -1
    break
elif resposta == "e" or resposta == "E":
    A1 = 0
    break
else:
    print("Opção inválida!")
print("\n")

```

```

print("B) RISCOS DE INUNDAÇÃO: Como se desenvolve a inundação, com relação ao
escoamento superficial? \n")
print("a) Elevada vazão de escoamento superficial")
print("b) Alta vazão de escoamento superficial")
print("c) Média vazão de escoamento superficial")
print("d) Baixa vazão de escoamento superficial")
print("e) Sem vazão de escoamento superficial\n")

```

```

while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        B1 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        B1 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        B1 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        B1 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        B1 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")

```

```

print("C) QUALIDADE DE VIDA: Qual o impacto da inundação para a vida da população?
\n")
print("a) Elevada agressão à população")

```

```
print("b) Alta agressão à população")
print("c) Média agressão à população")
print("d) Baixa agressão à população")
print("e) Sem relação \n")
```

```
while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        C1 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        C1 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        C1 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        C1 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        C1 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")
```

```
print("2) CRITÉRIO ECONÔMICO:")
print("Faz a análise de gastos gerados pelos problemas causados por inundações influenciadas pelo indicador em questão. \n")
print("A) MEDIDAS DE CONTROLE (ESTRUTURAL): Qual o gasto com estes tipos de medidas? \n")
print("a) Muito gasto")
print("b) Médio gasto")
print("c) Baixo gasto")
print("d) Sem gasto, mas necessário")
print("e) Sem gasto e sem necessidade \n")
```

```
while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        A2 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        A2 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        A2 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        A2 = -1
```

```

        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        A2 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")

print("B) MEDIDAS ALTERNATIVAS: Qual o gasto com estes tipos de medidas? \n")
print("a) Elevado gasto")
print("b) Muito gasto")
print("c) Médio gasto")
print("d) Baixo gasto")
print("e) Sem gasto \n")

```

```

while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        B2 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        B2 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        B2 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        B2 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        B2 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")

```

```

print("C) CLASSE SOCIAL DA POPULAÇÃO: Qual a média da renda da população da região? \n")
print("a) Classe H (< R$200,00)")
print("b) Classe F (> R$400,00)")
print("c) Classe E (> R$950,00)")
print("d) Classe D (> R$1.200,00)")
print("e) Acima de C (> R$ 2.300) \n")

```

```

while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        C2 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":

```

```

    C2 = -3
    break
elif resposta == "c" or resposta == "C":
    C2 = -2
    break
elif resposta == "d" or resposta == "D":
    C2 = -1
    break
elif resposta == "e" or resposta == "E":
    C2 = 0
    break
else:
    print("Opção inválida!")
print("\n")

print("D) DESAPROPRIAÇÕES: Qual a frequência de desapropriações na região? \n")
print("a) Elevado número de casos de desapropriações")
print("b) Médio número de casos de desapropriações")
print("c) Pouco número de casos de desapropriações")
print("d) Eventuais casos de desapropriações")
print("e) Não há desapropriações \n")

while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        D2 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        D2 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        D2 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        D2 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        D2 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")

print("3) CRITÉRIO HIDROLÓGICO:")
print("Avalia os efeitos na hidrologia da bacia regional, tanto nos cursos d'água quanto nos lençóis freáticos da região do indicador escolhido. \n")
print("A) PRECIPITAÇÃO: Como se caracteriza a região, com relação à urbanização? \n")
print("a) Região intensamente urbanizada")
print("b) Região muito urbanizada")
print("c) Região medianamente urbanizada")

```

```
print("d) Região pouco urbanizada")
print("e) Região periférica \n")
```

```
while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        A3 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        A3 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        A3 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        A3 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        A3 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")
```

```
print("B) EVAPOTRANSPIRAÇÃO: Como se caracteriza a região, com relação à urbanização
x vegetação? \n")
print("a) Região altamente urbanizada")
print("b) Urbanização alta e presença de vegetação baixa")
print("c) Urbanização e presença de vegetação médias")
print("d) Urbanização baixa e presença de vegetação alta")
print("e) Coberturavegetal densa \n")
```

```
while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        B3 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        B3 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        B3 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        B3 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        B3 = 0
        break
    else:
```

```

    print("Opção inválida!")
print("\n")

```

```

print("C) NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO: Qual a extensão da área da Bacia? \n")
print("a) Área urbana muito extensa")
print("b) Área urbana medianamente extensa")
print("c) Área urbana pouco extensa")
print("d) Área urbana curta")
print("e) Região não urbanizada \n")

```

```

while True:

```

```

    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        C3 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        C3 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        C3 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        C3 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        C3 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")

```

```

print("\n")

```

```

print("D) INFILTRAÇÃO NO SOLO: Como se caracteriza a região, quanto à quantidade de
água infiltrada? \n")

```

```

print("a) Região intensamente urbanizada")
print("b) Região muito urbanizada")
print("c) Região medianamente urbanizada")
print("d) Região pouco urbanizada")
print("e) Região não urbanizada \n")

```

```

while True:

```

```

    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        D3 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        D3 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        D3 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":

```

```

    D3 = -1
    break
elif resposta == "e" or resposta == "E":
    D3 = 0
    break
else:
    print("Opção inválida!")
print("\n")

```

```

print("E) ESCOAMENTO SUPERFICIAL: Como se caracteriza a região, quanto ao
escoamento superficial x urbanização? \n")
print("a) Região intensamente urbanizada")
print("b) Região muito urbanizada")
print("c) Região medianamente urbanizada")
print("d) Região pouco urbanizada")
print("e) Região não urbanizada \n")

```

```

while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        E3 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        E3 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        E3 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        E3 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        E3 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")

```

```

print("4) CRITÉRIO FÍSICO:")
print("Considera as mudanças causadas no ambiente paisagístico gerados pela intensidade das
inundações propiciadas pelo indicador em análise. \n")
print("A) ASSOREAMENTO E SEDIMENTAÇÃO: Há acúmulo de sedimentos e
assoreamento na região? \n")
print("a) Grande acúmulo de sedimentos e assoreamento")
print("b) Médio acúmulo de sedimentos e assoreamento")
print("c) Pequeno acúmulo de sedimentos e assoreamento")
print("d) Mínimo acúmulo de sedimentos e assoreamento")
print("e) Sem relação \n")

```

```

while True:

```

```

resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
if resposta == "a" or resposta == "A":
    A4 = -4
    break
elif resposta == "b" or resposta == "B":
    A4 = -3
    break
elif resposta == "c" or resposta == "C":
    A4 = -2
    break
elif resposta == "d" or resposta == "D":
    A4 = -1
    break
elif resposta == "e" or resposta == "E":
    A4 = 0
    break
else:
    print("Opção inválida!")
print("\n")

print("B) LIMITES DE CONSTRUÇÃO: Qual o tipo de solo da região? \n")
print("a) Solo extremamente desfavorável à infiltração")
print("b) Solo muito desfavorável à infiltração")
print("c) Solo pouco desfavorável à infiltração")
print("d) Solo levemente desfavorável à infiltração")
print("e) Não depende do tipo de solo \n")

while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        B4 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        B4 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        B4 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        B4 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        B4 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")

print("C) USO E OCUPAÇÃO DA ÁREA: O solo da região é explorado? \n")
print("a) Extrema utilização do solo")

```

```
print("b) Muita utilização do solo")
print("c) Pouca utilização do solo")
print("d) Leve utilização do solo")
print("e) Sem relação \n")
```

```
while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        C4 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        C4 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        C4 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        C4 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        C4 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")
```

```
print("D) ESTÉTICO/PAISAGÍSTICO: A inundação trouxe alguma mudança no
estético/paisagístico da região? \n")
print("a) Extrema agressão à paisagem")
print("b) Muita agressão à paisagem")
print("c) Pouca agressão à paisagem")
print("d) Mínima agressão à paisagem")
print("e) Sem agressão \n")
```

```
while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        D4 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        D4 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        D4 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        D4 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        D4 = 0
```

```

    break
else:
    print("Opção inválida!")
print("\n")

```

```

print("5) CRITÉRIO AMBIENTAL: Há acúmulo de sedimentos e assoreamento na região?")
print("Avaliação do meio ambiente da região impactada, observandose os termos padrões de sustentabilidade, degradação e preservação do meio. \n")
print("A) QUALIDADE DO AR: Há a presença de poluentes fétidos na região? \n")
print("a) Grande acúmulo de poluentes com mau cheiro")
print("b) Grande acúmulo de poluentes sem mau cheiro")
print("c) Pequeno acúmulo de poluentes com mau cheiro")
print("d) Pequeno acúmulo de poluentes sem mau cheiro")
print("e) Sem acúmulo de poluentes \n")

```

```

while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        A5 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        A5 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        A5 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        A5 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        A5 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")

```

```

print("B) QUALIDADE DO SOLO: Há acúmulo de poluentes nas camadas do solo? E os mesmos são arrastados pelas águas pluviais? \n")
print("a) Extremo teor de poluentes arrastados e acumulados")
print("b) Muitos poluentes arrastados e acumulados")
print("c) Baixo acúmulo de poluentes nas camadas do solo")
print("d) Mínimo acúmulo de poluentes nas camadas do solo")
print("e) Sem acúmulo de poluentes no solo \n")

```

```

while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        B5 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":

```

```

    B5 = -3
    break
elif resposta == "c" or resposta == "C":
    B5 = -2
    break
elif resposta == "d" or resposta == "D":
    B5 = -1
    break
elif resposta == "e" or resposta == "E":
    B5 = 0
    break
else:
    print("Opção inválida!")
print("\n")

```

```

print("C) TEMPERATURA: Qual a variação da temperatura da região em relação à área mais
urbanizada da cidade? \n")
print("a) Região intensamente urbanizada")
print("b) Região muito urbanizada")
print("c) Região medianamente urbanizada")
print("d) Região pouco urbanizada")
print("e) Região não urbanizada \n")

```

```

while True:
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
    if resposta == "a" or resposta == "A":
        C5 = -4
        break
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
        C5 = -3
        break
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
        C5 = -2
        break
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
        C5 = -1
        break
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
        C5 = 0
        break
    else:
        print("Opção inválida!")
print("\n")

```

```

print("D) QUALIDADE DA ÁGUA: Há serviço público de limpeza na região? E qual a
intensidade de precipitação? \n")
print("a) Extrema falta de limpeza e intensa precipitação")
print("b) Alta falta de limpeza e médias precipitações")
print("c) Baixa falta de limpeza e poucas precipitações")
print("d) Baixa falta de limpeza, sem precipitações")

```

```
print("e) Limpeza regular \n")
```

```
while True:
```

```
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
```

```
    if resposta == "a" or resposta == "A":
```

```
        D5 = -4
```

```
        break
```

```
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
```

```
        D5 = -3
```

```
        break
```

```
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
```

```
        D5 = -2
```

```
        break
```

```
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
```

```
        D5 = -1
```

```
        break
```

```
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
```

```
        D5 = 0
```

```
        break
```

```
    else:
```

```
        print("Opção inválida!")
```

```
print("\n")
```

```
print("E) CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS: Há aterro sanitário e saneamento básico na região? \n")
```

```
print("a) Com aterro na região e sem saneamento")
```

```
print("b) Com aterro na região e com saneamento")
```

```
print("c) Sem aterro na região e sem saneamento")
```

```
print("d) Sem aterro na Região e com saneamento")
```

```
print("e) Sem relação \n")
```

```
while True:
```

```
    resposta = input("Escolha a opção correspondente: ")
```

```
    if resposta == "a" or resposta == "A":
```

```
        E5 = -4
```

```
        break
```

```
    elif resposta == "b" or resposta == "B":
```

```
        E5 = -3
```

```
        break
```

```
    elif resposta == "c" or resposta == "C":
```

```
        E5 = -2
```

```
        break
```

```
    elif resposta == "d" or resposta == "D":
```

```
        E5 = -1
```

```
        break
```

```
    elif resposta == "e" or resposta == "E":
```

```
        E5 = 0
```

```
        break
```

```
    else:
```

```
        print("Opção inválida!")
```

```

print("\n")

s = A1*3 + B1*3 + C1*3
S = (s/36)*100

e = A2*3 + B2*1 + C2*1 + D2*2
E = (e/28)*100

h = A3*2 + B3*2 + C3*3 + D3*3 + E3*3
H = (h/52)*100

f = A4*2 + B4*1 + C4*1 + D4*3
F = (f/28)*100

a = A5*1 + B5*2 + C5*1 + D5*1 + E5*2
A = (a/28)*100

T = (((s + e + h + f + a)/172)*100)

print("O Indicador Físico %s em questão gera uma piora na qualidade de vida da população em
%5.2f%%" %(indicador, S))
print("\n")

print("O Indicador Físico %s em questão gera aumento dos gastos em %5.2f%%" %(indicador,
E))
print("\n")

print("O Indicador Físico %s em questão afeta o ciclo hidrológico da área em %5.2f%%"
%(indicador, H))
print("\n")

print("O Indicador Físico %s em questão gera uma agressão ao ambiente paisagístico urbano
em %5.2f%%" %(indicador, F))
print("\n")

print("O Indicador Físico %s em questão agride o meio ambiente natural em %5.2f%%"
%(indicador, A))
print("\n")

print("Os Impactos gerados pelo Indicador Físico %s em questão são negativos e sua
intensidade está em torno de %5.2f%%" %(indicador, T))
input()

```