

JOMIL COSTA ABREU SALES

**ANÁLISE DE INDICADORES AMBIENTAIS EM SISTEMAS DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: ESTUDO APLICADO À
AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS**

Sorocaba
2019

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

*ciências
ambientais*

JOMIL COSTA ABREU SALES

**ANÁLISE DE INDICADORES AMBIENTAIS EM SISTEMAS DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: ESTUDO APLICADO À
AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS**

Tese apresentada como requisito para a
obtenção do título de Doutor em Ciências
Ambientais da Universidade Estadual
Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área
de Concentração Diagnóstico, Tratamento
e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Roberto Wagner
Lourenço

Coorientador: Prof. Dr. Omar Yazbek Bitar

Sorocaba

2019

S163m Sales, Jomil Costa Abreu
Metodologia de análise integrada de indicadores ambientais em
bacias hidrográficas / Jomil Costa Abreu Sales. -- Sorocaba, 2019
210 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientadora: Roberto Wagner Lourenço
Coorientadora: Omar Yazbek Bitar

1. Ciências Ambientais. 2. Geoprocessamento. 3. Sistemas de
Informações Geográficas. 4. Avaliação Ambiental Integrada. 5.
FPEIR. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ANÁLISE DE INDICADORES AMBIENTAIS EM SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS: ESTUDO APLICADO À AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS.

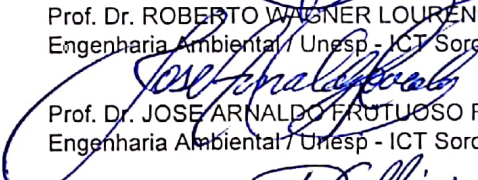
AUTOR: JOMIL COSTA ABREU SALES

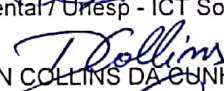
ORIENTADOR: ROBERTO WAGNER LOURENÇO

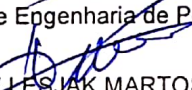
COORDENADOR: OMAR YAZBEK BITAR

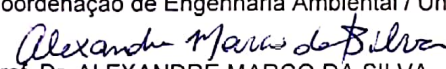
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENÇO
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba


Prof. Dr. JOSE ARNALDO FRUTUOSO ROVEDA
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba


Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA
Departamento de Engenharia de Pesca / Unesp - Câmpus de Registro


Prof. Dr. HENRY LESJAK MARTOS
Coordenação de Engenharia Ambiental / Universidade de Sorocaba (UNISO)


Prof. Dr. ALEXANDRE MARCO DA SILVA
Engenharia Ambiental / Unesp - ICT Sorocaba

Sorocaba, 30 de agosto de 2019

Dedicatória

Dedico todo meu esforço e horas de empenho às pessoas que tornaram a caminhada mais leve, com palavras, momentos e principalmente amor.

A minha mãe, Maria Cecília, pelo incentivo, dedicação e esforço para que eu seguisse em frente com meus estudos.

Ao meu pai, Fernando, pelo exemplo de serenidade e força para enfrentar as dificuldades.

A minha avó, Odete, pelas horas de conversa sobre os mais diversos assuntos e principalmente pelo exemplo de vida.

Ao meu avô Bidi (in memorium), ao meu avô Moarcir (in memorium) e a minha avó Julieta (in memorium) por sempre estarem em minhas orações.

Dedico também aos nossos animaizinhos de estimação, muito mais que isso, são membros da família, obrigado Billy e a Nina pelo amor incondicional que fizeram meus dias mais felizes para poder enfrentar a jornada.

Dedico especialmente a minha esposa Helena, pela sensibilidade de sempre ter o melhor conselho e me fazer levantar a cabeça e enfrentar os momentos mais difíceis.

Por me ajudar a seguir as setas amarelas da vida, dividir o peso da bagagem e ser meu suporte para ultrapassar os obstáculos do caminho. Seguimos peregrinando e apoiando um ao outro. Sem você a caminhada não faz sentido!

“Un peregrino sin buen humor es como un mundo sin color”



¡Buen camiño para nosotros!

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por me trazer acalmar e guiar quando me encontrei perdido. A toda minha família que me apoiou, estando sempre ao meu lado e que é o alicerce para construção do meu futuro.

Ao meu orientador Roberto Wagner Lourenço, pelo conhecimento, pela amizade, dedicação e confiança que me foi dado durante todo momento, agradeço por estar sempre presente nessa caminhada e pelas oportunidades proporcionadas para o meu crescimento profissional e pessoal.

Agradeço pelos amigos que fiz ao longo desses 6 anos de UNESP, somente o convívio e a cumplicidade de amigos podem tornar essa árdua trajetória mais fácil. Visto que não se faz um doutorado sozinho, é a eles que devo minha gratidão e todo meu agradecimento.

Obrigado Darllan, Elfany, José Carlos, Jocy, Amanda, Bruna, Bruno, Hetiane e a todos os outros que tiveram passagens pelo nosso laboratório e colaboraram para nossos projetos dentro do LABGEO. Obrigado também à Giovana pelo suporte administrativo durante esses anos de trabalho.

Ao meu coorientador Omar Yazbek Bitar pela ajuda fundamental e pelo apoio em todos os momentos. Aos meus amigos do IPT, Guilherme, Luiz Gustavo e Nádia, obrigado pela companhia em nossos horários de almoços, fazendo as tardes mais descontraídas.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pela oportunidade de desenvolver meu projeto de doutorado. A Fundação Instituto de Pesquisas Tecnológica - FIPT pelo apoio financeiro desta pesquisa.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, o meu eterno agradecimento. Todos contribuíram para a construção da minha carreira profissional.

Epígrafe

*Que Deus não permita que eu perca o romantismo,
mesmo eu sabendo que as rosas não falam.*

*Que eu não perca o otimismo,
mesmo sabendo que o futuro que nos espera não é assim tão alegre.*

*Que eu não perca a vontade de viver,
mesmo sabendo que a vida é, em muitos momentos, dolorosa...*

*que eu não perca a vontade de ter grandes amigos,
mesmo sabendo que, com as voltas do mundo, eles acabam indo embora de nossas
vidas.*

*Que eu não perca a vontade de ajudar as pessoas,
mesmo sabendo que muitas delas são incapazes de ver, reconhecer e retribuir esta
ajuda.*

*Que eu não perca o equilíbrio,
mesmo sabendo que inúmeras forças querem que eu caia.*

*Que eu não perca a vontade de amar,
mesmo sabendo que a pessoa que eu mais amo, pode não sentir o mesmo sentimento
por mim...*

*que eu não perca a luz e o brilho no olhar,
mesmo sabendo que muitas coisas que verei no mundo,
escurecerão meus olhos...*

*que eu não perca a garra,
mesmo sabendo que a derrota e a perda são dois adversários extremamente perigosos*

*Que eu não perca a razão,
mesmo sabendo que as tentações da vida são inúmeras e deliciosas.*

*Que eu não perca o sentimento de justiça,
mesmo sabendo que o prejudicado possa ser eu*

*Que eu não perca o meu forte abraço,
mesmo sabendo que um dia meus braços estarão fracos*

*Que eu não perca a beleza e a alegria de ver,
mesmo sabendo que muitas lágrimas brotarão dos meus olhos
e escorrerão por minha alma...*

*Que eu não perca o amor por minha família,
mesmo sabendo que ela muitas vezes me exigiria esforços incriveis para manter a sua
harmonia.*

*Que eu não perca a vontade de doar este enorme amor que existe em meu coração,
mesmo sabendo que muitas vezes ele será submetido e até rejeitado.*

*Que eu não perca a vontade de ser grande,
mesmo sabendo que o mundo é pequeno
e acima de tudo*

*Que eu jamais me esqueça que Deus me ama infinitamente,
que um pequeno grão de alegria e esperança dentro de cada um
é capaz de mudar e transformar qualquer coisa, pois*

*A vida é construída nos sonhos
e concretizada no amor!*

Francisco Candido Xavier

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE QUADROS E TABELAS.....	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XVI
RESUMO.....	XVIII
ABSTRACT.....	XX
CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivos Gerais.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos.....	3
CAPÍTULO II	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 A ABORDAGEM AMBIENTAL NO MUNDO.....	4
2.2 IMPORTÂNCIA REGIONAL PARA ESTUDOS AMBIENTAIS	5
2.3 AVALIAÇÃO AMBIENTAL INTEGRADA (AAI).....	8
2.3.1 Conceito de AAI.....	9
2.4 MATRIZ FPEIR	10
2.4.1 História e evolução do FPEIR.....	13
2.4.2 Utilização do FPEIR	14
2.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)	15
2.6 INDICADORES AMBIENTAIS.....	16
CAPÍTULO III.....	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 ÁREA DE ESTUDO	17
3.1.1 Localização.....	17
3.1.2 Caracterização	18
3.1.3 Aspectos socioeconômicos.....	19
3.1.4 Aspectos físicos.....	20
3.2 INDICADORES DE FORÇA MOTRIZ	21
3.2.1 Dinâmica demográfica e social.....	22
3.2.2 População.....	23
3.2.3 Demografia.....	23

3.2.4	<i>Desenvolvimento Humano</i>	24
3.2.5	<i>Dinâmica Econômica e social</i>	28
3.2.6	<i>Distribuição do Ensino em Função da Renda</i>	30
3.3	INDICADORES DE PRESSÃO	34
3.3.1	<i>Dinâmica de ocupação do território</i>	35
3.3.1	<i>Dinâmica de cobertura da terra</i>	36
3.4	INDICADORES DE ESTADO	38
3.4.1	<i>Variáveis Geomorfométrica</i>	38
3.4.2	<i>Variável Química</i>	42
3.4.3	<i>Variável Ecológica</i>	44
3.5	INDICADORES DE IMPACTO	46
3.5.1	<i>Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos</i>	47
3.5.2	<i>Potencial de perda de solo das áreas de agricultura inseridas em APP</i>	52
3.6	INDICADORES DE RESPOSTA	54
3.6.1	<i>Projeção futura da expansão antrópica</i>	54
3.6.2	<i>Alteração do Fluxo de Carbono da BHRU nas últimas décadas através de índices espectrais</i>	56
CAPÍTULO IV		59
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	INDICADORES DE FORÇA MOTRIZ	59
4.1.1	<i>Dinâmica demográfica e social</i>	59
4.1.2	<i>População</i>	60
4.1.3	<i>Demografia</i>	61
4.1.4	<i>Desenvolvimento Humano</i>	64
4.1.1	<i>Dinâmica Econômica e social</i>	70
4.1.2	<i>Considerações finais a respeito da Força Motriz</i>	83
4.2	INDICADORES DE PRESSÃO	85
4.2.1	<i>Dinâmica de ocupação do território</i>	85
4.2.2	<i>Dinâmica da cobertura da terra</i>	88
4.2.3	<i>Considerações finais a respeito da Pressão</i>	96
4.3	INDICADORES DE ESTADO	98
4.3.1	<i>Variáveis Geomorfométrica</i>	98
4.3.2	<i>Variável Química</i>	106
4.3.3	<i>Variável Ecológica</i>	113
4.3.4	<i>Considerações finais a respeito do Estado</i>	119
4.4	INDICADORES DE IMPACTO	121
4.4.1	<i>Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos</i>	121
4.4.2	<i>Perda de solo das áreas de agricultura inseridas em APP</i>	129

4.5	INDICADORES DE RESPOSTA	133
4.5.1	<i>Projeção futura da expansão antrópica</i>	<i>133</i>
4.5.2	<i>Alteração do Fluxo de Carbono da BHRU nas últimas décadas através de índices espectrais..</i>	<i>141</i>
5	ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA	149
	CAPÍTULO V.....	155
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	155
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
	APÊNDICE I	177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Modelo conceitual da Matriz FPEIR	11
Figura 2 - Área de estudo – Bacia Hidrográfica do Rio Una.	18
Figura 3 – Pirâmide populacional da BHRU com base nos dados censitários do ano 2010.	60
Figura 4 – População urbana e rural da BHRU	61
Figura 5 - Mapa de delimitação das zonas rurais e urbanas Censo 2000	63
Figura 6 - Mapa de delimitação das zonas rurais e urbanas Censo 2010	63
Figura 7 - Mapa temático do subíndice do IDH – Dimensão de Renda	65
Figura 8 - Mapa temático do subíndice IDH Longevidade	67
Figura 9 - Mapa temático do subíndice IDH Educação	69
Figura 10 - Mapa temático do Índice de Desenvolvimento Humano da Bacia Hidrográfica do Rio Una.	70
Figura 11 - Gráfico de semivariograma exponencial.	71
Figura 12 – Distribuição da renda <i>per capita</i> da BHRU	72
Figura 13 Mapa de distribuição de renda <i>Per Capita</i> da Bacia Hidrográfica do Rio Una	74
Figura 14 Mapeamento da distribuição do fluxo escolar da Bacia Hidrográfica do Rio Una nas faixas etárias entre 5 a 6 anos, 11 a 13, 15 a 17 e 18 a 20 anos.	77
Figura 15 – Distribuição do índice de escolaridade da população adulta da BHRU.	78
Figura 16 – Semivariogramas das categorias de distribuição de escolaridade e renda per capita	80
Figura 17 – À esquerda o mapa da localização das escolas no BHRU, à direita o mapa da densidade das escolas, conforme a densidade de Kernel.	81
Figura 18 – Gráfico de dispersão da correlação entre faixa etária e Renda Per Capita da BHRU	82
Figura 19 – Gráfico de porcentagem de uso da terra e cobertura da BHRU	86
Figura 20 – Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da BHRU	87
Figura 21 – Gráfico comparativo da evolução do uso da terra entre 1991 a 2016	89
Figura 22 – Mapas de uso da terra comparados entre os anos de 1991, 2001, 2010 e 2016.	90
Figura 23 – Gráfico de perdas e ganhos das classes entre os anos de 1991 e 2001	91
Figura 24 – Mapa de mudanças de classes entre os anos de 1991 e 2001 (A) e Mapa de permanências das classes (B)	93
Figura 25 - Gráfico de perdas e ganhos das classes entre os anos de 2010 e 2016.	94

Figura 26 - Mapa de mudanças de classes entre os anos de 2010 e 2016 (A) e Mapa de permanências das classes (B).	96
Figura 27 - Distribuição do Índice de Circularidade da BHRU	99
Figura 28 – Distribuição do Índice de Compacidade ao longo da BHRU e Propensão a enchentes.	100
Figura 29 - Mapa de declividade em porcentagem da BHRU.	102
Figura 30 – Distribuição da Densidade de drenagem ao longo das BHRU e qualidade da densidade drenagem	104
Figura 31 – Mapa de susceptibilidade a erosão de acordo com o Coeficiente de rugosidade.	106
Figura 32 – Valores médios dos Relatórios de IQA entre 2005 e 2015	107
Figura 33 – Concentração de Fosforo total e Nitrato da BHRU entre os anos de 2005 e 2015.	108
Figura 34 – Mapa temático da expansão agrícola entre os anos de 2005 e 2015.	109
Figura 35 – Valores referente a expansão agrícola entre os anos de 2005 e 2015.	110
Figura 36 - Níveis de Fosforo total e Nitrato das Sub-bacias no ano de 2016	111
Figura 37 – Gráfico da expansão agrícola por Sub-bacias.	111
Figura 38 – Índice de Qualidade de Água por Sub-bacia	112
Figura 39 – Mapa da Índice de Vegetação Ajustado ao Solo da BHRU.	114
Figura 40 - Mapa temático do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo por sub-bacias e mapa de fragilidade vegetal.	115
Figura 41 - Mapa do Índice de Água por Diferença Normalizada da BHRU	117
Figura 42 - Mapa temático do NDWI da BHRU e valores médios por sub-bacias	118
Figura 43 – Mapa de divisão das sub-bacias da BHRU e classificação de ordem dos cursos d'água.	122
Figura 44 Mapa das áreas de preservação permanente da BHRU.	123
Figura 45 – Mapa de IIMC por sub-bacia.	124
Figura 46 – Distribuição dos valores de IES entre as sub-bacias da BHRU.	126
Figura 47 - Distribuição dos valores de IAA entre as sub-bacias da BHRU.	127
Figura 48 – Distribuição do Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos da BHRU	128
Figura 49 - Mapa do MDE contando a rede de drenagem, exutórios e bacias de captação da perda de solo	130

Figura 50 - Mapa de perda de solos da BHRU e perda de solos das áreas de APP desprotegidas	132
Figura 51 – Mapas de uso e ocupação da terra para os anos de 1991 e 2016.	134
Figura 52 – Mudanças no uso e ocupação da terra 1991 x 2016 em função da área	135
Figura 53 – Gráfico da perda de cobertura vegetal em função dos outros tipos de uso da terra.	136
Figura 54 – Mapa de uso e ocupação da terra para 2046	137
Figura 55 - Mudanças no uso da terra 2016 x 2046	138
Figura 56 - Gráfico da perda de cobertura vegetal em função dos outros tipos de uso da terra.	139
Figura 57 Análise comparativa entre os fragmentos florestais da BHRU	139
Figura 58 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada dos anos de 1991 e 2001	142
Figura 59 – Gráfico da evolução do uso e ocupação da terra de 1991 a 2001	142
Figura 60 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada dos anos de 2010 e 2016	143
Figura 61 – Gráfico da evolução do uso e ocupação da terra de 2010 a 2016	144
Figura 62 - Índice de Reflectância Fotoquímica da BHRU dos anos de 1991 e 2001	145
Figura 63 - Índice de Reflectância Fotoquímica da BHRU dos anos de 2010 e 2016	146
Figura 64 – Valores de CO ₂ Flux para os anos de 1991 e 2001	147
Figura 65 - Valores de CO ₂ Flux para os anos de 2010 e 2016	148
Figura 66 – Valores médios de CO ₂ Flux ao longo da BHRU entre 1991 e 2016	148
Figura 67 - Gráfico de avaliação dos indicadores de Força Motriz	150
Figura 68 - Gráfico de avaliação dos indicadores de Pressão	151
Figura 69 - Gráfico de avaliação dos indicadores de Estado	152
Figura 70 - Gráfico de avaliação dos indicadores de Impacto	153
Figura 71 - Gráfico de avaliação dos indicadores de Resposta	154

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1- Indicadores da Força Motriz da BHRU.....	21
Tabela 2 – Faixa de Desenvolvimento Humano da Bacia Hidrográfica do Rio Una.....	28
Tabela 3 - Indicadores de Pressão da BHRU	34
Tabela 4 - Indicadores de Estado da BHRU.....	38
Tabela 5 – Classes de relevo.....	40
Tabela 6 – Parâmetros de avaliação de IQA.....	42
Tabela 7 – Valores de fragilidade vegetal de acordo com SAVI	45
Tabela 8 – Valores de teor de água vegetativo.....	46
Tabela 9 – Tabela de Indicadores de Impacto da BHRU.	46
Tabela 10 – Pontuação do IIMC de acordo com a porcentagem de Mata Ciliar.....	48
Tabela 11 - Pontuação do IES de acordo com a porcentagem de área nas sub-bacias.....	50
Tabela 12 - Pontuação do IAA de acordo com a porcentagem de áreas nas sub-bacias	51
Tabela 13 - Tabela de Indicadores de Resposta da BHRU.....	54
Tabela 14 – Taxa de crescimento geométrico comparada entre os anos 2000/2007 e 2007/2010	59
Tabela 15 – Distribuição da Densidade populacional	62
Tabela 16 - Comparativo dos subíndices de IDH Renda, Longevidade, Educação e do indicador IDH.....	64
Tabela 17 – Parâmetros de avaliação	71
Tabela 18 – Distribuição das rendas máximas e mínimas e as respectivas áreas de ocupação na BHRRU	75
Tabela 19 – Parâmetros da análise geoestatística da distribuição da taxa de alfabetização e renda per capita da BHRU.....	79
Tabela 20 – Teste de correlação entre as variáveis de faixa etária de alfabetização e a renda per capita da BHRU.....	82
Tabela 21 – Uso de ocupação da BHRU no ano de 2016.....	86
Tabela 22 – Área e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra entre 1991 e 2016...88	
Tabela 23 –Áreas de mudanças entre as classes de uso da terra 1991 e 2001.....	92
Tabela 24 – Áreas de permanência entre os anos de 1991 a 2001	92
Tabela 25 – Áreas de mudanças entre as classes de uso da terra 2010 e 2016.....	94
Tabela 26 - Áreas de permanência entre os anos de 2010 a 2016.	95

Tabela 27 – Hipsometria da BHRU e suas respectivas porcentagem.....	101
Tabela 28 – Quantificação da área das respectivas classes de declividade.	102
Tabela 29 – Atribuição dos valores de Densidade de drenagem por sub-bacia.	104
Tabela 30 - Atribuição dos valores do Coeficiente de Rugosidade por sub-bacia	105
Tabela 31 – Valores de SAVI classificados por Sub-bacias.	115
Tabela 32 - Valores de NDWI classificados por Sub-bacias.....	119
Tabela 33 Distribuição do uso da terra ao longo das Áreas de Preservação Permanente ao longo da BHRU.	122
Tabela 34 – Uso e ocupação do solo para os anos de 1991 e 2016	134
Tabela 35 – Uso e ocupação da terra para 2016	138
Tabela 36 – Análise Integrada das variáveis e indicadores do modelo FPEIR para a Bacia Hidrográfica do rio Una.....	177

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA = Área alagada
AG = Agricultura
APA = Área de Proteção Ambiental
AU = Área urbana
BHRU = Bacia Hidrográfica do Rio Una
CA = Campo
CETESB = Companhia Ambiental do Estado de São Paulo –
CRHi = Coordenadoria de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
Cwb = Clima temperado húmido com Inverno seco e verão temperado
GEE's = Gases do Efeito Estufa
Dd = Densidade de drenagem
D_{Educ} = Dimensão de Educação da Bacia Hidrográfica do Rio Una
D_{Long} = Dimensão de Longevidade da Bacia Hidrográfica do Rio Una
D_{Renda} = Dimensão de Renda da Bacia Hidrográfica do Rio Uma
FL = Floresta
IAA = Indicador de Abastecimento de Água.
Ic = Índice de Circularidade
IES = Indicador de Esgotamento Sanitário;
IIMC = Indicador de Integridade da Mata Ciliar;
IPDRH = Índice de Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos;
IPT = Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Kc = Coeficiente de compacidade
Kf = Fator de forma
LCM = Land Change Modeler
MDE = Modelo Digital de Elevação
NDWI = Índice de Água por Diferença Normalizada
NIR = Banda Infravermelho próximo
NO₃ = Nitrato
P = Fósforo
PA = Pastagem
RE = Reflorestamento

RN = Descrição da vazão sobre uma superfície

SAVI = Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

SR = Sensoriamento Remoto

SWIR = Banda Infravermelho médio

TIN = Triangulated Irregular Network

UC = Unidade de Conservação

UGHRI = Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

USGS = *United States Geological Survey*

VIS = Banda do vermelho no comprimento do visível

RESUMO

Historicamente a preocupação em busca da sustentabilidade é motivo de mobilização das sociedades desde as primeiras civilizações. Ao longo dos anos, a gestão do meio ambiente é um assunto que vem cada vez mais sendo estudado e aprimorado com o intuito de promover a coexistência equilibrada do homem com a natureza. Atualmente uma das metodologias de Avaliação Ambiental Integrada mais difundida é o modelo conhecido como FPEIR (Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta) que permite uma avaliação contínua do estado do meio ambiente. A Força-Motriz representa as atividades humanas, tais atividades produzem Pressões no meio ambiente que podem afetar seu Estado, o qual, por sua vez, poderá acarretar Impactos na saúde humana e nos ecossistemas, levando a sociedade a emitir Respostas por meio de medidas, as quais podem ser direcionadas a qualquer elemento do sistema. Desta forma, o presente trabalho, tem o objetivo de propor o aperfeiçoamento da matriz FPEIR, a fim de promover a avaliação de bacias hidrográficas, utilizando os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) como ferramenta para a interpretação dos indicadores ambientais. A área de estudo selecionada foi a Bacia Hidrográfica do Rio Una (BHRU), importante tributário do Rio Sorocaba e formador da represa de Itupararanga. Os métodos utilizados para a implementação da Força Motriz foram as análises da dinâmica demográfica e social, demografia, Índice de Desenvolvimento Humano, dinâmica econômica e ocupação do território. Para análise da Pressão exercida na bacia foram levantados a dinâmica do uso e ocupação da terra e o potencial de degradação dos recursos hídricos. Para a análise do Estado foram utilizadas variáveis geomorfométricas, químicas e ecológicas. Os indicadores de Impacto analisaram o Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos e a Perda de Solo das áreas de Agricultura inseridas em APP. Por fim, a Resposta analisou a Projeção Futura da Expansão Antrópica e a Alteração do Fluxo de Carbono da BHRU. Como resultado da Força Motriz, foi obtida uma diminuição na taxa de crescimento geométrico anual da BHRU entre os anos e 2000 a 2010. De acordo com o último Censo Demográfico, a população da área de estudo é de 30.352 habitantes. Apenas 1 dos setores censitários da BHRU, localizado na região sul da bacia foi classificado com IDH Médio, sendo 31 setores, em sua maioria localizada na porção média da bacia, classificados como IDH Alto e por fim, 11 setores localizados na região Norte, próxima a zona urbana são classificados como IDH Muito Alto. De acordo com os resultados obtidos na análise da Força Motriz, foi notado nas últimas décadas um crescimento populacional pronunciado. Essa expansão e crescente aumento na demanda por recursos naturais resultam na Pressão exercida sobre a qualidade do meio ambiente da BHRU. Os resultados da Pressão demonstraram aumento na perda de áreas naturais da BHRU, sendo que aproximadamente 70% de todas as perdas entre 1991 a 2016 foram para o uso agrícola. A partir dos resultados do Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos foi possível concluir que as desigualdades sociais com relação ao acesso de saneamento básico de qualidade estão mais presentes na área rural da área de estudo, região centro e sul da Bacia Hidrográfica, entretanto, a área urbana do município tem 100% do seu esgoto tratado. Os resultados das condições do Estado do meio ambiente incluem componentes físicos, químicas e naturais. De acordo com os resultados obtidos, a BHRU pode ser considerada uma bacia bem ramificada, apresentando rios de quinta ordem, com densidade de drenagem mediana, refletindo as condições geomorfológicas da região. De maneira geral, as sub-bacias apresentam forma mais alongada à quadrática, com fator de forma e índice de compacidade distantes da unidade, o que indica maior tempo de concentração do escoamento superficial até atingir a saída da bacia e menores tendências a enchentes. No que diz respeito as variáveis de IQA o resultado obtido foi a ausência de correlação dos níveis de Nitrato e Fosforo total das águas em função da expansão das áreas de uso agrícola ao longo de 10 anos avaliados. Referente ao vigor vegetativo da BHRU, obteve-se como resultado a existência de grande fragilidade vegetal, assim como baixo teor de umidade

nas áreas de mata da bacia, de acordo com os parâmetros avaliados. Com o resultado para a análise do Potencia de Degradação de Recursos Hídricos podemos deduzir que as áreas de predomínio agrícola têm as piores condições de saneamento, tratamento de água e conservação das áreas de preservação permanente. Com relação à perda de solo das áreas de agricultura em APP obtivemos que 87,75% das bacias de captação apresentam perdas de solos abaixo de 10 t/ha.ano podendo ser classificada, de baixa susceptibilidade à erosão e 3,94% perdem entre 10 e 50 /ha.ano de solo por ano. Como Respostas aos impactos causados obtivemos que houve grande perda da cobertura vegetal e considerável aumento das áreas uso agrícola na BHRU ao longo das últimas décadas, afetando o potencial do sequestro de carbono das áreas naturais. Desta forma foi possível concluir com as análises obtidas a partir dos indicadores ambientais que a metodologia empregada é eficiente como ferramenta de gestão, não só de bacias hidrográficas, mas para municípios e até outras escalas político-geográficas. Podendo haver ajustes nos indicadores para adequar a realidade de outras áreas de trabalho. Portanto, viabilizando a replica dessa metodologia para outras áreas de estudo permitindo a produção de um relatório periódico para o monitoramento de áreas de interesse ambiental.

Palavras-chave: Avaliação Ambiental Integrada, Indicadores Ambientais, FPEIR, SIG.

ABSTRACT

Historically a concern around sustainability has been a motive for mobilizing societies since the earliest civilizations. Over the years, an environment management is a problem that is increasingly being studied and improved in order to promote the balanced coexistence of man with a nature. Currently one of the most widespread Integrated Environmental Assessment methodologies is the model known as FPEIR (Driving Force, Pressure, State, Impact and Response) that allows a continuous evaluation of the state of the environment. The Driving force represents human activities, which produce Pressures on the environment that can affect their State, which in turn can have Impacts on human health and ecosystems, causing society to issue Responses through measures, which can be directed to any element of the system. In this way, the present work has a purpose to improve the FPEIR matrix, in order to promote the evaluation of watersheds using Geographic Information Systems (GIS) as a tool to interpretation of environmental indicators. The study area selected was the Una River Basin (BHRU), an important tributary of the Sorocaba River and the Ituparanga dam. The methods used to implementation of the Driving Force were analyzes of the demographic and social dynamics, demography, Human Development Index, economic dynamics and territorial occupation. To analyze the Pressure exerted in the basin were observed the dynamics of land use and occupation and the potential for degradation of water resources. For the analysis of the State, geomorphometric, chemical and ecological variables were used. Impact indicators analyzed the Potential of Degradation of Water Resources and Soil Loss of the agriculture areas inserted in APP's. Finally, the Response analyzed BHRU's Future Projection of Anthropic Expansion and Carbon Flow Change. As a result of the Driving Force, a decrease in the annual geometric population growth rate of the BHRU was achieved between the years 2000 and 2010. According to the latest Demographic Census, the population of the study area is 30,352. Only 1 of the BHRU census tracts, located in the southern region of the basin was classified as having a medium HDI, with 31 sectors, most of them located in the middle portion of the basin, classified as High HDI and, finally, 11 sectors located in the North, urban areas are classified as Very High HDI. According to the results obtained in the analysis of the Driving force, a pronounced population growth was observed in the last decades. This expansion and increasing demand for natural resources results in the pressure exerted on the quality of the environment of the BHRU. The Pressure results showed an increase in the loss of natural areas of the BHRU, and approximately 70% of all losses between 1991 and 2016 were for agricultural use. From the results of the Potential for Degradation of Water Resources, it was possible to conclude that social inequalities with respect to quality basic sanitation access are more present in the rural area of the study area, central and south region of the Hydrographic Basin, however, the urban area has 100% of its sewage treated. The results of state environmental conditions include physical, chemical and natural components. According to the results obtained, the BHRU can be considered a well branched basin, presenting rivers of fifth order, with medium drainage density, reflecting the geomorphological conditions of the region. In general, the sub-basins present a more elongated form to the quadratic one, with form factor and compactness index far from the unit, which indicates a longer time to concentrate the runoff until reaching the basin and lower flood trends. Regarding the variables of IQA, the result was the absence of correlation of the levels of Nitrate and total phosphorus of the waters as a function of the expansion of the areas of agricultural use over the 10 years evaluated. Regarding the vegetative vigor of the BHRU, the result was the existence of great vegetal fragility, as well as low moisture content in the forest areas of the basin, according to the evaluated parameters. With the result for the analysis of the Degradation Potential of Water Resources we can deduce that the areas of agricultural predominance have the worst conditions of sanitation, water treatment and conservation of the permanent preservation areas. Regarding the soil loss of the agricultural

areas in APP we obtained that 87.75% of the catchment basins have soil losses below 10 tons/ha.year can be classified, low susceptibility to erosion and 3.94% lose between 10 and 50 tons/ha of soil per year. As Response to the impacts we have obtained, there has been a large loss of vegetation cover and a considerable increase in agricultural use areas in the BHRU over the last decades, affecting the carbon sequestration potential of natural areas. Thus it was possible to conclude with the analysis obtained from the environmental indicators that the methodology employed is efficient as a management tool, not only of watersheds, but for municipalities and even other political-geographical scales. There may be adjustments in the indicators to suit the reality of other areas of work. Therefore, enabling the replication of this methodology to other areas of study allowing the production of a periodic report for the monitoring of areas of environmental interest.

Keywords: Integrated Environmental Assessment, Environmental Indicators, FPEIR, GIS.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

A luta para alcançar uma sociedade sustentável não é exclusiva da sociedade moderna. Sustentabilidade tem sido uma meta desde as primeiras civilizações humanas. Desde a Revolução Neolítica, cerca de 10.000 anos atrás, quando os seres humanos modificaram seus hábitos de caçadores-coletores nômades, para agricultores-colonizadores, a sustentabilidade do estilo de vida local tem sido essencial para evitar o colapso da sociedade (DIAMOND, 2010; HACATOGLU, 2015).

O intenso processo de alteração das paisagens tem promovido cada vez mais estudos ambientais com vistas à compreensão dos processos e consequências das alterações causadas pelas atividades antrópicas e consequentes mudanças físicas e bióticas do meio ambiente (LOURENÇO, et al. 2015; SALES, et al. 2016; SOUZA, 2017).

Grande parte dos impactos promovidos pelas atividades humanas pode ser atribuída a falta de planejamento e ou gestão inadequada do meio ambiente.

A gestão ambiental é um tema que se empenha em encontrar e solucionar problemas relacionados à exploração imprópria de recursos e promover a coexistência equilibrada do homem com a natureza, combinando ciências, política e aplicações socioeconômicas (NEC, 2011).

Nesse contexto, desde o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável, com a Conferência das Nações Unidas, Rio 92, é possível identificar a necessidade de novas formas de mensurar o crescimento e garantir a existência de um processo transparente e participativo para a tomada de decisões em busca da sustentabilidade (GUIMARÃES, FEICHAS, 2009).

Os diferentes instrumentos atuais de análise ambiental promovem a visão estratégica e política do desenvolvimento estrutural e organizacional relacionados ao gerenciamento ambiental e a comunicação dos resultados à sociedade (KOLK; MAUSER, 2002; NESS, et al. 2006; GUIMARÃES, FEICHAS, 2009; SÁNCHEZ, 2016).

O painel de controle, ou chamado “*dashboard*” é uma das ferramentas de gestão que proporcionam um painel de visualização abrangente da situação ambiental, permitindo aos usuários rápida visualização e identificação dos problemas de forma integrada, auxiliando na tomada de decisões (BRADLEY; YEE, 2015).

Assim, à luz dos métodos globalmente utilizados, esta pesquisa utiliza uma matriz que emprega os elementos da ação antrópica como Força motriz que geram Pressão ao ambiente, lavando a um Estado dos recursos naturais, acarretando em Impactos e proporcionando Respostas (FPEIR) ao ambiente para a análise de dados espaciais em bacias hidrográficas. A estrutura conceitual FPEIR é um modelo de Avaliação Ambiental Integrada que se tornou popular entre pesquisadores e gestores políticos como um quadro conceitual que permite estruturar e analisar informações relevantes sobre o meio ambiente em um formato de painel de visualização “*dashboard*”.

O ponto forte da matriz FPEIR é que ela permite captar de maneira simples as principais relações entre os fatores da sociedade e o meio ambiente e, portanto, pode ser usada como uma ferramenta de comunicação multidisciplinar capaz de estabelecer relações entre a pesquisa e gestores políticos (SVARSTAD et al., 2008; PATRÍCIO, et al. 2016).

Outra vantagem diz respeito a sua capacidade de integrar-se a novas tecnologias de maneira eficiente, permitindo realizar diversas análises de indicadores socioambientais, um exemplo é a utilização do Sistemas de Informações Geográficas (SIG),

Portanto, a hipótese da presente pesquisa é que a utilização das técnicas de SIG, juntamente com matriz FPEIR, aplicados a escalas da bacias hidrográficas, tem o potencial de promover o aprimoramento dos estudos de avaliação ambiental integrada, de forma a promover uma nova forma de avaliação, que permita ser replicada em diferentes escalas territoriais, de forma contínua, a fim de fornecer informações que possam ser usadas como instrumento eficiente, junto aos órgãos ambientais competentes, formuladores de políticas e tomadores de decisões para o desenvolvimento de metodológicas de preservação ambiental (MITTERMEIER et al., 2005; NUCCI, 2007; DOMINGUES; FRANÇO, 2008; PRAÇA, 2011).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

Diante da dificuldade de obtenção de dados para a gestão de bacias hidrográficas, em escalas de grandeza inferior a municipal, o aprimoramento e inovação da pesquisa deve-se a adequação dos indicadores ambientais, obtidos através dos produtos dos sistemas de informações geográficas, ajustados às realidades da bacia hidrográfica do Rio Una.

Desta forma, demonstrar que a análise de indicadores ambientais, obtidos por meio de ferramentas do Sistemas de Informações Geográficas, aplicados à matriz FPEIR de avaliação ambiental integrada são eficientes para bacias hidrográficas.

Portanto, a presente pesquisa tem como objetivo aprimorar a análise de indicadores em processos de avaliação ambiental integrada de bacias hidrográficas, por meio da utilização de Sistema de Informações Geográficas em bacias hidrográficas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral são propostas os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a matriz FPEIR (Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta) e seus respectivos indicadores ambientais aplicáveis à bacia hidrográfica do rio Una;
- Analisar a dinâmica populacional e de ocupação do território da bacia hidrográfica do rio Una, responsáveis pela Pressão exercida;
- Analisar indicadores acerca das variáveis físicas, químicas e biológicas responsáveis pelo Estado da bacia do Rio Una;
- Analisar indicadores de Impacto da bacia hidrográficas do rio Una;
- Analisar indicadores de Resposta ao Impacto nos serviços ecossistêmicos da Bacia Hidrográfica do Rio Una.

CAPÍTULO II

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A abordagem ambiental no mundo

Historicamente, entre os anos de 1944 e 1972 as Nações Unidas desenvolveram uma substancial variedade de sistemas que abordam o meio ambiente. O primeiro relato de esforço das organizações internacionais relacionadas ao meio ambiente foi o Relatório de Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (*Report of the United Nations Conference on The Human Environment*) em Estocolmo na Suécia, gerando o documento conhecido como Declaração de Estocolmo em 1972 (VASSEUR, 1973; UNEP, 1992; FRANCA, 2001; UNEP, 2012a).

Em meados dos anos 80 o governo Canadense e a Holanda aprimoraram o conceito de indicadores ambientais. Em 1992, a primeira conferência das Nações Unidas para abordar o estado do ambiente e desenvolvimento sustentável, popularmente conhecida como Rio 92, gerou diversos acordos importantes, incluindo a Agenda 21, responsável pelo plano de ação adotado por mais de 178 governos para abordar os impactos humanos sobre o ambiente a nível local, nacional e global (FRANCA, 2001; DSF, 2010; UNEP, 2012a).

Desde então, a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável vem realizando conferências com o propósito de discutir as questões ambientais, no âmbito global. Recentemente, em 2012, além de reafirmar os compromissos firmados até então em todas as conferencias realizadas, incorpora como nova proposta a implementação do contexto da economia verde (SEQUINEL, 2002; BRASIL, 2006; FRANÇA, 2010; ONU, 2012a).

Tais conferências demonstram o esforço que vem sendo realizado pelas nações em desenvolver políticas sustentáveis, de forma a trabalhar junto a outras organizações internacionais no sentido de desenvolver um conjunto harmonizado de “indicadores do desenvolvimento sustentável” (FRANCA, 2001; FRANÇA, 2010; UNEP, 2012b).

Desta forma, após décadas de desenvolvimento e crescente utilização dos indicadores ambientais por parte de organizações internacionais e governos, os esforços concentraram-se em aprimorar as estruturas e métodos de análise da grande quantidade de informação

proporcionada por conjuntos de indicadores cada vez mais numerosos e específicos (FRANCA, 2001; PNUMA, 2004).

O atual método de avaliação teve origem a partir de um modelo desenvolvido pela OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) no início dos anos 90, cuja estrutura conceitual preliminar da obtenção de indicadores ambientais foi baseada nas características de confiabilidade, facilidade de entendimento para mensuração e relevância para a avaliação de políticas ambientais. Após alguns anos de melhorias, o conceito inicial deu origem ao modelo atualmente utilizado de Avaliação Ambiental Integrada (AAI), conhecido como FPEIR ou DPSIR do inglês *Driver, Pressure, State, Impact and Response*, que vem sendo utilizado, desde então, pelas Nações Unidas e Pela Agência Ambiental Europeia (OECD, 1994; OECD, 2008).

2.2 Importância regional para estudos ambientais

A presente pesquisa, foi desenvolvida no município de Ibiúna. No contexto regional, o município de Ibiúna, localizado no interior do estado de São Paulo é de relevante importância ambiental no que tange a área de cobertura vegetal, produção agrícola e áreas de proteção ambiental.

De acordo com o sistema @Cidades do portal IBGE, Ibiúna é o maior município da região Metropolitana de Sorocaba, com uma população estimada de 78.262 habitantes em 2018 (IBGE, 2019).

A rede Hidrográfica do município é formada pelos rios Sorocamirim, Sorocabuçu e pelo rio Una, rios que formam a Represa de Itupararanga.

A área de interesse para o presente estudo é a bacia hidrográfica do rio Una. A bacia hidrográfica do rio Una está inserida na Área de Proteção Ambiental de Itupararanga (APA de Itupararanga).

Instituída em 01 de dezembro de 1998 pela Lei Estadual nº 10.100 e alterada pela Lei Estadual 11.579 de 2 de dezembro de 2003, compreendendo parte dos municípios de Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim. Possui uma área de aproximadamente 93 mil ha, cujos limites correspondem à sub-bacia do Alto Sorocaba (BEU; MISATO; HAHN, 2011).

A APA foi criada com o propósito de manter a qualidade da água fornecida pelo reservatório de Itupararanga que apresenta uma área de aproximadamente 30 km² e 192 km de

margem. Seu volume útil em 2009 era de 286 milhões de m³, abastecendo 63% da população residente nos municípios que compartilham a mesma bacia hidrográfica da represa, beneficiando diretamente cerca de 800 mil pessoas (BERNARDI, 2011). Além disso, é utilizada para a geração de energia elétrica destinada à Companhia Brasileira de Alumínio – CBA (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009).

A economia dos municípios inseridos na APA Itupararanga, de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2010) e do Projeto Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA, 2007; 2008) apresenta diversas atividades econômicas ligadas aos setores de agricultura, turismo, indústria, comércio e extração mineral, porém o setor econômico de maior representatividade compreende as atividades do agronegócio.

A renda *per capita* da população era em média de R\$ 660,00/habitantes e a maior parte dos municípios apresentam o PIB (Produto Interno Bruto) *per capita* acima da média nacional que é de R\$ 29.321,71/habitantes. Quanto ao saneamento ambiental, a coleta de lixo atingia 99% dos domicílios em 2010, o abastecimento de água cerca de 90% da população e apenas 65% do total de domicílios no interior da APA tem acesso ao esgotamento sanitário (IBGE, 2010).

A população local caracteriza-se por pequenos produtores rurais, em destaque nos municípios de Ibiúna e Piedade, onde a população rural supera a população urbana, evidenciando a vocação agrícola da região (IBGE, 2010). Embora exista uma certa demanda para o agronegócio e um PIB *per capita* alto, a incidência de pobreza dos municípios calculada pelo IBGE é de 53,8% e 45,8% em Vargem Grande Paulista e Cotia, respectivamente, superando a média estadual (ESTANCIONE, 2015). Lopes et al. (2016), baseado em dados do IBGE, associou que a qualidade ambiental de uma área inserida na APA é proporcional ao seu desenvolvimento socioeconômico, sendo necessário promover ações para a consciência ambiental da população.

A pluviosidade média anual está em torno de 1.500 mm, com médias mensais variando desde os 43 mm, em agosto, até os 248 mm, em janeiro (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009).

Sua cobertura florestal original insere-se no Bioma Mata Atlântica, a qual era composta por Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual (ALMEIDA; CARVALHO; CATHARINO, 2011).

Atualmente são encontrados fragmentos que constituem os maiores remanescentes florestais de toda a bacia hidrográfica do Rio Sorocaba (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009).

Face à sua importância, a APA Itupararanga foi considerada pelo Programa Biota/FAPESP como uma área prioritária para a conservação dos fragmentos florestais no Estado de São Paulo, inclusive para o estabelecimento de corredores ecológicos junto à duas importantes reservas ecológicas, a Reserva Florestal do Morro Grande e ao Parque Estadual Jurupará (BEU; MISATO; HAHN, 2011).

Segundo Almeida et al. (2011), a região em que a APA está inserida apresenta uma diversidade florestal de 396 espécies arbóreas, refletindo a diversidade florística da vegetação (ALMEIDA; CARVALHO; CATHARINO, 2011). Essa diversidade é acompanhada pelo grande número de espécies animais, sendo algumas delas endêmicas e ameaçadas de extinção (CASTANHO; CARMIGNOTTO; SILVA, 2011).

A proteção dessa biodiversidade demanda a preservação dos remanescentes florestais, considerando como áreas prioritárias aqueles de maior expressão espacial, situados na porção sul da Unidade de Conservação, além dos situados nas imediações do reservatório de Itupararanga.

Para além de seu papel biológico, tais remanescentes florestais desempenham um importante papel quanto ao sequestro de carbono. As ações voltadas ao sequestro de carbono, alinham-se diretamente à Estratégia Nacional para a Redução de Emissões Provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal, na medida em que o objetivo desta política diz respeito a mitigação da mudança do clima por meio da eliminação do desmatamento ilegal, da conservação e da recuperação dos ecossistemas florestais e do desenvolvimento de uma economia florestal sustentável de baixo carbono (MMA, 2016).

Apesar da importância da biodiversidade regional, a APA Itupararanga tem passado por um processo de desmatamento intenso e progressivo, paralelamente a outros sérios problemas ambientais associados. O uso e a ocupação territorial nas áreas rurais dos municípios da APA Itupararanga e a especulação pelo turismo, consolidaram um processo de ocupação em áreas impróprias ao assentamento humano e às atividades agrícolas, em especial no entorno do reservatório.

A população da região da APA Itupararanga tem se estabelecido em áreas de risco e/ou de proteção ambiental, sujeitas à legislação que restrinja determinadas formas de uso da terra (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009).

O crescimento urbano e, principalmente, a expansão dos espaços destinados às atividades agrícolas são apontados como os responsáveis pela supressão da vegetação no interior dos

limites da APA e implicam na entrada contínua de agrotóxicos e nutrientes no reservatório e a progressiva deterioração da qualidade de suas águas (CHINAQUE, 2017).

A maior parte da supressão da vegetação atinge diretamente as encostas e as matas ciliares, causando arrasto de sedimentos e outros produtos dissolvidos na água do escoamento superficial, que acabam atingindo os cursos d'água. Um exemplo bastante evidente pode ser observado no reservatório, o qual se encontra em avançado estado de eutrofização e segundo as últimas projeções, até o ano de 2020, as águas do reservatório poderão atingir o estado supereutrófico ou mesmo hipereutrófico (BEU; MISATO; HAHN, 2011; TANIWAKI et al., 2015; CHINAQUE, 2017).

2.3 Avaliação Ambiental Integrada (AAI)

A AAI surgiu em meados da década de 70, devido aos profundos questionamentos de alguns renomados geopolíticos da época, que acusavam a geografia física de estar atrasada em relação a evolução das ciências da época (MENDONÇA, 2005; FÉ, 2015).

Desde então, foi posto em pauta a necessidade determinante de uma análise em que, não apenas os diferentes aspectos do meio ambiente fossem abordados de forma holística, mas promover uma análise onde o relevo, solo, clima, flora e fauna dialogassem, além de discutir o papel das sociedades na organização e produção do meio (FÉ, 2015).

Essa análise ambiental desenvolveu-se na Geografia Física, sob a influência de diversas teorias associadas e fundamentando-se na integração dos elementos naturais do meio físico e pela inserção do homem e sua influência no contexto analítico.

A análise ambiental integrada é um dos vários termos que descrevem abordagens holísticas para a tomada de decisões ambientais; termos semelhantes incluem análise de ecossistemas, análise integrada de recursos, análise integrada de bacias hidrográficas e análise de bacias hidrográficas (MARGERUM, 1999).

Esses métodos veem sendo utilizados e defendidos em muitos países ao redor do mundo. Nos Estados Unidos, departamentos dos estados e dos municípios estão adotando, desde a primeira década dos anos 2000, a abordagens integrada para a gestão de bacias hidrográficas, sistemas florestais e planejamentos de crescimento regionais (ALSHUWAIKHAT, ABUKARAR, 2008; MARGERUM, 2011).

No Canadá e na Austrália os respectivos governos têm criado políticas e legislações para integrar o manejo integrado das bacias hidrográficas e represas (HOOPER, 2005).

2.3.1 Conceito de AAI

A gestão ou análise ambiental integrada baseia-se no conceito de que as regiões ambientais, quer sejam definidas pelos limites das bacias hidrográficas, por características biológicas ou outros critérios, devem ser geridas de forma holística, abordando todos os sistemas ao invés de apenas partes ou componentes do ambiente, reconhecendo as interconexões entre o sistema físico e humano. O sistema deve ser estratégico, incluindo enfoque e análise precoce e o planejamento estratégico para a implementação da ação (MARGERUM, 2011).

O método demonstra uma abordagem eficaz de desenvolver relevantes recomendações e políticas públicas sobre a situação ambiental e sua interação com o desenvolvimento humano.

A AAI realiza uma avaliação crítica e objetiva da análise de dados e informações destinadas a apoiar a tomada de decisões. Ajuda no julgamento preciso para fornecer respostas científicas credíveis às questões relevantes para a política, fornecendo uma abordagem participativa e estruturada para vincular conhecimento e ação (UNEP, 2010).

Portanto, um passo fundamental na AAI é a escolha de um quadro, ou matriz de avaliação utilizado.

Uma vez que existem diversos métodos de AAI, o ator da presente pesquisa optou por utilizar o modelo adotado pelo projeto GEO Bacias, adaptado pela Coordenadoria de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (CRHi) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cuja origem foi baseada em modelos de metodologias desenvolvidas pela *European Environment Agency* (EEA) como o projeto GEO Bacias Cidades (*Global Environment Outlook Citeis*) que vem sendo aplicado em diversas grandes cidades ao redor do planeta.

O modelo adotado é conhecido como matriz de Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR). Esta matriz busca estabelecer uma relação entre seus diversos componentes, de forma a orientar a avaliação desde o estado do meio ambiente, fatores que exercem pressão sobre os recursos naturais, podendo ser interpretados como causas, passando pelo estado atual do meio ambiente até as respostas (CRESPO; LA ROVERE, 2002).

2.4 Matriz FPEIR

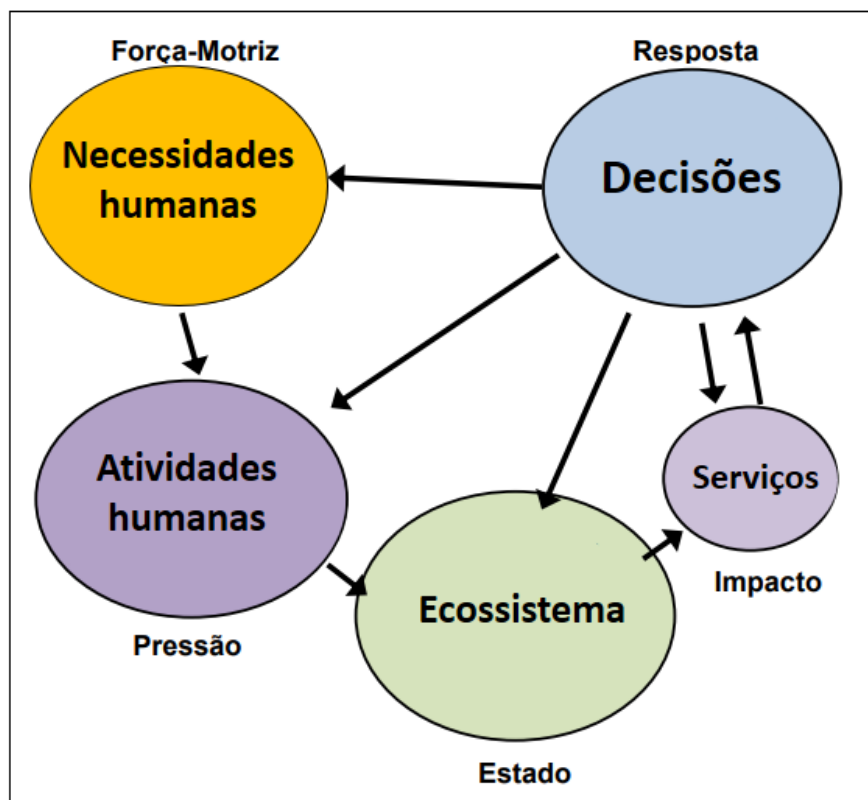
A necessidade de compreensão da estrutura ambiental é cada vez maior e o manejo adaptativo utiliza ferramentas de estrutura de gerenciamento para lidar com problemas emergentes. Diversas ferramentas têm sido desenvolvidas e utilizadas para o gerenciamento adaptativo dos sistemas ambientais, facilitando a implementação de políticas ambientais para alcançar o desenvolvimento sustentável (GARI et al, 2015; NEWTON, 2012).

A matriz FPEIR (Força motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta) é uma das ferramentas desenvolvidas pela *Organization of Economic Cooperation and Development* (Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico) (OECD, 1993) e pela *European Environmental Agency* (Agência Ambiental Europeia) para o manejo de sistemas ecológicos (EEA, 1995), conectando as relações entre as cinco categorias da matriz para analisar a estrutura sócio ambiental sob influências das ações antrópicas.

O FPEIR é um modelo flexível que pode ser usada para auxiliar gestores em muitas etapas do processo de decisão. Tem sido usado amplamente no manejo de recursos hídricos, bacias hidrográficas, ambientes agrícolas, zonas costeiras, poluição do ar, biodiversidade, mudanças climáticas, etc.

A complexidade dos ecossistemas naturais torna a abordagem da questão ecológica de difícil interpretação. Portanto, o modelo FPEIR, de forma geral é dirigido para análise de problemas ambientais e sistemas de gestão, incluindo os aspectos das ciências socioeconômicas, aspectos, físicos e bióticos de forma concisa e integrada, conforme Figura 1.

Figura 1 –Modelo conceitual da Matriz FPEIR



Fonte: Adaptado de SigRH (2014).

De acordo com Kristensen (2004) a matriz de avaliação ambiental integrada FPEIR trata-se de uma estrutura que distingue a Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto e a Resposta.

Segundo a Agência Ambiental Europeia, cada categoria do FPEIR é definida como:

- A Força Motriz, descreve o social, demografia e desenvolvimento econômico das sociedades e as mudanças correspondentes aos estilos de vida, sobretudo aos níveis de consumismo;
- A Pressão, descreve o desenvolvimento na liberação de substâncias (emissões), agentes físicos e biológicos, uso de recursos e uso da terra por atividades humanas;
- O Estado fornece a descrição da quantidade e qualidade de fenômenos físicos, biológicos e químicos;
- As mudanças no estado causam Impactos nas funções ambientais, assim como saúde humana e ecossistêmica, disponibilidade de recursos, perdas de capital manufaturado e biodiversidade;

- As Respostas são as ações tomadas pelos grupos (e indivíduos) na sociedade, bem como as tentativas dos governos de prevenir, compensar, melhorar ou adaptar-se a mudanças no estado do meio ambiente (EEA, 2003).

A Força-Motriz é abordada como sendo responsável pelas atividades humanas, tais atividades produzem Pressões no meio ambiente que podem afetar seu Estado, o qual por sua vez poderá acarretar impactos na saúde humana e nos ecossistemas, levando a sociedade (Poder Público, população em geral, organizações, etc.) a emitir Respostas (SVARSTAD et al, 2008; SCHJONNING, 2015).

Assim como para a gestão sustentável dos recursos naturais baseado no recorte territorial das bacias hidrográficas (WMO, 1992).

A Avaliação Ambiental Integrada de Bacias hidrográficas é uma abordagem metodológica que vem sendo desenvolvida para organizar e integrar as informações de variáveis indicadoras de estado do ambiente para inúmeros processos significativos relacionados à fragmentação da rede hidrográfica, considerada como um sistema conectado (MMA, 2009).

Cada componente da matriz FPEIR é responsável e representa um quadro conceitual específico. Os componentes são estudados e avaliados através de indicadores socioeconômicos e ambientais de forma a promover a avaliação integrada do meio ambiente. Indicadores podem ser utilizados para avaliar a eficácia das ações e políticas implementadas, medindo o progresso em direção às metas ambientais. (BRADLEY; YEE, 2015).

Um dos maiores exemplos da aplicabilidade da AAI é o Projeto GEO (Global *Environment Outlook*), iniciado pelo PNUMA em 1995, produzindo relatórios anuais para o programa das Nações Unidas (Anuário PNUMA/*UNEP YEAR BOOK*), com o objetivo de produzir a avaliação contínua do estado do meio ambiente. Essa avaliação foi realizada com o auxílio dos Indicadores GEO, um conjunto de indicadores que oferecem informações instantâneas do progresso da humanidade e na gestão sustentável do planeta (FRANCA, 2001; PNUMA, 2006).

Os Indicadores GEO representam o esforço contínuo no monitoramento e investigação por meio do Geoprocessamento, dentro do marco conceitual FPEIR. Tais ferramentas são importantes como subsídio para tomada de decisões no tocante ao ambiente natural e a políticas públicas (WATRIN; VENTURIERI, 2005; PNUMA, 2006; PNUMA, 2009).

As tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais originárias da Cartografia Analógica e Digital e coleta de campo, materializadas segundo um conjunto de

instrumentos analíticos computacionais são denominados Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (CÂMARA, 2003).

2.4.1 História e evolução do FPEIR

Essa estrutura de análise da Matriz FPEIR é uma ferramenta de gerenciamento adaptativo, usada para analisar problemas ambientais, com o objetivo de estabelecendo relações de causa e efeito entre atividades antropogênicas em seus ambientes e consequências socioeconômicas. Reunindo ciência natural, ciência social, incluindo economia em uma estrutura para gerenciamento adaptativo e considera as atividades humanas como parte integrante do ecossistema (ZALDÍVAR, 2008).

As cinco categorias da matriz ocupam posições únicas na sequência e ainda estão conectadas e criam *loops* de *feedback*. No entanto, a matriz FPEIR foi modificada por diversos pesquisadores e vem sendo aprimorada ao longo do tempo.

Um modelo precursor da matriz FPEIR, teve sua primeira utilização, em meados de 1979, onde a *Statistics Canada* desenvolveu a estrutura de análise baseada em duas componentes para a análise, Estresse – Respostas (ER) sendo, ambas responsáveis pelas respostas ambientais e sociais do meio (OECD 1993; EEA, 1995; GARI, et al. 2015).

A OECD em 1993 aprimorou o uso do ER e adaptou-a para a estrutura Pressão – Estado – Respostas (PER) para a avaliação da performance ambiental, usando um conjunto de indicadores selecionados (OECD, 2004). As análises de tais indicadores representam uma cadeia de informações agrupadas por categorias de interesse, fornecendo relatos claros e simplificados, proporcionando reportar as informações transmitidas a amplos grupos de interessados e ao público em geral, ampliando a transparência do processo de decisões (OECD, 1993).

A matriz FPEIR foi elaborada inicialmente pela Agencia Ambiental Europeia, programa que patrocinou o *Dobris Assessment of Europe's environment* (Ar, Água e Solo) e foi adotado subsequentemente para as questões ambientais na Europa (EEA, 1995; GARI et al., 2015).

Após o surgimento de FPEIR alguns autores propuseram modificações de terminologias e de aplicações, gerando em alguns casos algumas discrepâncias, um exemplo é a utilização de mesma variável em diferentes categorias.

Após a criação de FPEIR, Rekolainen et al. (2003) propuseram o FPQER, sendo o Q e E referentes aos estados químicos e ecológicos respectivamente.

Em 2007 a *European Lifestyles and Marine Ecosystems* (ELME) propõe mFPEIR, modificando a categoria Impacto, referindo apenas ao impacto relacionado ao bem-estar humano (ELME, 2007).

Cooper (2012) e O'Higgins et al. (2014) em meados de 2012 propuseram o FPEBR, sendo a letra B a substituta do impacto pelo Bem-estar, enfatizando os impactos do bem-estar na sociedade.

Em 2013 foi proposto o FPEER, onde o impacto foi substituído pelos serviços do Ecossistema, contendo ambos impactos positivos e negativos (KELBLE et al., 2013).

2.4.2 Utilização do FPEIR

O método de abordagem pode ser aplicado em diversos ecossistemas, embora com algumas décadas de utilização a maior parte dos estudos abordam os sistemas aquáticos e alguns relacionados com sistemas terrestres. FPEIR tem sido amplamente utilizado para explicar cadeias de consequências ambientais em todo o planeta (GARI et al., 2015).

Também é utilizado para avaliação dos impactos das atividades de desenvolvimento humanos; determinar indicadores de sustentabilidade; explorar as causas e consequências das vulnerabilidades ambientais; examinar os efeitos da mobilidade humana; crescimento e reestruturação de assentamentos urbanos; degradação de solo, etc. O FPEIR deve identificar, analisar e avaliar os problemas e consequências ambientais, juntamente com as respostas necessárias para corrigir os danos causados à natureza e à sociedade (GARI et al., 2015).

Duas características que contribuíram para o amplo uso do FPEIR são: (i) estruturar os indicadores com referência aos objetivos políticos relacionados ao problema ambiental abordado; e (ii) centra-se em supostas relações causais de uma forma clara que apela aos atores políticos (SMEETS; WETERINGS, 1999).

Entre outras utilizações, FPEIR é um método versátil, aplicado à realidade do presente estudo. De acordo com Kagalou et al. (2015) o FPEIR tem o potencial de identificar os mais diversos problemas ambientais em uma bacia hidrográfica, com o objetivo de conceber um plano de gestão integrada de acordo com as necessidades e com a realidade local.

Apesar de algumas críticas com relação ao método, o fato é que ainda estar em uso por mais de três décadas após sua criação também atesta sua robustez. Os pesquisadores, em vez de abandoná-lo, estão tentando refiná-lo através de definições, modificações e combinações com outros métodos, incluindo modelos e *softwares* de Sistemas de Informações Geográficas.

2.5 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Os Sistemas de Informações Geográficas são apontados como um método significativo para os estudos de organização do espaço, por ser compatível com a escala humana. Desta forma, a inserção da sociedade na análise da natureza seria ainda mais possível e mais integrada (BERTRAND, 1972; FÉ, 2015).

SIG é a área do conhecimento que possui a finalidade de tratar as diversas informações geográficas por meio de técnicas matemáticas e computacionais. A distribuição espacial e estrutural dos ecossistemas, parâmetros bióticos e abióticos podem ser analisados, permitindo uma análise ambiental mais rica, aumentando a compreensão do ambiente e incorporando informações antes não incorporáveis (BURROUGH, 1994; CÂMARA; MEDEIROS, 1998; CÂMARA; CLODOVEU, 2001; CARDOSO; FARIA, 2010; DOS SANTOS; PENA, 2011).

Com o uso de técnicas os Sistemas de Informações Geográficas, um conjunto de informações sobre objetos pode ser analisado sem que haja contato físico entre eles (STEFFEN, 2001). A aquisição das informações se dá por meio da captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície da terra, captada por satélites. A radiação eletromagnética (REM) é a energia utilizada no sensoriamento remoto, sendo propagada na forma de ondas eletromagnéticas com a velocidade da luz (NOVO, 1995; FLORENZANO, 2002).

Florenzano (2011) explica que os componentes da superfície terrestre como a vegetação, a água e o solo, refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, assim sensores remotos captam e registram a energia refletida, ou emitida pelos elementos da superfície terrestre diferenciando os elementos, possibilitando uma análise detalhada da paisagem.

O geoprocessamento pode oferecer mecanismos para interpretar as feições da superfície da terra, através de algoritmos de manipulação e análise de base de dados georreferenciados, que permitem a construção de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), integrando diversas fontes de informações de diferentes bancos de dados espaciais para obtenção de modelos que reflitam as condições socioambientais recorrente (MOREIRA, 2011).

Sendo assim, a utilização integrada de ferramentas metodológicas como o uso do AAI e os SIG's permite transmitir a informação técnica de forma sintética, preservando o significado original dos dados, utilizando apenas as variáveis ambientais que melhor representam os indicadores ambientais (RAMOS, 2002).

2.6 Indicadores Ambientais

Um indicador pode ser interpretado como uma variável que atribui qualidade, característica e propriedade a um sistema. No contexto ambiental o indicador é constituído por um conjunto de parâmetros representativos concisos, utilizados para explorar as principais características ambientais do território (BOISIER, 1998).

A avaliação dos problemas ambientais necessita da interpretação de um conjunto de indicadores direcionados aos vários elementos envolvidos. Um indicador é também uma interpretação estatística ou medição que interagem com as mudanças de qualidade ou mudança no estado de algo que se pretende avaliar, fornecendo informação e descrevendo o estado de um determinado fenómeno (MMA, 2006).

Os indicadores constituem hoje uma componente de avaliação espacial de extrema importância, revelando-se determinantes na resolução de problemas relacionados com o processo de ordenamento do território e planeamento ambiental. Os indicadores permitem sustentar o processo de tomada de decisão, através da avaliação da informação, convertendo-a numa série de medidas úteis e significativas, reduzindo as probabilidades de adotar decisões desastrosas, inadvertidamente (MMA, 2006; VON WIRTH, et al., 2015).

Uma vez que interpretação ambiental humana é subjetiva e difere de pessoa para pessoa, torna a análise de informações sobre o meio ambiente desafiadora. Assim, a utilização de indicadores elimina o viés interpretativo e subsidia dados mais concisos para a composição da avaliação ambiental integrada (LAKES; KIM, 2012).

CAPÍTULO III

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a caracterização da área de estudo e as respectivas metodologias utilizadas na análise dos parâmetros da matriz FPEIR. Os indicadores de cada parâmetro foram selecionados de acordo com modelos de relatórios consolidados, procurando obter informações a partir de dados secundários. Entretanto, devido a indisponibilidade de dados de todas as naturezas, alguns indicadores foram adaptados ou desenvolvidos, com o intuito de suprir a falta de informações e promover uma análise mais completa e detalhada de cada parâmetro avaliado.

O exemplo de relatórios utilizados como modelo de aplicação da metodologia de avaliação ambiental integrada foram; os Relatórios da Situação dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2009), e Relatório GEO cidades do município de São Paulo (PNUMA, 2004).

3.1 Área de Estudo

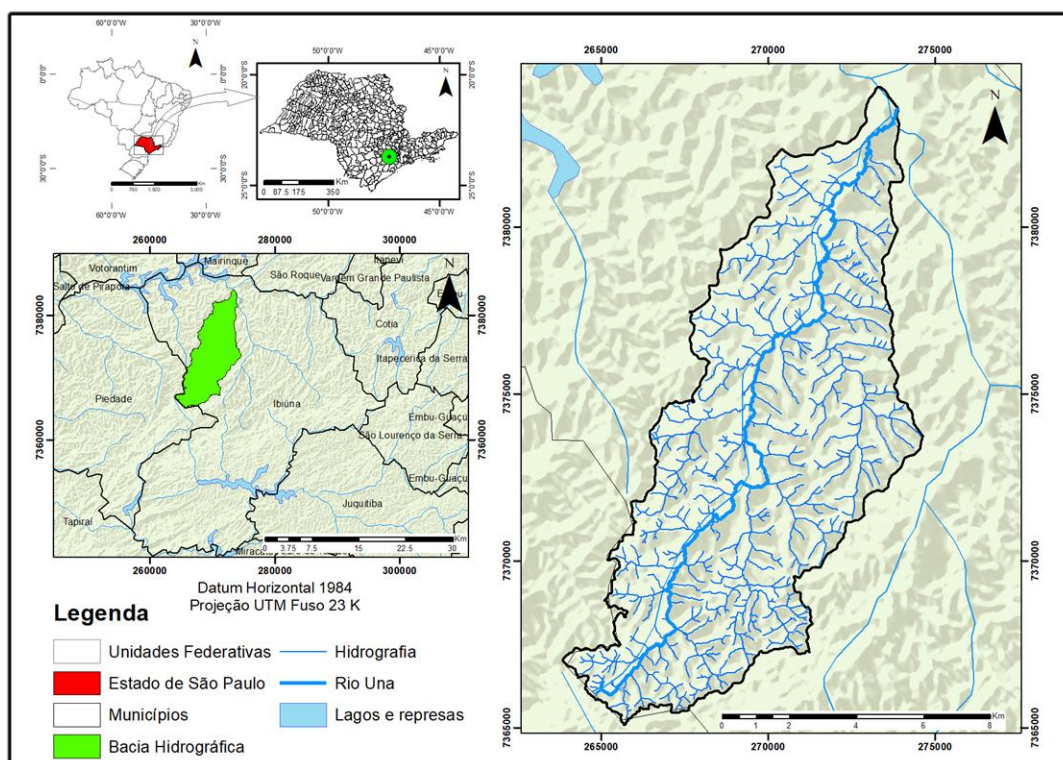
3.1.1 Localização

A área de estudo, denominada Bacia Hidrográfica do Rio Una (BHRU), localiza-se no cruzamento das coordenadas Latitude 23° 39'23"Sul e Longitude 47°13'21"Oeste, encontra-se no interior do Estado de São Paulo a aproximadamente 75 km da cidade de São Paulo. Inserida no município de Ibiúna, faz divisa com Piedade, a bacia pertence a décima Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Média Tietê -UGHRI 10 (Figura 2).

Trata-se de uma bacia hidrográfica de grande importância e contribuição para os municípios da região. O rio Una nasce no limite entre o município de Piedade, entre os Bairros do Saltinho e Bairro do Salto, descendo sentido Bairro da Vargem, cruzando a Rodovia Júlio Dal Fabbro em direção à zona urbana do município de Ibiúna, cruza a Rodovia Bunjiro Nakao e desemboca no rio Sorocabuçu próximo a estrada vicinal Ibiúna-Mairinque.

O Rio Una, juntamente com o Rio Sorocabuçu e o Sorocamirim, formam o Rio Sorocaba, um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Tietê (CAVANI; ALBUQUERQUE-FILHO, 2008).

Figura 2 - Área de estudo – Bacia Hidrográfica do Rio Una.



Fonte: Autoria própria

Ao longo do seu percurso contribuir com o abastecimento da Represa de Itupararanga. Além de estar inserida em uma Unidade de Conservação (UCs), classificada como Área de Proteção Ambiental (APA) de Itupararanga, criada pela Lei Estadual nº 10.100, de 01 de dezembro de 1998 e alterada pela Lei Estadual 11.579 de 02 de dezembro de 2003, a represa possui múltiplos usos, como o abastecimento de água dos municípios de Sorocaba, Ibiúna, Votorantim e São Roque, geração de energia elétrica e lazer (SÃO PAULO, 1998; SÃO PAULO, 2003).

3.1.2 Caracterização

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 2006), o município de Ibiúna está inserido em duas UGRHI's. Sendo ela a UGRHI 10, que corresponde às bacias hidrográficas do Rio Sorocaba e Médio Tietê e a UGRHI 10, referente a bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape e Litoral Sul (FREITAS; METZGER, 2007).

Entretanto a BHRU fica integralmente inserida na UGRHI 10, composta pelas sub-bacias do Rio Sorocamirium, Rio Sorocabuçu e Rio Una, responsáveis pela formação da Represa de Itupararanga. Enquanto a UGRHI 11 no município é formada pelas sub-bacia do Alto-Juquiá, onde está localizada as Represas da Cachoeira do França, do Jurupará e da Cachoeira da Fumaça, todas utilizadas para geração de energia para a empresa Votorantim Energia (IBIÚNA, 2012).

O índice pluviométrico anual médio na bacia é de 1.308,8 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso, com uma precipitação média de 214,9 mm, agosto, o mês mais seco, com precipitação média de 40,0 mm. Portanto, observa-se uma grande amplitude pluviométrica ao longo do ano, corroborando o fato da bacia estar situada em uma área de clima Cwb, segundo a classificação de Köppen, com verão chuvoso (janeiro) e estiagem de inverno (agosto) (SALLES, 2008; CEPAGRI, 2017).

3.1.3 Aspectos socioeconômicos

Ibiúna destaca-se como o maior aglomerado populacional do estado de São Paulo, entretanto não é a mais urbanizada devido à sua extensa área, com 1.058,082 km² é o 34º maior município do estado (IBGE, 2017).

Inserida na região administrativa do município de Sorocaba, Ibiúna faz divisa com os municípios de Alumínio, Cotia, Jquitiba, Mairinque, Miracatu, Piedade, São Lourenço da Serra, São Roque, Tapiraí e Votorantim.

De acordo com o último censo demográfico realizado em 2010, o município possui 71.217 habitantes, sua densidade demográfica é de 67,31 habitantes por quilometro quadrado, a taxa de mortalidade infantil média no município é de 16,57 para 1.000 nascidos vivos e em 2014, tinha um PIB per capita de R\$18.966,35. O IDH de Ibiúna em 2010 foi calculado em 0,71, considerado alto de acordo com os parâmetros do Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil (PNUD, 2013; IBGE, 2017).

Ibiúna possui 129 setores censitários, sendo a BHRU composta por 43 setores, 21 em sua zona rural e 22 em zona urbana (IBGE, 2012).

Com características econômicas diferenciadas da sua macrorregião predominantemente industrial, o município apresenta patamares acima da média paulista para o setor agropecuário, representando 25% da população economicamente ativa do município. As principais culturas

agrícolas são: fruticultura de clima temperado, olericultura, floricultura e plantas ornamentais. Outra atividade econômica crescente é o turismo, movimentando cerca de 35 mil pessoas por finais de semana, devido aos seus atrativos naturais (IPT, 2007).

3.1.4 Aspectos físicos

O relevo faz parte do Planalto Atlântico, constituído por morros e serras de altitude média de mil metros, dentre as inúmeras serras destaca-se, na divisa com o município de Cotia a Serra do Verava, que é o ponto mais alto de Ibiúna, com 1.200 metros de altura.

A vegetação é composta predominantemente pela Floresta Ombrófila Densa Montana, sob grande influência do maciço florestal da Serra do Mar.

Cerca de 84% do município está inserido na APA de Itupararanga, unidade de conservação que tem como objetivo assegurar o bem-estar da população e promover a melhoria das condições ecológicas locais (IPT, 2007).

Segundo o último Inventário Florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo, Ibiúna foi o município com maior área de vegetação remanescente do estado, com 55.488 ha, representando 51% da área total do município, sendo aproximadamente a metade desses remanescentes (23,7%) pertencentes ao Parque Estadual de Jurupará, protegendo uma área de 25.775 ha de Mata Atlântica (SÃO PAULO, 2005).

A região é constituída por uma variedade litológica cujas idades vão do Proterizóico Médio, 1.900 – 1.1000 milhões de anos, com rochas diversas rochas metamórficas, passando pelo maciço granítico, até sedimentos terciários, de 65 a 1,8 milhão de anos e quaternários, de 1,75 milhão de anos a 10.000 anos.

Geologicamente a maior parte do município pertence ao Complexo Embu (PMem), na região extremo norte do município, separada pela zona de cisalhamento de Taxaquara e uma pequena porção do Grupo São Roque (PMs).

Sobrepostas às unidades existem sedimentos Cenozóicos inconsolidados, testemunhados desde o Terciário até o recente, ocupando as áreas dos vales de drenagem dos Rios Sorocamirim, Sorocabuçu e Murundu. Sedimentos quaternários aparecem de forma generalizada no município (IPT, 2007).

A região é descrita por três tipos de coberturas sedimentares, sendo elas: depósitos aluvionares recente e atuais (Qa), coberturas cenozóicas indiferenciadas (TQ) e depósitos

fluviais terciários (T). Os depósitos aluvionares correspondem aos sedimentos arenosos, argilosos inconsolidados e siltosos, associados à atual rede de drenagem (PINTO, 2008).

Referente a pedologia, os solos da são classificados como Argissolo vermelho-amarelo Distrófico e Cambissolo háplico Argila de atividade baixa Distrófico (IBGE, 2016).

3.2 Indicadores de Força Motriz

A Força Motriz é determinada pelos impactos diretos resultantes das atividades humanas sobre o meio ambiente. A fim de analisar os processos sociais que moldam as atividades humanas e seus impactos, foi utilizada uma metodologia adaptada do Manual de Aplicação para a Elaboração de Relatórios GEO Cidades (PNUMA, 2004).

A adaptação deveu-se a necessidades de adaptar os indicadores e à escala de análise inferior a escala municipal e à escala dos setores censitários estabelecidos pelo IBGE (IBGE, 2012).

A Tabela 1 mostra a estruturação das variáveis e dos indicadores adotados para a análise da Força Motriz.

Tabela 1- Indicadores da Força Motriz da BHRU

Variáveis	Indicadores	Parâmetros
Dinâmica demográfica e social	Crescimento Populacional	Taxa geométrica de crescimento anual
	População	População total: número habitantes
		População urbana: número de habitantes
		População rural: número de habitantes
	Demografia	Densidade demográfica: Número de habitantes
		Taxa de urbanização
Dinâmica econômica e social	Desenvolvimento Humano	Índice de Desenvolvimento Humano por Setor Censitário
	Rendimentos	Distribuição da renda
	Ensino	Distribuição do ensino em função da renda

Fonte: Autoria própria

3.2.1 Dinâmica demográfica e social

3.2.1.1 Crescimento Populacional

Para calcular o crescimento populacional da BHRU, foram utilizados como base dos dados demográficos o relatório base de informações dos censos demográficos dos anos 2000 e 2010, bem como a contagem populacional 2007 resultados do universo por setor censitário, além da base vetorizada dos setores censitários para os anos respectivos (IBGE, 2000a; IBGE, 2007; IBGE, 2012).

O censo universo é aplicado em todas as unidades domiciliares e contém informações básicas dos domicílios e dos moradores. Já as variáveis do censo amostral, apesar de serem mais completas, não se mostram suficientes, pois, o tamanho da população do município de Ibiúna e a população da BHRU não apresentaria representatividade amostral, uma vez que nessa amostragem apenas um a cada dez domicílios foi recenseado (ABREU et al., 2011; IBGE, 2012).

A base de dados do censo demográfico, assim como os vetores dos setores censitários, encontram-se disponíveis *online* e foram obtidas através da web *site* Portal IBGE, separadas por ano de indicação e agregadas por setor censitário.

Para a obtenção da população total da BHRU foi necessário aplicar a soma da população total de cada setor censitário, dividido pela área dos setores, uma vez que alguns setores não estão inseridos integralmente na delimitação geográfica da bacia.

O cálculo da estimativa do crescimento populacional foi realizado pelo método geométrico. Para obter a taxa média de crescimento anual, foi subtraído 1 da raiz enésima do produto da população final pela população do início do período considerado, multiplicado por 100, conforme a Equação 1, sendo calculada a taxa de crescimento entre os anos de 2000 e 2007, e de 2007 a 2010 (BRASIL, 2012).

$$TGCA = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{(Pt)}{(P0)}} \right) - 1 \right] \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

TGCA – Taxa Geométrica de Crescimento anual

n – número de anos no período

P_t – População final

P_0 – População inicial

A taxa é obtida em porcentagem, tratando da média anual obtida para um período, compreendido entre dois momentos, correspondentes aos censos demográficos em questão. Tem a finalidade de quantificar as variações anuais do contingente populacional e subsidiar processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas.

3.2.2 População

Para o cálculo da população total da BHRU foram utilizadas as planilhas das Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário, disponíveis *online*, em formato do *Software* Excel 2016. As planilhas utilizadas foram correspondentes a toda população residente na BHRU, por setor censitário do sexo masculino e feminino, sendo os arquivos da base de dados IBGE nomeados “Arquivo Idade, homens (planilha Pessoa11_UF.xls) e Arquivo Idade, mulheres (planilha Pessoa12_UF.xls)” (IBGE, 2012). Como resultado, foi obtido o total da população por faixa etária e por sexo (SÃO PAULO, 2014).

Para a identificação da população rural e urbana foram utilizadas as mesmas planilhas para o cálculo da população total, uma vez que todas as planilhas possuem a informação base de cada setor censitário, informando por meio de códigos as condições de cada setor, se inserido em situação urbana ou rural.

3.2.3 Demografia

Para o cálculo da densidade demográfica, foi utilizado o *software* de Sistemas de Informações Geográficas, ArcGis 10.3, assim como as bases de dados dos setores censitários, disponíveis *online* na base de dados do IBGE. As bases devidamente vetorizadas, foram utilizadas para o cálculo da população ponderados pela área dos setores censitários. A soma da população urbana e rural, foi dividida pela área total dos setores censitários, obtendo como resultado a variável habitantes/km², conforme a Equação (2).

$$D_{demo} = \frac{Pop_{pond}}{\Delta} \quad (2)$$

Sendo:

D_{demo} = Densidade demográfica;

Pop_{pond} = População ponderada pela área do setor censitário;

Δ = Área dos setores censitários em km²

Para o cálculo da taxa de urbanização, que representa a porcentagem da população urbana em relação a população total da BHRU, foi aplicado a seguinte Equação (3):

$$Tx_{Urb} = \left(\frac{Pop_{urb}}{Pop_{total}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Sendo:

Tx_{Urb} = Taxa de urbanização da BHRU;

Pop_{urb} = População urbana da BHRU;

Pop_{total} = População total da BHRU.

Como resultado da taxa de urbanização foi obtido um mapa coroplético dos setores censitários da zona urbana da BHRU com sua respectiva população.

3.2.4 Desenvolvimento Humano

Para a variável de desenvolvimento socioeconômico da área de estudo foi elaborado o Índice de Desenvolvimento Humano da BHRU utilizando o IDH por Setor Censitário do município de Ibiúna adaptado do IDH Global em 2012 pelo PNUD Brasil, IPEA e Fundação João Pinheiro (PNUD, 2013).

O IDH foi baseado em três dimensões básicas da sociedade, saúde (longevidade), educação e renda. Portanto, para o cálculo do IDH tais dimensões foram avaliadas independentemente, antes de compor o indicador propriamente dito.

3.2.4.1 Dimensão educação (D_{Educ})

É composta de indicadores de escolaridade da população adulta e de fluxo escolar da população jovem. O fluxo escolar é medido pela média aritmética do percentual de crianças entre 5 e 6 anos frequentando a escola; do percentual de jovens de 11 a 13 anos, frequentando os anos finais do ensino fundamental regular; do percentual de jovens de 15 a 17 anos com ensino fundamental completo e pelo percentual de jovens de 18 a 20 anos com ensino completo. A escolaridade da população adulta é medida pelo percentual da população de 18 anos ou mais de idade com o ensino fundamental completo (PNUD, 2013).

Portanto, a D_{Educ} da BHRU foi calculada como sendo a média geométrica dos dois índices, com peso 1 para o índice de escolaridade e peso 2 para o índice de fluxo (Equação 4).

$$D_{Educ} = \sqrt[3]{E_A \times F_E \times F_E} \quad (4)$$

Sendo:

D_{Educ} = Dimensão da Educação da Bacia Hidrográfica do Rio Una;

E_A = Índice de escolaridade da população adulta

F_E = Índice de fluxo escolar da população jovem

As variáveis utilizadas foram informações sobre a idade da população e pessoas alfabetizadas por faixa etária, obtidas através das planilhas das bases de dados do censo 2010 (IBGE, 2012).

3.2.4.2 Dimensão renda (D_{Renda})

É composta pela renda *per capita* da população. A renda *per capita* mede a capacidade média de aquisição de bens e serviços de uma população (PINTO, et al., 2013).

Assim, o presente trabalho utilizou o mesmo critério para os setores censitários. Sendo o rendimento nominal total dividido pela população total, residente nos domicílios em cada setor, obtendo-se a renda setorizada *per capita* (IBGE, 2012).

Segundo o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, na metodologia do IDH – Municipal, desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2013), foram atribuídos valores máximos e mínimos de referência, de acordo com o chamado dólar - paridade-poder-de-compra (\$PPC), utilizado no IDH- Global.

Portanto, os limites de máximo e mínimo convertidos para a renda per capita mensal são R\$ 4.033,00 e R\$ 8,00, respectivamente. O mínimo corresponde ao mínimo adotado pelo

IDH Global para países; e o máximo corresponde à renda média do décimo mais rico da população no município mais rico do país.

Assim o cálculo da D_{Renda} da bacia hidrográfica por setores censitários, adaptado do IDH-Global foi calculada de acordo com a Equação 5.

$$D_{\text{Renda}} = \frac{(\text{Log}_{rps} - \text{Log}_{rmi})}{(\text{Log}_{rma} - \text{Log}_{rmi})} \quad (5)$$

Sendo:

D_{Renda} = Dimensão de Renda da Bacia Hidrográfica do Rio Una;

Log_{rps} = Logaritmo da renda per capita do setor censitário;

Log_{rmi} = Logaritmo da referência mínima;

Log_{rma} = Logaritmo da referência máxima.

Para esse cálculo foram utilizadas as variáveis da base de informações do censo (DomicilioRenda_SP2) referentes ao total do rendimento nominal mensal dos domicílios particulares permanentes e total do rendimento nominal mensal dos domicílios particulares improvisados, além do número total de residentes por setores censitários.

3.2.4.3 Dimensão Longevidade (D_{Long})

De acordo com o IDH Nacional para o nível Municipal, idealizado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - Brasil (PNUD, 2004), a dimensão longevidade é calculada a partir dos dados relativos à expectativa de vida ao nascer, baseada nas taxas de mortalidade.

Entretanto, tal informação é fornecida apenas no censo amostral, inviabilizando a mesma metodologia na presente pesquisa, visto a ausência de dados deste tipo por setor censitário (ABREU et al., 2011).

Para resolver este problema, foi aplicada a metodologia adaptada de Abreu et al. (2011), na qual, assume-se que a Dimensão longevidade (D_{Long}) da BHRU constitui a média do indicador em todos os setores censitários. Desta forma, buscou-se encontrar a expectativa de vida populacional da Bacia do Rio Una, aplicando-se o valor de 0,832, que corresponde ao D_{Long} do Município de Ibiúna 2010, na inversa da Equação 6, que define a D_{Long} em função da expectativa de vida (PNUD, 2013):

$$D_{\text{Long}} = \frac{(EV - 25)}{(85 - 25)} \quad (6)$$

Sendo:

D_{Lon} = Dimensão Longevidade da Bacia Hidrográfica do Rio Una;

EV= Expectativa de vida em anos;

25 e 85 = Valores de referência em anos correspondem às idades mínima e máxima utilizadas pelo PNUD, respectivamente.

Após a obtenção da expectativa de vida do município de Ibiúna em 2010, foi possível encontrar a porcentagem do número de pessoas com idade abaixo da expectativa de vida por setor.

Foi criada uma distribuição acumulada de pessoas por idade para cada setor censitário, assim foi possível identificar o número inteiro de pessoas residentes determinados pela faixa etária correspondente.

Desta forma, foi determinado para cada setor um valor inteiro equivalente ao número acumulado de pessoas imediatamente inferior ao valor real correspondente à porcentagem de pessoas abaixo da faixa de expectativa de vida da população total.

A partir do número de pessoas abaixo da idade assumida como a expectativa de vida e da distribuição acumulada de pessoas por idade, determinou-se a idade correspondente à expectativa de vida de cada setor.

3.2.4.4 Cálculo do IDH da área de estudo

Obtidas as dimensões de renda, educação e longevidade foi realizado o cálculo do IDH da BHRU. O cálculo foi baseado na adaptação do IDH Municipal de PNUD (2013), que é a raiz cúbica da multiplicação dos três IDH's, conforme Equação 7:

$$IDH_{BHRU} = \sqrt[3]{(D_{Educ} \times D_{Renda} \times D_{Long})} \quad (7)$$

Sendo:

IDH_{BHRU} = Índice de Desenvolvimento Humano da Bacia Hidrográfica do Rio Una;

D_{Educ} = Dimensão de Educação;

D_{Renda} = Dimensão de Renda;

D_{Long} = Dimensão de Longevidade.

O IDH_{BHRU} apresenta variação entre 0 e 1 (Tabela 2), assim, quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano de um setor censitário, sendo classificado de acordo o Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil (PNUD, 2013).

Tabela 2 – Faixa de Desenvolvimento Humano da Bacia Hidrográfica do Rio Una.

Classificação	Intervalos do IDH dos Setores Censitários
Muito Baixo	0 - 0,499
Baixo	0,500 - 0,599
Médio	0,600 - 0,699
Alto	0,700 - 0,799
Muito Alto	0,800 - 1

Fonte: PNUD (2013)

3.2.5 Dinâmica Econômica e social

3.2.5.1 Distribuição do Rendimento

Para o cálculo da Distribuição do Rendimento foi inicialmente calculado a Distribuição da renda na BHRU, utilizando os dados de renda *per capita* previamente calculados no IDH Renda da bacia, assim como os vetores dos setores censitários da bacia. Os dados de renda foram segmentados por setores censitários.

Após a tabulação dos valores, com o auxílio do *software* ArcGis 10.3, foi adotado o procedimento mais adequado para a geração de superfícies populacionais. Esse método, consiste em atribuir o valor de um atributo (Renda) associado a uma unidade de área, onde admite-se a distribuição de densidade constante por todo interior da área a um ponto interno desta área, igual ao centroide (MARTIN, 1989).

Os valores de renda atribuídos ao ponto central dos polígonos foram interpolados pelo método de Krigagem (KRIGE, 1951), para obter um mapa temático da distribuição da renda pela BHRU. O resultado foi segmentado em 5 intervalos calculados de acordo com o intervalo geométrico dos resultados. De acordo com ESRI (2011) esse método de classificação é utilizado

para a visualização de dados contínuos e eliminar qualquer variância minimizada dentro das classes.

Krigagem é um método de interpolação abalizado em ponderações de dados amostrais, baseadas na distância entre duas amostras e na variância entre elas. É baseada em modelos estatísticos que incluem a autocorrelação, isto é, as relações estatísticas entre os pontos medidos. Devido a isso, técnicas geoestatísticas não só têm a capacidade de produzir uma superfície de previsão, mas também fornecer alguma medida da certeza ou precisão das previsões (CARSON, 2013; YAMAMOTO; LANDIM, 2015).

O resultado da Krigagem é um mapa de predição da distribuição de renda. A metodologia utilizada pesa os valores medidos circundantes às unidades amostrais para derivar uma previsão em um local não medido. A fórmula geral de interpolação é formada como uma soma ponderada dos dados, de acordo com a Equação 8 (BOSHI et al., 2012).

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (8)$$

em que x_0 é o ponto desejado; no $Z(x_i)$, $i = 1, 2, \dots, N$, x_i são os pontos medidos; e $\sum \lambda_i$ é a somatória dos pesos atribuídos a eles.

De acordo com Camargo (1997), ao minimizar a variância do erro sob a condição $\sum \lambda_i = 1$, os pesos passam a ser obtidos a partir de um sistema de equações de Krigagem Ordinária e podem ser escritos sob notação matricial como descreve a Equação 9:

$$K \times \lambda = k \quad \text{ou} \quad \lambda = K^{-1} \times k \quad (9)$$

Sendo:

K é a matriz de covariância entre as amostras;

k é a matriz de covariância entre as amostras e o ponto a ser estimado;

λ é o vetor dos pesos.

As covariâncias são obtidas em função das distâncias entre os pontos amostrais e o ponto a ser estimado, com base na modelagem do semivariograma experimental. A função do modelo teórico do semivariograma varia de acordo com o próprio modelo e se apresenta de acordo com a Equação 10:

$$\gamma(h) = f(C_0, C_1, a, h) \quad (10)$$

Sendo:

C_0 = Efeito pepita;

C_1 = Contribuição;

a = Alcance;

h = Vetor distância entre dois pontos.

Aplica-se a equação do modelo teórico escolhido em cada par amostral ou não amostral, sendo a distância entre eles a variável independente, obtendo-se assim a semivariância entre o par.

Para representar a variabilidade e continuidade espacial de renda na superfície da BHRU foram considerados como dados amostrais, as informações referentes aos subíndices de renda *per capita*, representados pelo ponto central dos respectivos polígonos de cada setor censitário, chamados centroides.

3.2.6 Distribuição do Ensino em Função da Renda

A desigualdade, muitas vezes é acentuada pelo crescimento econômico de uma população, acarretando em consequências de cunho social (PNUD; 2013). Para avaliar o impacto da renda na distribuição do ensino na bacia Hidrográfica do Rio Una, foram calculados os dados da renda *per capita* e os valores de educação conforme a metodologia que compõem o IDH Municipal, citada no item 3.2.4.

3.2.6.1 Renda per capita

A renda per capita mede a capacidade média de aquisição de bens e serviços de uma população (PINTO, 2008).

Assim, o presente trabalho utilizou o mesmo critério para os setores censitários. Sendo o rendimento nominal total dividido pela população total, residente nos domicílios em cada setor, obtendo-se a renda setorizada per capita (IBGE, 2012)

O IDH Municipal Disponibilizado pelo Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, na metodologia do IDH – Municipal, desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD, 2013), atribuiu valores máximos e mínimos de referência, de acordo com o chamado dólar - paridade-poder-de-compra (\$PPC), utilizado no IDH-Global.

Portanto, os limites de máximo e mínimo convertidos para a renda per capita mensal são R\$ 4.033,00 e R\$ 8,00, respectivamente.

O valor mínimo corresponde ao mínimo adotado pelo IDH Global; e o máximo corresponde à renda média do décimo mais rico da população no município mais rico do país.

Assim o cálculo do Dimensão Renda (D_{Renda}) para a bacia hidrográfica por setores censitários, foi calculada de acordo com a Equação 11.

$$D_{\text{Renda}} = \frac{(\text{Log}_{\text{rps}} - \text{Log}_{\text{rmi}})}{(\text{Log}_{\text{rma}} - \text{Log}_{\text{rmi}})} \quad (11)$$

Sendo:

D_{Renda} = Dimensão de Renda da Bacia Hidrográfica do Rio Una;

Log_{rps} = Logaritmo da renda per capita do setor censitário;

Log_{rmi} = Logaritmo da referência mínima;

Log_{rma} = Logaritmo da referência máxima.

3.2.6.2 Educação

É composta de indicadores de escolaridade da população adulta e de fluxo escolar da população jovem. O fluxo escolar é medido pela média aritmética do percentual de crianças e jovens frequentando o ensino fundamental e médio, em quatro momentos importantes da formação escolar. A escolaridade da população adulta é medida pelo percentual da população de 18 anos ou mais de idade com o ensino fundamental completo (PNUD, 2013).

Portanto, para calcular o fluxo escolar foi obtido, para cada setor censitário, a porcentagem de crianças de 5 a 6 anos, 11 a 13, jovens de 15 a 17 e jovens de 18 a 20 anos alfabetizados. O mesmo foi realizado para obter a taxa de escolaridade da população adulta da BHRU com objetivos de obter a porcentagem da população maior de 19 anos que concluiu o ensino fundamental.

3.2.6.3 Análise espacial dos dados

Análise espacial da Renda e da Educação foi realizada utilizando-se da técnica da *Krigagem Ordinária* conforme descrito no item 3.2.5.1.

Foi utilizada como técnica de estimação linear para as variáveis a *Krigagem Ordinária*. *Krigagem* é um método de interpolação abalizado em ponderações de dados amostrais, baseadas na distância entre duas amostras e na variância entre elas. É baseada em modelos estatísticos que incluem a autocorrelação, isto é, as relações estatísticas entre os pontos medidos. Devido a isso, técnicas geoestatísticas não só têm a capacidade de produzir uma

superfície de previsão, mas também fornecer alguma medida da certeza ou precisão das previsões (CARSON, 2013).

Para representar a variabilidade e continuidade espacial da Renda *Per Capita* e da distribuição da Educação na superfície da BHRU foram considerados como dados amostrais, as informações referentes os valores de renda para cada setor censitário. Referente a educação, foram utilizados a porcentagem de crianças e jovens na faixa etária de 5 a 6 anos, 11 a 13 anos, 15 a 17 anos 18 a 20 anos alfabetizados e adultos maiores de 18 anos com o ensino fundamental completo, esses valores são traduzidos no indicador de fluxo escolar e pela taxa de escolaridade da população adulta, esses dados compõem o subíndice do IDH de educação (PNUD, 2013).

Todos os dados são representados pelo ponto central dos respectivos polígonos de cada setor censitário, chamados centroides. Esse método consiste em atribuir o valor de um atributo (Renda e Educação) associado a uma unidade de área, onde admite-se a distribuição de densidade constante por todo interior da área a um ponto interno desta área, igual ao centroide (MARTIN, 1989).

A conversão dos valores de polígonos em pontos foi feita automaticamente com o auxílio do *software* ArcGis 10.1.

Para analisar a continuidade espacial do indicador, o primeiro passo foi realizar a modelagem dos semivariogramas dos valores de renda *per capita* e da educação. Após os valores de semivariância serem plotados no semivariograma, verificou-se a presença da anisotropia através da superfície de semivariograma.

Para análise geoestatística, os modelos teóricos usados para ajuste foram: esférico, exponencial e gaussiano. A validação e escolha do modelo mais adequado foi baseada na média dos erros (ME), na média dos erros de predição padronizados (MS), raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre os valores estimados e o verdadeiro (Root-Mean-Square – RMS), erro padrão da média do erro de predição (Average Standard Error – ASE) e raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre os valores estimados e o verdadeiro padronizado (Root-Mean-Square-Standardized – RMSS). Para predições não enviesadas (que representam o valor real), ME e MS devem ter valores próximos de zero e RMS e ASE tenham valores próximos entre si, o que diminui a incerteza associada quanto às predições e, ainda, para uma maior acurácia RMS deve apresentar baixos valores, o que indica menor variabilidade entre os valores preditos e os respectivos valores verdadeiros. Para o valor de RMSS, se for superior a 1, a variabilidade da predição está sendo subestimada, ou em caso contrário, superestimada, assim

o valor ideal é o mais próximo possível de 1 (TATALOVICH et al., 2006; GEORGAKARAKOS; KITSIOU, 2008; PASINI et al., 2014).

Com a utilização do *software* ArcGis 10.1 realizou-se ajustes nos semivariogramas experimentais. Os parâmetros fundamentais do semivariograma, como patamar, efeito pepita e alcance, permaneceram da mesma maneira como preestabelecidos pelo algoritmo. Porém, alguns ajustes nos números de *lags*, e nas larguras do *bandwidth* foram realizados. Estes parâmetros indicam a janela de tolerância utilizada na variografia exploratória (ABREU et al., 2011).

De acordo com ESRI (2011), a seleção do tamanho de *lag* tem efeitos importantes no semivariograma. Por exemplo, se o tamanho do *lag* for muito grande, a autocorrelação de curto alcance pode ser mascarada.

Para avaliar a dependência espacial do fenômeno utilizou-se o Índice de Dependência Espacial (IDE) proposto por Cambardella et al. (1994), conforme Equação 12.

$$IDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C} \right) \times 100 \quad (12)$$

O IDE utiliza o efeito pepita (C_0) e a contribuição (C) em seus cálculos. A seguinte classificação para os seus valores: se $IDE \leq 25\%$ o fenômeno tem forte dependência espacial; entre 25% e 75% tem dependência espacial moderada e $\geq 75\%$ tem fraca dependência espacial.

Após o mapeamento das taxas de escolaridade foi realizado um teste de correlação de Pearson, para avaliar a possibilidade de existência de correlação entre a distribuição da taxa de escolaridade e a renda *per capita* da população.

3.2.6.4 Distribuição das escolas ao longo da BHRU

Após analisar a distribuição dos valores relacionados ao fluxo escolar e ao índice de escolaridade da população adulta, foi avaliada a distribuição das escolas ao longo da BHRU através do estimador de Kernel.

Segundo Carvalho e Câmara (2004), Kernel é um estimador de densidade ou intensidade pontual. O método tem a capacidade de compor uma superfície cujo valor é proporcional à intensidade das amostras por unidade de área. Realizando uma contagem de todos os pontos dentro sob a região de influência, ponderando os valores pela distância de cada ponto.

A identificação das escolas no município, foi realizada pela identificação dos endereços constantes no cadastro escolar, acessado no site da Secretaria Municipal da Educação de Ibiúna (<http://www.ibiuna.sp.gov.br/menu/secretarias-1/secretaria-da-educacao>). Os endereços

foram convertidos em coordenadas geográficas utilizando como ferramenta de busca o *software* Google Earth Pro (GOOGLE, 2019). Uma vez identificadas as posições geográficas dentro da área de estudo, os arquivos foram convertidos para o formato KMZ para *shapefile* para utilização no SIG ArcGIS, modelo 10.6.

Após a especializadas foi aplicado o Estimador de Kernel sobre os pontos para análise da distribuição das escolas da área de estudos.

Gerando o mapa da distribuição da densidade de escolas que atendem a população da BHRU.

3.3 Indicadores de Pressão

Para avaliar as pressões exercidas na BHRU, foram considerados os resultados obtidos a partir das variáveis de Força Motriz analisadas no capítulo anterior. De acordo com a metodologia utilizada no Manual de Aplicação para a Elaboração de Relatórios GEO Cidades a Tabela 3 mostra as variáveis e os indicadores utilizados para obter a Pressão exercida na bacia (PNUMA, 2004).

Tabela 3 - Indicadores de Pressão da BHRU

Variáveis	Indicadores	Parâmetros
Dinâmica de ocupação do território	Uso da terra	Proporção da área agrícola
		Proporção da área vegetal
		Proporção da área de silvicultura
		Proporção da área pastagem
		Proporção da área urbanizada
Dinâmica de cobertura da terra	Análise espaço-temporal do uso da terra	Evolução do uso da terra nas últimas décadas
		Comparativo das áreas de uso antrópico
		Comparativo das áreas de Naturais

Fonte: Autoria própria

3.3.1 Dinâmica de ocupação do território

3.3.1.1 Uso da terra

O mapeamento do uso da terra foi realizado por meio de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens de satélite. Para o mapeamento foi utilizando a imagem de satélite Landsat 8 adquirida no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Foram utilizadas as bandas 2, 3 e 4 com resolução espacial de 30 metros do mês de novembro de 2016, que foram posteriormente reamostradas para a resolução espacial de 15 metros, tendo como base a banda pancromática do mesmo sensor.

Foram realizados os processos de reprojeção e correções geométricas para o hemisfério sul e definido o sistema de projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM), Datum WGS 1984.

O mapeamento foi realizado utilizando técnicas de interpretação visual e pós classificação, em composições RGB verdadeira, levando-se em consideração os critérios estipulados de tamanho e forma; cor e tonalidade, localização do objeto na paisagem; textura e estrutura da paisagem.

As categorias adotadas de uso da terra foram adaptadas das do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) e consistem nas classes nomeadas como Área urbana (AU), Agricultura (AG), Reflorestamento (RE), Floresta (FL), Campo (CA), Pastagem (PA) e Área alagada (AA).

De acordo com o manual técnico as nomenclaturas das classes são definidas como:

- **Área Urbana:** Tipos de uso da terra de natureza não agrícola. Áreas correspondentes a sedes municipais, vilas (sedes distritais) e áreas urbanas isoladas, estruturadas por edificações e sistema viário onde predominam superfícies artificiais;
- **Agricultura:** Inclui todas as áreas de terra cultivada para a produção temporária de alimentos;
- **Reflorestamento:** Compreende atividades de silvicultura, ligadas ao povoamento florestal com o plantio e formação de maciços com espécies nativas ou exóticas, fornecedoras de matéria prima para a indústria madeireira, papel e celulose ou consumo familiar;

- **Floresta:** Formação arbóreas primárias e alterados até formações florestais espontâneas secundárias, arbustiva, herbáceas e gramíneo-lenhosas em diversos estágios sucessionais de desenvolvimento;
- **Campo:** Áreas campestres caracterizadas por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído esparsamente distribuído por um tapete gramíneo-lenhoso;
- **Pastagem:** Pecuária de animais de grande, médio ou pequeno porte sobre campos naturais ou melhorados;
- **Área alagada:** Corpos d'água continentais naturais ou artificiais que não são de origem marinha.

As classes Áreas urbanas, Reflorestamento, Pastagem e Agricultura foram consideradas como atividades de uso antrópico. Áreas alagadas, Campo e Floresta foram consideradas como atividades naturais.

Ao final foi gerado o Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal para o ano de 2016 que foi validado através de trabalho em campo, a partir da definição de pontos aleatórios de verificação do tipo de cobertura da terra, sendo avaliada a totalidade de cem pontos com auxílio de GPS e câmera digital. Quando necessário à correção, realizou-se a edição dos vetores e a atualização do mapeamento.

3.3.1 Dinâmica de cobertura da terra

3.3.1.1 Análise espaço-temporal do uso da terra

Para obter a análise da dinâmica do uso da terra para o período de 1991 a 2016, totalizando 25 anos, foram construídos mais 3 Mapas de Uso do Solo e Cobertura Vegetal para os anos de 1991, 2001 e 2010 utilizando imagens disponíveis *online* na *web site* do Serviço Americano de Pesquisas Geológicas (*U.S. Geological Survey*) e pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Para os anos de 1991 e 2001 foram utilizadas imagens do Landsat 5 sensor TM (*Thematic Mapper*) cena 219/076 com 30 metros de resolução espectral. Em 2016 foi utilizado uma imagem Landsat 8 OLI/TIRS (*Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor*) com resolução espectral de 15 metros.

As imagens Landsat 8 foram disponibilizadas para acesso público a partir de 2013 (UNITED STATES, 2017). Desta forma o uso dessa imagem possibilitou maior acurácia no processo de mapeamento do uso da terra, devido a melhora na sua resolução em relação aos sensores antecedentes, sendo possível obter 15 metros de resolução com o fusionamento da banda pancromática.

Para o ano de 2010 foi utilizada uma imagem do satélite SPOT 5 (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) com resolução espectral de 2,5 metros 2010, essa imagem foi cedida pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA) da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

. O mapeamento do uso da terra foi realizado por meio de interpretação visual, levando-se em consideração os mesmos critérios de tamanho e forma, cor e tonalidade, textura e estrutura da paisagem além do método de pós-classificação por retroanálise multitemporal, para auxiliar na classificação das imagens com menor resolução espacial, todo o processo foi realizado com o auxílio do *software* ArcGis 10.3 (RAFIEE et al., 2009; HUZUI, et al., 2012; KUPLICH, et al., 2013).

Para tanto, foram utilizadas duas composições coloridas, uma em cor verdadeira, com as bandas do verde, vermelho e azul nos canais do RGB, e outra em falsa cor, usando Infravermelho Próximo, Infravermelho Médio e Vermelho. Essa composição tem a finalidade de destacar a vegetação e corpos hídricos dos demais tipos de cobertura, em especial das áreas urbanas (FLORENZANO, 2002; SALES, 2015; LESLIE, et al., 2017).

Todas as imagens foram corrigidas radiometricamente e ortorretificadas usando pontos de controle e dados de modelo de digital de elevação para corrigir os deslocamentos, além disso, as imagens foram adquiridas em período de estiagem, para evitar efeitos de nuvem e eliminar variações no padrão do vigor vegetal (MARKHAM; HELDER, 2012).

As áreas foram classificadas de acordo com o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), utilizando as mesmas classes adotadas no item 3.2.6 do Capítulo III.

Após a construção dos Mapas de Uso do Solo e Cobertura Vegetal para as diferentes datas, foi utilizado a ferramenta de modelagem *Land Change Modeler* (LCM) do *software* Idrisi Selva, com a finalidade de identificar as perdas de áreas naturais em função das atividades antrópicas.

Para isso foi utilizada a opção *Change analysis* da modelagem LCM para quantificar as áreas de transição dominante entre os anos de 1991 - 2001 e 2010 -2016. A ferramenta analisa a mudança no uso da terra entre duas datas distintas. Identificando a transição de um estado de

cobertura de uma classe para outra, indicando as perdas e ganhos para todas as classes de uso da terra (CLARK LABS, 2012).

3.4 Indicadores de Estado

Para avaliar o Estado da BHRU, foram considerados os resultados obtidos a partir das variáveis de Pressão analisadas conforme Tabela 4.

Tabela 4 - Indicadores de Estado da BHRU

Variáveis	Indicadores	Parâmetros
Geomorfométricas	Forma superficial	Circularidade (Ic)
		Coeficiente de compacidade (Kc)
		Fator de forma (Kf)
		Declividade
	Capacidade de escoamento	Densidade de drenagem (Dd)
		Coeficiente de Rugosidade (RN)
Químico	IQA	Relatório CETESB
Ecológica	Qualidade vegetal	Vigor vegetal SAVI
		Vigor vegetal NDWI

Fonte: Autoria própria

3.4.1 Variáveis Geomorfométrica

Indicadores morfométricos são importantes ferramentas de identificação das características físicas de bacias hidrográficas (SILVA et al., 2016). Desta os indicadores do estado físico avaliados foram: Circularidade; Densidade de Drenagem; Coeficiente de Compacidade e Coeficiente de Rugosidade.

3.4.1.1 Índice de Circularidade

Um dos parâmetros que avalia a forma da bacia hidrográfica é o Índice de Circularidade (Ic). De acordo com Silva et al (2016), a medida em que a forma da bacia se aproxima do formato circular, o valor de Ic aumenta e diminui à medida que a forma se torna alongada.

O cálculo de Ic foi realizado para cada sub-bacia, com o auxílio do *software* ArcGis 10.3, de acordo com a Equação 13.

$$Ic = \frac{4\pi A_{sub}}{P^2} \quad (13)$$

Sendo:

P é igual ao comprimento da sub-bacia Hidrográfica em metros;

A_{sub} é igual a área de drenagem da sub-bacia Hidrográfica em metros quadrados.

Quanto mais próximo o valor de Ic estiver de 1, maior a propensão a enchentes, pois a bacia fica cada vez mais próxima da forma de um quadrado.

3.4.1.1 Coeficiente de compacidade

O Coeficiente de compacidade (Kc) indica a susceptibilidade a enchentes em bacias hidrográficas. O coeficiente de compacidade é adimensional e varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho, uma vez que, quanto mais próximo de 1 mais circular é a bacia (VILLELA; MATTOS, 1975). O Kc foi determinado de acordo com a Equação 14.

$$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (14)$$

Sendo:

P é igual ao perímetro da sub-Bacia Hidrográfica em metros;

A é igual a área de drenagem da sub-Bacia Hidrográfica em metros quadrados.

Segundo Mello e Silva (2013), as bacias com valor entre 1,00 a 1,25 são classificadas como bacias com alta propensão a grandes enchentes, valores entre 1,25 a 1,50 são bacias com tendência mediana a grandes enchentes e bacias com valor maior que 1,50 não estão sujeitas a grandes enchentes.

3.4.1.2 Declividade

Para a obtenção da declividade foi necessário construir um Modelo Digital de Elevação (MDE) do terreno a partir das curvas de níveis, previamente digitalizadas. Para isso foi utilizada a ferramenta *Triangulated Irregular Network* (TIN), que é capaz de representar a morfologia do terreno a través da forma de dados geográficos digitais baseados em vetores. São construídos pela triangulação de um conjunto de vértices (ESRI, 2014).

As classes do terreno foram definidas com o auxílio da classificação do Sistema Brasileiro de Classificação do Solos (EMBRAPA, 2006), conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Classes de relevo

Categoria	Declividade (%)	Definição
Plano	$> 0 \leq 3$	Superfície esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos,
Suave ondulado	$> 3 \leq 8$	Superfície pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros
Ondulado	$> 8 \leq 20$	Superfície pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros
Forte ondulado	$> 20 \leq 45$	Superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas, respectivamente) e raramente colinas,
Montanhoso	$> 45 \leq 75$	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes,
Escarpado	> 75	Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos.

Fonte: Embrapa (2006).

3.4.1.3 Capacidade de escoamento

3.4.1.3.1 Densidade de drenagem

Com relação a capacidade de escoamento, um dos parâmetros analisado foi a Densidade de drenagem (Dd). De acordo com Cardoso (2006), a Dd reflete a influência das características topográficas, litológicas e pedológicas da área de estudo. O cálculo é realizado de acordo com Comprimento total dos cursos d'água dividido pela área de drenagem das sub-bacias em quilômetros quadrados, conforme equação (15).

$$Dd = \frac{L_t}{A_{sub}} \quad (15)$$

Sendo:

L_t é igual ao Comprimento total dos cursos d'água;

A_{sub} é igual a área de drenagem das sub-bacias.

Segundo Villela e Mattos (1975) os valores de densidade de drenagem variam de 0,5km/km² a 3,5km/km². Sendo o menor valor para bacias hidrográficas com drenagem pobre e 3,5km/km² ou mais para bacias hidrográficas excepcionalmente bem drenadas.

3.4.1.3.2 Coeficiente de Rugosidade

O Coeficiente de Rugosidade (RN) é um parâmetro utilizado para a descrição da vazão sobre uma superfície. O coeficiente combina a declividade e comprimento dos cursos d'água com a densidade de drenagem, sendo expresso como um número adimensional. De acordo com Rocha e Kurtz (2001), quanto maior for o valor de RN, maior o risco de erosão.

O RN é determinado pela multiplicação da declividade média encontrada em cada pixel da BHRU, conforme Equação 16.

$$RN = D \times Dd \quad (16)$$

Sendo:

D é igual a declividade em graus de cada sub-bacia;

Dd é igual a densidade de drenagem de cada sub-bacia.

Para obter a susceptibilidade à erosão foi aplicado o cálculo entre os intervalos de RN para caracterizar o coeficiente de rugosidade em intervalar, conforme Equação 17 (SILVA, et al. 2016).

$$RN_{Suscep} = \frac{(RN_{maior} - RN_{menor})}{4} \quad (17)$$

Sendo:

RN_{maior} é maior valor de RN encontrado na subBacia Hidrográfica;

RN_{menor} é menor valor de RN encontrado na subBacia Hidrográfica.

3.4.2 Variável Química

Para a análise das variáveis químicas da BHRU, inicialmente foi realizado o cálculo da média do Índice de Qualidade de Águas (IQA), disponíveis no Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, publicado periodicamente pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB entre os anos de 2005 e 2015.

Os parâmetros de qualidade foram avaliados conforme Resolução CONAMA 375/05 (CONAMA, 2005) e pela CETESB (2016), conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros de avaliação de IQA

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$
BOA	$51 < IQA \leq 79$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$
PÉSSIMA	$IQA \leq 19$

Fonte: (CETESB, 2016)

Os relatórios CETESB utilizados foram entre os anos de 2005 a 2015, sendo as amostras de água sempre coletadas no exutório da BHRU, localizado na coordenada geográfica 273.248 metros Oeste e 7.382.836 metros Sul fuso 23 K, denominado pela CETESB de BUNA02900 (Código: 00SP10345BUNA02900).

A fim de avaliar a ocorrência de processos de eutrofização das águas, também foram utilizadas as variáveis de Nitrato e Fósforo total, que compõem o IQA, entre os anos de 2005 e 2015.

Para a utilização dos dados das variáveis Nitrato e Fósforo total, foi realizada a média entre os meses de coleta realizados pela CETESB. Considerando a informação de que todos os relatórios as coletas foram realizadas no mesmo período, e devido a variação da concentração

dos elementos químicos em função do regime de chuvas e do corpo hídrico, foi realizado uma média para cada ano utilizado (DE MORAES, LORANDI, 2016).

Os valores dos relatórios de análise da água foram compilados para gerar uma tabela com os valores médios amostrados dos últimos 10 anos, ou seja, entre 2005 e 2015, a fim de verificar interferência da expansão da agricultura ao longo dos anos na BHRU.

Entretanto, devido os relatórios CETESB abordar somente um ponto (exutório) da bacia, foram utilizados trabalhos elaborados pelo Laboratório de Geotecnologias da UNESP Sorocaba, realizados na mesma área de estudo, com maior número amostral de pontos de coleta de água. Foram utilizados 21 pontos amostrais ao longo das 11 sub-bacias da BHRU (Moraes (2017), e os métodos de coleta foram realizados segundo o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostra (CETESB, 2011).

Moraes (2017) analisou os parâmetros físicos, como: Turbidez e Temperatura. Os parâmetros químicos foram: Oxigênio dissolvido, Potencial hidrogeniônico (pH), Nitrogênio total, Fósforo total e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Entretanto para critério de comparação com os dados da CETEB, o presente trabalho analisou os resultados de Fósforo total e Nitrogênio total.

Para a análise da expansão agrícola foram utilizadas imagens de satélite referente ao mesmo período observado nos relatórios de qualidade de águas. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 sensor TM (*Thematic Mapper*) cena 219/076 com 30 metros de resolução espectral entre os anos de 2005 a 2012. A partir do ano de 2013 foi utilizado uma imagem Landsat 8 OLI/TIRS (*Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor*) com resolução espectral de 15 metros.

Para a segmentação do uso da terra foi realizado o método de classificação supervisionada multivariada de Máxima Verossimilhança sobre as imagens de satélite combinado com técnicas de interpretação visual, levando-se em consideração os critérios estipulados de tamanho e forma; cor e tonalidade, localização do objeto na paisagem; textura e estrutura da paisagem, para isso foi utilizado o *software* Idrisi Selva.

3.4.3 Variável Ecológica

3.4.3.1 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

Para realizar a análise do Estado da qualidade e vigor vegetal da BHRU foi utilizado o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI - *Soil Adjusted Vegetation Index*) para a análise da atual condição e sanidade da vegetação remanescente.

Para isso foi utilizado uma imagem do Landsat 8, sensor TM, órbita 219/76, obtidas em 7 de julho de 2016, com resolução espectral de 15 metros.

O SAVI é calculado a partir das bandas do infravermelho próximo e a banda do vermelho no comprimento do visível conforme incorporado ao efeito da presença do solo, mantendo o valor dentro do intervalo -1 e +1. O fator L é igual a 0,5, uma vez que engloba maior variação de condições de vegetação, além de representar densidades médias de vegetação, como é o caso da área de estudo. (PONZONI, SHIMABUKURO, 2010). O cálculo de índice é realizado a partir da Equação 18.

$$SAVI = \frac{(1+L) \times (NIR - VIS)}{(L + NIR + VIS)} \quad (18)$$

Sendo:

SAVI é igual ao Índice de Vegetação Ajustado ao Solo;

NIR é igual a Banda do infravermelho próximo;

VIS é igual a Banda do vermelho no comprimento do visível.

L é igual ao fator de ajuste do solo, igual a 0,5

Os parâmetros de avaliação para SAVI foram utilizados de acordo Silva, Melo e Galvêncio (2011), que classificam como vegetação rala ou esparsa valores de SAVI menores que 0,35; vegetação esparsa a densa, entre 0,35 a 0,44 e vegetação densa maiores que 0,78. Portanto, de acordo com Kawakubo (2005) e Oliveira et al. (2015), foi adotado valores de fragilidade vegetal, de acordo com os valores de SAVI, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de fragilidade vegetal de acordo com SAVI

SAVI	Classes de vegetação	Fragilidade vegetal
0	Nuvem e água	Sem classificação
< 0,35	Vegetação rala a esparsa	Forte
> 0,35 ≤ 0,44	Vegetação esparsa a densa	Média
> 0,78	Vegetação densa	Fraca

Fonte: Silva, Melo e Galvêncio (2011)

3.4.3.2 Índice de Água por Diferença Normalizada

Outro parâmetro utilizado para analisar o vigor vegetal foi o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI – *Normalized Difference Water Index*). De acordo com Gao (1966), NDWI é um índice capaz de detectar a presença de moléculas de água presente nas folhas do dossel da vegetação, além de permitir observar mudanças na biomassa e avaliar o estresse hídrico da vegetação.

Foi utilizado uma imagem Landsat 8, sensor TM, órbita 219/76, obtida em 7 de julho de 2016, com resolução espectral de 15 metros para o cálculo do índice.

O NDWI é resultado da combinação das bandas espectrais do Infravermelho próximo (NIR) e Infravermelho de onda curta (SWIR). Portanto, uma vez que SWIR é mais sensível a quantidade de água presente na vegetação e no solo, a análise do NDWI foi realizada somente nas áreas classificadas Matas, Pastagem e Campos, de acordo com o Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal do ano de 2016. Para o cálculo o índice foi utilizado a Equação 19.

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (19)$$

Sendo:

NDWI é Índice de Água por Diferença Normalizada;

NIR é a Banda espectral do Infravermelho próximo;

SWIR é a Banda espectral do Infravermelho de onda curta

De acordo com Gao (1996), os valores de NWI positivos são associados a vegetação verde e os valores negativos à vegetação seca. Foram adotadas as classes de teor de água nas plantas, de acordo com os valores definidos por Oliveira (2013), conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de teor de água vegetativo.

NDWI	Teor de água
$\leq 0,07$	Baixo
$> 0,07 \leq 0,26$	Moderado
$> 0,64$	Alto

3.5 Indicadores de Impacto

Para obter os indicadores de Impacto da BHRU foram analisados resultados obtidos a partir das variáveis de Estado. As condições e características geomorfológicas, químicas e ecológicas desencadeiam Impactos ao ambiente. A Tabela 9 apresenta os indicadores adotados para a analisar o consequente Impactos causados pelas condições atuais do ambiente.

Tabela 9 – Tabela de Indicadores de Impacto da BHRU.

Variáveis	Indicadores	Parâmetros
Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos	Índice de Integridade da mata ciliar	Taxa de residências sem coleta de lixo
		Mapeamento das áreas potencialmente poluidoras
	Índice de Esgotamento Sanitário	Taxa de residências sem acesso esgotamento sanitário
		Mapeamento das áreas potencialmente poluidoras
	Índice de Abastecimento de Água	Taxa da população sem acesso a água tratada
Perda de solo das áreas de agricultura inseridas em APP	Agricultura em APP	Uso do solo em APP
		Buffer
	Rede de Drenagem e perda de solo por sub-bacia de captação	Exutórios
		Rede de drenagem
		Bacias de captação de perda de solo em APP

Fonte: Autoria própria

3.5.1 Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos

Para estudo do potencial de degradação da BHRU foi utilizado as áreas de preservação permanente (APP) baseado no Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal do ano de 2016, como base de análise. Para isso foi utilizado o *software* ArcGis 10.3 para avaliar as APP's, gerando vetores de *buffer* no entorno dos cursos d'água, lagos e nascentes da BHRU.

De acordo com a Lei Federal 12.651 de 2012 que dispõe sobre o tamanho das áreas destinadas a preservação, foi determinado as APP's de 30 metros para cursos d'água inferiores a 10 metros, 50 metros para cursos d'água que tenham entre 10 e 50 metros, 50 metros para os lagos inferiores a 20 hectares e 50 metros para nascentes (BRASIL, 2012).

Para a pressão exercida nos recursos hídricos da BHRU foram analisadas diferentes variáveis. Essas variáveis foram analisadas na escala de sub-bacias.

Para a obtenção das sub-bacias, inicialmente foi realizada a caracterização da BHRU, quanto a seus atributos básicos, como área, perímetro, comprimento axial e hierarquização de drenagem.

Todos os cálculos dos atributos foram realizados com auxílio do *software* ArcGis 10.3. Para a hierarquização da rede de drenagem foi utilizado a ferramenta hidrológica *Stream order*. O método atribui ordem numérica para as redes de drenagem, permitindo identificar e classificar os tipos de fluxos com base nos números de afluentes.

O método utilizado determina que todos os cursos d'água sem quaisquer afluentes são classificados como de ordem 1. A interseção de dois cursos de primeira ordem originará um curso de segunda ordem, assim como dois cursos d'água de segunda ordem originam um curso de terceira ordem (STRAHLER, 1952; ESRI, 2011).

As sub-bacias foram delimitadas utilizando a ferramenta *Watershed* (ESRI, 2011), a qual delimita as sub-bacias de forma automática levando em consideração a declividade do terreno, fluxo do curso d'água e o ponto de exutório.

3.5.1.1 Índice de Integridade da mata ciliar (IIMC)

Para obter o nível de pressão exercida nas matas ciliares foi utilizado o mapeamento das áreas de preservação permanente calculado previamente no item “4.2.1.2 Áreas Protegidas”.

Desta forma, foi possível calcular o Indicador de Integridade de Matas Ciliares (IIMC), desenvolvido por Isaias (2008) e adaptado por Silva et al. (2017).

Segundo Marcondes (2001) e Skorupa (2003) a integridade da APP está relacionada a cobertura vegetal existente. Portanto o índice contabiliza e atribui valores às áreas de acordo com a porcentagem de cobertura vegetal inserida em APP.

Silva et al., (2017) atribui valores de 0 a 1 para a avaliação das APP's, quanto menor a pontuação atribuída, menor a integridade da mata ciliar. A porcentagem que define a integridade da APP é descrita na Tabela 10.

Tabela 10 – Pontuação do IIMC de acordo com a porcentagem de Mata Ciliar

Integridade da Mata Ciliar em %	Pontuação
IIMC $\leq$ 60	0
60 < IIMC $\leq$ 70	0,2
70 < IIMC $\leq$ 80	0,4
80 < IIMC $\leq$ 90	0,6
90 < IIMC $\leq$ 95	0,8
IIMC $\geq$ 95	1

Fonte: Silva et al. (2017)

Como resultado do IIMC, foi obtido o mapa de IIMC, referente a qualidade da mata ciliar das sub-bacias.

3.5.1.2 Índice de Esgotamento Sanitário

Para obter a pressão exercida pelo esgotamento sanitário foi aplicada a variável básica de Esgotamento Sanitário ou Índice de Esgotamento Sanitário (IES). Para isso, foram utilizadas as variáveis das características gerais dos domicílios, disponíveis na base de informações do censo demográfico de 2010 (IBGE, 2012).

Foram utilizadas informações referentes ao número de domicílios particulares permanentes sem banheiro ou sanitário e os número de domicílios com banheiro ou sanitários ligados a fossas rudimentares, vala, rio, lago, ou outras formas que não estejam ligadas a rede de coleta de esgoto.

Os domicílios ligados a fossas sépticas não foram contabilizados, pois de acordo com Novaes et al. (2006) as fossas sépticas são formas alternativas que promovem a reciclagem de dejetos e evitam a contaminação das águas.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2015), desde 2013 o município de Ibiúna tem 100% de seu esgoto tratado. Os domicílios que tem seu esgoto ligado à rede coletora também foram desconsiderados, uma vez que seus resíduos são tratados e já não causam impacto aos cursos d'água.

Assim, o cálculo de IES para os setores censitários da bacia foi obtido através da Equação 20.

$$IES_i = 1 - \frac{N_{domicilios_{especifico}}}{N_{Domicilos_{total}}} \quad (20)$$

Sendo:

IES_i = Índice de Esgotamento Sanitário por setor censitário

$N_{domicilios_{especifico}}$ = Soma do número de domicílios sem banheiro, sanitário ou ligados à fossa rudimentar, vala, rio, lago, entre outro;

$N_{Domicilos_{total}}$ = Total de domicílios particulares presentes em cada setor censitário.

Após o cálculo por setor censitário foi calculado o IES para cada sub-bacia por meio da ponderação dos valores de IES por setor censitário em relação a área de cada sub-bacia, conforme Equação 21.

$$IES_{Sub} = \sum_{i=1}^n A_i \times IES_i / A_{Sub} \quad (21)$$

Sendo:

IES_{Sub} = Índice de Esgotamento Sanitário por sub-bacia hidrográfica;

A_i = Área dos setores censitários dentro dos limites das sub-bacias;

IES_i = Indicador de Esgotamento Sanitário por setor censitário;

A_{Sub} = Área das sub-bacias.

De acordo com Silva et al. (2017), os valores de IES variem entre 0 e 1, sendo que os valores próximos a 1 representam a melhor condição de esgotamento sanitário, enquanto os valores próximos a 0 representam as piores condições de esgotamento, de acordo com a Tabela 11.

Tabela 11 - Pontuação do IES de acordo com a porcentagem de área nas sub-bacias

Esgotamento Sanitário em %	Pontuação
$ESC \leq 60$	0
$60 < ES \leq 70$	0,2
$70 < ES \leq 80$	0,4
$80 < ES \leq 90$	0,6
$90 < ES \leq 95$	0,8
$ES \geq 95$	1

Fonte: Silva et al. (2017)

3.5.1.3 Índice de Abastecimento de Água (IAA)

A variável Abastecimento de Água ou Índice de Abastecimento de Água (IAA), diz respeito à taxa da população que não é atendida pelo sistema de água tratada.

Novamente a partir do censo demográfico de 2010, foram extraídas as informações básicas dos domicílios. A variável utilizada foi o número total de domicílios particulares permanentes que extraem água de poços, nascentes, ou outras formas de captação que não sejam ligadas a rede geral de distribuição de águas ou que utilizem águas de chuva ou cisternas (IBGE, 2012).

Os valores de IAA foram calculados inicialmente para cada setor censitário, através da Equação 22.

$$IAA_i = \frac{N_{Domicílios_{específico}}}{N_{Domicílio_{total}}} \quad (22)$$

Sendo:

IAA_i = Índice de Abastecimento de Água por setor censitário;

$N_{domicílios_{específico}}$ = Soma do número de domicílios que extraem água que não seja da rede geral de distribuição de água;

$N_{Domicílios_{total}}$ = Total de domicílios particulares presentes em cada setor censitário.

O IAA também foi calculado para cada sub-bacia através da ponderação dos valores referentes aos setores censitários pela área das sub-bacias, conforme Equação 23.

$$IAA_{Sub} = \sum_{i=1}^n A_i \times IAA_i / A_{Sub} \quad (23)$$

Onde;

IAA_{Sub} = Valore do IAA por sub-bacias;

A_i = Área dos setores censitários dentro dos limites das sub-bacias;

IAA_i = Indicador de Abastecimento de Água por setor censitário;

A_{Sub} = Área das sub-bacias.

O valor de IAA varia de 0 a 1, sendo que os valores iguais ou próximos a 1 representam a melhor condição de abastecimento de água, enquanto que, os valores iguais ou próximo a 0 representam a pior condição do abastecimento de água, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Pontuação do IAA de acordo com a porcentagem de áreas nas sub-bacias

Esgotamento Sanitário em %	Pontuação
$IAA \leq 60$	0
$60 < IAA \leq 70$	0,2
$70 < IAA \leq 80$	0,4
$80 < IAA \leq 90$	0,6
$90 < IAA \leq 95$	0,8
$IAA \geq 95$	1

Fonte: Silva et al. (2017)

3.5.1.1 Índice de Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos

O valor final para o Índice de Potencial Degradação dos Recursos Hídricos (IPDRH) foi obtido através de uma média aritmética das variáveis, segundo Equação (24) para cada Sub-bacia hidrográfica da área de estudo.

$$IPDRH = \frac{IIMC + IES + IAA}{3} \quad (24)$$

Sendo:

IPDRH = Índice de Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos;

IIMC = Indicador de Integridade da Mata Ciliar;

IES = Indicador de Esgotamento Sanitário;

IAA = Indicador de Abastecimento de Água.

3.5.2 Potencial de perda de solo das áreas de agricultura inseridas em APP

A vegetação ripária é de grande importância como habitat e fontes de alimento para a fauna aquática e terrestre sendo, portanto, fundamentais na manutenção da biodiversidade. Oferecem funções de corredores naturais, proporcionam conexões de remanescentes da vegetação nativa, proporcionando o trânsito de animais e a troca genética, sem os quais não se garante a renovação natural da fauna e da flora (SALVADOR, 1987; TEODORO et al., 2007).

Ambientes ripários desempenham importante ação na filtragem de poluentes, pesticidas agrícolas e sedimentos, provindos das áreas circundantes através do escoamento superficial, impedindo-os de chegar até os cursos d'água. Os sedimentos podem ter diferentes origens, sendo apenas solo o fator que causaria erosão e assoreamento do rio ao longo do tempo, como também, agroquímicos e demais formas de resíduos, promovendo a contaminação da água e consequentemente, da fauna aquática e terrestre (BARBOSA 2001; MARTINS, 2001).

Desta forma foi possível avaliar quantitativamente a perda de solo das áreas de preservação permanente desprotegidas de vegetação caracterizadas como uso agrícola e avaliar o potencial de ameaça das perdas de solo para a BHRU.

3.5.2.1 Agricultura em APP

Para efetuar a estimativa de perda de solo em áreas de agricultura inseridas em áreas de preservação permanente, desprotegidas de vegetação, foi necessário utilizar Mapa do uso do solo e cobertura vegetal de 2016, realizado no item 3.3.1 *Dinâmica de ocupação do território* para o ano de 2016.

Após o mapeamento do uso da terra, foi realizado a classificação das áreas inseridas em Áreas de Preservação Permanente. Para isso, conforme Lei Federal 12.651 de 2012, foi realizado *buffer* para as APP's da BHRU, utilizando 30 metros para cursos d'água inferiores a 10 metros, 50 metros para cursos d'água que tenham entre 10 e 50 metros, 50 metros para os lagos inferiores a 20 hectares e 50 metros para nascentes (BRASIL, 2012).

Após identificação das categorias de uso do solo em APP, as áreas com uso exclusivo para atividades agrícolas foram isoladas. Em seguida, após a extração dos polígonos de agricultura inseridos em APP, foi obtido o centróide de cada polígono, para determinar o exutório de cada bacia de captação.

3.5.2.2 Rede de Drenagem e perda de solo por sub-bacias de captação

A partir do MDE elaborado no item 3.4.1.2. foi realizada a extração da rede de drenagem da BHRU. Para isso foi utilizado o pacote de ferramentas do *Hidrology* do *software* TerraViewHidro que permite obter a direção de fluxo e acumulação de sedimentos na bacia hidrográfica, obtendo como resultado a rede de drenagem da BHRU.

Para a obtenção das bacias de captação da perda do solo das áreas de APP's desprotegidas foi necessário utilizar o centróide dos polígonos da classe de agricultura e associá-los a rede de drenagem geradas através do MDE. Desta forma, foi possível determinar os centróides associados a rede de drenagem como exutórios da bacia de drenagem, gerando por sua vez, de acordo com o MDE, as áreas de captação da perda de solo, com descarga direta para os cursos d'água, ou seja, fluxos sem cobertura vegetal.

Após a geração das bacias de drenagem foi realizado a extração ou “recorte” de cada bacia de captação do Mapa de Perda de Solo da BHRU (SILVA, 2016). De acordo com o autor, para a construção do mapa de perdas de solos foi utilizado a metodologia da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (*Revised Universal Soil Loss Equation* - RUSLE). A RUSLE utiliza a perda de solo por unidade de área no tempo ($t.ha^{-1}$); os fatores: erosividade da chuva ($MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}$); erodibilidade do solo ($t.ha.h/ha.MJ.mm$); o fator topográfico (adimensional); uso e manejo do solo (adimensional) e o fator de prática conservacionista do solo (adimensional) (SILVA, 2016).

Para realizar a extração de múltiplos *layers* automaticamente foi realizada a ferramenta *Model builder* do *software* ArcGis 10.6. Essa ferramenta permite criar uma rotina de programação e automatização das ferramentas convencionais do *Arctoolbox*.

Foram extraídas 482 bacias de captação de modo automatizado, realizando interações de funções juntamente com as ferramentas *Extract by mask* e *Get cell Value*. Essa sequência de programação possibilitou obter o valor médio dos *pixels* para cada imagem *Raster* extraída do Mapa de Perda de Solo (RUSLE). Esse valor médio representa a média de perda de solos para cada bacia de captação em toneladas, por hectare por ano nas áreas de preservação permanente desprotegidas da BHRU.

Por fim, as bacias de perda de solo foram classificadas de acordo com FAO, ou seja, as classes da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization*, 1980), como de baixa susceptibilidade à erosão, ou seja, apresenta nenhuma ou ligeira perda de solo, para valor menor que 1 t/ha.ano, classificado pela FAO como

muito baixa, de 1 a 10 t/ha.ano são classificadas como de baixa susceptibilidade à erosão, de 10 a 50 t/ha.ano, são classificadas como suscetibilidade média à erosão e acima de 50 t/ha.ano se enquadram na classe de alto grau de susceptibilidade à erosão (FAO, 1980).

3.6 Indicadores de Resposta

Os indicadores de Resposta são as consequências dos Impactos causados na BHRU. Para avaliar o Resposta da BHRU, foram considerados os resultados obtidos a partir das variáveis de Impacto. A Tabela 14 mostra os indicadores adotados para obter a Resposta.

Tabela 13 - Tabela de Indicadores de Resposta da BHRU

Variáveis	Indicadores	Parâmetros
Projeção futura da expansão antrópica	Mapeamento de uso do solo	Mapeamento uso do solo dos anos 1991 e 2016
	Modelagem matemática	<i>Land Change Modeler</i> (LCM)
Alteração do Fluxo de Carbono da BHRU nas últimas décadas	Obtenção dos índices espectrais	NDVI 1991/ 2001/2010/2016
		PRI 1991/ 2001/2010/2016
		SPRI 1991/ 2001/2010/2016
	Índice de Fluxo de dióxido de Carbono	CO2 Flux: 1991/2001/2010/2016

Fonte: Autoria própria

3.6.1 Projeção futura da expansão antrópica

As mudanças de uso da terra são consideradas mudanças exógenas, através de fatores inerentes a urbanização, economia e tecnologia, influenciando diretamente na gestão dos recursos naturais e nos processos ecossistêmicos. No sistema ecológico, os maiores impactos ocorrem em áreas florestais (LAMBIN; MEYFROIDT, 2010).

Com o intuito de avaliar a resposta dos impactos causados em decorrência da expansão antrópica, foi realizado predição do cenário futuro da BHRU, referente às mudanças do uso da terra, por meio de modelagem matemática. O modelo de predição permite avaliar os processos

de expansão e interferência antrópica, possibilitando aos gestores e tomadores de decisão prevenir impactos ambientais decorrentes das mudanças no uso da terra.

3.6.1.1 *Modelo de Predição*

Foi utilizado a ferramenta de modelagem *Land Change Modeler* (LCM) do *software* Idrisi TerrSet para fazer a projeção do uso da terra da BHRU para o ano de 2046, simulando o processo de mudanças do uso da terra para 30 anos. Foi utilizado como base para a projeção os Mapas de Uso do Solo e Cobertura Vegetal dos anos de 1991 e 2016.

Foi estruturado em um modelo dinâmico estocástico e espacial baseado no cenário futuro da paisagem em médio prazo (2026), com ênfase na fragmentação da vegetação de mata atlântica.

A ferramenta analisa a mudança no uso da terra entre duas datas distintas. Identificando a transição de um estado de cobertura de uma classe para outra, indicando as perdas e ganhos para todas as classes de uso da terra (CLARK LABS, 2012).

Para a construção dos cenários futuros de uso da terra foram calculadas as transições que existem entre os Mapas de Uso do Solo e Cobertura Vegetal de 1991 e 2016, com ênfase nas potenciais mudanças de florestas para as demais categorias de uso, através de um sub-modelo que concebeu as forças motrizes de transições subsequentes da mudança.

As transições de uso foram calculadas utilizando a técnica *Multi-Layer Perceptron Classifier* (MLP) com o auxílio do *software* Idrisi Selva. A MLP avalia a classificação do uso da terra através de um classificador de rede neural de Perceptron, usando o algoritmo de propagação de retorno (BP) e uma análise de regressão não-paramétrica entre variáveis de entrada e uma variável dependente com a saída contendo um neurônio que representa as associações previstas (CLARK LABS, 2012).

Para os cálculos das mudanças e projeções futuras foi utilizada a previsão da Cadeia de Markov. A Cadeia de Markov calcula a quantidade de mudança baseando-se nos mapas de uso da terra anterior e posterior, juntamente com a data especificada para o cenário futuro. O procedimento identifica a quantidade de terra capaz de transitar da data posterior para a data de previsão, com base em uma projeção dos potenciais de transição para o futuro (CLARK LABS, 2012).

3.6.2 Alteração do Fluxo de Carbono da BHRU nas últimas décadas através de índices espectrais

O dióxido de carbono (CO_2) é um gás regulador do efeito estufa, proveniente de fontes naturais e das atividades antrópicas. Diversos estudos têm demonstrado que a intensificação do efeito estufa tem apresentado como principal consequência o aumento da temperatura, contribuindo para a ocorrência de eventos climáticos extremos. Dentre esses acontecimentos destacam-se, o aumento do nível do mar, enchentes, seca, ciclones, tempestades, extinção de espécies da fauna e flora. Além dos problemas ambientais a nível social e econômico (BAUMERT et al., 2005; HOSHINO et al., 2016).

Por isso, vale ressaltar que a avaliação das estimativas de emissões de CO_2 resultante da alteração de uso da terra é de grande relevância para as pesquisas que contribuem com políticas de redução dos GEE's (IPCC, 2003).

Diversos estudos demonstram a importância da utilização do SIG na obtenção de índices de vegetação para a determinação do fluxo de CO_2 utilizando a estimação da biomassa e estoque de carbono (COLTRI et al., 2013; FOLHARINI; OLIVEIRA, 2017).

Desta forma foi possível avaliar a influência da expansão antrópica no fluxo do dióxido de carbono na BHRU utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto ao longo das últimas três décadas.

3.6.2.1 Obtenção dos índices espectrais:

De acordo com Silva et al. (2018) para obter a taxa de fluxo de dióxido de carbono é necessário realizar o cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI).

Esses índices são obtidos através de composição de bandas multiespectrais e da interação dos sensores dos satélites com os objetos alvo na terra.

Para a análise do potencial do fluxo do dióxido de carbono foi necessário adquirir imagens de satélite Landsat, na órbita 219/76, nos comprimentos de onda do visível, azul, verde e vermelho e infravermelho próximo, para os anos de 1991, 2001, 2010 e 2016. As imagens para os anos de 1991, 2001 e 2010 utilizaram imagens do satélite Landsat 5, para o ano de 2016, utilizou-se o satélite Landsat 8. Todas as imagens foram obtidas através do *website* do serviço geológico americano – USGS (*United States Geological Survey*) e todas foram selecionadas

para o mês de novembro (primavera), devido ausência de nuvens e intenso fluxo de dióxido de carbono e aumento da biomassa das plantas.

3.6.2.1.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O *NDVI* é um índice que permite o monitoramento da vegetação, podendo ser utilizado para detectar variações na fenologia, crescimento, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência em escala regional, continental e global (FODDY et. al., 2003; LU et. al., 2005; PONZONI, 2007).

Para gerar o *NDVI* foi aplicada uma álgebra de mapas entre as bandas dos satélites para os anos de 1991, 2001, 2010 e 2016. Foi utilizado as bandas do infravermelho próximo e a banda do vermelho no comprimento do visível segundo a equação (25):

$$NDVI = \frac{(IP-V)}{(IP+V)} \quad (25)$$

Sendo:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

IP = Banda espectral do Infravermelho próximo;

V = Banda espectral do vermelho no comprimento do visível.

Os valores do *NDVI* variam entre -1 e 1, sendo quanto mais próximo de 1, maior a ação fotossintética da vegetação (FOLHARINI; OLIVEIRA, 2017; SILVA et al., 2017).

3.6.2.1.2 Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI)

O *PRI* tem como objetivo verificar as alterações nos pigmentos de carotenoides nas folhas. Esses pigmentos indicam a eficiência do uso da luz fotossintética ou na taxa de CO₂ armazenado pela planta (CANAVESI, V.; PONZONI, F. J.; VALERIANO, 2010).

Assim como para o *NDVI*, o *PRI* foi realizado para as mesmas datas, utilizando as bandas no comprimento de onda do azul visível e a banda referente ao comprimento de onda eletromagnético do verde visível.

O *PRI* é utilizado em estudos de estresse e produtividade da vegetação, seus valores, assim como o *NDVI* variam de -1 a 1, conforme equação 26 (GAMON; SERRANO; SURFUS, 1997).

$$PRI = \frac{(A-Vd)}{(A+Vd)} \quad (26)$$

Sendo:

PRI = Índice de Reflectância Fotoquímica;

A = Banda espectral do azul no comprimento do visível;

Vd = Banda espectral do verde no comprimento do visível

Após obter o resultado do *PRI* foi necessário reescalonar os valores para positivos, gerando o Índice *sPRI*. O reescalonamento é necessário para normalizar os dados referentes ao vigor vegetativo (quão verde está a vegetação), os resultados variam de 0 a 1 (SILVA; BAPTISTA, 2015; SILVA, et al., 2018). Esse índice é calculado pela equação 27.

$$sPRI = \frac{(PRI+1)}{2} \quad (27)$$

3.6.2.2 Índice de Fluxo de dióxido de Carbono (*CO₂ Flux*)

De acordo com Silva et al. (2018), para obter o *CO₂ Flux*, que determina o potencial de sequestro de dióxido de carbono pela vegetação fotossinteticamente ativa, é necessário realizar uma álgebra de mapas. O resultado do mapeamento do *CO₂ Flux* é o produto da multiplicação do *NDVI* pelo *sPRI*, conforme equação 28 (RAHMAN et al., 2000).

$$CO_2 \text{ Flux} = sPRI \times NDVI \quad (28)$$

Após a obtenção dos valores de *CO₂ Flux* para os anos de 1991, 2001, 2010 e 2016, os resultados foram comparados com os mapeamentos do uso e ocupação da terra, dos respectivos anos, conforme mapeamento realizado no item 3.6.4.1 *Análise espaço-temporal do uso da terra*.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Indicadores de Força Motriz

No quadro conceitual FPEIR, Força Motriz são os desenvolvimentos sociais, demográficos e econômicos nas sociedades e as correspondentes mudanças nos estilos de vida, níveis globais de consumo e padrões de produção. Força Motriz são muitas vezes definidos como setores socioeconômicos que atendem às necessidades humanas de comida, água, segurança, moradia e saúde (PNUD, 2013).

4.1.1 Dinâmica demográfica e social

4.1.1.1 Crescimento Populacional

A taxa geométrica do crescimento populacional representa o crescimento médio da população residente na BHRU. Os resultados obtidos indicam a intensidade do crescimento anual da população residente entre os anos de 2000 a 2007 e entre 2007 a 2010.

Conforme Tabela 14, foi possível observar um crescimento progressivo da população no período estudado. Com uma população inicial de 14.775 habitantes, no ano 2000, e 2007 com 15.933 habitantes, a taxa de crescimento geométrico foi de 0,95%. Para o período de 2007 e 2010, com população final de 18.150 habitantes, apresentou uma taxa de crescimento geométrico anual de 3,31%.

Tabela 14 – Taxa de crescimento geométrico comparada entre os anos 2000/2007 e 2007/2010

População BHRU			Taxa de crescimento geométrico anual %	
2000	2007	2010	2000/2007	2007/2010
14775	15933	18150	0.95	3.31

O conhecimento do ritmo do crescimento populacional é de fundamental importância para a projeção da demanda e disponibilização de políticas públicas nas diversas áreas administrativas de um município ou região de interesse, principalmente da disponibilidade de

recursos hídricos, saneamento, visando mitigar e prevenir impactos diretos e indiretos nos recursos hídricos (SÃO PAULO, 2011; RIOS-NETO et al., 2015).

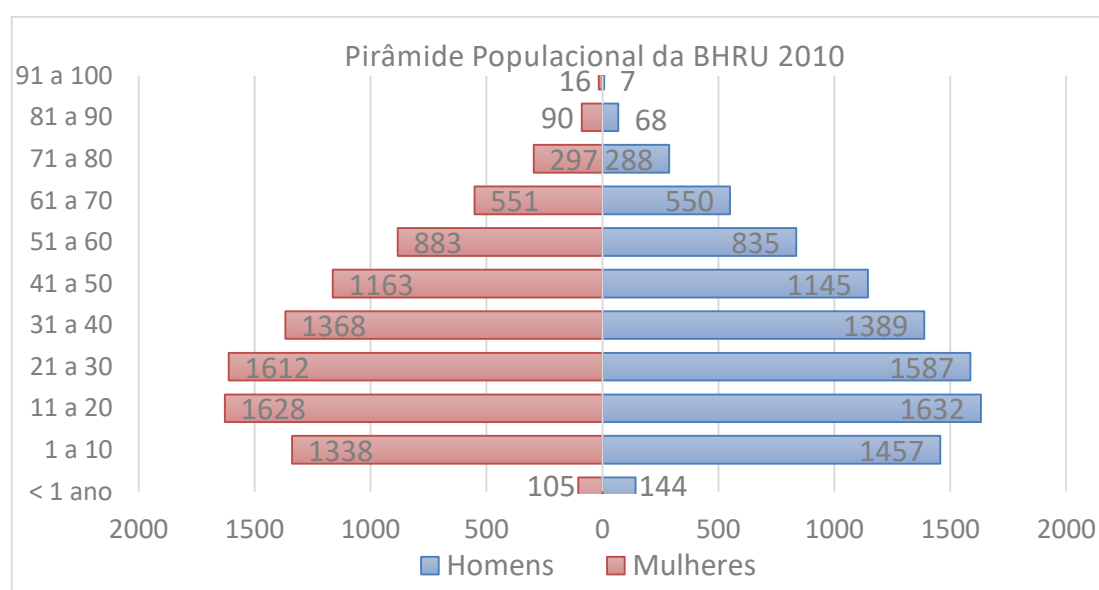
De acordo com o Portal de Estatística do Estado de São Paulo da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, disponível *online*, o município de Ibiúna também acompanha proporcionalmente a taxa de crescimento geométrico da BHRU, apresentando similaridade entre os anos avaliados na BHRU. Além da comparação realizada entre o município, foi possível observar que o grande crescimento populacional de Ibiúna ocorreu entre os anos 1980 e 1991, com taxa de crescimento populacional de 4,02%, diminuindo ao longo dos anos, passando por 3,11% de 1991 a 2000, 1,03 entre 2000 e 2010, e 0,73% de 2010 a 2017 (SEADE, 2017).

4.1.2 População

De acordo com a base de dados do Censo 2010, a BHRU é composta por 43 setores censitários, contendo um total de 18.150 habitantes, sendo 56% ou 10.164 habitantes do sexo masculino e 44%, composto por 7.986 habitantes do sexo feminino.

De acordo com a Figura 3, é possível observar que a população da BHRU é predominantemente jovem, mostrando que a faixa etária dominante da pirâmide populacional está entre os 11 e 40 anos e representa 36% da população. Os resultados mostram também que a diferença entre gêneros é quase inexistente, com 0,3% da maioria populacional masculina.

Figura 3 – Pirâmide populacional da BHRU com base nos dados censitários do ano 2010.

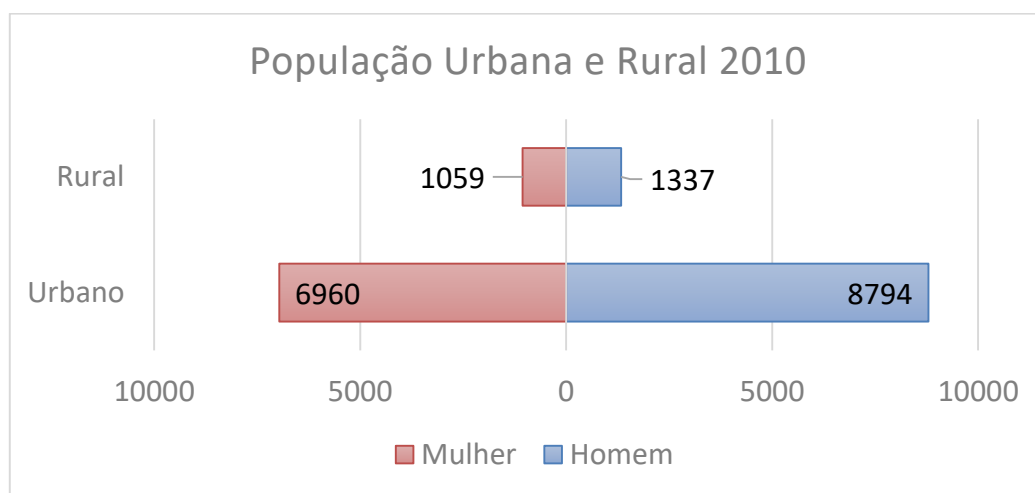


Referente ao zoneamento da BHRU, 22 dos seus setores censitários são classificados, de acordo com IBGE (2012), como áreas urbanas, e 21 classificados como áreas rurais.

O total da população urbana e rural foi diferenciada por setores censitários. Assim foi obtido que 56% da população da BHRU reside em Zona Urbana, ou seja, 15.759 habitantes e 2.396 habitantes, representados por 44% reside em Zona Rural.

Além do zoneamento, a Figura 4 mostra a composição da população por gênero. Foi observado que, a população residente na zona urbana é composta de 49% de mulheres e 51% homens e a situação da zona rural inverte-se, com 49 de homens e 51% de mulheres.

Figura 4 – População urbana e rural da BHRU



A dinâmica populacional da BHRU, considerando o gênero em seu levantamento, deveu-se à sua importância na avaliação socioeconômica da área de estudo. De acordo com o Conselho Social e Econômico das Nações Unidas (UN, 2000), a desigualdade entre os gêneros está associada diretamente à pobreza. Diversos estudos discutem a natureza de gênero da pobreza e isso é levado a uma escala global.

4.1.3 Demografia

População relativa ou densidade demográfica é representada pelo número de habitantes de uma região em relação à sua área em um determinado período (CLARK, 1951; SÃO PAULO, 2014). A demografia da BHRU é composta pela Densidade Demográfica e pela Taxa de urbanização de acordo com os dados do censo de 2010.

A área total da BHRU é de 96,423 km² e, de acordo com os dados obtidos, é possível observar que no ano de 2000 a população total foi de 14.781 pessoas, sendo 90,02% da

população estava inserida da zona urbana e consequentemente 9,98% na zona rural. Em 2010 a população total da bacia era de 18.158 habitantes, sendo que a população residente na zona urbana obteve um aumento de 1.639 habitantes e da zona rural 1.738 habitantes.

Entretanto, em 2010 a porcentagem da população residente da bacia teve uma queda efetiva de 3,22% da população da zona urbana, referente a população total. A área da zona urbana em 2010 é representada por 13,2% do total da área da bacia, ou seja, 9,776 km² com população de 10.075 habitantes e 86,8% de zona rural, composta por 8.083 habitantes.

Além da população e área das respectivas zonas, a Tabela 15 apresenta os dados da distribuição da densidade populacional em suas respectivas zonas dos anos 2000 e 2010.

Tabela 15 – Distribuição da Densidade populacional

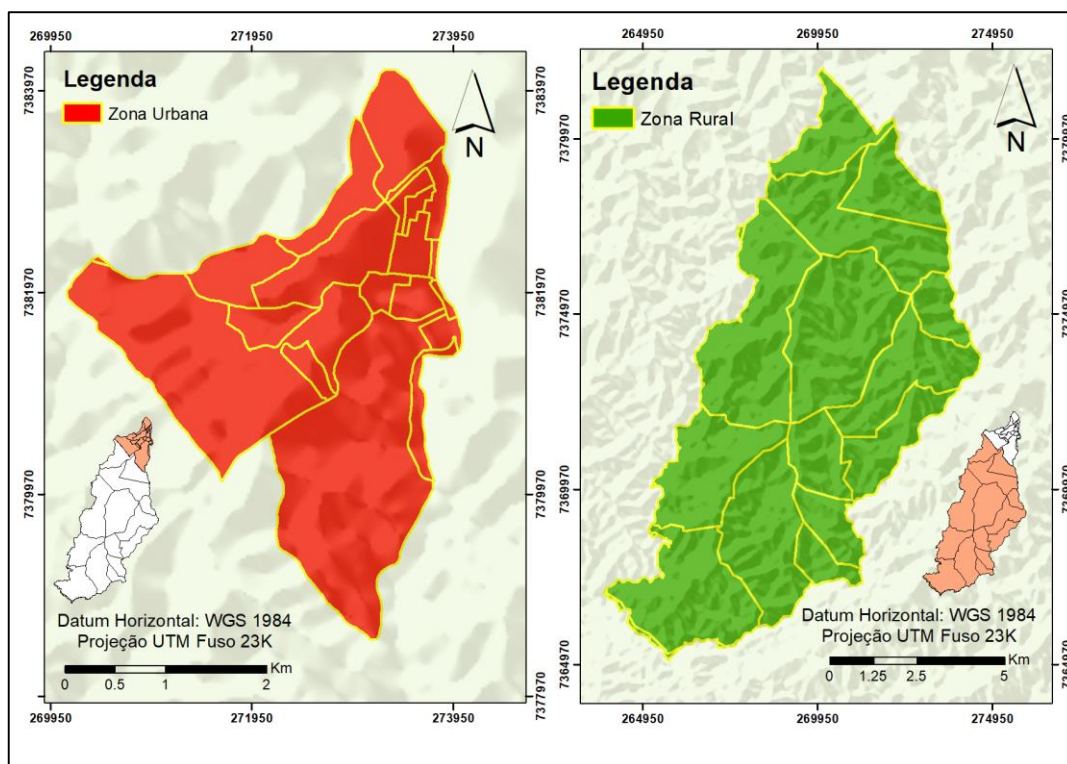
BHRU	Habitantes		Área km²		Densidade populacional habitantes/Km²	
	2000	2010	2000	2010	2000	2010
Zona Urbana	13.306	15.754	9.626	9.776	1.382	1.611
Zona Rural	1.475	2.386	86.797	86.647	17	28

Referente a densidade populacional é possível observa um aumento tanto na zona rural como na zona urbana entre os anos de 2000 e 2010.

É possível observar, que apesar de estar representada por apenas 9,98% da área urbana em 2000 e 13,2% em 2010, a concentração populacional da zona urbana para ambos os anos é aproximadamente 12 vezes maior que a concentração populacional da zona rural. Sento a taxa de urbanização da bacia de 55,5%, ou seja, mais da metade da população total da bacia está concentrada na zona urbana da BHRU.

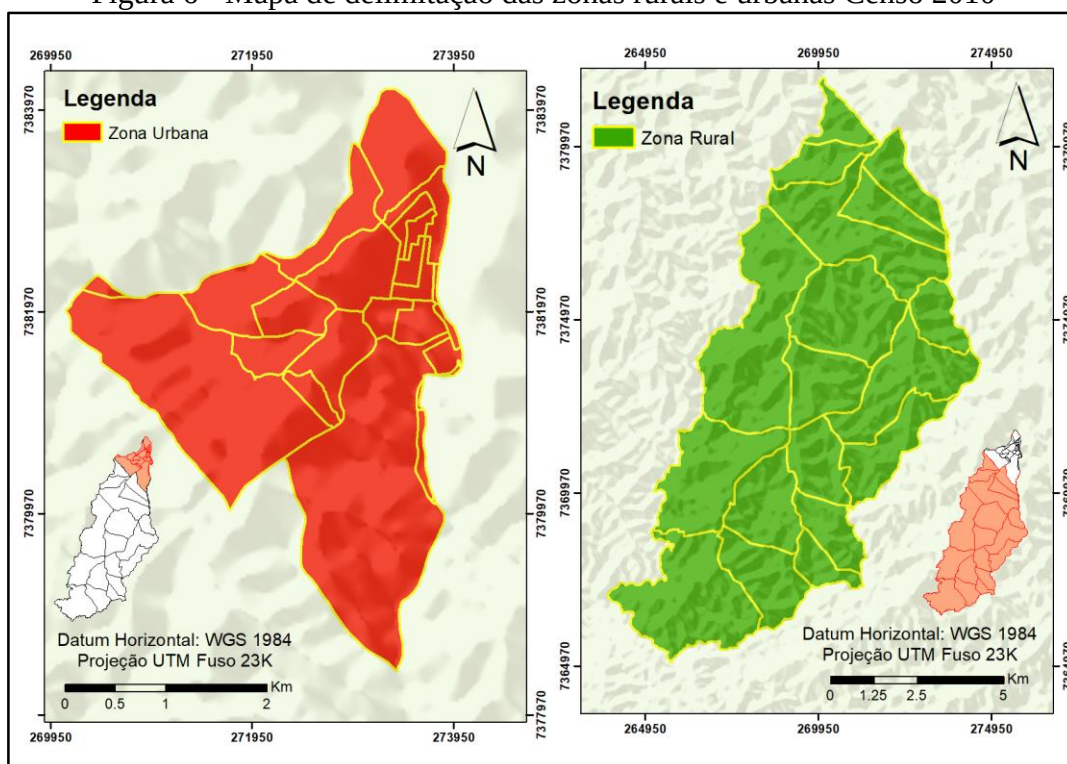
Em relação ao ano 2000 a área total da BHRU era composta por 35 setores censitários, sendo a área considerada pelo IBGE como zona urbana composta por 19 setores e a zona rural composta por 15 setores (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de delimitação das zonas rurais e urbanas Censo 2000



Em relação ao ano de 2010 o IBGE define como zona rural 21 setores e 22 urbanos, havendo um ganho de 0.15 km² em área de zona urbana. A Figura 6 mostra o mapa das zonas urbana e rural e seus respectivos setores censitários.

Figura 6 - Mapa de delimitação das zonas rurais e urbanas Censo 2010



De acordo com o processo histórico e cronológico da transformação da agricultura no Brasil, as mudanças nos processos de produção agrícola tiveram início nos anos 60, acentuando-se na década de 70 até os anos 90. A tecnologia associada à concentração fundiária, promoveu a distribuição da população antes predominantemente rural para as zonas urbanas (MUELLER; MARTINE, 1997; ENDLICH, 1999). Esse processo explica a concentração populacional de 90% na zona urbana da BHRU.

4.1.4 Desenvolvimento Humano

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) foi criado para medir o desenvolvimento humano em países, avaliando as condições de renda, educação e longevidade. Com base em sua importância e aceitação na sociedade como indicador da qualidade de vida, ele foi trazido para a realidade municipal (LIMA, 2006).

De acordo com Atlas do Desenvolvimento Humano do Brasil (PNUD, 2013), baseado nas informações do último censo demográfico de 2010 (IBGE, 2012) o Brasil, o estado de São Paulo, assim como o município de Ibiúna, passaram por um crescente desenvolvimento do IDH. Entretanto o município de Ibiúna deu um salto grande desde o ano 1991, quando foi classificado com um IDH Muito Baixo e Baixo em 2000 e Alto em 2010. A Tabela 16 mostra o IDH comparado do índice e subíndices a nível nacional, estadual e municipal e da Bacia Hidrográfica do Rio Una (BHRU) no ano de 2010.

Tabela 16 - Comparativo dos subíndices de IDH Renda, Longevidade, Educação e do indicador IDH.

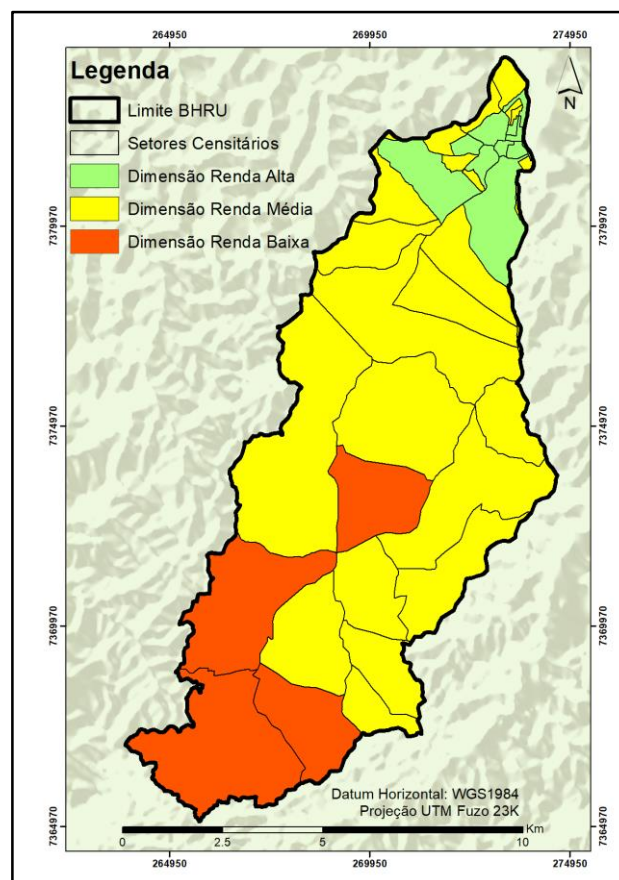
Ano 2010				
Local	IDH Renda	IDH Longevidade	IDH Educação	IDH
Brasil	0,739	0,816	0,637	0,727
São Paulo	0,789	0,845	0,719	0,783
Ibiúna (SP)	0,700	0,832	0,614	0,710
BHRU	0,665	0,810	0,810	0,760

4.1.4.1 Dimensão Renda

De acordo com Abreu et al (2011), a medida do aspecto econômico do IDH calculado a nível municipal é feita a partir da renda *per capita*, utilizando os dados por setores censitários. A Bacia Hidrográfica do Rio Una tem uma população de 19.000 habitantes, com área territorial de aproximadamente 100 km². Os resultados apresentados por setores censitários da bacia hidrográfica estão representados por mapas coropléticos.

O valor do subíndice Renda foi igual a 0,665, classificado como Médio de acordo com a faixa de valores definidos pelo PNUD (2013). A renda *per capita* da bacia em 2010 foi de R\$540,44, no entanto alguns setores censitários possuem renda superior a este valor. É possível verificar no mapa da Figura 7 que a renda está concentrada na região norte da bacia, onde está localizado parte do centro urbano do município de Ibiúna. A porção central e região sul da bacia apresentam valores inferiores de renda *per capita*, consequentemente com resultados de D_{Renda} classificados, de acordo com as classes definidas pelo PNUD (2013), como Médio para parte central, Baixo para a porção sul e Alto para a região norte.

Figura 7 - Mapa temático do subíndice do IDH – Dimensão de Renda



De acordo com Lopes, et al (2016), a região central da BHRU é predominantemente composta por áreas de agricultura, com alto potencial de expansão urbana, comprovando a distribuição dos valores referentes a dimensão de Renda.

Devem ser mencionadas duas limitações da aplicação desta metodologia, assim como em Abreu et al. (2011), em um trabalho semelhante realizado no Município de Viçosa, Minas Gerais. A primeira limitação é que a única variável indicativa do rendimento mensal é aquela correspondente às pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes e particulares improvisados, o que não corresponde, portanto, à renda total do setor, uma vez que excluem os demais moradores. A segunda é que os dados do IBGE constam apenas a renda dos chefes de domicílios particulares e permanentes, ficando excluída aquela proveniente dos chefes de famílias residentes em outros tipos de domicílios. Entretanto, o número de pessoas residentes em outros tipos de domicílios é pequeno não implicando em grandes distorções no resultado do trabalho.

4.1.4.2 *Dimensão Longevidade*

O indicador de longevidade reflete as condições de salubridade e de saúde de uma região, medindo a expectativa de vida das pessoas ao nascerem, mantidas constantes as condições de mortalidade no local. A longevidade também pode ser interpretada como um indicador para outros aspectos do bem-estar, como nutrição adequada e boa saúde (BERGH; NILSSON, 2010; COSTANZA et al., 2009).

A dimensão longevidade é calculada a partir dos dados relativos à esperança de vida ao nascer, que, por sua vez, é baseada em taxas de mortalidade. Contudo, informações desse tipo são obtidas apenas no censo amostral, o que impede a utilização da mesma metodologia neste trabalho, visto que não há dados deste tipo por setores censitários. Para resolver este problema, assumiu-se que a dimensão longevidade da BHRU constitui a média do indicador em todos os setores (ABREU et al., 2011; PNUD, 2013).

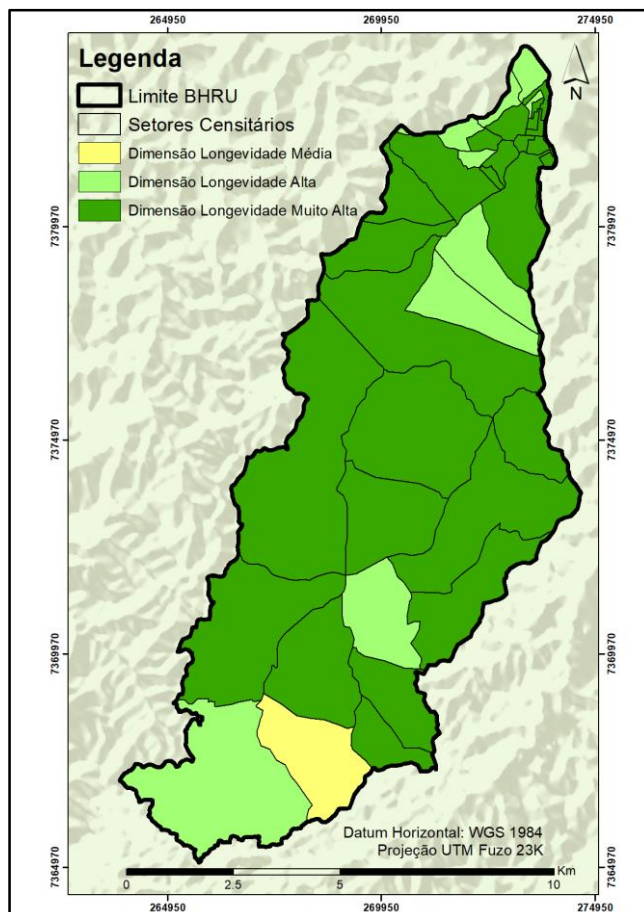
Dada essa premissa, com o valor da expectativa de vida da D_{Long} municipal de Ibiúna, igual a 0,832, (Tabela 5), foi obtido o valor da expectativa de vida da BHRU foi igual a 0,746, ou seja, a esperança de vida ao nascer da população residente na BHRU é de 75 anos de idade.

Analisando a distribuição acumulada de pessoas por idade no município a partir da soma acumulada do número de pessoas em cada idade, verificou-se que 96,4% da população total da bacia está dentro da faixa etária de 0 e 75 anos. Com a condição admitida anteriormente de que

a longevidade municipal constitui a média setorial, cada setor possui 96,4% de sua população abaixo da idade referente à sua expectativa de vida.

Assim, foi obtido o resultado do valor do subíndice de Longevidade em cada setor censitário, além do valor do D_{Long} da BHRU, que foi igual a 0,810, classificado como Muito Alto. Entretanto a bacia apresentou variações entre setores censitários classificados entre Médio e Muito Alto, sendo atribuídos os menores valores a dois setores ao norte da bacia, além de um terceiro setor com valor menor que 0,700, ou seja, classificado como D_{Long} Médio. A porção central da bacia é classificada com D_{Long} Alto e um setor censitário ao norte, localizado próximo ao centro urbano e outro na região sudeste da bacia foram classificados como Muito Alto, com valor a 0,91 e 0,93, respectivamente, como é possível observa na Figura 8.

Figura 8 - Mapa temático do subíndice IDH Longevidade



4.1.4.3 Dimensão Educação

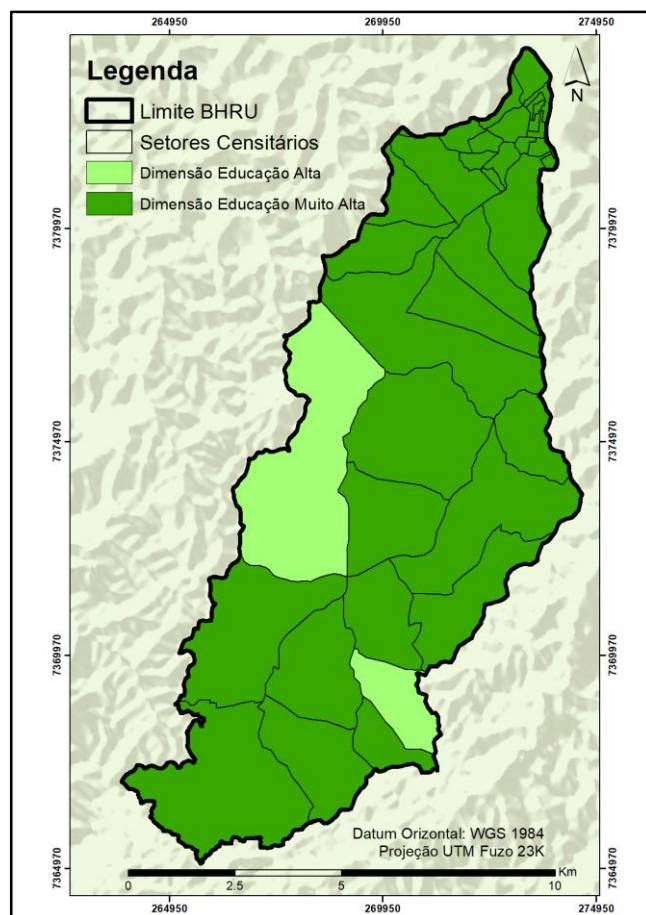
A Dimensão Educação (D_{Educ}) é uma composição de indicadores de escolaridade da população adulta e de fluxo escolar da população jovem. A Dimensão Educação da BHRU é classificada como Muito Alto, com valor igual a 0,810.

De acordo com os resultados encontrados, 68,18% da população adulta (18 anos ou mais) da BHRU, no ano de 2010, possui ensino fundamental completo, ou seja, o índice de escolaridade da população adulta da bacia é igual a 0,681. Referente aos indicadores do fluxo escolar da população jovem em 2010, 60,42% das crianças entre 5 e 6 anos estavam matriculadas na escola, 97% das crianças de 11 a 13 anos estavam cursando os anos finais do ensino fundamental, 97,93% das crianças de 15 a 17 anos possuem ensino fundamental completo e 97,72% dos jovens de 18 a 20 anos possuem o ensino médio completo, desta forma, o índice de fluxo escolar da população jovem encontrado foi de 0,882.

De acordo com PNUD (2013) a Dimensão Educação é a média geométrica do índice de escolaridade da população adulta e o fluxo escolar da população jovem, com peso 1 para o índice de escolaridade e peso 2 para o índice de fluxo. Portanto o IDH Educação da BHRU é igual a 0,810, como pode ser visto na tabela 2 (página 28).

A distribuição do D_{Educ} entre os setores censitários pode ser observada no mapa da Figura 9, onde apenas dois dos setores censitários são classificados como Alto. Os demais são classificados com D_{Educ} Muito Alto, sendo os setores com maiores valores aqueles que estão localizados mais próximos a zona urbana do município de Ibiúna.

Figura 9 - Mapa temático do subíndice IDH Educação



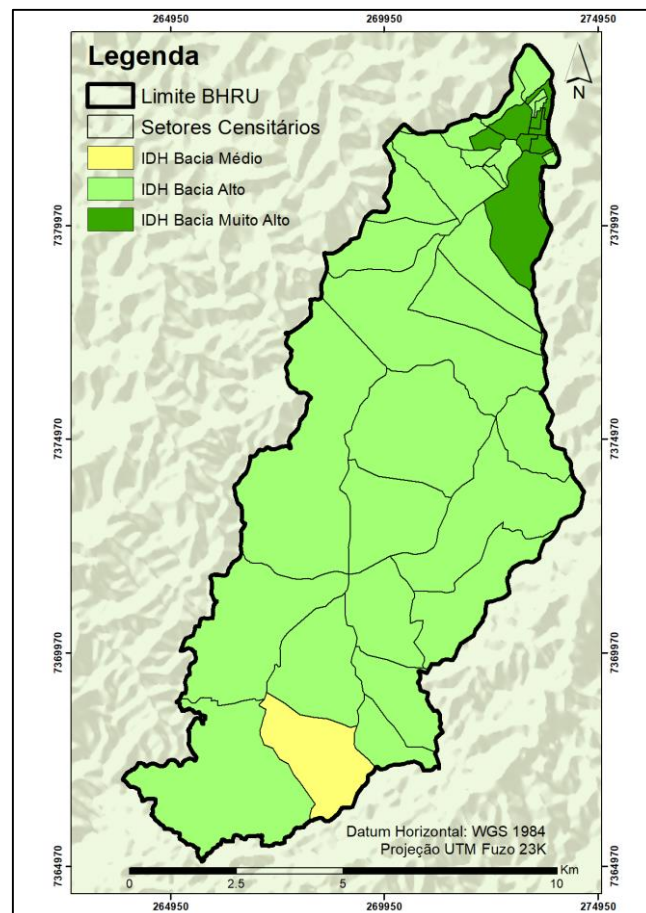
4.1.4.4 IDH Bacia Hidrográfica do Rio Una

O resultado do IDH BHRU representa a capacidade da população residente dos setores censitários terem uma vida longa e saudável, com acesso ao conhecimento e com determinado padrão de vida financeiro.

Desta forma é possível observar no mapa da Figura 5 a distribuição espacial dos setores censitários classificados de acordo com as figuras de linguagem adotado pelo PNUD (2013). É possível observar que apenas um setor, localizado na região sul da bacia é classificado como IDH Médio, sendo 31 setores, em sua maioria localizada na porção média da bacia, classificados como IDH Alto, e por fim, 11 setores localizados na região norte, próxima a zona urbana são classificados como IDH Muito Alto.

A Figura 10 mostra a distribuição espacial das classes de IDH dos setores censitários, mostrando a concentração dos maiores valores IDH na região nordestes da bacia e valores intermediários e menores, se distribuindo entre a região central e sul.

Figura 10 - Mapa temático do Índice de Desenvolvimento Humano da Bacia Hidrográfica do Rio Una.

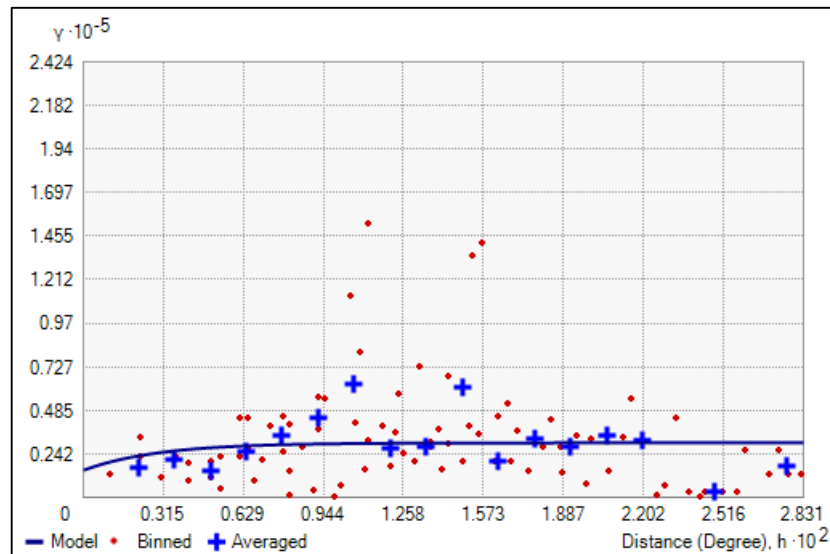


4.1.1 Dinâmica Econômica e social

4.1.1.1 Distribuição do Rendimento

De acordo com os resultados obtidos por meio da interpolação, pode ser observada uma anisotropia na distribuição espacial de renda. Isso ocorre, pois, existem regiões mais desenvolvidas do que outras, caracterizadas por diferenças na presença de infraestrutura e concentração de serviços urbanos, havendo variação de maneira diferente em direções distintas. Após vários testes, verificou-se que o melhor tipo de semivariograma experimental para cada indicador foi o exponencial (Figura 11).

Figura 11 - Gráfico de semivariograma exponencial.



O semivariograma mostra a autocorrelação espacial entre os pontos de amostragem. De acordo com o princípio de Tobler, o qual diz que as coisas que estão mais próximas são mais parecidas do que as coisas mais distantes (TAVARES, 2009; ABREU et al., 2011).

De acordo com a Tabela 17, os resultados do erro de predição Médio representam uma previsão imparcial, pois é próximo de zero. No entanto, de acordo com os valores da Média Padronizada são inferiores ao RMS Padronizado, subestimando a variabilidade das previsões.

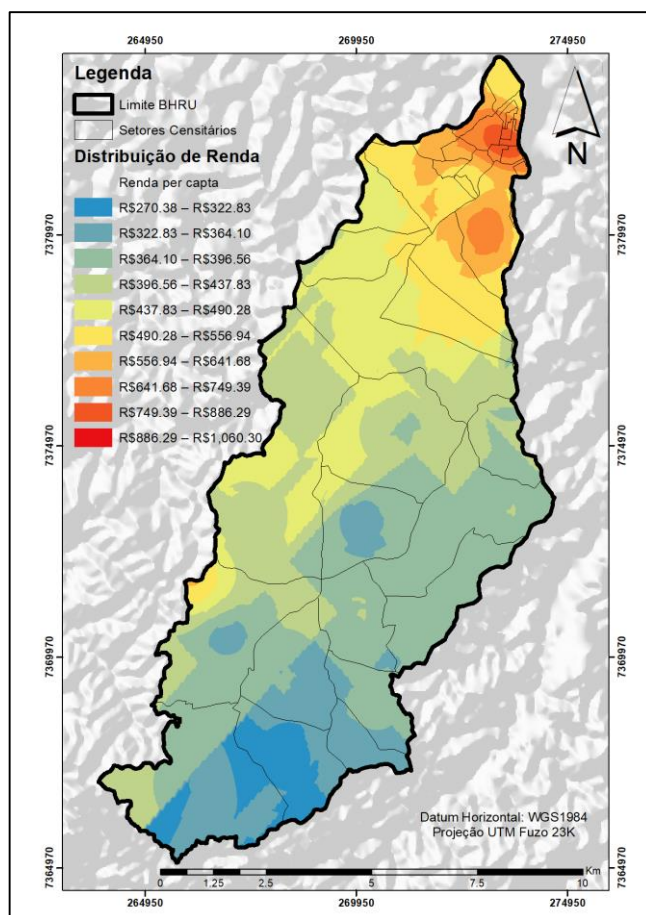
Tabela 17 – Parâmetros de avaliação

Parâmetros dos erros de estimação	Renda
Função de Regressão	$0.634 \cdot x + 196.210$
Média	1.0412
RMS	140.2539
Média Padronizada	0.0096
RMS Padronizado	0.7870

A Figura 12 mostra o mapa de predição da distribuição de renda na bacia hidrográfica. De acordo com os dados avaliados a renda mensal *per capita* por setores censitários, foi observado que há uma variação grande entre as rendas, sendo a renda mínima de R\$270,38 e renda máxima de R\$1.060,30.

É possível observar que a concentração de maior renda está localizada na região noroeste da bacia, onde estão localizados os setores censitários próximos a zona urbana. A região central da bacia tem uma variação de renda entre R\$364,10 a R\$558,94, sendo a região sul da bacia composta pela menor renda, variando entre R\$270,38 a R\$364,10.

Figura 12 – Distribuição da renda *per capita* da BHRU



4.1.1.2 Distribuição do Ensino em Função da Renda

4.1.1.2.1 Renda per capita

Com base nos resultados obtidos, a BHRU possui área de 9.646,37 hectares, com uma população de 19 mil habitantes, sendo que 8.684 desse total concentra-se nos setores censitários com maior renda, representando 45,7% da população da bacia. A referida população ocupa um território de aproximadamente 1.274,27 hectares, equivalente a cerca de 13% da área total da

BHRU. Essa população tem uma variação média na distribuição de renda entre R\$641,68 e R\$ 749,39 e estão localizados na zona urbana do município.

Os resultados obtidos da distribuição da renda demonstram que os setores censitários mais próximos ao centro urbano do município de Ibiúna possuem os maiores valores de renda per capita. A medida que se distancia do centro urbano, localizado à nordeste da bacia hidrográfica, menor são os valores de renda.

De acordo com, Lopes et al. (2016), Silva et al. (2017) e Sales et al. (2018) uma justificativa para esse resultado é que a bacia hidrográfica do rio Una tem grande vocação agrícola. A bacia total possui cerca de 36% de sua área total ocupada por uso agrícola, concentrados na região média ao longo do eixo principal do rio Una.

De acordo com os resultados obtidos a partir da interpolação, a menor distribuição da renda foi localizada na região sudeste da bacia hidrográfica.

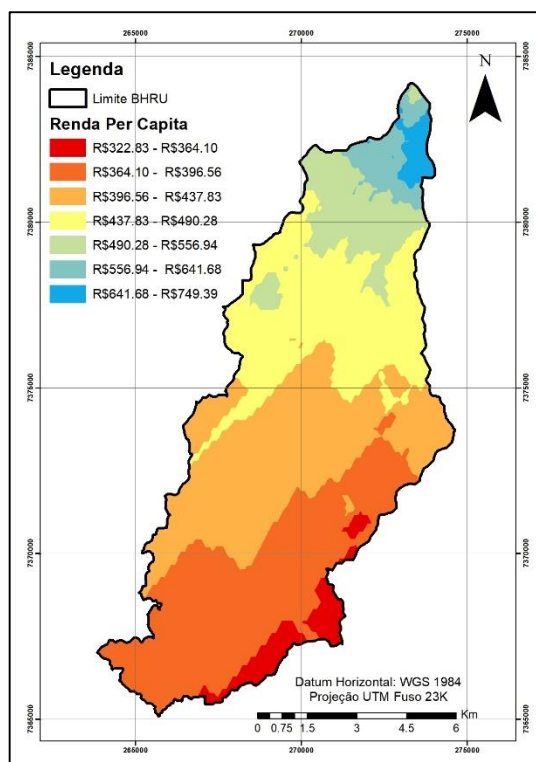
Ainda com base nos estudos realizados por Lopes et al. (2016) e Sales et al. (2018) os baixos valores da renda são atribuídos a baixa densidade populacional e a localização geográfica. Trata-se de uma área com declividade elevada, imprópria para a produção agrícola e para a habitação, com predomínio de áreas com cobertura florestal.

A distribuição entre os setores com menor renda varia de R\$322,83 a R\$364,10 e estão localizados na região sul e sudeste da bacia a 16 quilômetros de distância do centro urbano. Ocupam área aproximada de 3.563,79 hectares, representando cerca de 37% do território da BHRU, com população de 2.100 pessoas aproximadamente.

Assim o presente trabalho apresenta conformidade com os resultados obtidos por Sales et al. (2018) os quais obtiveram que a renda per capita total da BHRU é de R\$549,44. Assim como a variável renda, que compõe o IDH está classificado como médio, conforme as classes estabelecidas pelo Atlas de desenvolvimento Humano do Brasil, com valor de 0,665.

A Figura 13 apresenta o mapa da distribuição da renda ao longo da bacia hidrográfica e suas respectivas faixas de renda.

Figura 13 Mapa de distribuição de renda *Per Capita* da Bacia Hidrográfica do Rio Una



Com base no mapa da distribuição da renda e na Tabela 18, pode-se observar que 28,50% da área da bacia, que equivalem a 2.789,8 hectares, tem renda entre R\$3.646,10 e R\$396,56. Assim como 28,93% (2.748,6 hectares) tem renda entre R\$396,56 e R\$3.96,56 e 4,07% apresentam renda entre R\$322,83 e R\$364,10, ocupando área de 392,47 hectares. Ou seja, 61,50% da área da BHRU é ocupada por população com renda inferior a meio salário mínimo.

Há uma faixa intermediária de 23,68% da área da bacia, ocupada por 2.283,3 hectares, apresentam renda aproximada a meio salário mínimo variando entre R\$437,83 e R\$490,28. Sendo assim, apenas 14,81% da área total da bacia hidrográfica, concentrada próximo ao centro urbano, tem variação entre renda mínima e máxima superior a meio salário mínimo, de acordo com o Diário Oficial da União (BRASIL, 2019).

Tabela 18 – Distribuição das rendas máximas e mínimas e as respectivas áreas de ocupação na BHRU

Renda Mínima (R\$)	Renda Máxima (R\$)	Área (ha)	Área (%)
322.84	364.10	392.47	4.07
364.10	396.57	2748.64	28.51
396.57	437.83	2789.80	28.93
437.83	490.28	2283.32	23.68
490.28	556.95	909.27	9.43
556.95	641.69	352.17	3.65
641.69	749.39	166.70	1.73

4.1.1.2.2 Educação

Com relação a distribuição do fluxo escolar, composto pela taxa de crianças alfabetizadas em 4 diferentes períodos da vida escolar, foi possível observar que a BHRU possui níveis baixos de crianças matriculadas na primeira fase do ensino infantil. Do total de habitantes entre 5 e 6 anos o resultado obtido constatou-se que apenas 60,42% das crianças, de ambos os sexos, estão alfabetizadas ou matriculados em escolas da região.

Uma possível justificativa para baixa taxa de alfabetização é atribuída ao fato do ensino infantil no Brasil passar a ser obrigatório a partir dos 4 anos de idade apenas a partir de 2014, conforme a Lei nº 12.796, de 2013 (BRASIL, 2013). Uma vez que os dados do censo demográfico são referentes a população do ano de 2010, o resultado reflete esta realidade.

De acordo com a Figura 14-A é possível observar a distribuição da população alfabetizada em função da renda *per capita*. A maior taxa de alfabetização encontrada foi localizada na região nordeste e leste da BHRU, a primeira inserida na zona urbana do município de Ibiúna e a segunda localizada em áreas urbanizadas na zona rural, apresentando variação de 67% até 76% da população dos setores censitários com crianças alfabetizadas.

Essa população distribui-se por 939,53 hectares da bacia e ocupa 9,74% da área total. Entretanto a distribuição da população predominante está localizada nas porções central e norte da bacia, referente aos setores censitários com população máxima alfabetizada variando entre 57,43% a 67% do total da população, ocupando 33,36% da área da bacia. Também foi possível observar, no extremo oeste da bacia, uma população com a taxa de alfabetização variando de 25,05% a 36,50% da população local.

Já a porcentagem total da população alfabetizada na faixa etária entre 11 e 13 anos sobe para 97%. Como é possível observar na Figura 14-B, aproximadamente 40%, da área total da BHRU, que equivalem a 3.934,20 hectares, são ocupados por uma população que varia entre

98.6% a 100% alfabetizada. Essa população distribui-se pela região norte, central, sudeste e sul da bacia. Permeando, segundo Sales et al. (2018), entre áreas de uso e ocupação urbana e agrícola.

A população com menor taxa de alfabetização entre os 11 e 13 anos varia de 0 a 50%, porém ocupa apenas 1,13% da área, localizado na região oeste da BHRU.

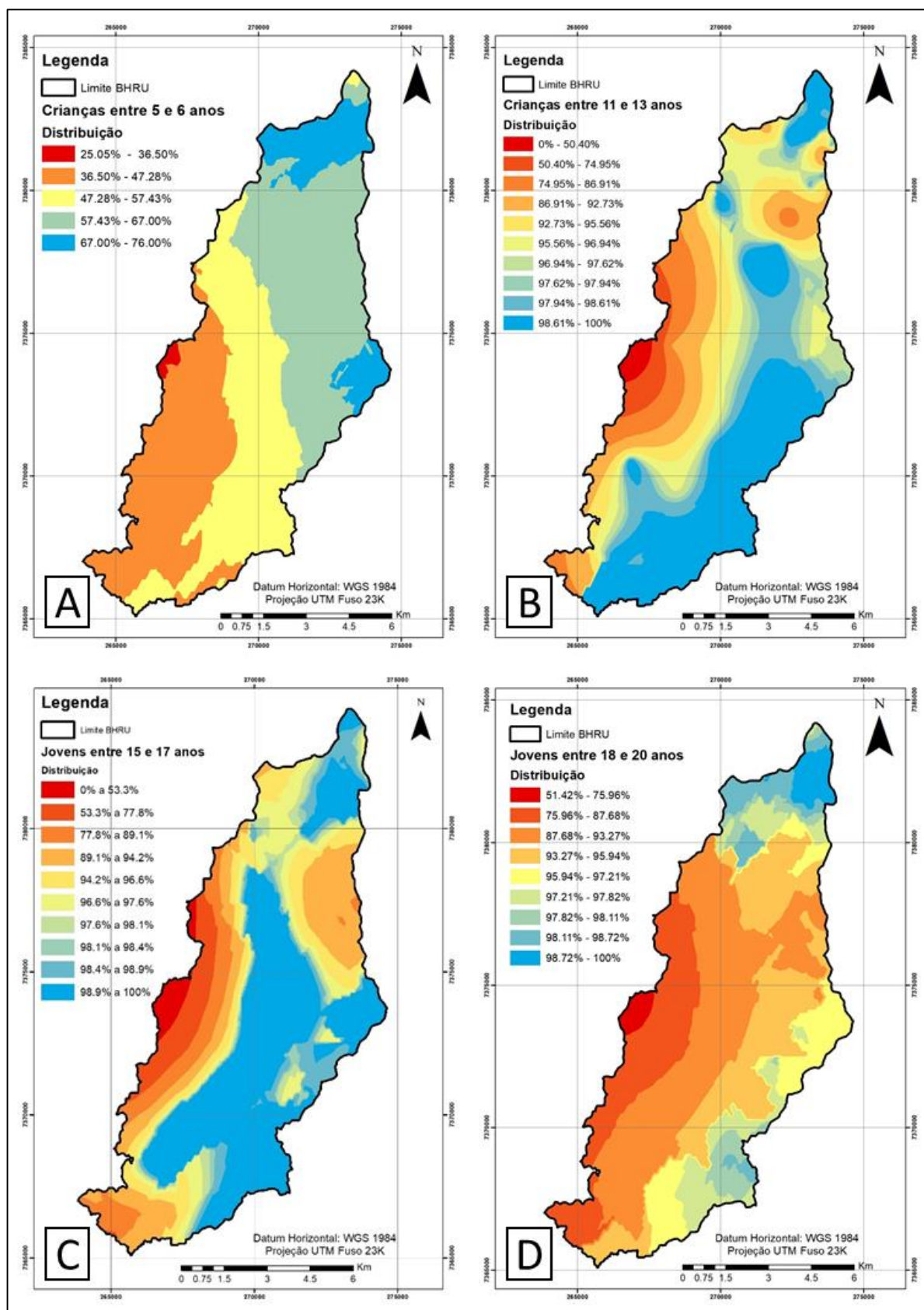
Referente a população entre 15 e 17 anos, observa-se que há um ligeiro aumento na porcentagem total da população alfabetizada, subindo para 98%. Sobre a distribuição da população, há uma queda na porcentagem da população mais alfabetizada. Sendo 37,24% da área total da bacia representada por 94.24% a 100% dos jovens alfabetizados. Entretanto a distribuição da população entre 89,1% a 94% representa 41,47% da área total da bacia, restando apenas 21,28% variando entre 53,3% a 77,8% (Figura 14-C).

A última faixa etária que compõe o fluxo escolar é de jovens entre 18 a 20 anos, De acordo com os resultados 97,72% da população da BHRU são alfabetizadas.

A distribuição dos setores censitários demonstra que 51,23% da área total da bacia é ocupada por uma população com mais de 93% de alfabetizados. A categoria que ocupa maior área são os setores que as taxas de alfabetização variam entre 87,68% e 93,27%, ocupando área de 4.087,9 hectares (32,02%). As áreas com menor taxa de alfabetização estão localizadas na porção leste da BHRU, ocupando área de 1.614,24 hectares, variando entre 51,4% até 87% da população alfabetizada.

Pode-se observar que a Figura 14-D mostra a distribuição da população com maiores índices de alfabetização concentrada na região norte e nordeste da bacia, região próxima à zona urbana do município de Ibiúna, distribuída no eixo central da bacia até sua região sul.

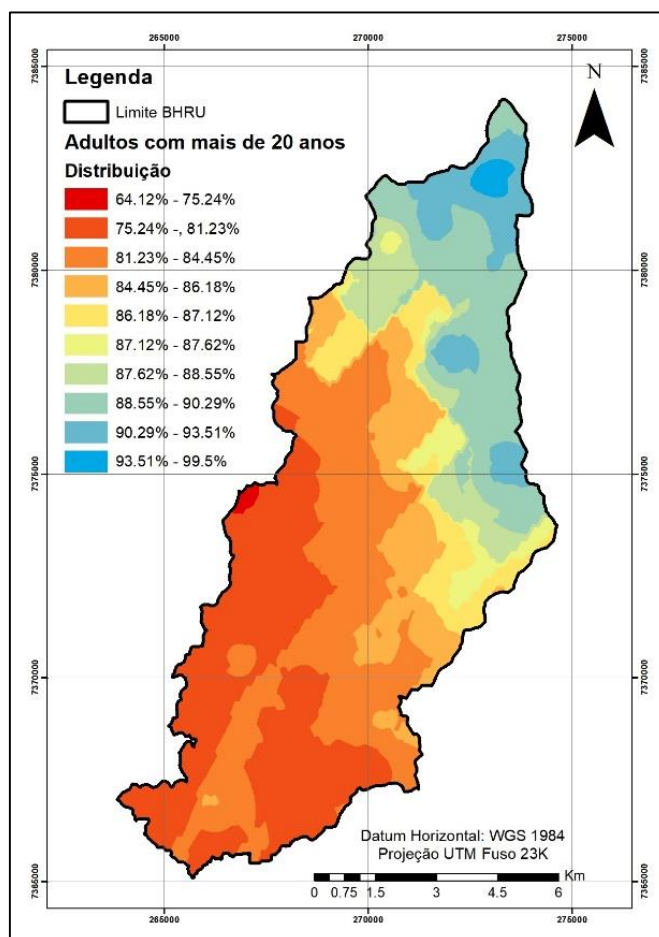
Figura 14 Mapeamento da distribuição do fluxo escolar da Bacia Hidrográfica do Rio Una nas faixas etárias entre 5 a 6 anos, 11 a 13, 15 a 17 e 18 a 20 anos.



Com relação ao índice de escolaridade de população adulta foi possível observar que 92,63% dos habitantes nessa faixa etária estão alfabetizados na BHRU. A maior taxa de alfabetização, variando entre 90 a 99,5% da população está concentrada próximo a zona urbana no município de Ibiúna. Foi possível observar que a distribuição dessa população ocupa apenas 7.8% da área total da BHRU, somando 682,87 hectares.

Essa região também está relacionada com a população que apresentam maior renda *per capita* da BHRU. Também é possível observar que as taxas de escolaridade aumentam conforme se aproxima do centro urbano. A Figura 15 mostra a distribuição da população maior que 20 anos alfabetizada, que representa o índice de escolaridade da população adulta da BHRU.

Figura 15 – Distribuição do índice de escolaridade da população adulta da BHRU.



Após a aplicação da interpolação por Krigagem foi obtido o resultado do IDE (Índice de Dependência Espacial) para avaliar a eficiência da interpolação de acordo com seus resultados.

Através dos parâmetros mostrados na Tabela 19 da análise geoestatística efetuada por meio do ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental é possível observar que os

atributos da distribuição da escolaridade estudados apresentaram forte dependência espacial por meio do cálculo do IDE, com exceção a renda *per capita* e a taxa de alfabetização de 5 a 6 anos.

Tabela 19 – Parâmetros da análise geoestatística da distribuição da taxa de alfabetização e renda per capita da BHRU

Atributo	C0	C	a(m)	IDE (%)	ME	MS	RMS	ASE	RMSS
Renda Per Capita	20417	20417.00	0.90	50.00	-0.45	-0.005	148.19	148.14	1.003
5 a 6 anos	600.00	964.64	0.25	38.35	0.43	0.013	26,91	26.72	1.003
11 a 13 anos	10	710.00	0.07	1.39	0.02	0.008	16.58	16.57	0.83
15 a 17 anos	200.00	280.00	0.1	41.67	0.29	0.01	15.71	15.7	0.95
18 a 20 anos	200	310.00	0.08	39.22	0.36	0.016	16.22	16.25	0.93
> 20 anos	4	23.40	0.015	14.60	0.15	0.02	4.67	4.66	0.96

Dentre os modelos teóricos utilizados, apresentados na Tabela 20 são os com valores de ME e MS mais próximos de zero e mais semelhantes de RMS e ASE, o que diminui a incerteza associada às predições.

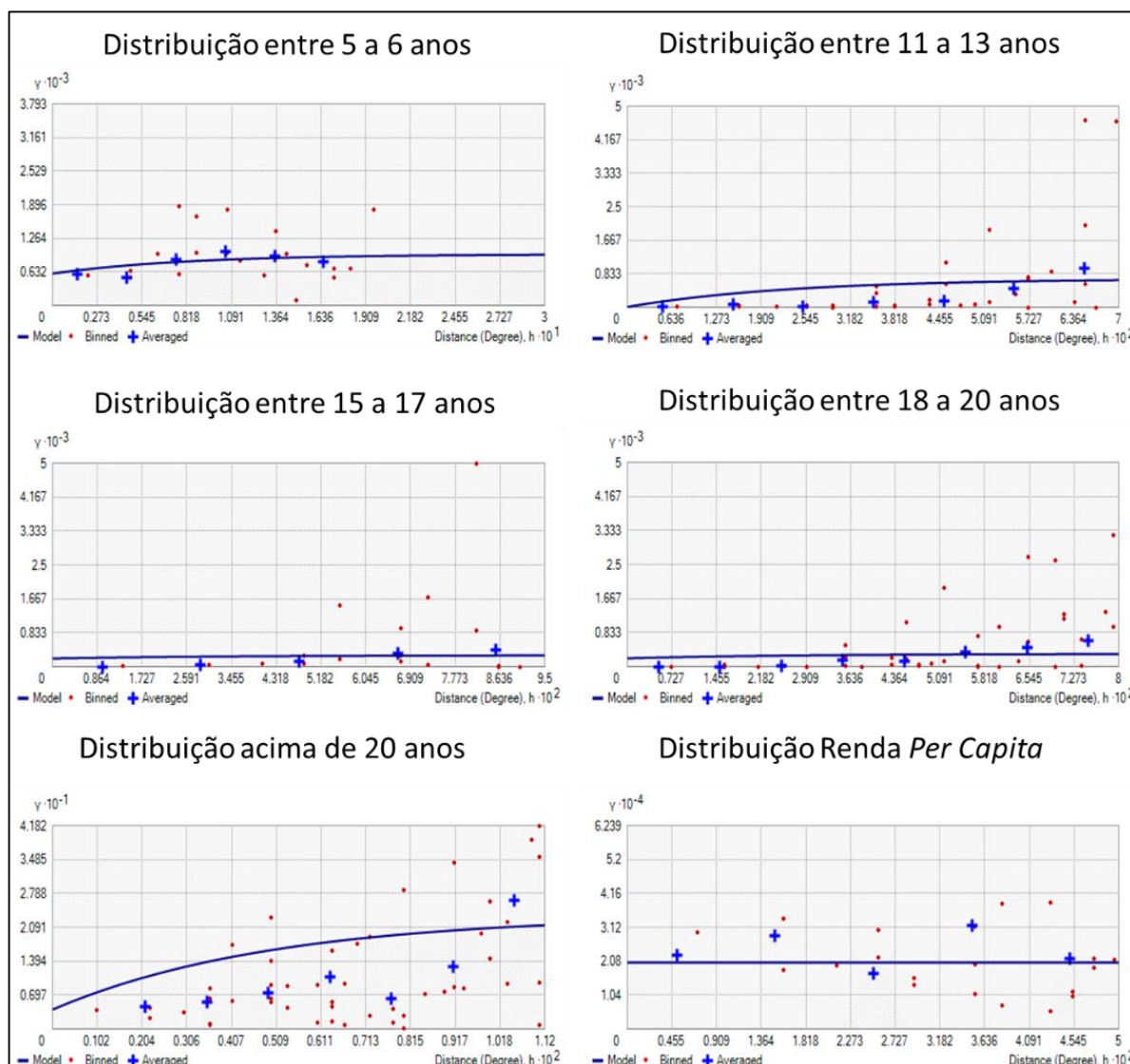
Entretanto a renda *per capita* apresentou valor alto de RMS, indicando uma alta variabilidade entre o valor predito e o verdadeiro. Em relação os valores de RMSS, todos os atributos apresentaram valores próximos ao ideal, ou seja, próximo a 1 (TATALOVICH *et al.*, 2006; GEORGAKARAKOS; KITSIOU, 2008; PASINI *et al.*, 2014).

Segundo a classificação de Cambardella (1994) a população de jovens entre 11 e 13 anos e adultos maiores que 20 anos apresentam forte dependência espacial, as demais variáveis apresentam dependência espacial moderada.

Dentre os modelos teóricos apresentados na tabela 19, para diminui a incerteza associada às predições os valores de ME e MS devem estar próximos de zero e mais os valores de RMS e ASE devem ser semelhantes entre si (YAMAMOTO; LANDIM, 2015).

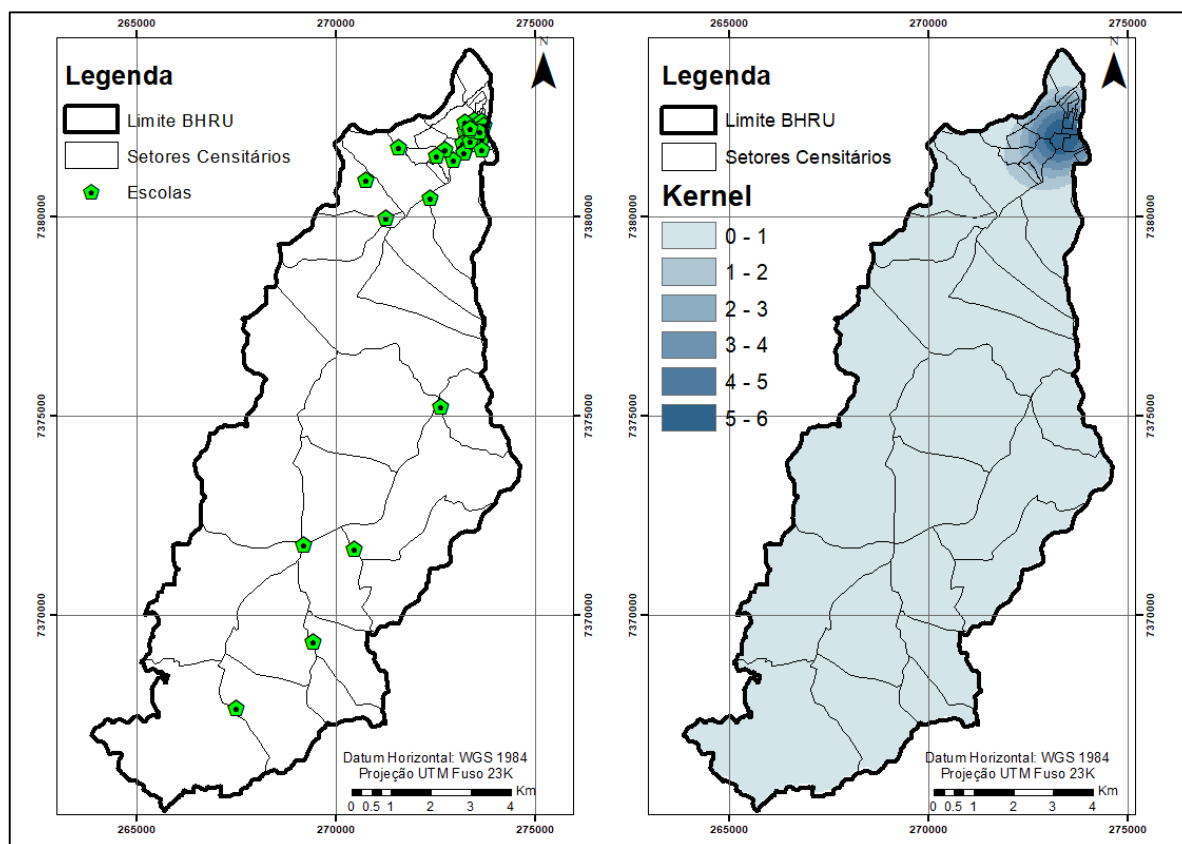
A Figura 16 apresenta os semivariogramas experimentais dos atributos do solo ajustado aos modelos teóricos citados na Tabela 20.

Figura 16 – Semivariogramas das categorias de distribuição de escolaridade e renda per capita



De acordo com os resultados obtidos, todos os mapas de distribuição da escolaridade, com exceção da faixa etária de 5 a 6 anos, estão de acordo com a distribuição das escolas ao longo da BHRU. Conforme é possível observar no mapa da densidade de Kernel na Figura 17.

Figura 17 – À esquerda o mapa da localização das escolas no BHRU, à direita o mapa da densidade das escolas, conforme a densidade de Kernel.



De acordo com o artigo sexto da Lei nº 12.796, de 2013, “*é dever dos pais ou responsáveis efetuar a matrícula das crianças na educação básica a partir dos 4 (quatro) anos de idade*” (BRASIL, 2013). Entretanto essa lei foi posta em vigor a partir de 2013, sugerindo que as crianças fossem alfabetizadas no primeiro ano do ensino fundamental e não no ensino básico, a partir dos 4 anos de idade, como determina a legislação atual.

As demais faixas etárias apresentam maior concentração da população na região norte e nordeste da bacia, uma vez que, de acordo com o mapa de Kernel, apresentam maior densidade no número de escolas, aumentando disponibilidade de estudo para a população mais próxima. Havendo variação de 2 até 7 escolas disponíveis, aproximadamente, para a população.

Já a população residente na região central e sul da bacia, contam com baixa densidade de escolas, justificando a baixa taxa de alfabetização em alguns setores censitários, devido a distância da população até as escolas.

Outro aspecto importante do estudo foi a relação da distribuição da taxa de alfabetização com a renda *per capita* dos setores censitários.

Por meio do teste de correlação de Pearson foi possível observar que não houve correlação entre as componentes que avaliam o fluxo escolar, ou seja, a alfabetização das faixas etárias entre 5 e 6 anos, 11 e 13 anos, 15 e 17 anos, e 18 e 20 anos e a renda da população.

Entretanto houve correlação com a variável do índice de escolaridade, que avalia pessoas acima de 20 anos alfabetizadas. A Tabela 20 mostra o teste de correção de acordo com as faixas etárias.

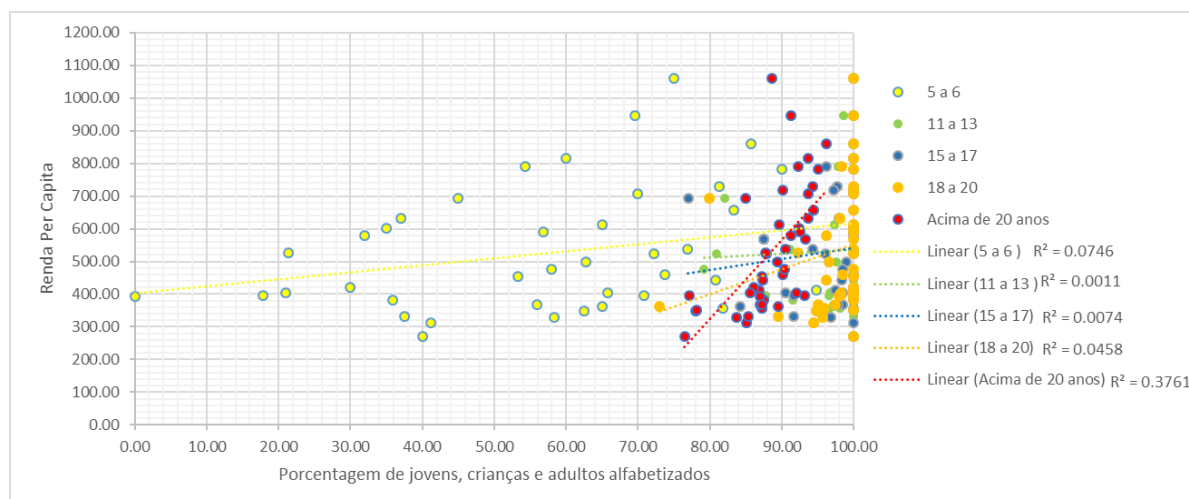
Tabela 20 – Teste de correlação entre as variáveis de faixa etária de alfabetização e a renda per capita da BHRU

	Renda Per Capita	5 a 6	11 a 13	15 a 17	18 a 20	Acima de 20 anos
Renda Per Capita	1	0.273118	0.033847	0.085888	0.214	0.613288
5 a 6	0.27311778	1	0.130833	0.093518	0.13576	0.23115
11 a 13	0.03384714	0.130833	1	0.420652	0.16316	0.139482
15 a 17	0.08588838	0.093518	0.420652	1	0.70264	0.135486
18 a 20	0.21399556	0.135764	0.163159	0.702638	1	0.18813
Acima de 20 anos	0.61328754	0.23115	0.139482	0.135486	0.18813	1

A Figura 18 apresenta o gráfico de dispersão da correlação entre a porcentagem de pessoas alfabetizadas, por setores censitários, em função da renda *per capita*. É possível observar que apenas houve correlação entre a população acima de 20 anos e a renda *per capita*.

Portanto, de acordo com o resultado, quanto maior a renda da população adulta acima de 20 anos, maior a probabilidade de as pessoas serem alfabetizadas.

Figura 18 – Gráfico de dispersão da correlação entre faixa etária e Renda Per Capita da BHRU



Pode-se deduzir com este resultado, que a população adulta, que não teve acesso aos estudos na infância ou adolescência, busca atingir melhores níveis de escolaridade na fase adulta para melhorar a renda familiar.

Entretanto, o ensino para a população infantil e jovem é gratuita no país, não havendo interferência do fator renda nos níveis de escolaridade. O que justifica a ausência de correlação entre escolaridade e renda *per capita* das faixas etárias mais jovens.

Esses resultados são de extrema importância, uma vez que, segundo Bahia (2011), quanto menor a escolaridade de uma população maior a desigualdade econômica e social. Assim, as chances do filho de uma pessoa analfabeta permanecer com o mesmo nível de escolaridade são de 54%.

O mapeamento da densidade de Kernel justifica a baixa taxa de escolaridade da população mais distante dos centros urbanos com maior densidade de escolar.

De acordo com a Unesco (2016), populações vulneráveis tendem a permanecer às margens da sociedade e não tem acesso igual às oportunidades socioeconômicas. Desigualdade é o resultado, tanto da renda, quanto da marginalização da sociedade.

4.1.2 Considerações finais a respeito da Força Motriz

Como conclusão das variáveis de Força Motriz, dedicadas aos processos sociais que descrevem as atividades que causam impactos positivos e negativos ao meio ambiente obteve-se:

Uma diminuição na taxa de crescimento geométrico anual da BHRU entre os anos de 2000 a 2010. De acordo com o último Censo Demográfico, a população da área de estudo é de 30.352 habitantes, sendo aproximadamente 50% do sexo masculino e 50% do sexo feminino.

Referente a demografia, 56% dessa população reside em áreas urbanas, havendo uma concentração da densidade populacional de aproximadamente 12 vezes a população rural.

O resultado do IDH_{BHRU} representa a capacidade da população da bacia em ter uma vida longa e saudável, com acesso ao conhecimento e com determinado padrão de vida financeiro. Desta forma, foi possível observar que apenas um setor, localizado na região sul da bacia foi classificado como IDH Médio, sendo 31 setores, em sua maioria localizada na porção média da bacia, classificados como IDH Alto e por fim, 11 setores localizados na região Norte, próxima a zona urbana são classificados como IDH Muito Alto.

Assim, o IDH_{BHRU} associado aos dados da dinâmica social de predição da distribuição de renda, juntamente com o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal, proporciona uma visão espacial da dinâmica social da BHRU.

De acordo com o mapa da distribuição de renda, as áreas associadas aos menores valores de renda *per capita* estão espacialmente localizados em áreas predominantemente agrícolas. Assim como as áreas classificadas com IDH_{BHRU} Muito Alto, também são associadas às regiões altamente urbanizadas do Nordeste com os maiores valores de distribuição de renda da bacia hidrográfica.

Referente a distribuição da educação em função da renda, foi possível observar que a distribuição da educação está fortemente relacionada com a distribuição da renda para a população adulta com idade acima de 20 anos, uma vez que a população jovem tem acesso à educação pública independente da renda familiar. Portanto para as áreas com maiores índices de renda também apresentaram os melhores índices de educação, também foi possível observar a diminuição dos valores na medida em que as áreas se distanciavam da zona urbana da BHRU.

É possível observar que, a medida que se distancia das áreas mais populosas, menor a chance da população obter acesso à educação, devido ao baixo poder aquisitivo e a baixa densidade de escolas ao longo da bacia.

Esse estudo é de extrema importância, uma vez que a identificação das regiões com baixas taxas de ensino e educação devem ser tratadas como prioritárias para os gestores públicos na ação a favor da alfabetização.

A marginalização na educação expõe as barreiras existentes no desenvolvimento inclusivo do município de Ibiúna. O acesso à educação é um meio poderoso de mitigar os

problemas sociais, acabar com a pobreza e reduzir a desigualdade, que são objetivos centrais da agenda dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) da ONU (RANIERE; ALVES, 2018).

Podemos concluir que conhecer o potencial da distribuição da educação em função da renda é de extrema importância, não só como ferramenta de gestão de políticas públicas e sociais, mas também, como uma ferramenta de prevenção e gestão do meio ambiente.

Visto que a educação promove a conscientização pública direcionando a sociedade a um estilo de vida mais sustentável, a presente metodologia pode ser aplicada para municípios e bacias hidrográficas com a finalidade de promover o desenvolvimento socioambiental das áreas estudadas.

4.2 Indicadores de Pressão

De acordo com o modelo de avaliação utilizado, cuja filosofia conduz para a análise de problemas ambientais, considera-se que a Força-Motriz, ou seja, atividades humanas, produzem Pressões no meio ambiente que podem afetar seu Estado. Essas pressões podem ser expressas por mudanças no uso da terra, consumo de recursos naturais e contaminação por liberação de substâncias no meio ambiente (BRADLEY; YEE, 2015).

4.2.1 Dinâmica de ocupação do território

A dinâmica da ocupação territorial está diretamente ligada às ações antrópicas e diferentes tipos de impactos da paisagem. A substituição de áreas naturais por diferentes tipos de uso da terra, assim como a fragmentação florestal decorrente de tais alterações, são exemplos de processos que influenciam na qualidade e disponibilidade dos recursos ambientais (COELHO et al., 2014).

Para mitigar esses problemas e fomentar o desenvolvimento de políticas públicas de gestão sustentável dos recursos naturais, é imprescindível o monitoramento do uso e da terra (MENDOZA et al., 2011).

4.2.1.1 Uso e ocupação da terra

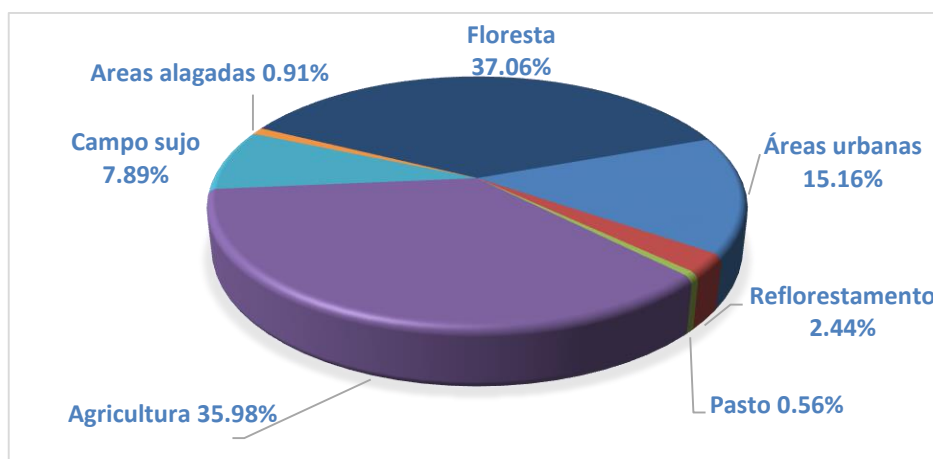
De acordo com o levantamento do uso da terra foi possível verificar os diferentes tipos de uso e ocupação da BHRU. A Tabela 21 mostra os diferentes tipos de usos e suas respectivas porcentagens de área ocupada na bacia.

Tabela 21 – Uso de ocupação da BHRU no ano de 2016

Classes	Área (ha)	%
Áreas urbanas (AU)	1461.760	15.16
Reflorestamento (RE)	235.714	2.44
Pastagem (PA)	54.006	0.56
Agricultura (AG)	3469.993	35.98
Campo (CA)	761.119	7.89
Áreas alagadas (AA)	88.082	0.91
Floresta (FL)	3574.660	37.06
Total	9645.334	100.00

Pode-se observar que a classe de uso da terra com maior área de ocupação é a classe Florestas com 37,06% seguido da classe Agricultura, com 35,98% da área total da bacia. A Figura 19 mostra o gráfico da distribuição das classes em porcentagem de uso e cobertura da BHRU.

Figura 19 – Gráfico de porcentagem de uso da terra e cobertura da BHRU

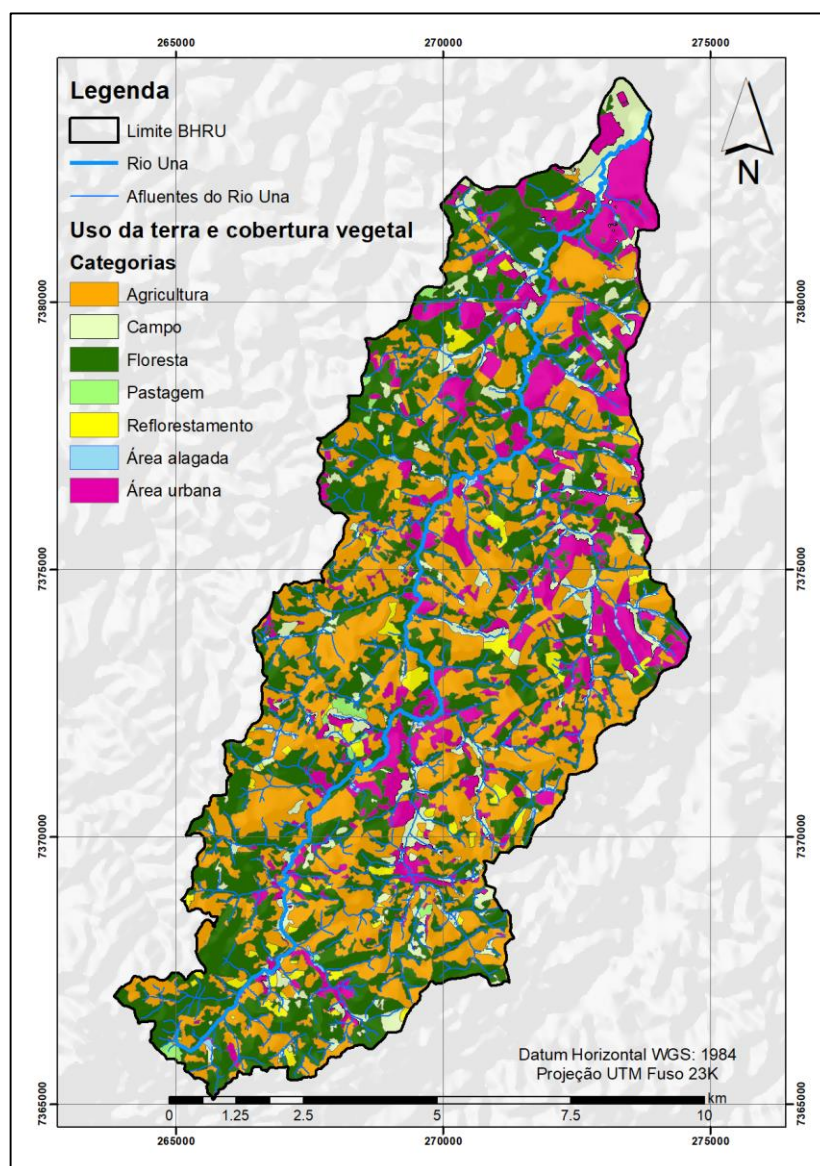


Entretanto, somando todos os tipos de uso da terra provenientes de atividades antrópicas (AU; RE; PA; AG) a área total ocupada é de 54,13%, sendo o restante composto áreas naturais de florestas, áreas alagadas e áreas de campo.

A Figura 20 mostra o mapa de uso e ocupação da terra, referente ao ano de 2016. É possível observar que a região central e sudoeste da bacia são predominantemente agrícolas, havendo uma expansão urbana pronunciada na região centro sul, principalmente ao longo do curso principal do Rio Una. As áreas de vegetação como florestas e campos estão localizadas na região noroeste e sudoeste. A região da maior concentração urbana está na região nordeste da bacia, próximo na parte baixa da BHRU.

Em um estudo que avaliou o potencial de expansão da atividade antrópica Lopes, et al. (2016), descreve a região central da BHRU como uma área predominantemente composta por áreas de atividade agricultura havendo um alto potencial de expansão urbana e atividades antrópicas.

Figura 20 – Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da BHRU



4.2.2 Dinâmica da cobertura da terra

O aumento da população e a subsequente expansão urbana estão diretamente ligados ao consumo de recursos naturais, que sob pressão são desintegrados. A gestão da ocupação do uso da terra tem importante papel na sustentabilidade do desenvolvimento rural e urbano.

Compreender as dinâmicas complexas do ambiente é muitas vezes difícil. Portanto, o sensoriamento remoto fornece ferramentas para mensuras a mudanças no ambiente (MILLER; SMALL, 2003; DUTTA, 2012).

4.2.2.1 Análise espaço-temporal do uso da terra

De acordo com os resultados obtidos da dinâmica espaço temporal do uso da terra, foi possível observar que expansão das atividades antrópicas na BHRU em 1991 tiveram um aumento de 2.217.58 hectares em relação ao ano de 2016.

No entanto é possível observar que esse aumento foi gradativo, a Tabela 22 mostra o a progressão das diferentes classes ao longo dos anos.

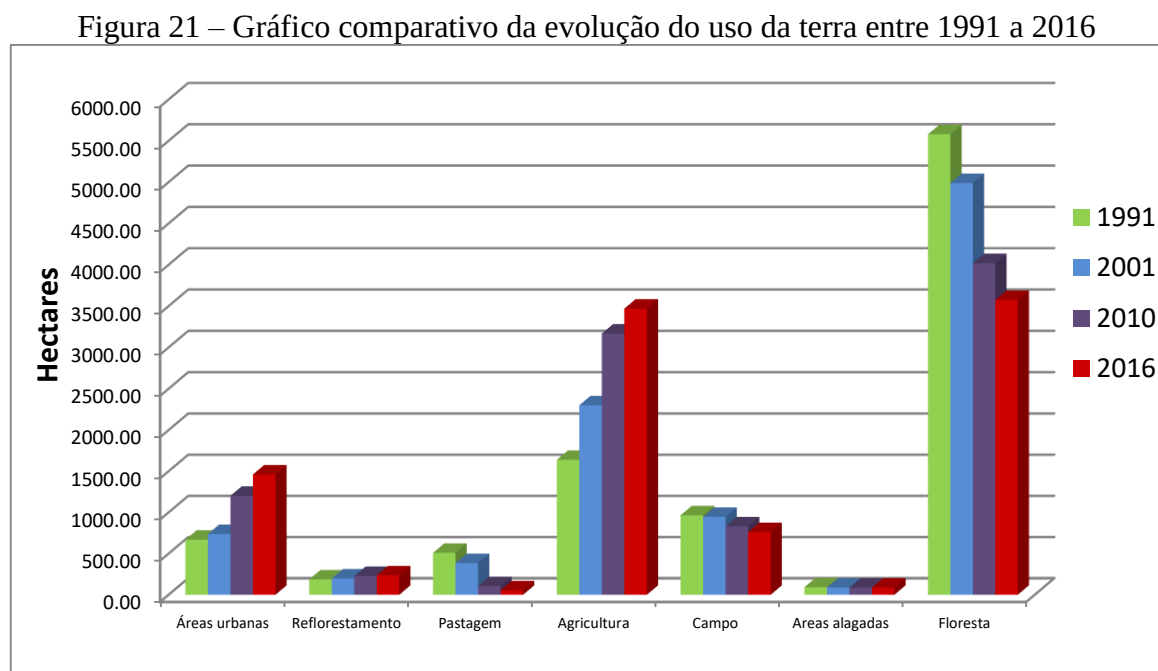
Tabela 22 – Área e porcentagem das classes de uso e ocupação da terra entre 1991 e 2016.

Classes	1991	%	2001	%	2010	%	2016	%
Áreas urbanas	669.17	6.94	738.85	7.66	1202.05	12.47	1461.76	15.16
Reflorestamento	186.54	1.93	197.79	2.05	228.18	2.37	235.71	2.44
Pastagem	509.42	5.28	385.00	3.99	105.87	1.10	54.01	0.56
Agricultura	1638.76	17.00	2300.38	23.86	3167.95	32.86	3469.99	35.99
Campo	965.99	10.02	946.28	9.81	831.72	8.63	761.12	7.89
Área alagada	91.73	0.95	88.74	0.92	88.17	0.91	88.08	0.91
Floresta	5580.39	57.88	4989.99	51.75	4020.70	41.70	3574.66	37.07
Total	9641.99	100	9641.99	100	9641.99	100	9641.99	100

De acordo com os resultados obtidos no item 3.3.1 Dinâmica demográfica, Capítulo III, a população da BHRU obteve um aumento expressivo nos últimos anos.

O reflexo do crescimento da população é o aumento da área de ocupação urbana e consequente o aumento nas atividades antrópicas no uso da terra.

A Figura 21 mostra o gráfico da progressão das diferentes classes de uso da terra, mostrando, que, com exceção das classes atividades de origem natural, todas as demais categorias obtiveram um crescimento em suas áreas de ocupação do uso da terra.



As atividades antrópicas que se destacam pelo crescimento são as classes de áreas urbanas e agricultura. As áreas urbanas tiveram um aumento entre 1991 e 2016 de 669.17 hectares para 1.461.76 hectares, ou seja, um aumento de 109,22%, ocupando atualmente 15.16% da área da BHRU.

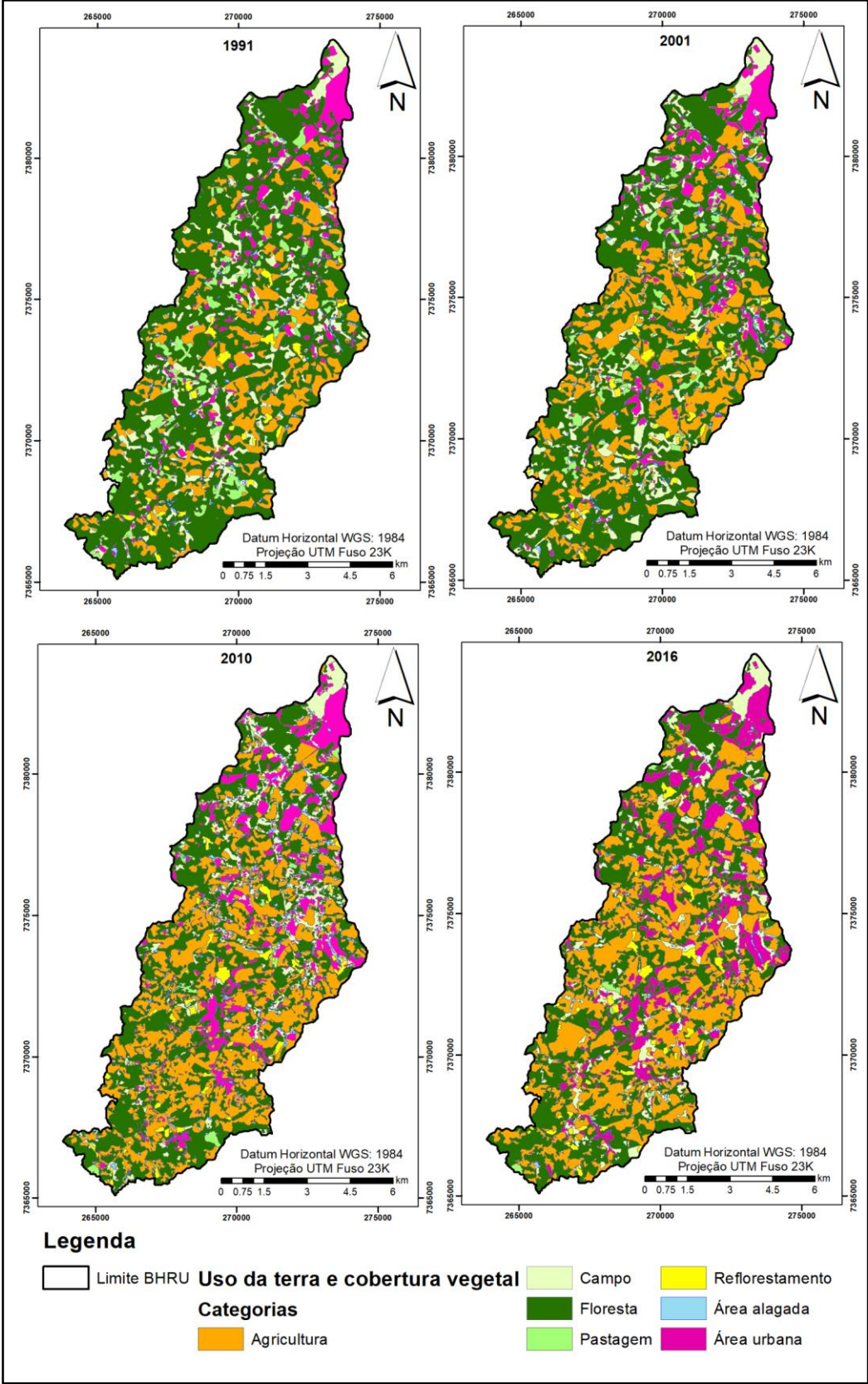
A classe de agricultura em 1991 tinha uma área de 1638.76 hectares, representando 17% do total da bacia, em 2016 a área teve um acréscimo de 105%, passando corresponder por 35,99% da área da bacia, ou seja, a categoria teve um aumento de 1.831.23 hectares nos últimos 25 anos.

Outra categoria que teve destaque foi a classe de florestas, havendo uma perda de 64,05% da área de florestas ocupada na bacia. Em 1991 a área total era de 5.580.39 hectares, representando 57,88% e em 2016 a área era de 3.574.66 hectares

A Figura 22 mostra o mapa de uso da terra dos anos de 1991, 2001, 2010 e 2016. É possível observar os efeitos da expansão das atividades antrópicas quando observado o

contraste da diminuição das áreas de floresta e o aumento das áreas de agricultura e áreas urbanas.

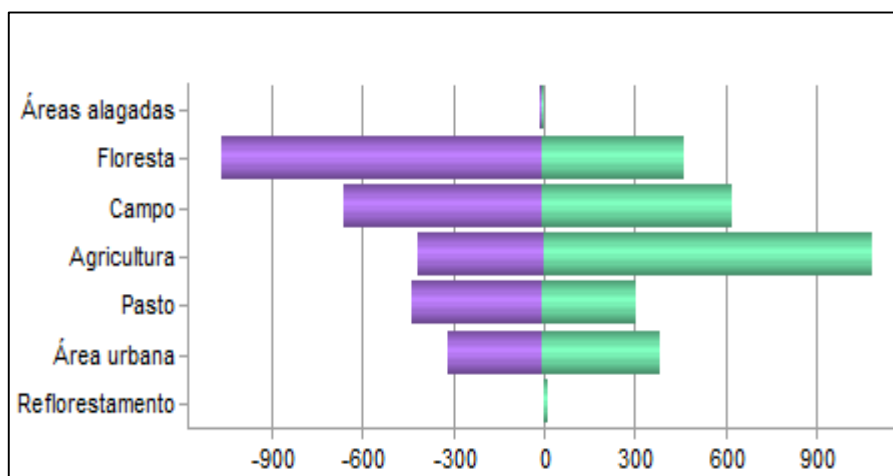
Figura 22 – Mapas de uso da terra comparados entre os anos de 1991, 2001, 2010 e 2016.



De acordo com a modelagem de mudanças nas atividades do uso da terra foi observado que entre os anos de 1991 e 2001 houve considerável perda de áreas de floresta e o aumento da agricultura e na área urbana da BHRU.

A classe de Reflorestamento teve um ganho de 11 hectares, as Áreas urbanas aumentaram em 72 hectares, classe Campo teve aumento de 27 hectares e a classe que obteve maior crescimento em área foi a Agricultura, com 665 hectare. As demais categorias tiveram perda de área. A classe Pasto teve perda de 124 hectares, Campo perdeu 27 hectares, as Áreas alagadas perderam 3 hectares e por fim a classe com maior perda foi Florestas, com perda de 594 hectares. A Figura 23 mostra o gráfico das perdas e ganhos de área entre os anos de 1991 e 2001.

Figura 23 – Gráfico de perdas e ganhos das classes entre os anos de 1991 e 2001



A Tabela 23 apresenta as áreas correspondentes às classes de mudanças referente às perdas e ganhos observados nas atividades do uso da terra entre 1991 e 2001. Desta forma é possível analisar as pressões antrópicas exercidas sobre as classes de uso natural.

Tabela 23 –Áreas de mudanças entre as classes de uso da terra 1991 e 2001.

Classes de mudanças	Siglas	Área (ha)
Agricultura para Área urbana	AG - AU	82.83431
Agricultura para Campo	AG - CA	142.7278
Agricultura para Pasto	AG -PA	64.56406
Área urbana para Agricultura	AU - AG	154.1295
Área urbana para Campo	AU - CA	70.60835
Área urbana para Pasto	AU - PA	41.2111
Campo para Agricultura	CA - AG	227.2105
Campo para Área urbana	CA - AU	122.5343
Campo para Floresta	CA - FL	205.2313
Campo para Pasto	CA - PA	100.8298
Floresta para Agricultura	FL - AG	497.1432
Floresta para Área urbana	FL - AU	143.4146
Floresta para Campo	FL - CA	304.4127
Floresta para Pasto	FL - PA	104.1267
Pasto para Agricultura	PA - AG	201.797
Pasto para Área urbana	PA - AU	39.8374
Pasto para Campo	PA - CA	112.3689

Observa-se que 57,34% do total de mudanças foram causadas por mudanças de classes naturais, florestas e campos, para áreas antrópicas, 30,50% foram alterações entre as classes antrópicas e 12,14% foram áreas de recuperação vegetal, considerando áreas de pasto que mudaram para campo e campos que modificaram para floresta. A figura 17 mostra o mapa das áreas de mudanças e as respectivas.

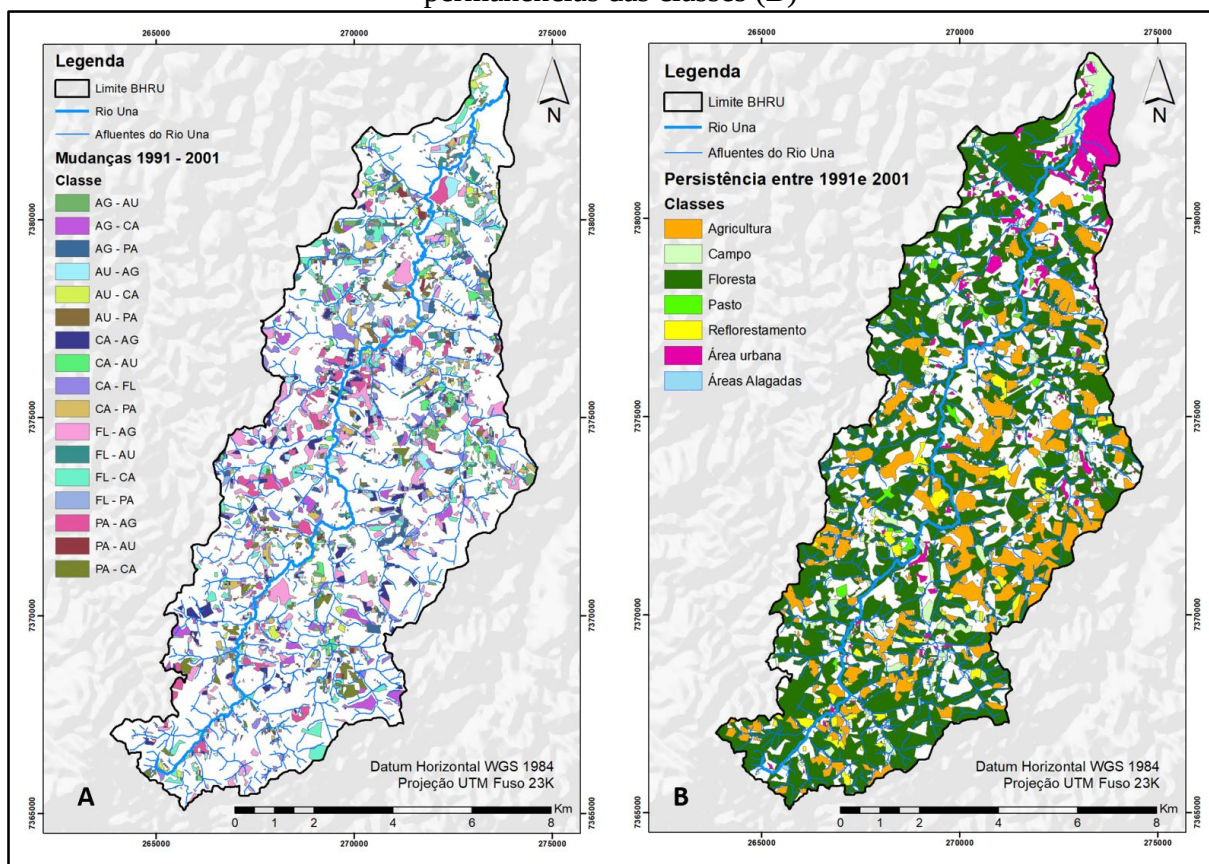
A Tabela 24 mostra os valores respectivos as áreas que permaneceram sem mudança no período entre 1991 e 2001. Apesar da grande perda florestal a classe foi a que teve maior permanência entre as demais.

Tabela 24 – Áreas de permanência entre os anos de 1991 a 2001

Classes	Área (ha)
Reflorestamento	184.076
Área urbana	349.058
Pasto	71.4326
Agricultura	1218.2
Campo	314.166
Floresta	4521.82
Áreas alagadas	82.6969

A figura 24 mostra os mapas de mudança de classes e o mapa de persistência das classes de uso da terra.

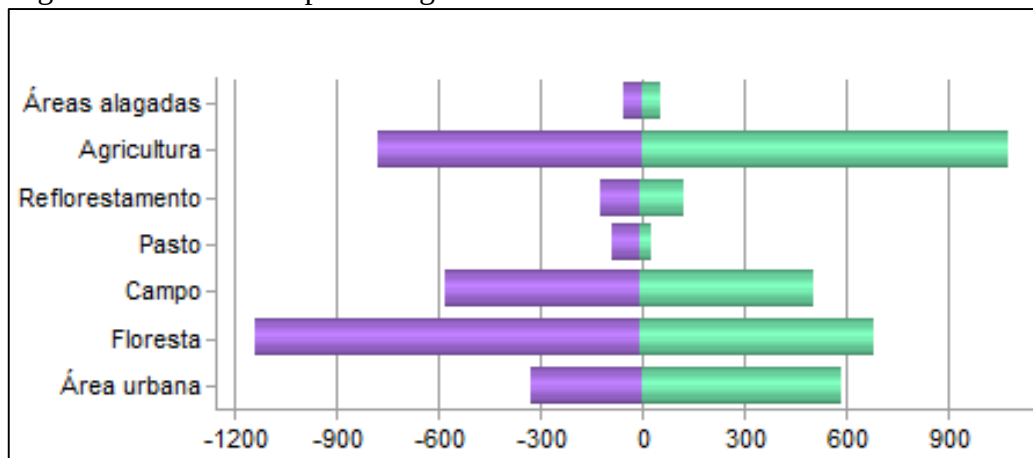
Figura 24 – Mapa de mudanças de classes entre os anos de 1991 e 2001 (A) e Mapa de permanências das classes (B)



Entre os anos de 2010 e 2016 também houve o crescimento das atividades antrópicas, somando um aumento real de 615 hectares. Sendo 259 ha referente ao aumento da Áreas urbanas, 298 ha de Agricultura, 6 ha de Reflorestamento e 3 de Áreas alagadas. As classes que tiveram perda foram Floresta, com 447 ha, 66 hectares de Campo e 52 hectares de Pasto.

A Figura 25 mostra os resultados de perdas e ganhos referente às classes de uso da terra entre os anos de 2010 e 2016.

Figura 25 - Gráfico de perdas e ganhos das classes entre os anos de 2010 e 2016.



A Tabela 25 apresenta as áreas correspondentes às classes de mudanças referente às perdas e ganhos entre os usos da terra durante os anos de 2010 e 2016. Desta forma é possível analisar as pressões antrópicas exercidas sobre as classes de uso natural.

Observa-se que 67,79% das mudanças foram relacionadas a perda de áreas naturais para áreas antrópicas, sendo consideradas áreas naturais, áreas alagadas, campos e florestas. Com relação as áreas antrópicas, 25,18% das áreas sofreram modificações, assim como agricultura para área urbana, pastos para agricultura, etc. Entretanto, 7,02% das mudanças são resultado da recuperação de áreas de pasto para campo e de campos para floresta, ou seja, houve uma regeneração da vegetação que estava sob ação entrópica.

Tabela 25 – Áreas de mudanças entre as classes de uso da terra 2010 e 2016.

Classes	Siglas	Área (ha)
Agricultura para Área urbana	AG - AU	184.6257
Agricultura para Áreas alagadas	AG - AA	14.56126
Agricultura para Campo	AG - CA	164.2949
Agricultura para Floresta	AG - FL	357.4376
Agricultura para Pasto	AG - PA	12.22596
Agricultura para Reflorestamento	AG - RE	41.48584
Área urbana para Agricultura	AU - AG	157.1517
Área urbana para Campo	AU - CA	65.93776
Área urbana para Floresta	AU - FL	87.23016
Áreas alagadas para Agricultura	AA - AG	10.1654
Áreas alagadas para Área urbana	AA - AU	11.127
Áreas alagadas para Campo	AA - CA	10.1654
Áreas alagadas para Floresta	AA - FL	20.33081
Campo para Agricultura	CA - AG	207.4292
Campo para Área urbana	CA - AU	163.4707

Classes	Siglas	Área (ha)
Campo para Áreas alagadas	CA - AA	13.73703
Campo para Floresta	CA - FL	169.7897
Campo para Reflorestamento	CA - RE	20.46818
Floresta para Agricultura	FL - AG	596.3246
Floresta para Área urbana	FL - AU	197.8133
Floresta para Áreas alagadas	FL - AA	16.62181
Floresta para Campo	FL - CA	246.305
Floresta para Pasto	FL - PA	17.03392
Floresta para Reflorestamento	FL - RE	60.44295
Pasto para Agricultura	PA - AG	54.26128
Pasto para Campo	PA - CA	10.57752
Reflorestamento para Agricultura	RE - AG	47.66751
Reflorestamento para Área urbana	RE - AU	15.52285
Reflorestamento para Campo	RE - CA	15.66022
Reflorestamento para Floresta	RE - FL	43.13428

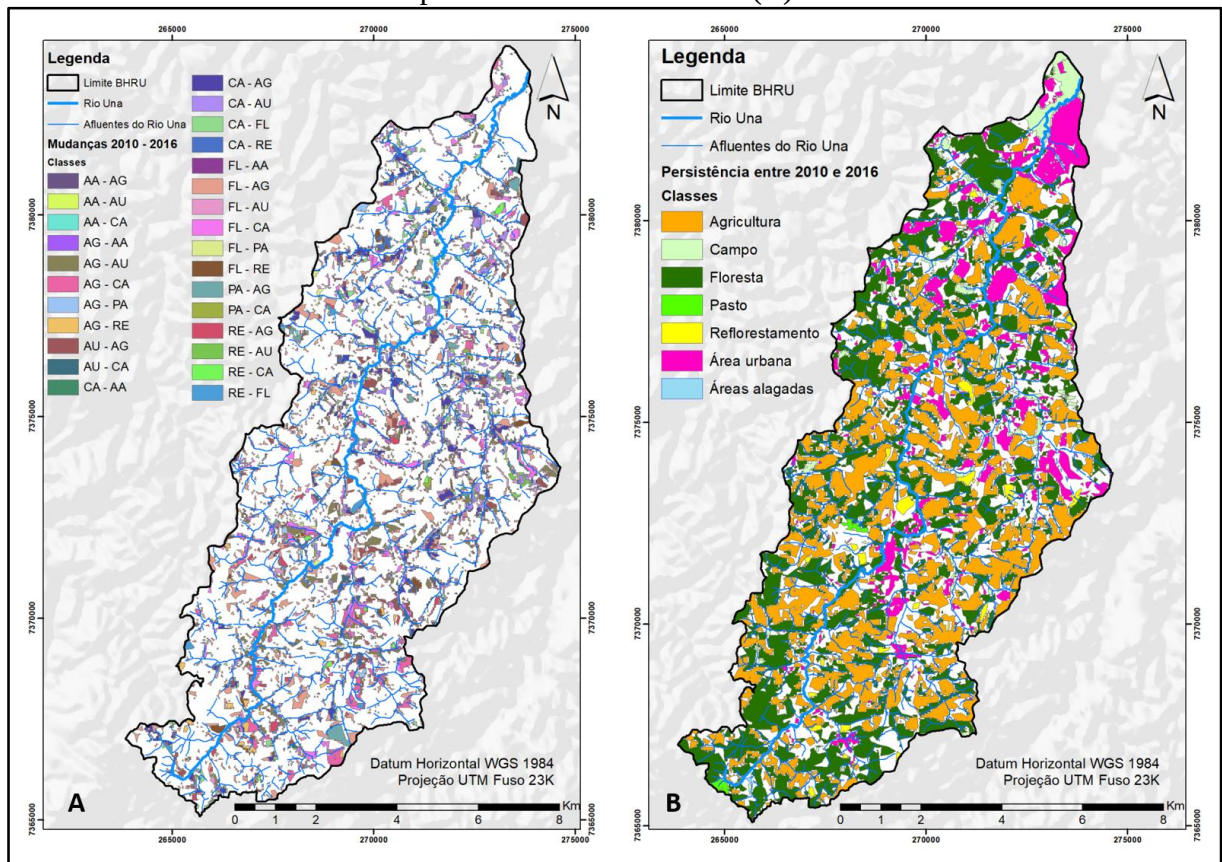
A Tabela 26 mostra os valores respectivos as áreas que permaneceram sem mudança no período entre 2010 e 2016. Pode-se observar, que as atividades com maior permanência foram as classes de floresta e de agricultura.

Tabela 26 - Áreas de permanência entre os anos de 2010 a 2016.

Classes	Área (ha)
Área urbana	875.4611
Floresta	2889.997
Campo	254.4099
Pasto	19.50659
Reflorestamento	103.7146
Agricultura	2389.007
Áreas alagadas	33.93047

Comparado as classes de uso da terra com maior permanência entre os períodos de 1991/2001 e 2010/2016, o predomínio nos dois casos foi para as classes de florestas e agricultura. Entretanto a área das florestas no período inicial de 1991/2001 foi de 4521.81 e hectares e no período 2010/2016 foi de 36% do valor inicial, com 2889.99 hectares. Já as áreas de agricultura quase dobraram sua área (Figura 26).

Figura 26 - Mapa de mudanças de classes entre os anos de 2010 e 2016 (A) e Mapa de permanências das classes (B).



De acordo com Lopes et al, (2016), a BHRU apresenta grande potencial de expansão urbana e agrícola. O crescimento das áreas urbanizadas consolidadas aumenta o potencial de expansão da agricultura e degradação das áreas de floresta, apresentando um cenário de maior degradação dos recursos naturais.

4.2.3 Considerações finais a respeito da Pressão

Podemos concluir que as imagens de sensoriamento remoto em conjunto com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) são importantes ferramentas para avaliar a pressão exercida nos recursos hídricos em decorrência das atividades antrópicas na BHRU.

De acordo com os resultados obtidos na análise da Força Motriz, foi notado nas últimas décadas um crescimento populacional pronunciado. Essa expansão e crescente aumento na demanda por recursos naturais resulta na Pressão exercida sobre a qualidade do meio ambiente da BHRU.

A expansão da agricultura não responde apenas ao crescimento da população de Ibiúna. Segundo Carvalho, Laureto e Pena (2015), o crescimento da produtividade agrícola das microrregiões atende as demandas das grandes cidades e regiões metropolitana adjacentes. Portanto, o aumento observado de 1.831.23 hectares desde 1991, corresponde às necessidades internas e externas da BHRU.

Esse aumento refletiu na perda de áreas naturais, sendo que entre os anos de 1991 e 2001, 35,41% das áreas naturais perderam área para atividade agrícola, e entre 2010 e 2016 houve a perda de mais 35,66% para a agricultura. Foram consideradas áreas de uso natural da terra, atividades que não sofreram interferência antrópica.

O aumento na agricultura acarreta na pressão exercida sobre a bacia hidrográfica, tanto sobre a qualidade das águas efluentes como na qualidade do solo. Embora a agricultura não seja a única atividade responsável pela perda na qualidade da água a agricultura contribui direta e indiretamente para a degradação dos mananciais. Essa contaminação é decorrente do uso inadequado de defensivos e fertilizantes para a produção agrícola (RESENDE, 2002).

A partir dos resultados do Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos foi possível concluir que as desigualdades sociais com relação ao acesso de saneamento básico de qualidade estão mais presentes na área rural da área de estudo, região centro e sul da Bacia Hidrográfica. Entretanto, a área urbana do município tem 100% do seu esgoto tratado, porém, de acordo com o Censo Demográfico de 2010, há domicílios que não estão ligados à rede pública de coleta de esgoto, o que refletiu nos valores obtidos para o IPDRH.

Portanto, podemos concluir que o IPDRH é capaz de avaliar a situação da gestão da água e auxiliar os tomadores de decisão na gestão de bacias hidrográficas, assim como melhorar a qualidade de vida da população. Visto que o IPDRH pode ser utilizado, não só como indicador da pressão exercida pela população nos recursos hídricos, mas também como um indicador de saúde pública.

4.3 Indicadores de Estado

De acordo com a estrutura do modelo FPEIR, as atividades relacionadas com desenvolvimento social e econômico (Força Motriz) exercem Pressão sobre o ambiente e, como consequência, o Estado é alterado (IPT, 2008).

4.3.1 Variáveis Geomorfométrica

As pressões exercidas pela sociedade podem levar a mudanças no estado do ecossistema. Tais mudanças são indesejadas e são vistas como negativas, assim como, danos, degradação, etc. As pressões exercidas pela sociedade podem afetar diretamente o ecossistema, ou podem ser transformadas através de uma variedade de processos naturais capazes de causar mudanças nas condições do ecossistema. O Estado é a condição da combinação dos componentes abióticos e bióticos dos ecossistemas, levando em consideração as variáveis físicas, químicas e biológicas (KRISTENSEN, 2004; SONG; FROSTELL, 2012; BRADLEY; YEE, 2015).

4.3.1.1 Índice de Circularidade (IC)

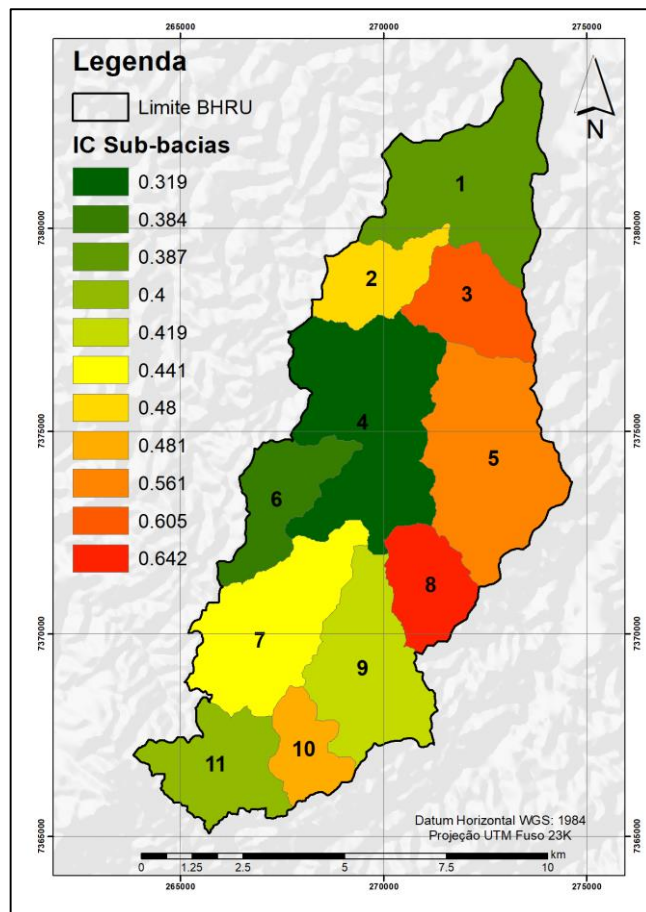
De acordo com Villela e Mattos (1975) a forma superficial de uma bacia hidrográfica é um importante parâmetro morfométrico. Segundo Christofolletti (1970), a análise dos aspectos relacionados a drenagem e relevo podem levar à compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local.

Referente a forma da bacia hidrográfica, quanto maior a sua área, maior a diversidade de ambientes. As variáveis associadas a área e perímetro permitem avaliar susceptibilidade a impactos naturais (MACHADO; TORRES, 2011).

Ainda, segundo Machado e Torres (2012), o IC é um índice que relaciona a forma das bacias hidrográficas com um círculo de mesma dimensão. Portanto, quanto mais circulares maior probabilidade de a bacia sofrer com enchentes súbitas ao longo do curso d'água principal. As águas procedentes das vertentes e dos tributários, associada a precipitações intensas, chegam ao curso principal simultaneamente, concentrando-se num curto espaço de tempo, gerando um pico de vazão ou deflúvio.

Com relação aos resultados obtidos do IC a Figura 27 apresenta a distribuição dos valores associados a forma das sub-bacias da BHRU.

Figura 27 - Distribuição do Índice de Circularidade da BHRU

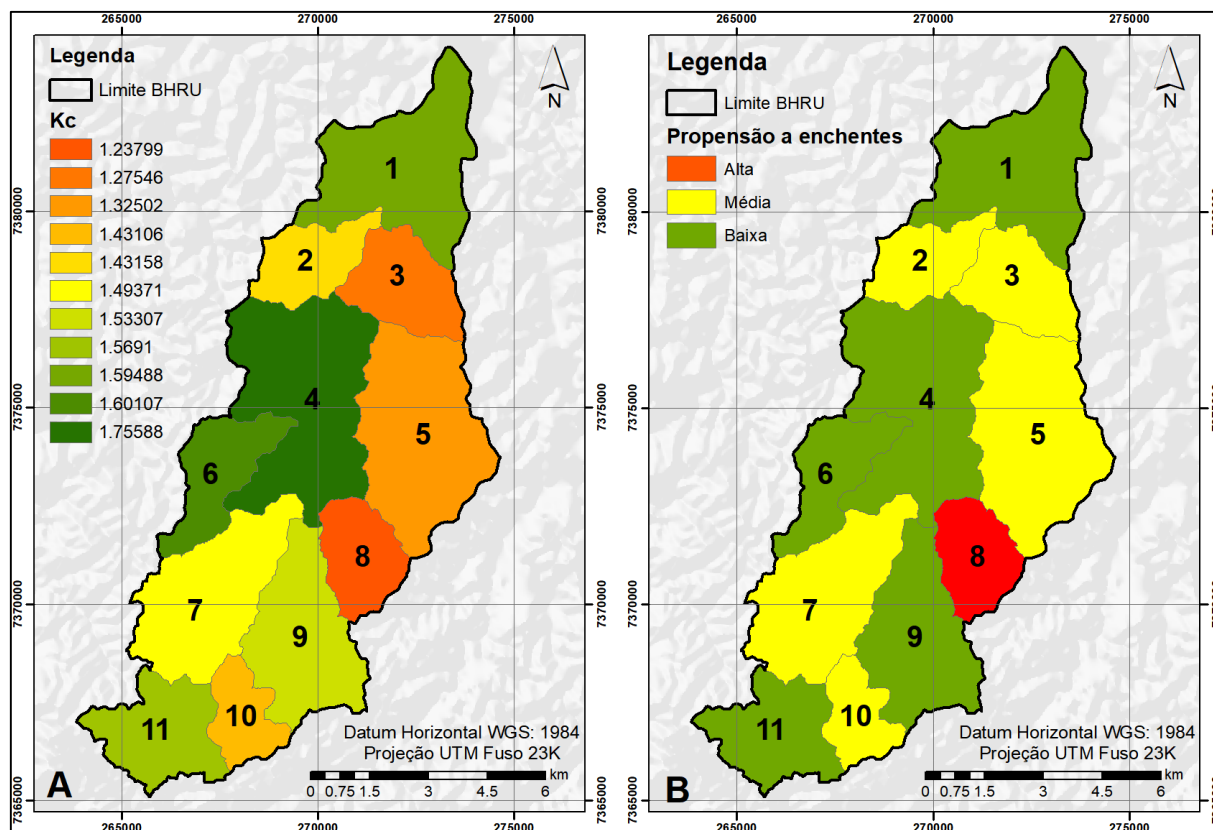


De acordo com os valores obtidos, as sub-bacias 3, 5 e 8 tem maior propensão a ocorrência de enchentes, devido a estarem mais próximas a forma circular. As bacias 1, 4 e 6 são as que apresentam menor propensão a enchentes, por apresentarem a forma mais alongada. Entretanto, 8 das 11 as sub-bacias têm valores inferiores a 0,5, assumindo que, de uma forma geral a BHRU apresenta valores intermediários referente a forma, com pouca tendência a circularidade, portanto, a enchentes.

4.3.1.1 Coeficiente de compacidade (K_c)

De acordo com Villela e Mattos (1975), K_c é um índice adimensional e relaciona o perímetro de uma bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia. A Figura 28 apresenta a distribuição dos valores de K_c e suas respectivas sub-bacias.

Figura 28 – Distribuição do Índice de Compacidade ao longo da BHRU e Propensão a enchentes.



De acordo com os resultados obtidos, assim como observado anteriormente com IC, a sub-bacia com maior propensão a enchentes foi a número 8 e sub-bacia com menor propensão foi a número 4 (Figura 27 –A).

Entretanto, de acordo com a classificação adotada por Mello e Silva (2013), a sub-bacia com maior propensão a enchentes de acordo com o Kc é a número 8, classificada como de alta propensão em relação ao seu perímetro, indicando ser a sub-bacia mais próxima da forma circular.

É importante ressaltar que Kc é um índice adimensional e representa a forma da bacia hidrográfica. A forma de uma bacia representa diferentes formas de resposta em relação ao tempo de escoamento da precipitação. Portanto, quanto mais circular uma bacia, maior a tendência de toda a água escoada alcançar o exutório da bacia ao mesmo tempo, aumentando a probabilidade a enchentes.

As sub-bacias 1, 4, 6, 9 e 11 foram classificadas com baixo ou risco inexistente de ocorrência de enchentes. As sub-bacias 2, 5, 7 e 10 foram classificadas com risco mediano a

ocorrência de enchentes (Figura 27 – B). Conforme Villela e Mattos (1975), quanto menor for o Kc, mais circular é a bacia e maior a tendência de haver picos de enchente.

4.3.1.2 Declividade

Para a obtenção da declividade inicialmente foi obtido a altimetria do terreno. Portanto, foi identificado que a BHRU tem uma variação que vai de 834 metros a 1175 metros de altitude. Havendo o predomínio de áreas com elevação entre 850 a 950 metros. A Tabela 27 apresenta os dados referente a altimetria do terreno.

Tabela 27 – Hipsometria da BHRU e suas respectivas porcentagem.

Hipsometria (m)	Área	
	hectares	%
> 834 ≤ 850	255,26	2,65
> 850 ≤ 900	2565,30	26,61
> 900 ≤ 950	3423,55	35,52
> 950 ≤ 1000	1915,41	19,87
> 1000 ≤ 1050	1109,29	11,51
> 1050 ≤ 1100	334,00	3,47
> 1100 ≤ 1150	31,98	0,33
> 1150 ≤ 1175	4,21	0,04

De acordo com o modelo digital de elevação do terreno, foi possível observar com a classificação Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 48,42% do terreno é composto por relevos ondulados (EMBRAPA, 2006). Ou seja, constituído por conjunto de colinas, apresentando declividade moderada, entre 8 a 20 de declividade. Conforme é possível observar na Figura 30, a forma topográfica é representada pela cor amarela, distribuída ao longo de toda a bacia hidrográfica.

Por sua vez, a forma de relevo Plana, representa 15,33% da BHRU. É predominante na parte baixa da bacia, na porção norte e nordeste. Os terrenos classificados como Suave Ondulados representam 16,31% da bacia, as áreas de Forte Ondulação representam 19,67% e a menor área é representada por terrenos Montanhosos, com 0,25% da bacia. A Tabela 28 apresenta os valores da declividade da bacia hidrográfica e suas respectivas classes de relevo.

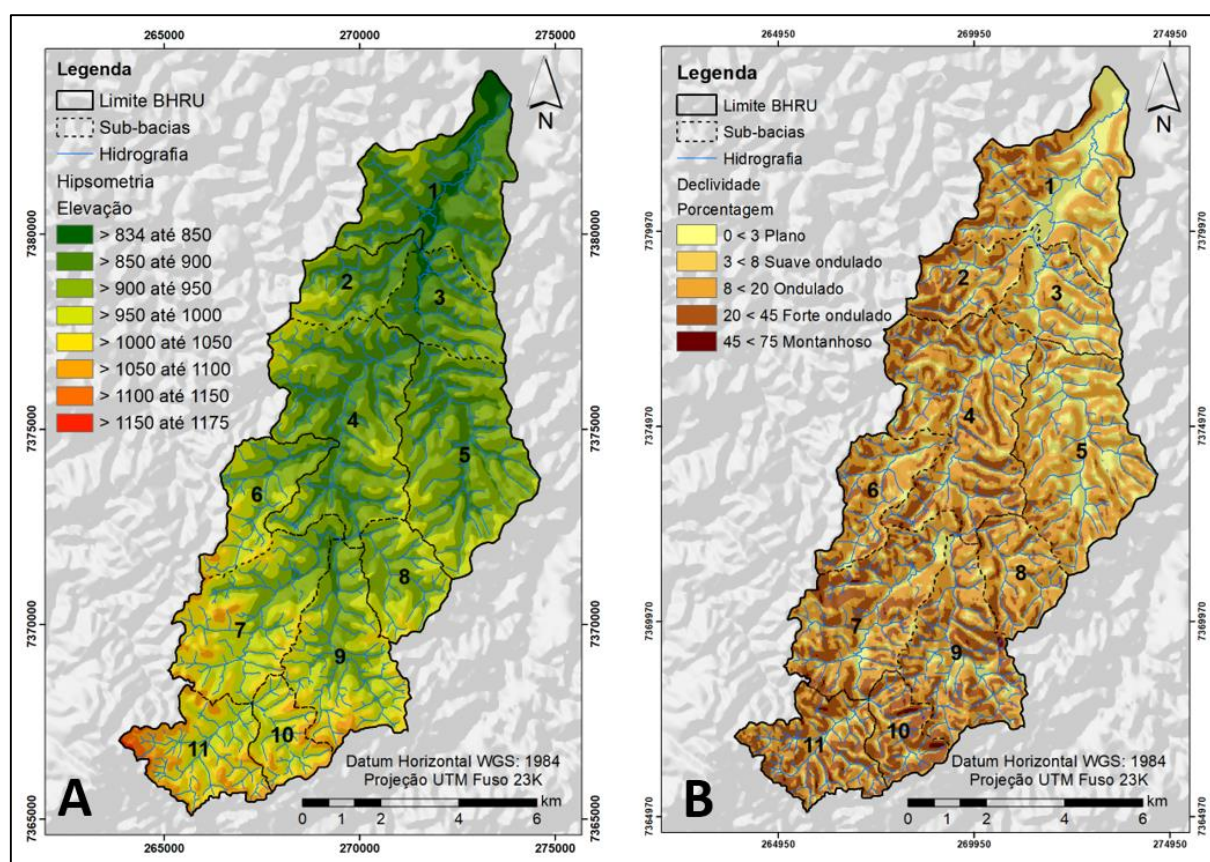
Tabela 28 – Quantificação da área das respectivas classes de declividade.

Declividade (%)	Situação do relevo	Área	
		hectares	%
Até 3	Plano	1477,757	15,332
$> 3 \leq 8$	Suave ondulado	1572,621	16,315
$> 8 \leq 20$	Ondulado	4667,202	48,420
$> 20 \leq 45$	Forte ondulado	1896,457	19,675
$> 45 \leq 75$	Montanhoso	24,833	0,257

Quando observada a média dos valores de pixels para cada sub-bacia, foi obtido que apenas a sub-bacia número 10 apresenta valor médio de declividade superior a 20%, sendo classificada como Fortemente Ondulada. As demais sub-bacias foram todas classificadas como Onduladas, ou seja, com valores de declividade entre 8 e 20%.

A Figura 29 A apresenta o mapa Hipsométrico da BHRU e a Figura 30 B apresenta o mapa de Declividade com suas respectivas classes de relevo.

Figura 29 - Mapa de declividade em porcentagem da BHRU.



O conhecimento da declividade do terreno é de extrema importância para a definição de áreas protegidas por lei, assim como define as aptidões do uso e ocupação da terra. Terrenos com relevo acentuados não são propícios a agricultura, ou até mesmo para a ocupação de áreas urbanas, fornecendo subsídio para o manejo e gestão dos recursos hídricos (MAGESH, et al. 2013).

4.3.1.3 Capacidade de escoamento

4.3.1.3.1 Densidade de drenagem

O escoamento superficial é caracterizado pelo deslocamento da água na superfície da terra. Tem origem, fundamentalmente, nas precipitações e constitui, uma das mais importantes fases do ciclo hidrológico, uma vez que a maioria dos estudos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento (TUCCI, 1993).

Referente a Densidade de drenagem (Dd) total da BHRU, uma vez que a área total da bacia é igual a $96,5\text{km}^2$ e que a extensão total dos cursos d'água é de 277,09 km, a Dd_{BHRU} é igual a $2.9\text{km}/\text{km}^2$.

A BHRU apresenta 424 nascentes. Os cursos d'água de primeira ordem apresentam comprimento total de 142,68km e são os que apresentam a maior frequência, correspondendo a 72% do total de rios da bacia.

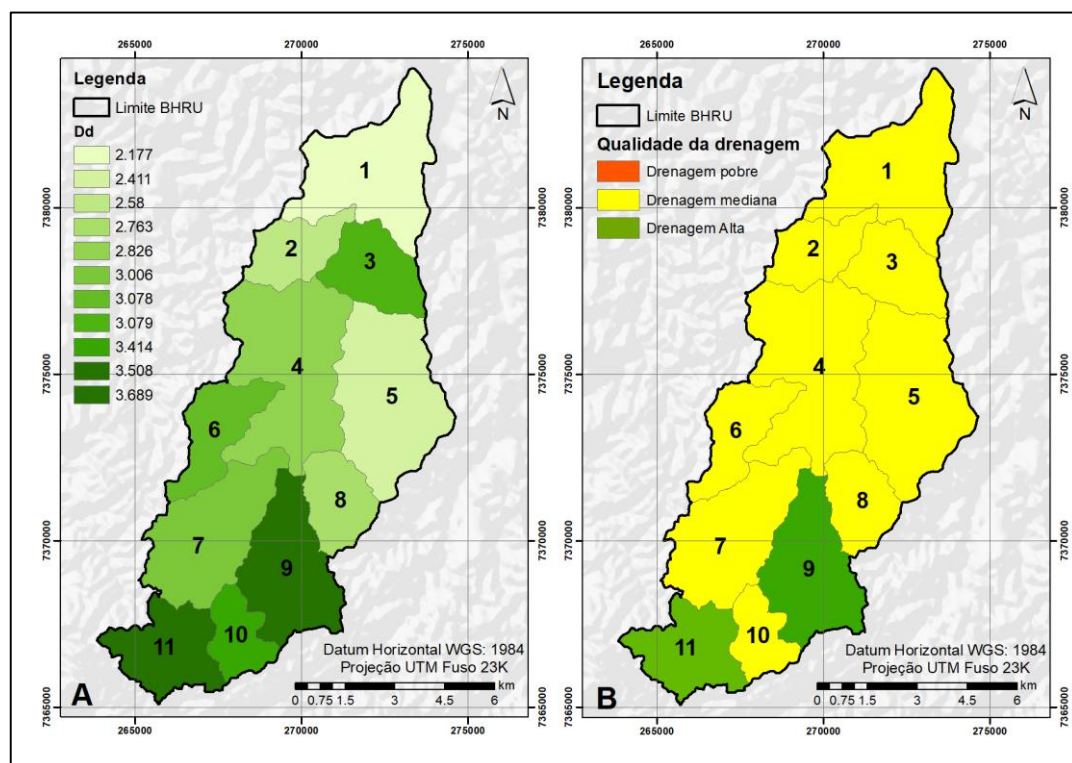
De acordo com Strahler (1952), os canais de primeira ordem são os menores rios, não possuem tributários e estão associados a nascentes. A ordem aumentando a cada confluência com outros canais em direção ao canal principal. A Dd apresenta a relação entre o comprimento e a rede de drenagem e a área da bacia. A Tabela 29 mostra a distribuição dos valores da BHRU.

Tabela 29 – Atribuição dos valores de Densidade de drenagem por sub-bacia.

Sub-bacias	Área (Km²)	Comprimento da hidrografia(Km)	Dd
1	12,728	27.707	2,177
2	4,804	12,393	2,580
3	5,984	18,429	3,079
4	15,978	45,157	2,826
5	14,187	34,211	2,411
6	5,699	17,540	3,078
7	11,210	33,695	3,006
8	5,025	13,884	2,763
9	10,073	37,163	3,689
10	3,715	12,684	3,414
11	6,988	24,511	3,508

A Figura 30 A mostra a distribuição dos valores de Dd pela BHRU e a Figura 29 B apresenta a qualidade da drenagem.

Figura 30 – Distribuição da Densidade de drenagem ao longo das BHRU e qualidade da densidade drenagem



De acordo com a hipsometria da bacia hidrográfica, foi observado que há variação de 339 metros de altitude entre a nascente a foz. De acordo com a distribuição dos cursos d'água há boa densidade de drenagem na porção da cabeceira da bacia.

De acordo com a classificação de Villela e Mattos (1975) apenas as sub-bacias 9 e 11 podem ser classificadas como excepcionalmente bem drenadas, pois tem valor superior a 3,5km/km². Entretanto as demais sub-bacias estão classificadas como de qualidade de drenagem média, uma vez que a sub-bacia com menor valor apresentam valor de 2,18 km/km².

4.3.1.3.2 Coeficiente de Rugosidade

Para a obtenção do Coeficiente de rugosidade (RN) é necessário levar em consideração a declividade da BHRU. De acordo como os resultados obtidos no item 3.3.2, denominado Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos a declividade média da bacia é de 7,36%.

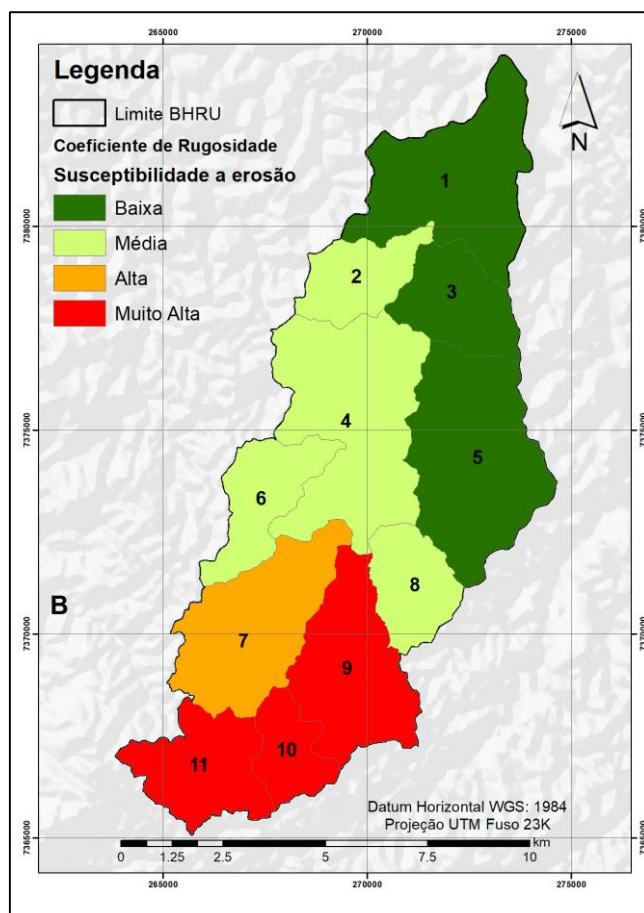
A Tabela 30 apresenta os valores da declividade média para cada sub-bacia, assim como os valores da Dd e de RN.

Tabela 30 - Atribuição dos valores do Coeficiente de Rugosidade por sub-bacia

Sub-bacias	Declividade Média (%)	Dd	RN
1	5,559	2,177	12,102
2	8,471	2,580	21,855
3	5,254	3,079	16,177
4	8,643	2,826	24,425
5	5,769	2,411	13,909
6	7,944	3,078	24,452
7	9,208	3,006	27,679
8	8,320	2,763	22,988
9	9,093	3,689	33,544
10	11,827	3,414	40,377
11	10,296	3,508	36,118

A Figura 31 apresenta a espacialização da distribuição dos valores de RN por sub-bacias.

Figura 31 – Mapa de susceptibilidade a erosão de acordo com o Coeficiente de rugosidade.

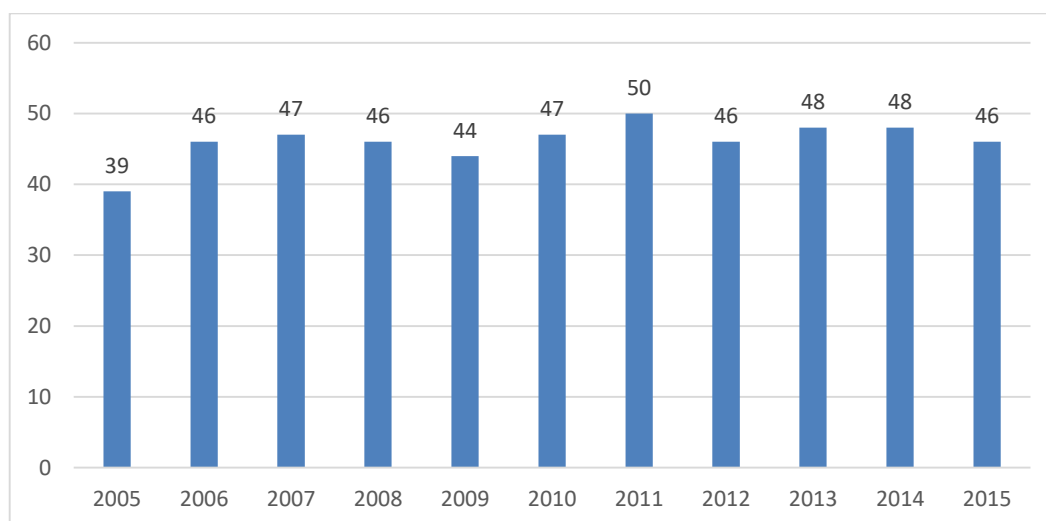


De acordo com Silva, et al. (2016), a rugosidade está associada a susceptibilidade a erosão. Desta forma, as sub-bacias classificadas com baixa susceptibilidade a erosão foram as sub-bacias 1, 3 e 5. As sub-bacias que se destacaram por apresenta muito alta susceptibilidade foram as localizadas na porção mais alta da BHRU, sendo elas, sub-bacias 9, 10 e 11. As demais sub-bacias, 2, 4, 6 e 8 foram classificadas como média susceptibilidade a erosão e apenas a sub-bacia número 7 foi classificada com alta susceptibilidade.

4.3.2 Variável Química

De acordo com os relatórios da CETESB, foi observado que nos últimos 10 anos a BHRU mantém a categoria de classificação do IQA em níveis Regular, variando sempre dentro do intervalo $>36 \leq 51$ (Figura 32).

Figura 32 – Valores médios dos Relatórios de IQA entre 2005 e 2015



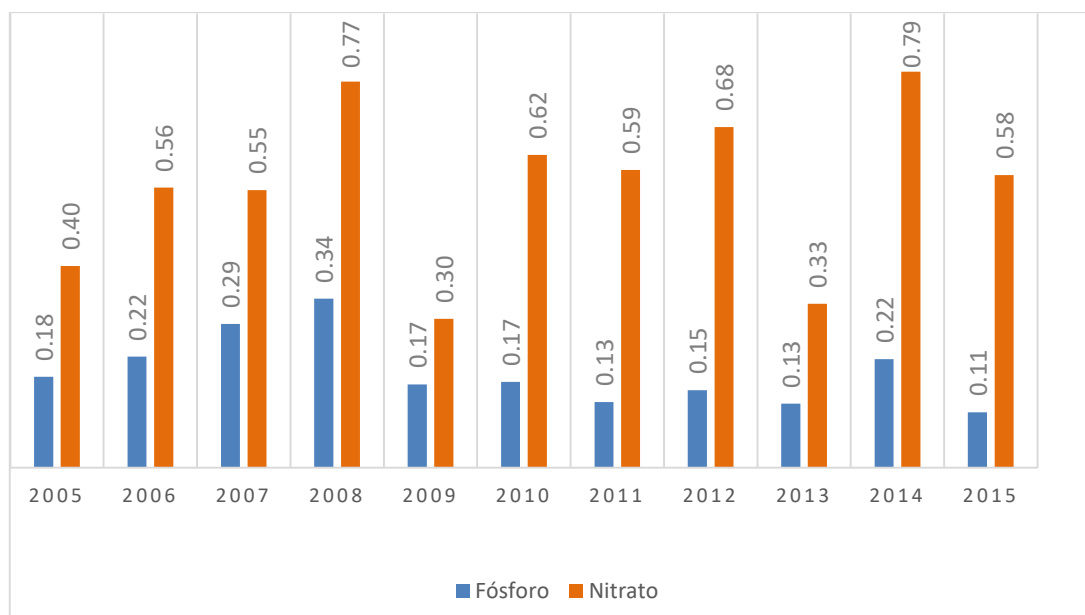
Fonte: CETESB (2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016)

O IQA é um índice composto por 9 parâmetros, desenvolvido por Brown et al. (1970) e adaptado pela CETESB (2015). Trata-se do mais efetivo método de aferir a qualidade da água. O índice simplifica um conjunto de informações em um resultado único final, variando entre 0 a 100, baseado nos parâmetros avaliados mensurando a qualidade da água. Entretanto um resultado único, impossibilita a interpretação dos componentes individuais (AKTER et al., 2016).

Segundo Resende (2002), a contaminação por fósforo e nitrogênio são as principais formas de contaminação da água associadas por atividades agropecuárias. O aumento do número de moléculas de nitrato na água indica risco potencial para a presença de outras substâncias, tais como moléculas sintéticas de defensivos agrícolas. Já o aumento do fósforo acelera o processo de eutrofização de corpos d'água.

Portanto, com o intuito de avaliar os níveis do potencial de eutrofização dos cursos d'água da BHRU a Figura 33 apresenta a média os níveis de Fósforo total e Nitrato foram avaliados de forma independente entre os anos de 2005 e 2015.

Figura 33 – Concentração de Fósforo total e Nitrato da BHRU entre os anos de 2005 e 2015.



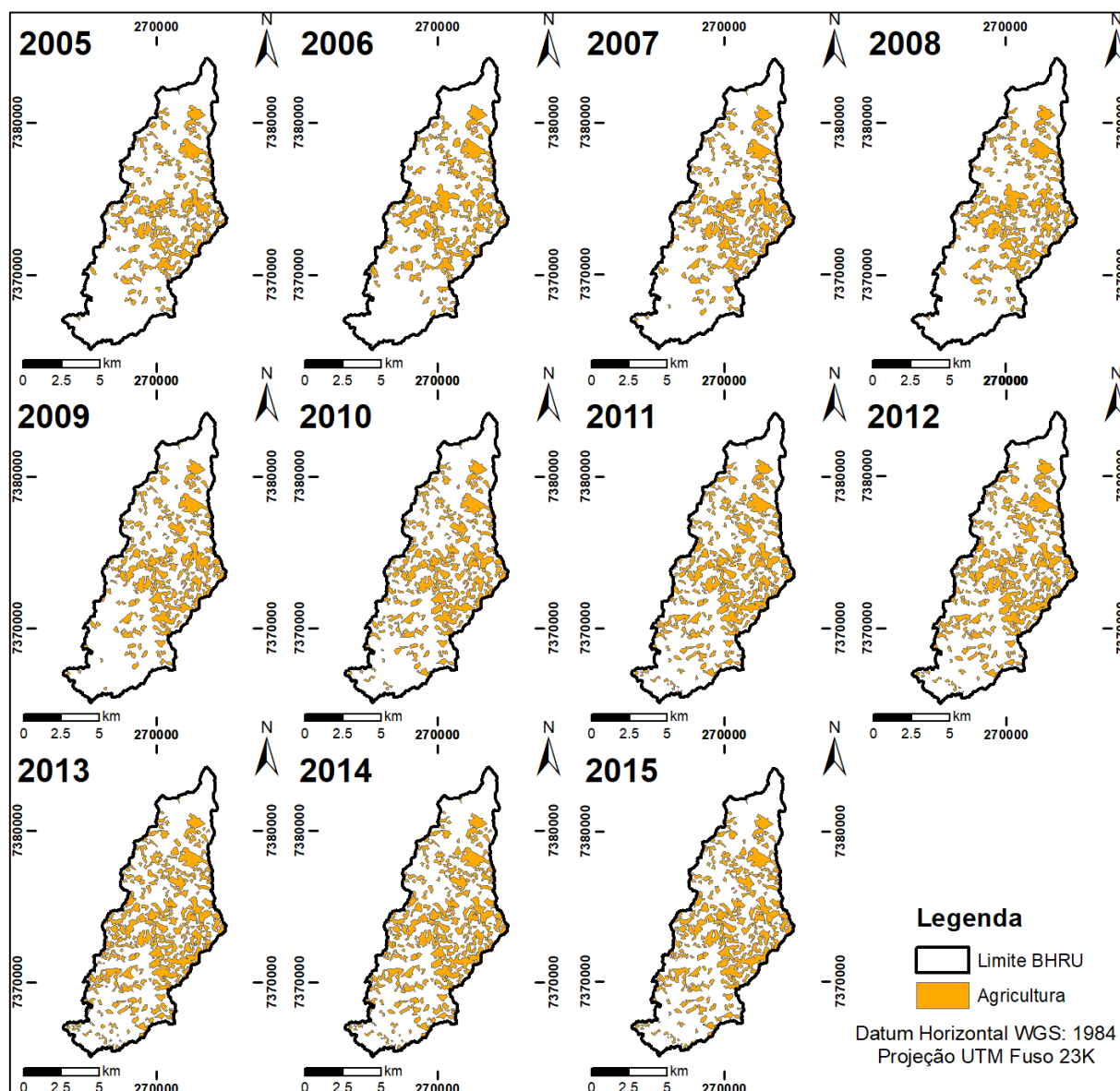
Fonte: CETESB (2006; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016).

De acordo com os relatórios da CETESB e os padrões da Resolução CONAMA 375/05, os valores máximos de tolerância para consumo humano para Nitrato são de 10 mg/L e 0,1 mg/L para Fósforo total, esses valores podem varia em função do regime dos corpos hídricos.

Assim, de acordo com o gráfico, é possível observar que os maiores níveis de Nitrato foram observados nos anos de 2008 e 2014 e o menor valor foi em 2009. A média total dos valores é considerada baixa para Nitrato, uma vez que não ultrapassam 10% do valor máximo de tolerância. Entretanto para todos anos avaliados os valores de Fósforo excedem os padrões de qualidade da Resolução CONAMA 257/05.

Para avaliar a expansão da atividade agrícola em função dos níveis de fosforo o mapa da Figura 34 apresenta distribuição as áreas de agricultura da BHRU dentro do período de 2005 a 2015.

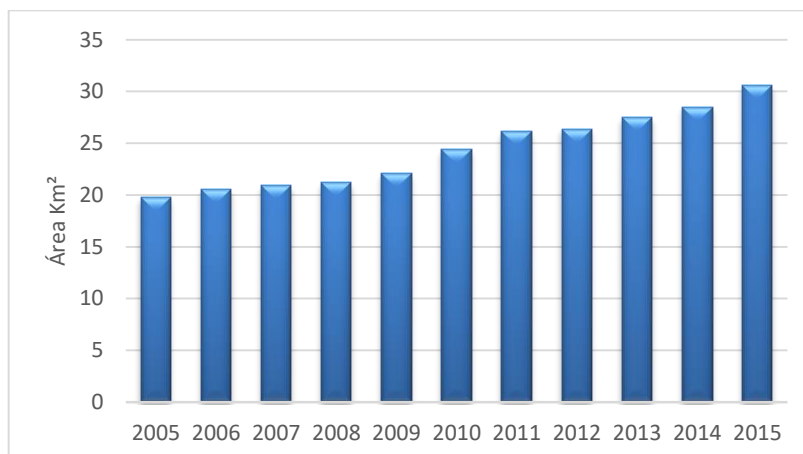
Figura 34 – Mapa temático da expansão agrícola entre os anos de 2005 e 2015.



É possível observar que houve um crescimento exponencial da área de uso agrícola. A Figura 33 mostra o crescimento em km^2 para a BHRU. Podemos observar que no ano de 2005 $19,77\text{km}^2$ eram destinados a agricultura, alcançando $30,56\text{ km}^2$ no ano de 2015.

A Figura 35 apresenta um gráfico com as respectivas áreas de ocupação destinadas a atividades agrícolas dentro do período estudado.

Figura 35 – Valores referente a expansão agrícola entre os anos de 2005 e 2015.

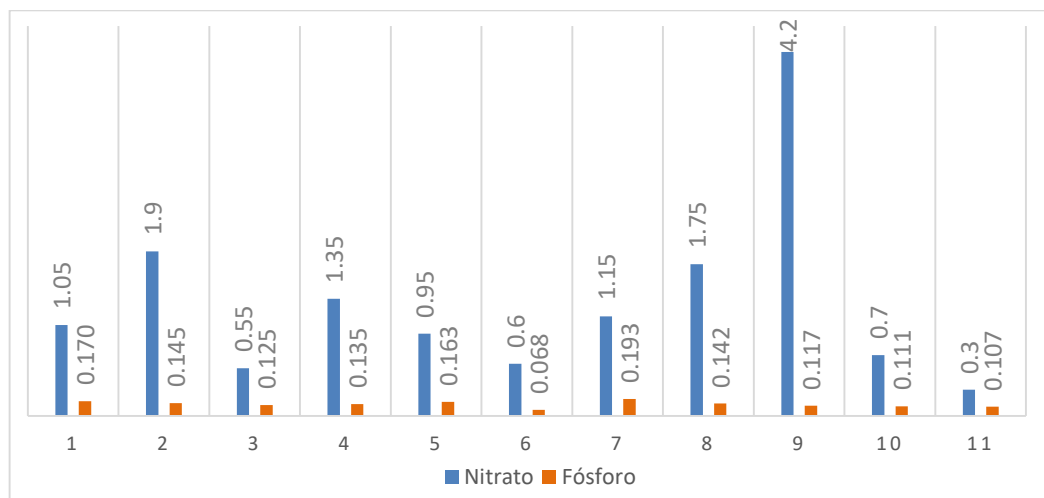


É possível avaliar com os resultados obtidos, que o crescimento da atividade agrícola não está diretamente relacionado com as médias dos níveis de fósforo encontrados nos relatórios da CETESB, uma vez há uma oscilação dos valores de fósforo, e não um crescimento exponencial como na área de uso agrícola. Ou seja, os níveis de fósforo encontrados no exutório da bacia não são proporcionais a área de uso agrícola.

Segundo Resende (2002), essa variação deve-se ao regime de chuvas, quantidade e época de aplicação de fertilizantes. Os excessos de chuvas juntamente com as águas de irrigação promovem a lixiviação de contaminantes até os cursos d'água. Essa contaminação é facilitada pelas condições de solos expostos das áreas agrícolas, que facilitam o processo de lixiviação. Além do escoamento superficial há uma porcentagem de contaminantes que percolam o solo e contaminam e lençóis freáticos.

Em um estudo que avaliou o IQA das sub-bacias da BHRU no ano de 2016, Moraes (2017), obteve os valores de fósforo total e de nitrato para cada sub-bacia. A Figura 36 mostra os valores obtidos através da amostragem de água.

Figura 36 - Níveis de Fosforo total e Nitrato das Sub-bacias no ano de 2016



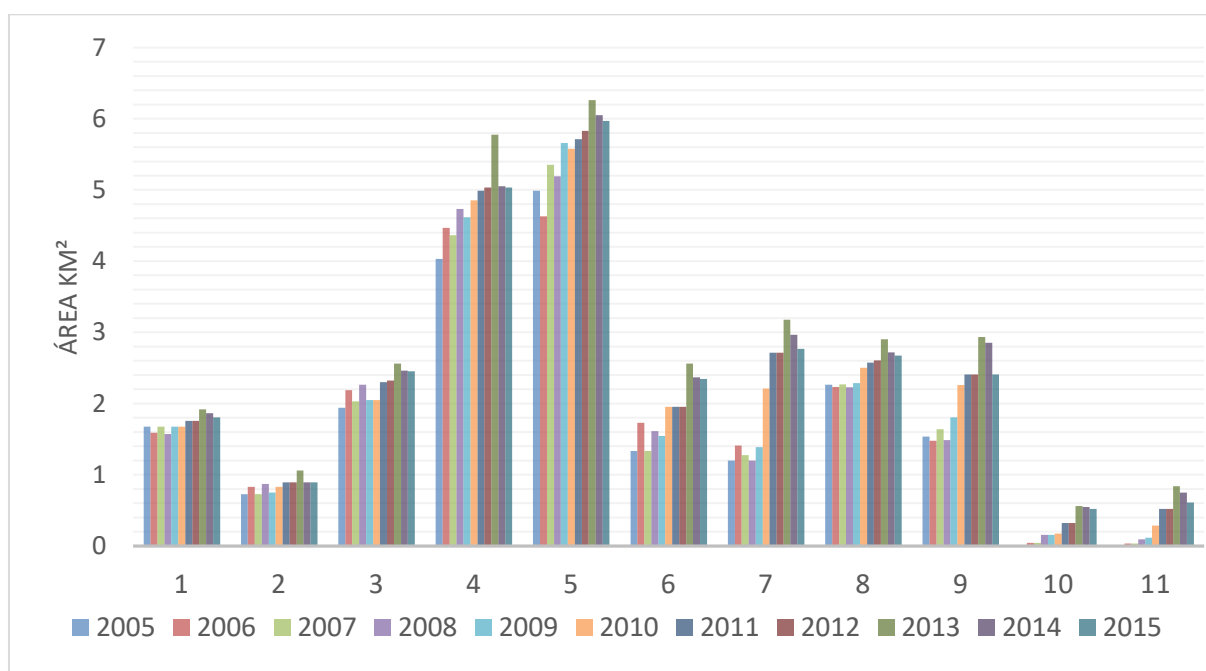
Fonte: Moraes (2017)

Os resultados mostram que apenas a sub-bacia número 6 apresenta valores aceitáveis de fósforo, as demais não atendem os padrões de qualidade da Resolução CONAMA 357/05.

Referente ao nitrato, todas as sub-bacias estão dentro do valor permitido, entretanto a sub-bacia 9 destaca-se com os maiores valores encontrados, seguido da sub-bacia 2.

Além da análise da expansão agrícola total da BHRU, obteve-se a expansão por sub-bacias. A Figura 37 mostra o gráfico da expansão da agricultura das 11 sub-bacias entre os anos 2005 e 2015.

Figura 37 – Gráfico da expansão agrícola por Sub-bacias.



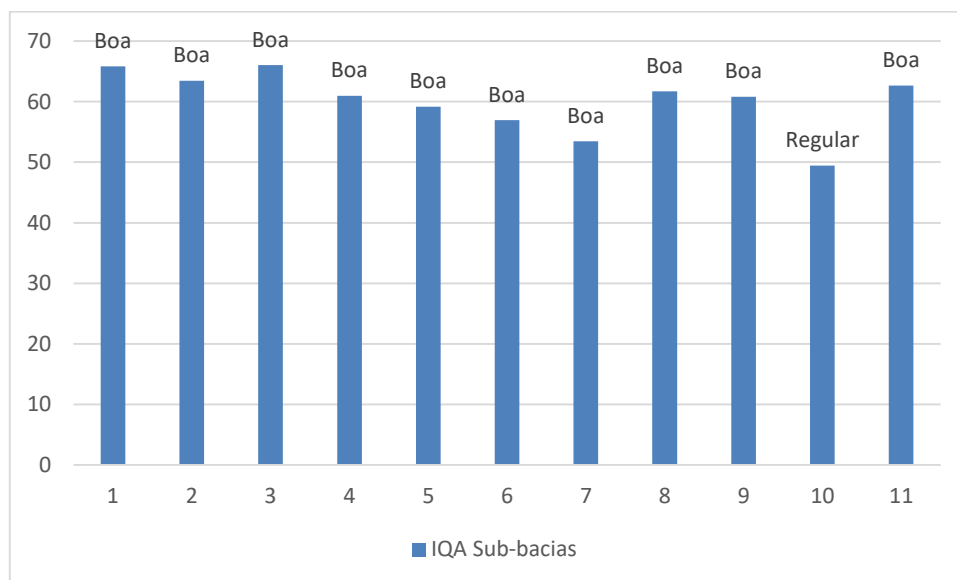
Nota-se que houve crescimento da atividade agrícola em todas as sub-bacias, entretanto as sub-bacias 4 e 5, localizadas na região central da BHRU, destacaram-se pela maior área e maior expansão entre as demais sub-bacias.

Assim como o resultado obtido para a BHRU, novamente, comprova-se a inexistência de relação do aumento dos níveis de fósforo e nitrato.

Devido ao peso atribuído as variáveis Nitrogênio total e Fósforo total para o cálculo de IQA estarem entre os menores pesos, os resultados para o IQA das sub-bacias, também não apresentam relação entre os valores avaliadas.

A Figura 38 apresenta o gráfico com os valores de IQA das sub-bacias, encontrado por Moraes (2017).

Figura 38 – Índice de Qualidade de Água por Sub-bacia



Fonte: Moraes (2017)

De acordo com o IQA das sub-bacias, apenas a sub-bacia número 10 apresenta qualidade de água considerada como regular.

Conforme Resende (2002), a intensidade de contaminação depende principalmente da quantidade de nitrato presente no solo, da permeabilidade, das condições climáticas e do manejo da irrigação das áreas agrícolas. Portanto, a hipótese de que o aumento da contaminação por nitrato e fósforo é proporcional às atividades agrícolas não é comprovada, pois existem outras variáveis que influenciam no resultado.

4.3.3 Variável Ecológica

4.3.3.1 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

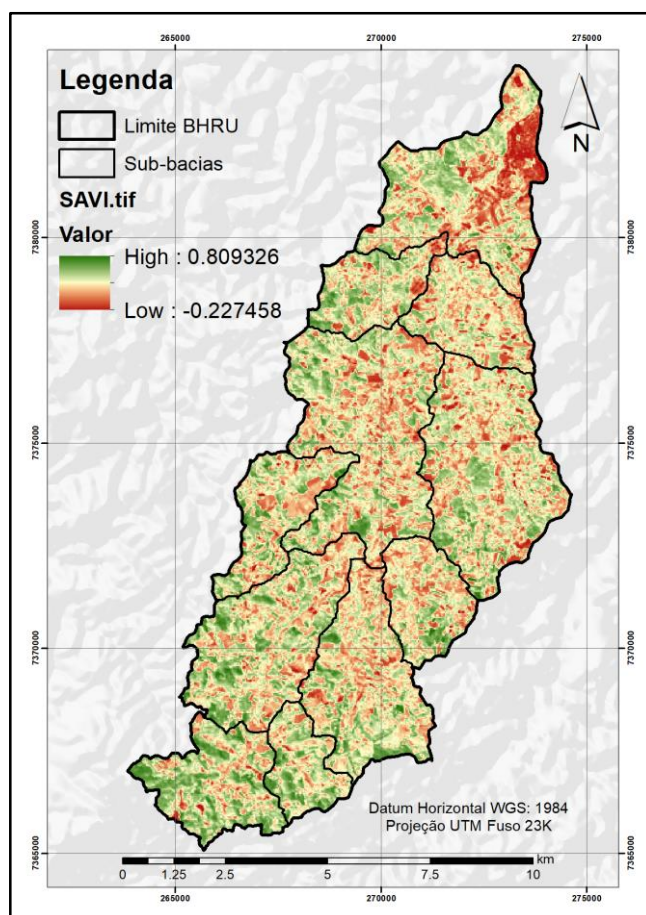
Os resultados da variável ecológica foram baseados no vigor vegetativa da bacia hidrográfica. Portanto, de acordo com Epiphanyo et al. (1996), além de Boratto e Gomide (2013) a utilização de índices de vegetação como o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), facilita a obtenção de parâmetros biofísicos das plantas, isso porque o SAVI utiliza imagens com o espectro eletromagnético do infravermelho, que fornece informações sobre a evapotranspiração das plantas.

A obtenção dos índices de vegetação é baseada no comportamento oposto da refletância da vegetação na região do visível, ou seja, quanto maior a densidade vegetal, menor é a refletância em função da absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes e quanto maior densidade vegetal, maior a refletância devido ao espalhamento nas diferentes camadas das folhas (BORATTO; GOMIDE, 2013).

Em um estudo que avaliou diversos índices vegetais, levando em consideração sua sazonalidade, Souza (2017) obteve valores de SAVI entre -0,31 e 0,95 para o mês de janeiro de 2015 e de -0,18 a 0,80 para agosto de 2015.

De acordo com os resultados obtidos para o período de estiagem de 2016, os valores de SAVI são próximos ao encontrado por Souza (2017). Entretanto é possível observar na Figura 39 que houve um pequeno aumento do valor mínimo, demonstrando uma perda de área de vegetação em relação aos valores obtidos no período de estiagem, uma vez que valores negativos são expressos por áreas construídas ou por áreas de solo exposto, sem vegetação.

Figura 39 – Mapa da Índice de Vegetação Ajustado ao Solo da BHRU.



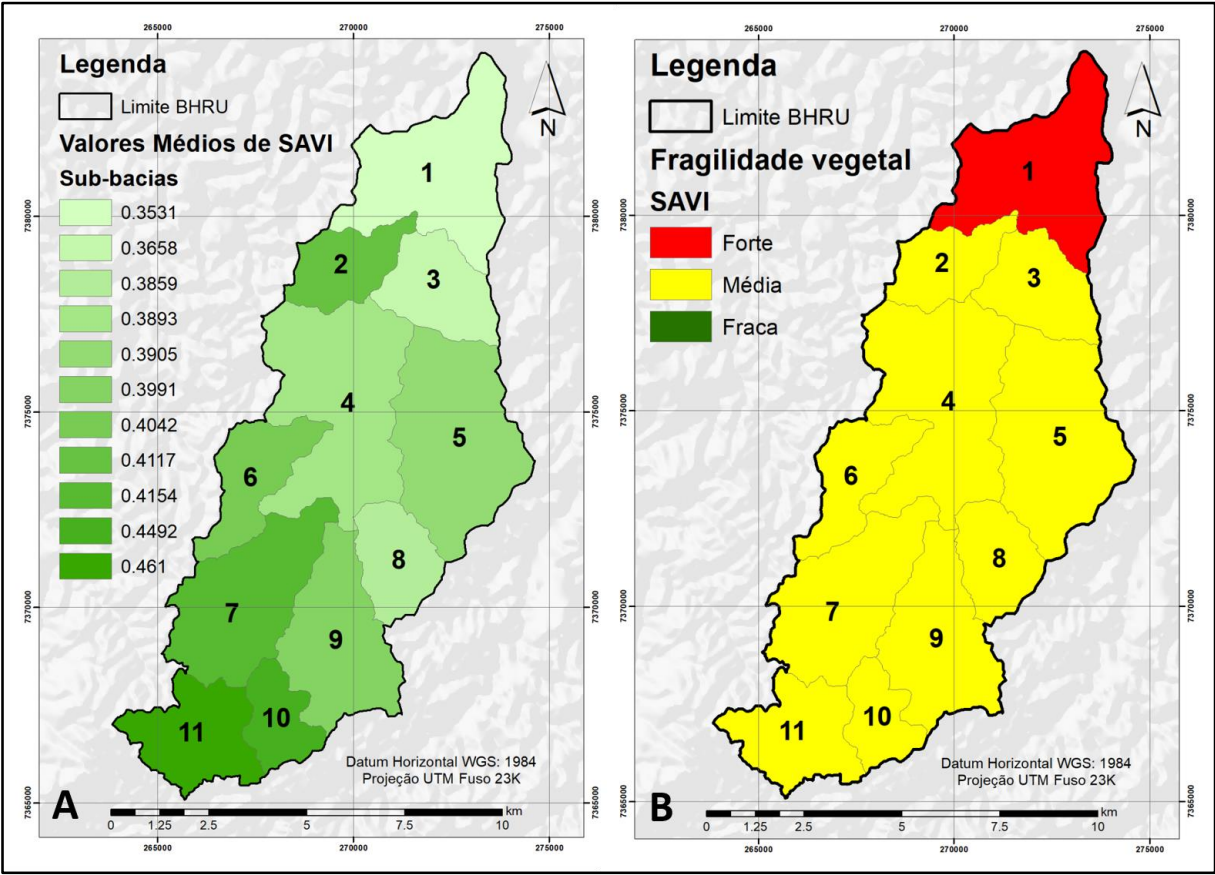
Os valores de SAVI variam entre -1.5 a 1.5 com as mesmas, sendo que a vegetação possui valores positivos, corpos d'água e áreas edificadas têm resposta negativa e os próximos de zero representam solo exposto (ANDRADE, et al., 2013).

A Figura 40 mostra os valores médio de pixels encontrados, apresentando a classificação das sub-bacias por ordem crescente, de acordo com a densidade vegetativa encontrada através do SAVI e sua respectiva fragilidade vegetal.

A Figura 40 A apresenta o resultado das classes dos estágios vegetais conforme Silva, Melo e Galvêncio (2011). A Figura 41 B mostra a fragilidade vegetal de acordo com Kawakubo (2005) e Oliveira et al. (2015).

Portanto, a vegetação com SAVI menor que 0,35 é classificada como vegetação rala a esparsa, com forte fragilidade vegetal; entre 0,35 e 0,44 a vegetação é classificada de esparsa a densa, com fragilidade média; e com SAVI maior que 0,78 a vegetação é densa, com fragilidade vegetal fraca. Portanto, apenas a sub-bacia 1 é classificada como forte, e as demais, são classificadas com intermediárias, ou seja, de fragilidade vegetal, média.

Figura 40 - Mapa temático do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo por sub-bacias e mapa de fragilidade vegetal.



A Tabela 31 apresenta os valores máximo, mínimo e valores médios de pixel, consoante a Figura 41 A.

Tabela 31 – Valores de SAVI classificados por Sub-bacias.

Sub-bacias	Valor mínimo	Valor Máximo	Média
1	-0,13	0,80	0,3531
2	-0,02	0,69	0,4117
3	-0,21	0,74	0,3658
4	-0,13	0,77	0,3893
5	-0,22	0,76	0,3905
6	-0,19	0,73	0,4042
7	-0,12	0,76	0,4154
8	-0,14	0,80	0,3859
9	-0,05	0,73	0,3991
10	-0,06	0,73	0,4492
11	-0,14	0,73	0,461

Como é possível observar, as sub-bacias com menor densidade vegetal foram as sub-bacias 1 e 3, é possível interpretar esse resultado como esperado, uma vez que essas duas sub-bacias estão localizadas na região urbana do município de Ibiúna.

Entretanto diferente do resultado obtido a partir das classes de Demarchi et al. (2011), podemos considerar de acordo com os resultados de SAVI e das análises das imagens de satélite, que as sub-bacias 2, 7, 10 e 11 possuem considerável densidade vegetal, principalmente as sub-bacias 10 e 11, por estarem localizadas em áreas com poucas atividades agrícolas de altitude elevada e de difícil acesso para praticas agricultura.

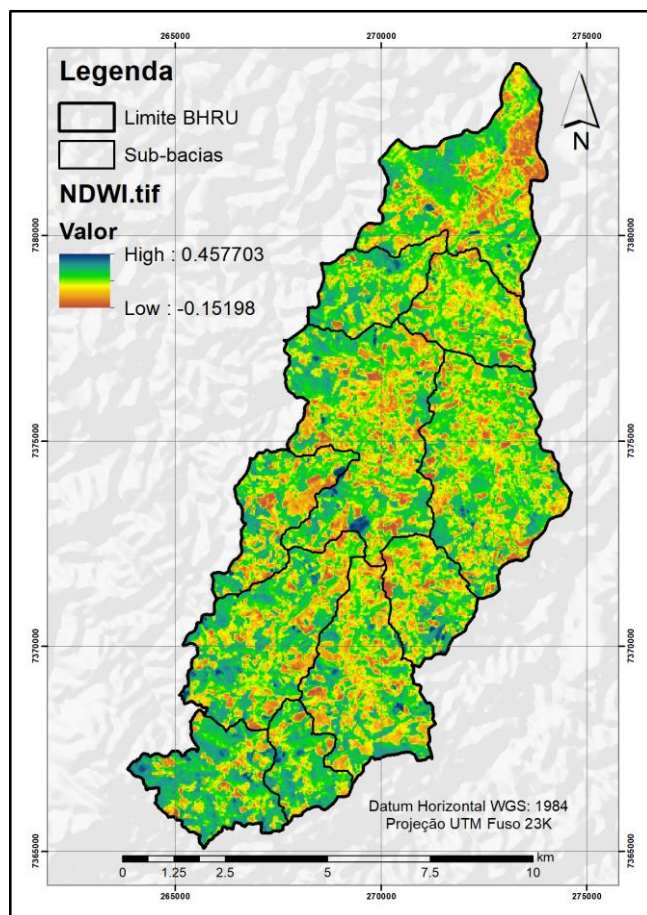
4.3.3.1 Índice de Água por Diferença Normalizada

As observações por satélite, especificamente das bandas espectrais na região de ondas curtas do infravermelho, vêm ajudando a descrever cada vez melhor as alterações fenológicas relacionadas ao teor de água na vegetação. O NDWI é capaz de estimar a umidade presente na estrutura vegetal, mensurando o conteúdo de água, as mudanças na biomassa e do estresse vegetativo (GAO, 1996; JENSEN, 2009).

Em um estudo que avaliou o teor de água na vegetação da bacia hidrográfica do rio Una, levando em consideração sua sazonalidade, Souza (2017) obteve valores de NDWI de -0.16 a 0.44 no o período de estiagem.

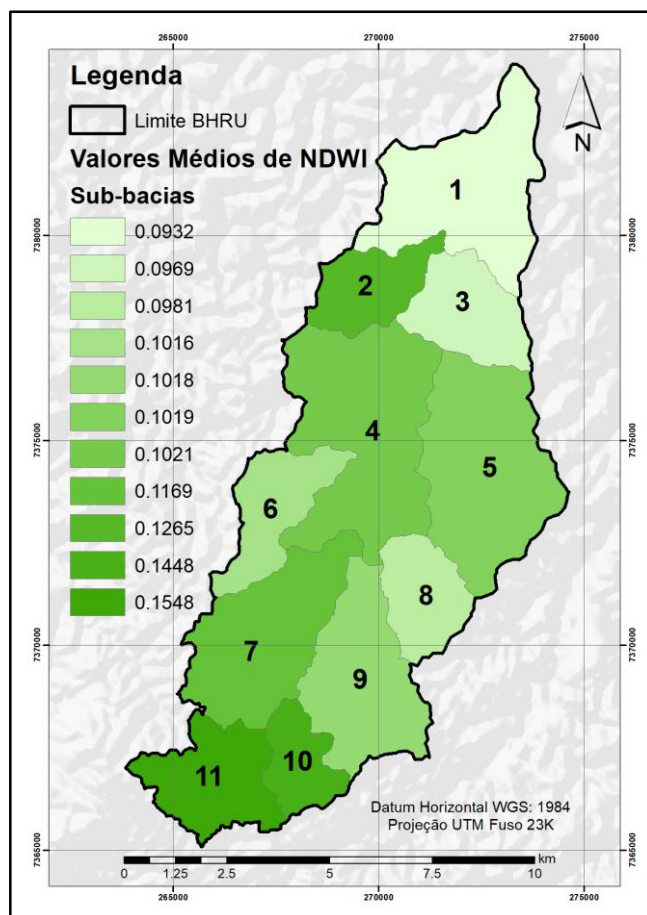
A Figura 41 apresenta os resultados do NDWI para a BHRU em 2016. Pode-se observar que os resultados assemelham-se ao encontrado por Souza (2017) em 2015. Entretanto, pode-se observar uma diminuição no valor mínimo e um aumento no valor máximo do NDWI, significando que houve um aumento nas áreas verdes com umidade.

Figura 41 - Mapa do Índice de Água por Diferença Normalizada da BHRU



Após a análise dos valores de NDWI por sub-bacias, foi possível avaliar que, de acordo com as classes de teor de água na vegetação definidos por Oliveira (2013), todas as sub-bacias da BHRU estão classificadas como com teor de água moderado na vegetação. A Figura 42 apresenta o mapa temático com os respectivos valores por sub-bacias.

Figura 42 - Mapa temático do NDWI da BHRU e valores médios por sub-bacias



De acordo com Oliveira (2013), os valores de NDWI entre 0,07 e 0,26 são identificados com teor moderado de área vegetal. Oliveira et al. (2010) atribui valores negativos de NDWI a áreas com alto grau de intervenção antrópica e valores acima de 0,30 para vegetação arbustiva arbórea fechada e áreas de cultura irrigada

Souza (2017) complementa e classifica a vegetação com valores inferior a 0,32 como vegetação esparsa e/ou menos densa, natural ou antrópica com campos, pastagens e áreas agrícolas.

A Tabela 32 apresenta os valores máximo, mínimo e valores médios de pixel, consoante a Figura 42.

Tabela 32 - Valores de NDWI classificados por Sub-bacias.

Sub-bacias	Valor mínimo	Valor Máximo	Média
1	-0,14	0,38	0,0932
2	-0,11	0,32	0,1265
3	-0,11	0,35	0,0969
4	-0,14	0,45	0,1021
5	-0,13	0,38	0,1019
6	-0,12	0,39	0,1016
7	-0,13	0,35	0,1169
8	-0,13	0,39	0,0981
9	-0,14	0,34	0,1018
10	-0,11	0,33	0,1448
11	-0,15	0,33	0,1548

Mesmo todas as sub-bacias estando classificadas com teor médio de água, é possível observar que três das sub-bacias se aproximam mais dos valores classificados como áreas de vegetação com baixo teor de águas, são as sub-bacias 1, 3 e 8. As sub-bacias 1 e 3 estão localizadas na zona urbana do município de Ibiúna e a 8 trata-se de uma área com predomínio de áreas agrícolas.

As sub-bacias com maiores valores, são 2, 10 e 11, assim como identificado para SAVI, essas sub-bacias são as áreas com maior densidade vegetal em toda a BHRU.

4.3.4 Considerações finais a respeito do Estado

As condições do Estado do meio ambiente incluem componentes físicas, químicas e naturais. De acordo com os resultados obtidos, a BHRU pode ser considerada uma bacia bem ramificada, apresentando rios de quinta ordem, com densidade de drenagem mediana, refletindo as condições geomorfológicas da região.

De maneira geral, as sub-bacias apresentam forma mais alongada à quadrática, com fator de forma e índice de compacidade distantes da unidade, o que indica maior tempo de concentração do escoamento superficial até atingir a saída da bacia e menores tendências a enchentes. No que se refere ao Índice de Compacidade e Fator de forma, as sub-bacias que se destacam como áreas de maior propensão a enchentes.

Os valores da hipsometria e declividade da BHRU demonstraram que as áreas de maior altitude e maior declividade foram as sub-bacias da região sul.

Terrenos montanhosos, sem capacidade de escoamento aumentam a probabilidade de erosão, enchentes e assoreamento dos rios. Entretanto existem outras variáveis que determinam esses impactos. Como o nível de impermeabilização dos terrenos, proximidade a áreas de plantio e cobertura vegetal e densidade de drenagem.

O coeficiente de rugosidade por exemplo, que leva em consideração a drenagem e a declividade do terreno, confirma que as áreas com maior susceptibilidade a erosão estão localizadas na região sul da BHRU. Sendo as sub-bacias 9, 10 e 11 com susceptibilidade Muito Alta a erosão e a sub-bacia 7 classificada como Alta.

No que diz respeito as variáveis de IQA o resultado obtido foi a ausência de correlação dos níveis de Nitrato e Fosforo total das águas em função da expansão das áreas de uso agrícola ao longo de 10 anos avaliados.

Referente ao vigor vegetativo da BHRU, obteve-se como resultado a existência de grande fragilidade vegetal, assim como baixo teor de umidade nas áreas de mata da bacia, de acordo com os parâmetros avaliados.

Entretanto, de acordo com a orientação do fluxo de águas da BHRU, que segue no sentido sudoeste/norte predominantemente, assim como a exposição à radiação solar, verifica-se que a maior parte de seu relevo da porção sul da BHRU encontra-se com suas encostas voltadas para o sentido sul/leste.

De acordo com Alkimim et al. (2013), as encostas voltadas para sul/leste tendem a ter menor perda de água por evapotranspiração e mantem a umidade da vegetação, o oposto ocorre com as áreas com o relevo voltadas para norte/oeste.

Esse resultado confirma os dados encontrados de acordo com os mapas de SAVI e NDWI, que apresentaram maior umidade e maior densidade vegetal nas sub-bacias da região sul da BHRU.

4.4 Indicadores de Impacto

Mudanças na qualidade e funcionamento do ecossistema têm um impacto sobre o bem-estar dos seres humanos, incluindo a produção de bens e serviços ecossistêmicos e, em última análise, o bem-estar humano (BRADLEY; YEE, 2015).

4.4.1 Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos

O crescimento da população nos últimos anos e a expansão agrícola aumentam a demanda e o consumo da água. A qualidade dessa água é fundamental para a sobrevivência de diversas espécies, assim como influencia na qualidade de vida da população local.

Assim, a pressão exercida nos recursos hídricos pelas atividades antrópicas, podem ser avaliadas de acordo com a conservação da vegetação ripária, resíduos sólidos domiciliares gerados e abastecimento de água presentes, gerando como produto final o Indicador de Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos (IPDRH) (SILVA et al., 2017).

Para o início das análises da pressão exercida nos recursos hídricos foi obtido a segmentação da BHRU.

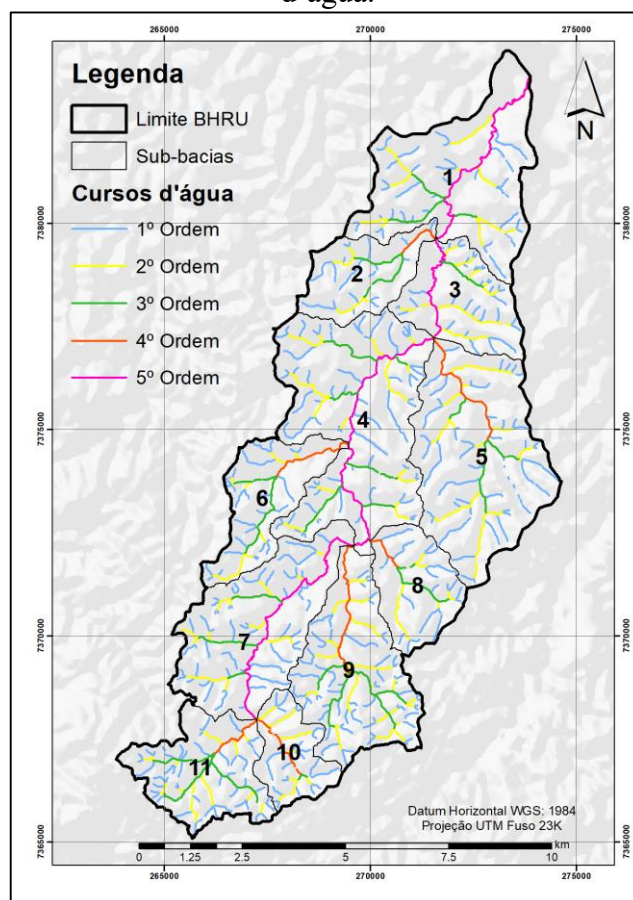
A bacia apresenta o curso de água principal, classificado como de quinta ordem, portanto, as sub-bacias apresentam seus cursos de água principal classificados como de 4ª ordem ou 5ª ordem. De acordo, com a metodologia adotada foi possível identificar 11 sub-bacias segundo a classificação proposta por Strahler (1952).

Segundo Barrela (2001), as sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários do rio principal. De acordo com Santana (2004), as bacias podem ser desmembradas em unidades menores, dependendo do ponto de saída, considerado ao longo de seu eixo central. Portanto, cada sub-bacia se interliga a outras sub-bacias, tornando o termo de relativo. Sendo assim, adotamos o termo apenas para diferenciar os níveis ou escalas de abrangência das bacias hidrográficas.

Assim, de acordo com Plano Nacional dos Recursos Hídricos, Lei nº 9.433/1997, que define bacias hidrográficas como unidade de gestão, adotamos as sub-bacias com unidades independentes para avaliar as suas condições e pressões exercidas em cada uma delas.

A Figura 43 mostra o mapa da divisão das 11 sub-bacias da BHRU devidamente identificadas e a ordem dos cursos d'água.

Figura 43 – Mapa de divisão das sub-bacias da BHRU e classificação de ordem dos cursos d'água.



4.4.1.1 Índice de Integridade da mata ciliar (IIMC)

Para calcular a integridade da mata ciliar foi necessário utilizar o resultado do levantamento dos diferentes tipos de uso da terra em APP's na BHRU com o mapeamento do uso da terra do ano de 2016. O Resultado obtido demonstra que 64,1% da área total das APP's é composta por áreas naturais, como floresta, campos e áreas alagadas (Tabela 33).

Tabela 33 Distribuição do uso da terra ao longo das Áreas de Preservação Permanente ao longo da BHRU.

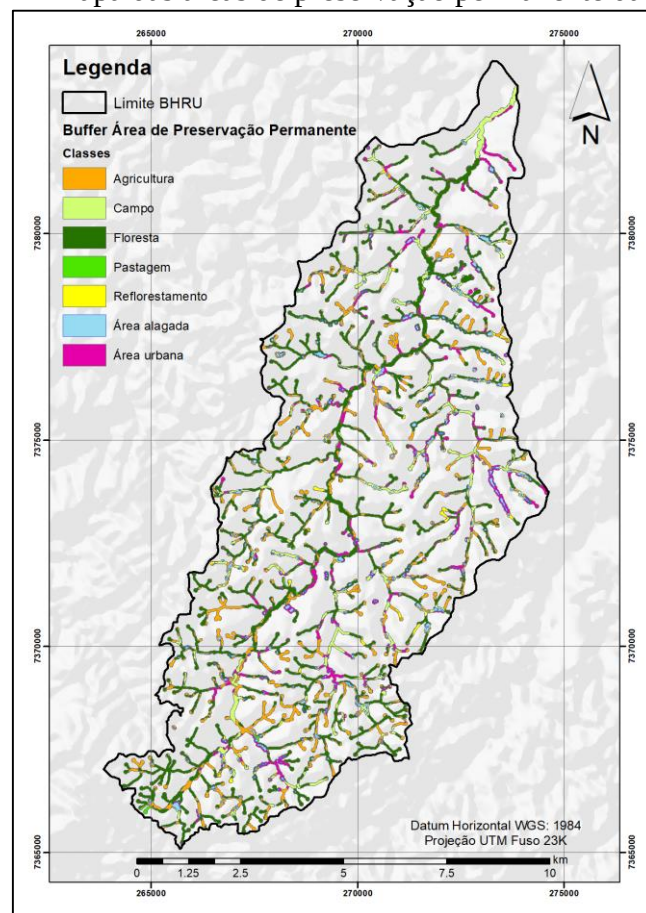
Classes	Área (ha)	%	Perímetro
Área urbana	232,99	11,18	160,29740
Reflorestamento	30,38	1,46	22,22702
Floresta	999,72	47,98	455,63417
Campo	247,70	11,89	140,44826
Agricultura	475,87	22,84	306,45355
Pastagem	8,82	0,42	7,27951
Áreas alagadas	88,08	4,23	73,10940
Total	2083,57	100	1165,44931

Diversos estudos realizados no que diz respeito ao uso da terra em áreas de APP obtiveram resultados semelhantes ao encontrado na BHRU. Kuano e Passos (2008) obtiveram cerca de 40% da área total da Bacia Hidrográfica do Rio da Gama, na cidade de Tijucas do Sul, Paraná. Lorenzon et al, (2014) obteve resultados semelhantes na Bacia Hidrográfica do Rio Cabaçal, Mato Grosso. Araújo e Mendes (2014) obtiveram resultado acima de 50% de áreas naturais em APP na Serra da Aratanha, Ceará e consideram a área em bom estado de conservação.

Entretanto, levando em consideração a Lei Federal número 12.651 de 2012 essas áreas deveriam estar 100% protegidas, promovendo a conservação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas (BRASIL, 2012).

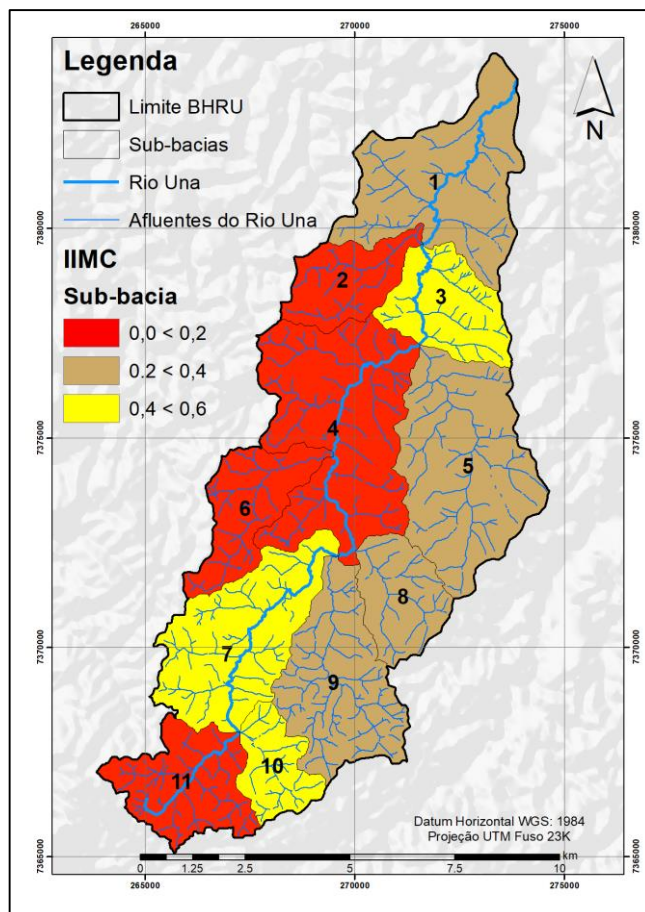
A Figura 44 mostra as áreas de preservação permanente e os diferentes tipos de uso da terra.

Figura 44 Mapa das áreas de preservação permanente da BHRU.



De acordo com os resultados obtidos das áreas de ocupação em APP e a pontuação referente a porcentagem da integridade da mata ciliar, foi possível calcular o IIMC para cada sub-bacia, conforme Figura 45.

Figura 45 – Mapa de IIMC por sub-bacia.



É possível observar que os valores do IIMC são mais baixos na região sul, oeste e noroeste, referente às sub-bacias 2, 4, 6 e 10, com valores menores que 0,2, o que significa que essas sub-bacias possuem APP's com áreas de vegetação ripária inferior a 70%. As áreas em melhores condições de conservação das APP's são as sub-bacias número 3, 7 e 10, com cobertura vegetal entre 70% e 80%.

De acordo com o código florestal, todas as APP's deveriam estar vegetadas ou em processo de regeneração, impedidas para qualquer outro tipo de uso da terra. Entretanto, podemos atribuir os baixos valores do IIMC ao processo de anistia dos crimes ambientais de desmatamento e degradação ambiental em APP anteriores a publicação da Lei nº 12.651/2012 e

ao processo de expansão urbana e agrícola da BHRU, conforme descritos por Lopes, et al (2016) e Silva et al, (2017).

4.4.1.2 Índice de Esgotamento sanitário (IES)

De acordo com diversos autores, o crescimento populacional e as atividades provenientes da expansão antrópica aumentam rapidamente a demanda pelo consumo de água e, como consequência, há o aumento na descarga de resíduos e transporte de sedimentos para a rede de esgoto. Entretanto o crescimento desordenado também promove o aumento do número de residências com sistemas de esgoto alternativos, prejudicando a qualidade da água e causando impacto ambiental e aos cursos d'água (CROPPER; GRIFFITHS, 1994; LOPES; REUSS-STRENZEL, 2015; LOPES et al., 2016, CHEN et al., 2016; SILVA et al., 2017).

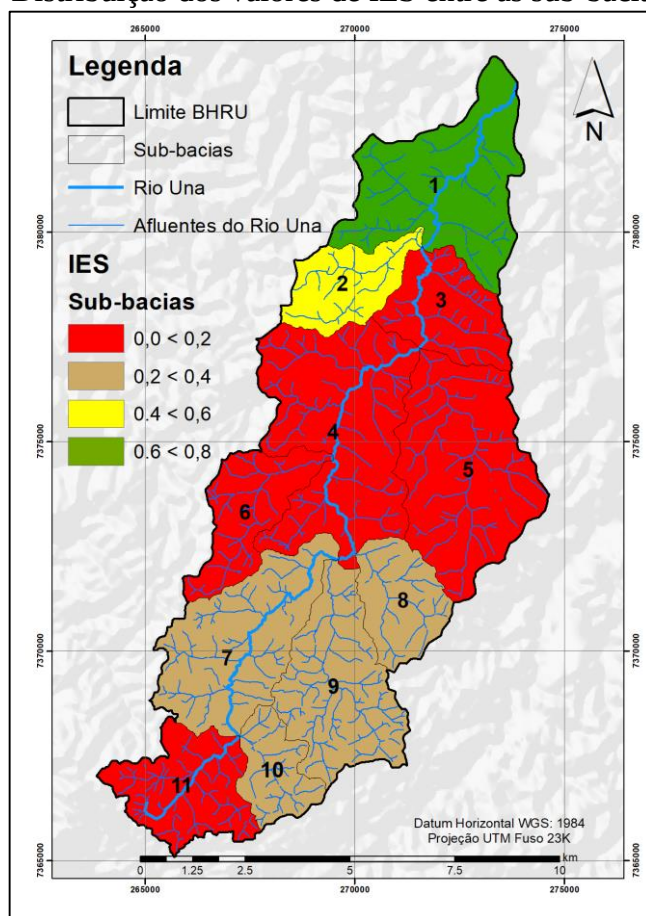
Esgotamento sanitário compreende a coleta de esgoto gerado pela população e seu devido destino desses resíduos (HELLER, 1998; SOARES et al., 2002).

Portanto, segundo Isaías (2008) e Silva et al. (2017) o IES além de um indicador ambiental é um indicador de saúde pública, responsável por apresentar o número de residências que não estão inseridas na rede de tratamento de esgoto como potencial de degradação ao meio ambiente.

A falta de sistema adequado de esgotamento sanitário faz com que a população utilize meios clandestinos com a ligação de galerias e águas pluviais, promovendo o lançamento de esgoto doméstico a céu aberto, trazendo sérios problemas a saúde pública e ao meio ambiente, poluindo mananciais e contaminando cursos d'água (BAY; SILVA, 2011).

A Figura 46 mostra o IES das sub-bacias de acordo com o número de residências sem coleta adequada de esgotamento sanitário, de acordo com a pontuação adotada por Silva et al. (2017).

Figura 46 – Distribuição dos valores de IES entre as sub-bacias da BHRU.



De acordo com o mapa, apenas as sub-bacias número 1 e 2 tem um índice de esgotamento sanitário considerado de boa qualidade. Para a sub-bacia 1, mais de 95% das residências tem seu esgoto destinado de forma adequada, para a sub-bacia número 2 tem até 90% de seu esgoto destinado a rede de coleta.

De acordo com os mapas de uso e ocupação da terra, esses resultados podem ser justificados pela área em que as sub-bacias estão inseridas, sendo a unidade 1 compreendida integralmente pela zona urbana do município de Ibiúna e a unidade 2 por se tratar de uma zona de expansão urbana.

As demais sub-bacias da região central e sul estão classificadas com a pior condição de saneamento. As sub-bacias 3, 4, 5, 6 e 11 tem até 60% de residências em condições adequadas de tratamento de esgoto. Por fim as unidades 7, 8, 9 e 10 que apresentam cerca de até 80% das residências adequadas. De acordo com o uso da terra essas áreas são predominantemente agrícolas e tem baixa densidade populacional, entretanto ainda continuam tendo alto potencial poluidor.

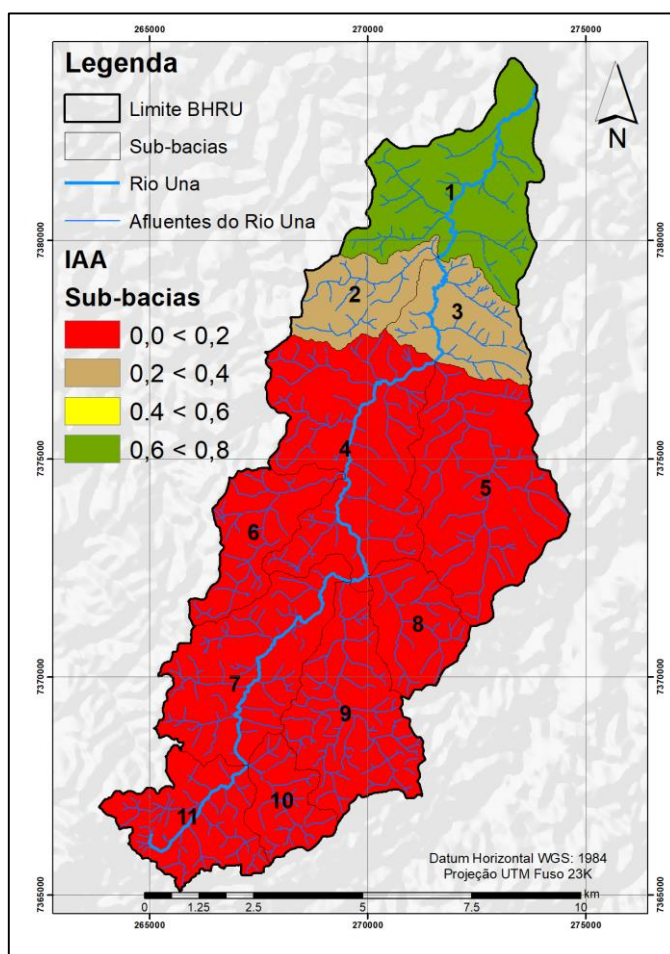
4.4.1.3 Índice de Abastecimento de Água (IAA)

De acordo com Goulart (2013), a informação referente ao abastecimento de água é importante pois, é necessário saber quanto de água está sendo extraída diretamente dos recursos hídricos para que a gestão dos recursos hídricos seja eficiente e o risco de escassez diminua consideravelmente. Além disso ainda existem residências que captam água fora do sistema de tratamento, correndo risco de contaminação pela ingestão de água sem qualidade para consumo.

O Índice de Abastecimento de Água corresponde a porcentagem de domicílios particulares que captam águas que não sejam da rede geral de distribuição e nem de captação de águas de chuva ou cisternas.

Conforme a Figura 47 podemos observar que a única unidade de sub-bacia que apresenta boa qualidade de IAA é a sub-bacia número 1. Assim como o resultado obtido para o IES, a unidade 1 está integralmente inserida na zona urbana do município de Ibiúna, o que justifica o resultado obtido de que mais de 95% das residências do setor consomem água da rede geral de distribuição.

Figura 47 - Distribuição dos valores de IAA entre as sub-bacias da BHRU.

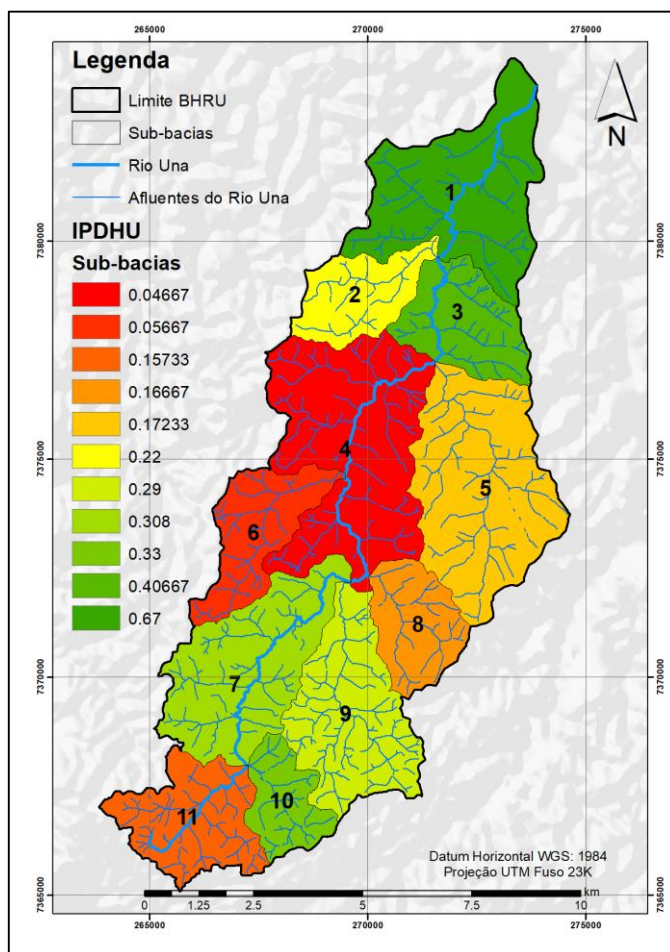


As unidades 3 e 4 possuem até 70% das residências das residências com captação de águas tratadas, e as demais sub-bacias tem a pior condição de IAA da BHRU, com menos de 60% das residências com água tratada.

4.4.1.4 Índice de Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos

De acordo com a média ponderada dos indicadores, IIMC, IES e IAA foi possível obter o resultado final do IPDRH. A Figura 48 apresenta o valor final da distribuição do índice ao longo da BHRU.

Figura 48 – Distribuição do Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos da BHRU



É possível observar que os valores de IPDRH estão abaixo de 0,7; isto é, abaixo de 70% do valor máximo admissível para esse índice.

Adotando-se a classificação proposta pelo CETESB (2015) para o IQA, ou seja, ótimo (0,91 a 1,0), bom (0,71 a 0,90), regular (0,51 a 0,70), ruim (0,26 a 0,50) ou péssimo (0,0 a 0,25),

percebe-se que os valores encontrados para o IPDRH podem ser classificados entre regular e péssimos.

Isto é explicado em parte pelos baixos valores encontrados para a conservação das matas ciliares e, também, devido as regiões central e sul (sub-bacias hidrográficas 4, 5 ,6, 8 e 10) apresentarem baixíssimos valores devido à falta de gestão na distribuição das águas para consumo humano e lançamento de esgotos domésticos.

É possível destacar a região central devido pelos valores mais baixos. De acordo com o mapeamento do uso da terra, trata-se de uma área de concentração de atividades agrícolas. As sub-bacias 7, 8 e 10 apresentam aglomerados urbanos que, por possuírem sistemas de tratamento de água e esgoto, elevaram a média final da sub-bacia.

Podemos deduzir que as áreas de predomínio agrícola têm as piores condições de saneamento, tratamento de água e conservação das áreas de preservação permanente.

4.4.2 Perda de solo das áreas de agricultura inseridas em APP

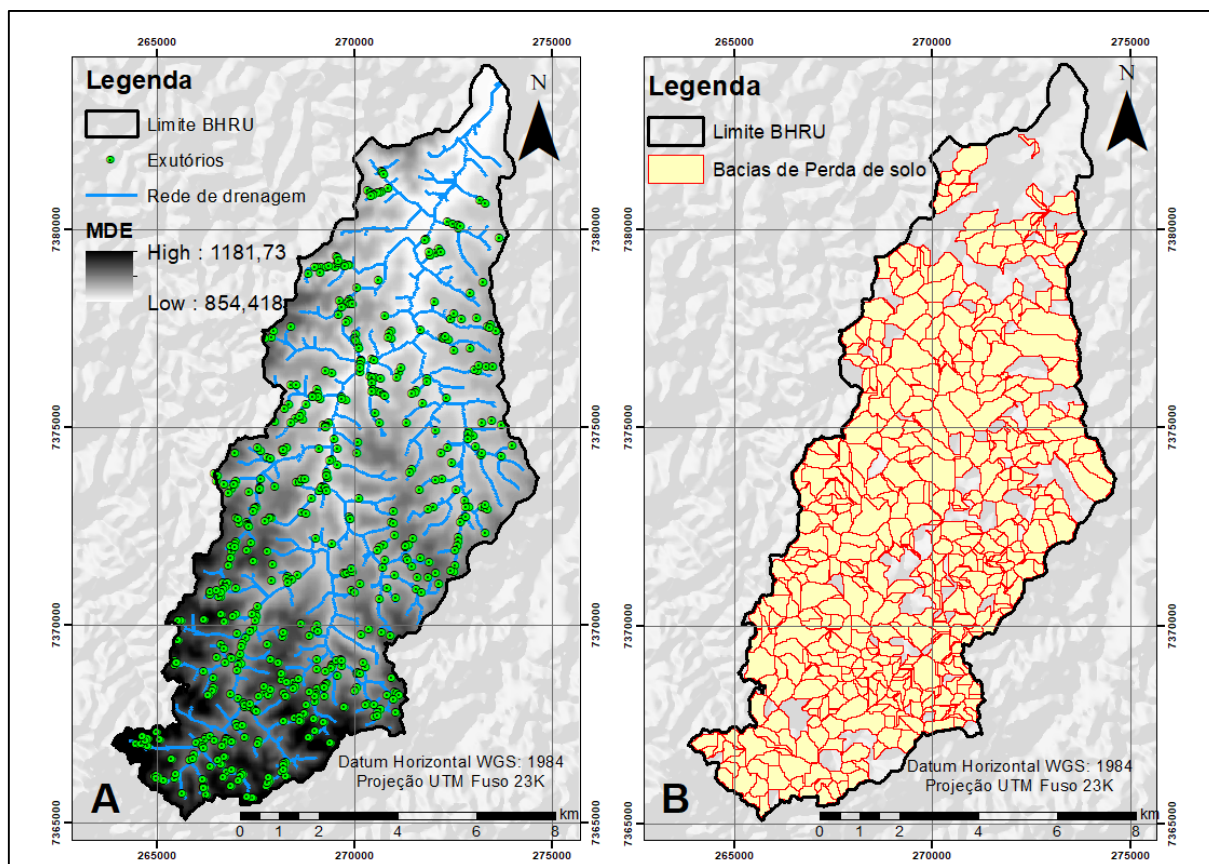
De acordo com Silveira (2001), a bacia hidrográfica é definida como uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. É composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório.

Em conformidade com esse conceito e definição foram obtidos os resultados da análise da perda de solo, levando em consideração rede de drenagem de cada ponto de fragilidade em área de preservação permanente.

4.4.2.1 Agricultura em APP

Como resultado da construção da base de dados foi obtido inicialmente a rede de drenagem e as bacias de captação da perda de solo. A Figura 49A mostra o mapa com o modelo digital de elevação, a rede drenagem da BHRU e os pontos dos exutórios, determinados pelas áreas de agricultura inseridas em APP, já a Figura 49B mostra as respectivas bacias de captação para a perda de solo.

Figura 49 - Mapa do MDE contando a rede de drenagem, exutórios e bacias de captação da perda de solo



A partir da rede de drenagem e dos pontos de exutórios foi possível obter 482 bacias de captação, ocupando 75,79% da área total da bacia hidrográfica. Sendo os 24,21% restante, composto por área que não apresentam agricultura em áreas de preservação permanente, como é possível observar na Figura 56B.

Foi possível observar que 475.84 hectares de áreas de agricultura estão inseridos em APP's, caracterizando áreas de conflito de uso da terra, demonstrando a fragilidade dessas áreas.

Diante da importância da função ecológica atribuída às áreas de preservação permanente, diversos trabalhos científicos avaliam a largura da faixa de mata ciliar com as suas principais funções hidrológicas. Santos e Sparovek (2011) estudaram a retenção de sedimentos de áreas agrícolas em vertentes com mata ciliar, cujas larguras médias das matas ciliares variavam entre 25 a 40 metros. Concluíram que a retenção é mais eficiente à medida que se aumenta a largura da mata e, portanto, recomendaram a manutenção desse tipo de vegetação como medida mitigadora dos impactos da agricultura.

Portanto, áreas de agricultura próximas a cursos d'água, sem proteção vegetal apresentam alto potencial a perda de solo e assoreamentos dos cursos d'água. Uma vez que

áreas agrícolas tem maior suscetibilidade a erosão e estão localizadas em áreas de proteção, sugere-se que essas áreas sejam recuperadas para minimizar as ações antrópicas.

4.4.2.2 Rede de Drenagem e perda de solo por sub-bacias de captação

Como resultado da perda de solo do total das 482 bacias de captação, obtivemos que 8,28% da área de estudo apresentam valor menor que 1 t/ha.ano e correspondem às áreas mais planas e/ou urbanizadas da Bacia Hidrográfica, são classificadas, de acordo com a FAO (1980) como de muito baixa perda de solo, 87,75% das bacias de captação apresentam perdas de solos abaixo de 10 t/ha.ano podendo ser classificadas, de baixa susceptibilidade à erosão.

As áreas com perdas de solo entre 10 e 50 t/ha.ano ocupam 3,94% das bacias de captação, entretanto elas estão alocadas nas áreas classificadas como sendo de média declividade, portanto, a declividade, neste caso, é o principal fator atuante na perda de solos. Não houve perda de solo superiores a 50 t/ha.ano.

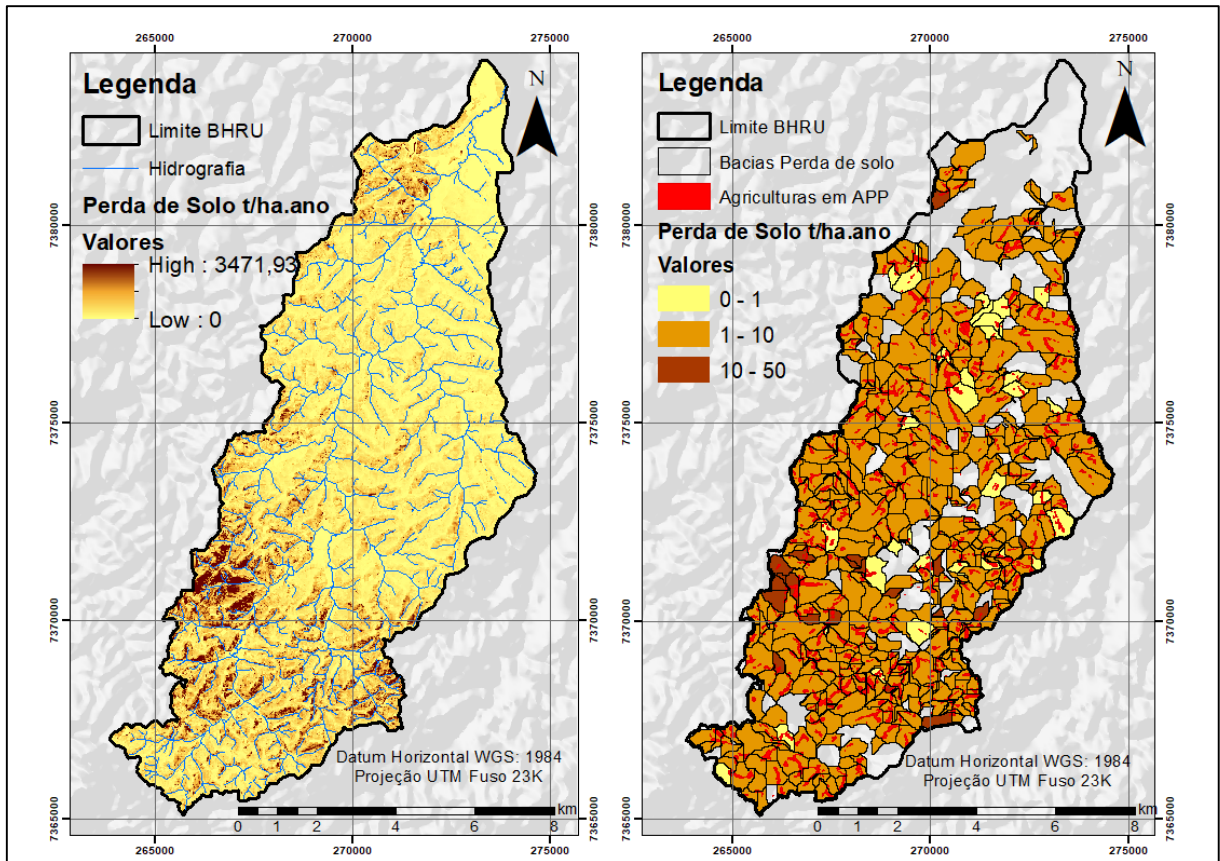
De acordo com Silva (2016) em seu estudo referente a perda de solo da BHRU, foi obtido que 36,92% da área de estudo apresentam valor menor que 1 t/ha.ano e correspondem às áreas mais planas e/ou urbanizadas da Bacia Hidrográfica, enquanto que, mais de 93,4% da área de estudo apresentou perdas de solos abaixo de 10 t/ha.ano sendo classificadas, como de baixa susceptibilidade à erosão, ou seja, apresenta nenhuma ou ligeira perda de solo. Observa-se ainda que apenas 0,17% da área apresentou perda de solos acima 50 t/ha.ano, estas áreas se enquadram na classe de alto grau de susceptibilidade à erosão. As áreas com perda de solos acima de 50 t/ha.ano encontram-se em regiões com declividades média de aproximadamente 67,35%, ou seja, regiões com altas declividades e, portanto, a declividade, neste caso, é o principal fator atuante na perda de solos.

Segundo os estudos de Silva (2016), a BHRU foi classificada como de baixa susceptibilidade à erosão ou perda de solo, uma vez que, a perda de solo média estimada para a região é de aproximadamente 3,22 t/ha.ano, evidenciando a importância das áreas que apresentam cobertura florestal preservada.

A Figura 50 mostra os mapas da perda de solo geral da BHRU e a perda de solo setorizada pelas áreas de APP desprotegidas de vegetação e realizando atividades agrícolas.

Podemos concluir que as áreas classificadas com maior perda de solo, devem ser priorizadas na recuperação da mata ciliar, aumentando a contenção do solo e impedindo o assoreamento dos cursos d'água.

Figura 50 - Mapa de perda de solos da BHRU e perda de solos das áreas de APP desprotegidas



A erosão hídrica é o processo de degradação do solo responsável por afetar a capacidade biológica e produtiva do solo, promovida por interferência antrópica que na maioria das vezes acelera o processo de erosão. A degradação dos solos pode ser considerada um importante problema ambiental, resultante de práticas inadequadas de manejo agrícola. Esse desgaste do solo deve ser compreendido quando se objetiva a manutenção a conservação ambiental (PANACHUKI, 2006).

Autores como Metzger (2010) sustentam que o conhecimento científico obtido nos últimos anos permite aprimorar os valores indicados no Código Florestal com relação à extensão das matas ciliares, sugerindo a expansão destes valores para limiares mínimos de pelos menos 100 metros, sendo 50 metros para cada margem, independentemente do bioma, do grupo taxonômico, do solo ou do tipo de topografia, permitindo a maior conservação do meio ambiente local.

4.5 Indicadores de Resposta

Na estrutura do FPEIR, as Respostas são ações tomadas por grupos ou indivíduos na sociedade e no governo para prevenir, compensar, melhorar ou adaptar-se a mudanças no estado do ambiente; e modificar os comportamentos humanos que contribuem para os riscos para a saúde, ou para compensar os impactos sociais ou econômicos da condição humana no bem-estar humano (BRADLEY; YEE, 2015).

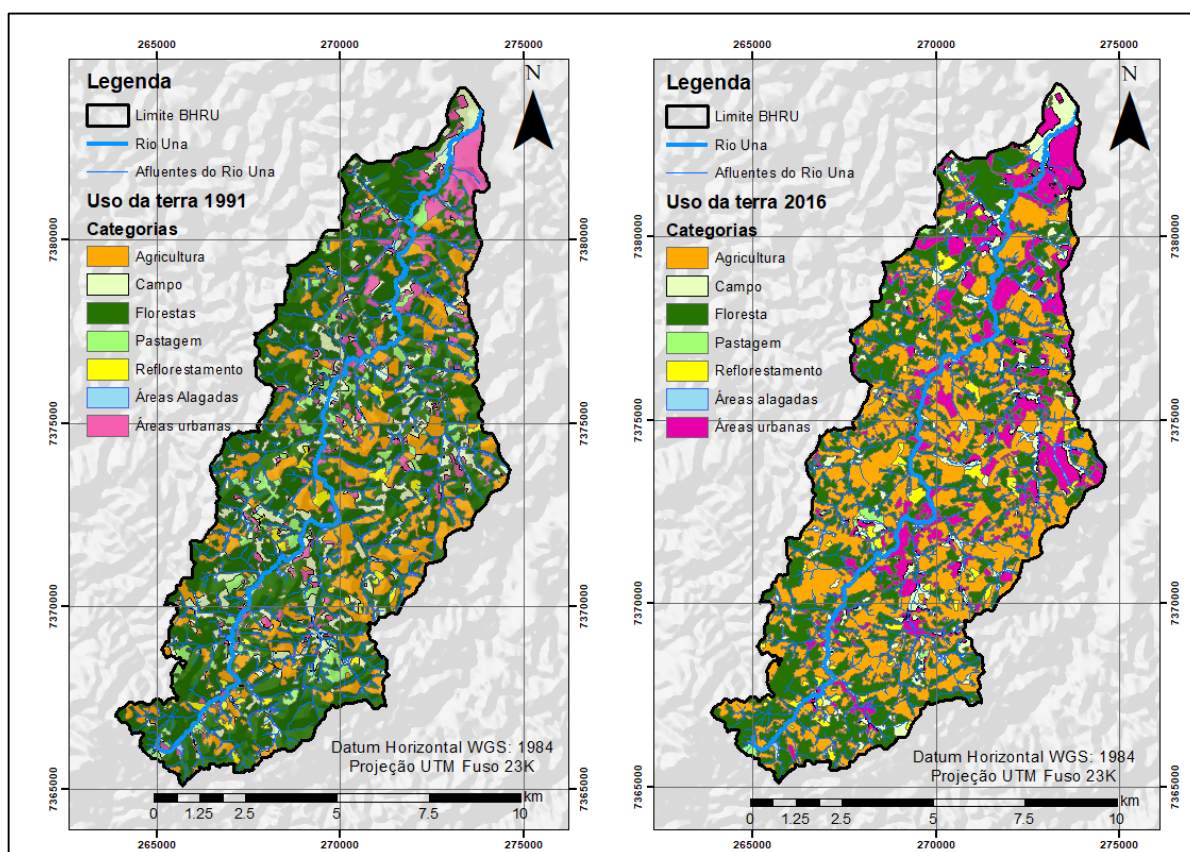
4.5.1 *Projeção futura da expansão antrópica*

As transições de áreas florestais para outros usos são impulsionadas para suprimir as necessidades econômicas do homem, acarretando em conversões de uso para áreas agrícolas, pecuária e urbanizada (LAMBIN; MEYFROIDT, 2010; IMAZON, 2014). Os impactos destas ações nas florestas influenciam diretamente as suas funções ecológicas, os processos físico-químicos ambientais e a qualidade de vida das populações, reforçando a necessidade de estudos que indiquem cenários futuros para a mudança no padrão de ocupação dessas áreas (LOURENÇO et al., 2015; KENNEL et al., 2015).

4.5.1.1 *Construção base de dados*

Como resultado da construção da base de dados foi possível obter os mapas de uso e ocupação da terra referente aos anos de 1991 e 2016. A figura 51 mostra os respectivos mapas.

Figura 51 – Mapas de uso e ocupação da terra para os anos de 1991 e 2016.



Como resposta à dinâmica de uso e ocupação do solo, foi possível observar que houve grande perda da cobertura vegetal da BHRU. Sendo que a maior transição de atividade de uso do solo foi de perdas de áreas de florestas para áreas de agricultura.

A Tabela 34, apresenta os valores de área referente a cada tipo de uso do solo para seu respectivo ano.

Tabela 34 – Uso e ocupação do solo para os anos de 1991 e 2016

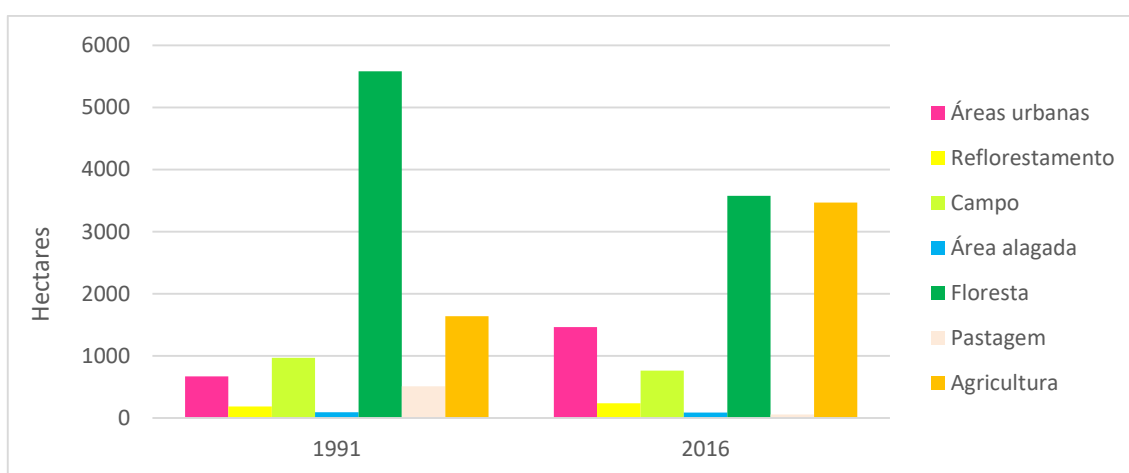
Classes	1991	%	2016	%
Áreas urbanas	669.17	6.94	1461.76	15.16
Reflorestamento	186.54	1.93	235.71	2.44
Pastagem	509.42	5.28	54.01	0.56
Agricultura	1638.76	17.00	3469.99	35.99
Campo	965.99	10.02	761.12	7.89
Área alagada	91.73	0.95	88.08	0.91
Floresta	5580.39	57.88	3574.66	37.07

De acordo com a análise dos dados brutos obtidos do mapeamento do uso da terra, referente à resposta do impacto antrópico ao longo dos anos, para cada tipo de uso do solo, podemos observar que de 1991 para 2016 houve um acréscimo de 49,17 ha de reflorestamento,

792,59 hectares de áreas urbanas e 1831,23 hectares de áreas agrícolas. Foi possível constatar também a perda de 2005,73 ha de florestas durante 1991 e 2016.

Consideradas todas atividades de impacto antrópico, somadas chegam a aproximadamente 2673 ha, o que representa 27,72% da cobertura total da BHRU. Representando um grande impacto ambiental, tendo em vista as consequências que podem causar para o meio ambiente. A Figura 52 apresenta o gráfico dos respectivos usos da terra em função da área

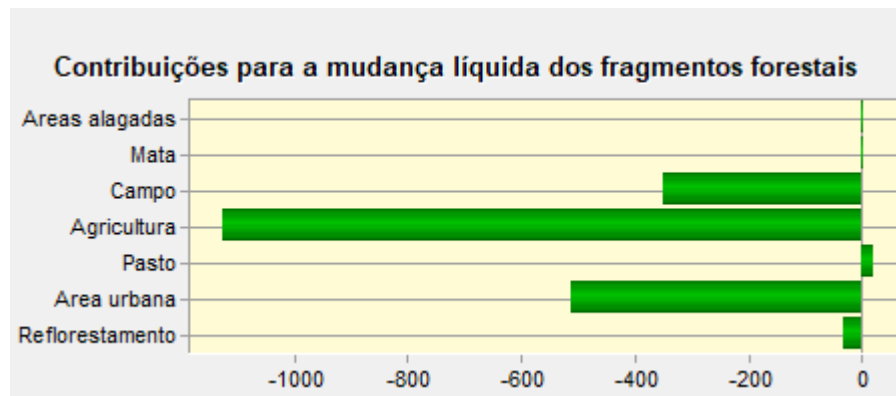
Figura 52 – Mudanças no uso e ocupação da terra 1991 x 2016 em função da área



É possível observar que houve grande perda nas atividades de uso naturais, assim como florestas, campos e áreas alagadas.

De acordo com as perdas específicas das áreas de florestas, a Figura 53 apresenta o gráfico da evolução da perda líquida das áreas de florestas relacionada aos outros tipos de uso da terra.

Figura 53 – Gráfico da perda de cobertura vegetal em função dos outros tipos de uso da terra.



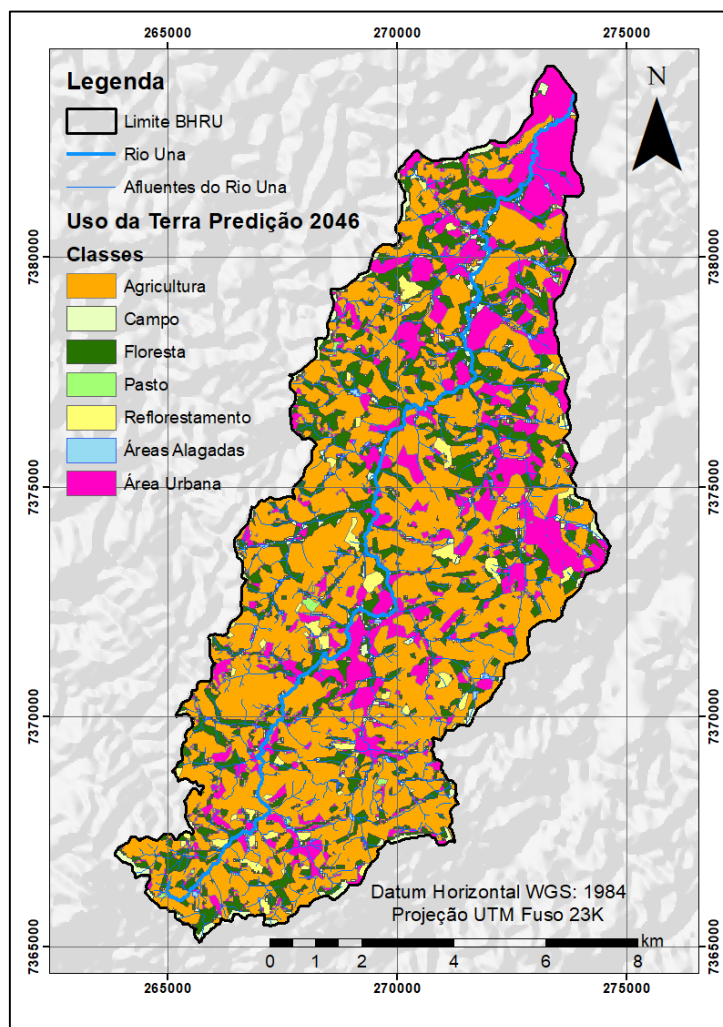
Sendo perdidos aproximadamente 1125 ha de florestas para agricultura, a segunda maior perda de florestas foi para áreas urbanas, sendo aproximadamente 513 ha e por fim, a terceira maior perda de florestas foi para a atividade de campo sujo, com uma perda de 532 ha.

4.5.1.2 Modelo de Predição

Após a análise dos mapeamentos de 1991 e 2016 foi obtido o resultado da modelagem para o mapa de predição do uso e ocupação de terra para o ano de 2046. A Figura 54 mostra o mapa das atividades de uso e ocupação da terra previstas de acordo com o modelo previsto por meio da cadeia de Markov.

De acordo com Clark LABS (2012), a cadeia de Markov calcula a quantidade de mudança baseando-se nos mapas de uso da terra anterior e posterior. O procedimento identifica a quantidade de usos da terra capaz de transitar da data analisada para a data de previsão, com base em uma projeção dos potenciais de transição para o futuro (CLARK LABS, 2012).

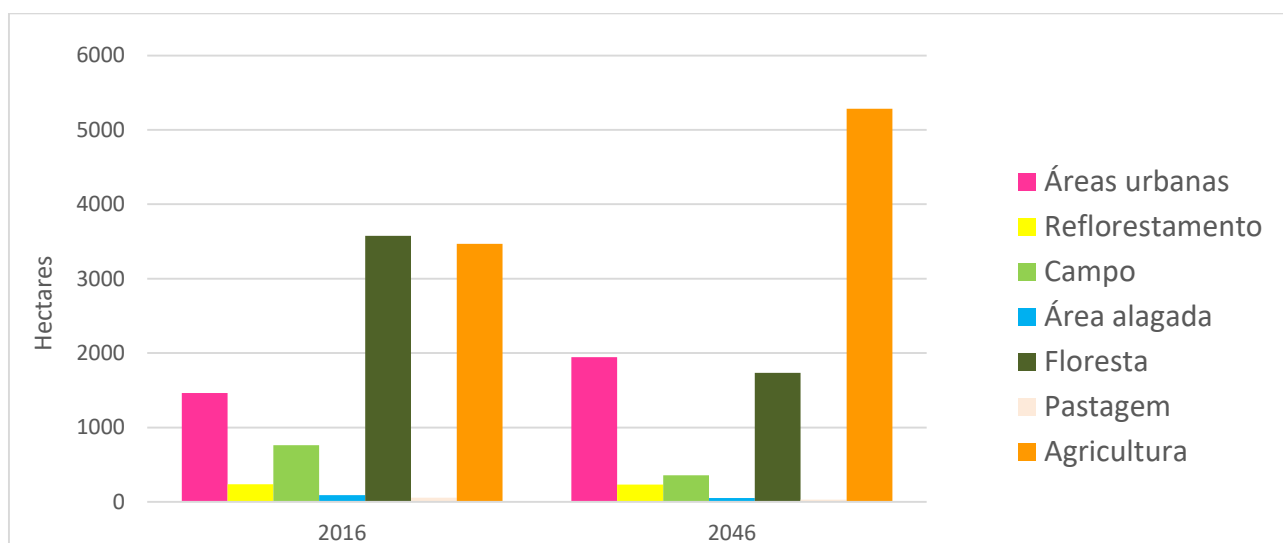
Figura 54 – Mapa de uso e ocupação da terra para 2046



A Figura 55 e a Tabela 35 apresentam os resultados para o mapa de predição. Nota-se que a maior alteração do uso da terra é referente as áreas de agricultura, havendo um aumento de 1814,89 ha, passando a ocupar aproximadamente 55% da área total da bacia hidrográfica, sendo que em 2016 a atividade ocupava 36% da BHRU.

Outro dado importante do modelo é a previsão da diminuição das áreas florestais da BHRU. Havendo perda de 1842.44 ha de áreas florestais, sendo este tipo de ocupação do solo resumido a aproximadamente 18% da área total da bacia, uma importante perda para conservação da biodiversidade florestal. Sendo que para o ano de 2016 essa classe de uso da terra ocupava 37% da área da BHRU.

Figura 55 - Mudanças no uso da terra 2016 x 2046



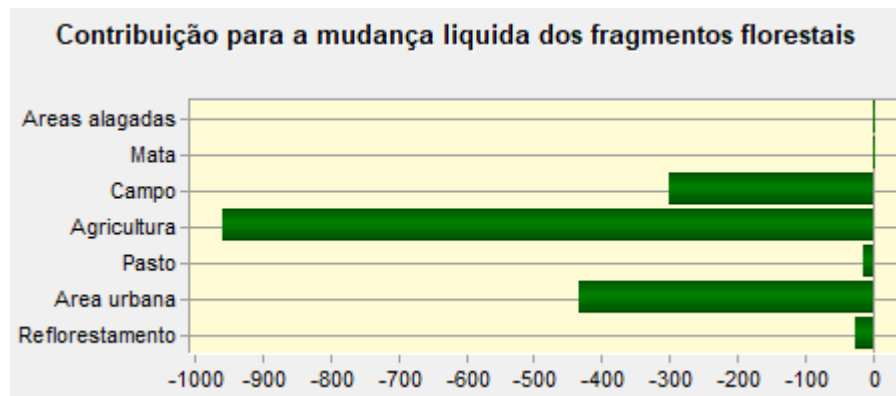
A Tabela 35 trata das áreas e porcentagens dos valores brutos de uso e ocupação do solo. Já a Figura 54 apresenta o gráfico com a perda líquida das áreas florestais para cada tipo de uso do solo.

Tabela 35 – Uso e ocupação da terra para 2016

Classes	2016	%	2046	%
Áreas urbanas	1461,76	15,16	1944,50	20,19
Reflorestamento	235,71	2,44	232,34	2,41
Pastagem	54,01	0,56	30,36	0,32
Agricultura	3469,99	35,99	5284,88	54,87
Campo	761,12	7,89	354,95	3,69
Área alagada	88,08	0,91	51,89	0,54
Floresta	3574,66	37,07	1732,22	17,99

Desta forma podemos observar na Figura 56 que 301 hectares de matas e florestas foram perdidos para atividade de campo, 434 ha perdidos para área de atividade urbana, e 959 hectares para atividades agrícolas.

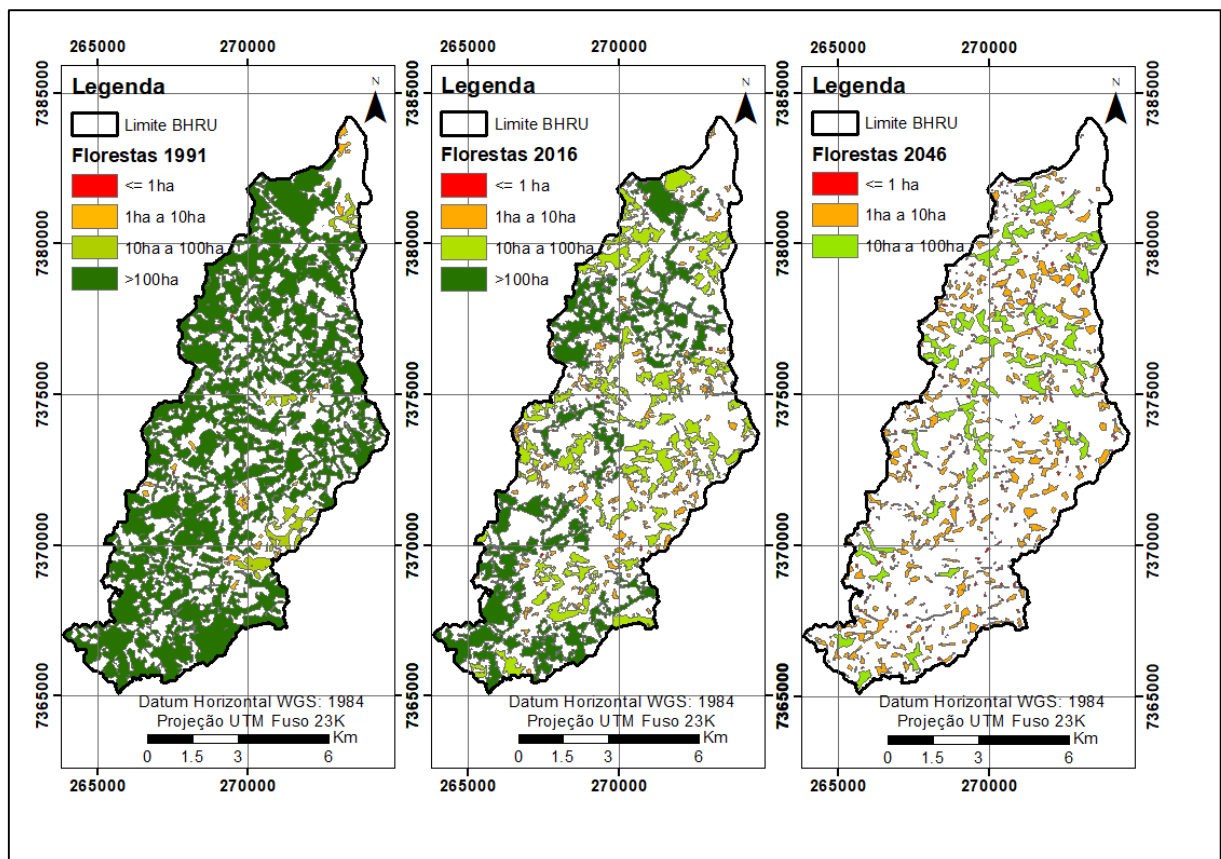
Figura 56 - Gráfico da perda de cobertura vegetal em função dos outros tipos de uso da terra.



Com o intuito de avaliar a interferência da ação antrópica sobre os fragmentos florestais, foi analisada a evolução qualitativa e quantitativa dos fragmentos florestais ao longo do tempo.

Portanto, a Figura 57 apresenta o mapa dos fragmentos florestais entre os anos de 1991, 2016 e 2046.

Figura 57 Análise comparativa entre os fragmentos florestais da BHRU



Foi possível observar que para o ano de 1991, a área total de Florestas na BHRU possuía 5580,38 hectares, sendo eles divididos entre 93 fragmentos florestais. Do número total de fragmentos florestais 67%, ou seja, 63 eram compostos por fragmentos florestais com áreas menor ou igual a 1 hectare, a soma total desses fragmentos foi igual a 8,80 hectares.

Os fragmentos com área entre 1 e 10 hectares somaram 84,93 ha, sendo compostos por 25 fragmentos florestais. Fragmentos com área entre 10 e 100 hectares somam 181,66 ha, sendo compostos por apenas 4 fragmentos florestais. Por fim, apenas um fragmento florestal foi classificado com área superior a 100 hectares, porém esse único fragmento possui 5304,9 hectares.

Para o ano de 2016 houve uma redução da área florestal para 3574,66 ha. Essa área total passou a ser dividida por 191 fragmentos florestais, sendo 33 fragmentos com área menor que 1 hectares, somando 19,30ha. Foram encontrados 105 fragmentos com área entre 1 e 10 hectares somando 318,33 ha. As florestas com áreas entre 10 e 100 hectares são compostos por 45 fragmentos, somando 1274,75 ha. Fragmentos com área superior a 100 hectares são apenas 5 e somam 1962,25ha.

Por fim, os mapas de previsão para a condição dos fragmentos florestais em 2046 apresentam resultado alarmante. Pode-se observar que houve uma redução da cobertura florestal para 1732,22 hectares, sendo composta por 878 fragmentos florestais, sendo 65% destes compostos por fragmentos com área menor que 1 hectare, somando 185,74 hectares. Os fragmentos entre 1 e 10 hectares somam 806,58 hectares e ocuparam aproximadamente 30% da área de cobertura florestal. Os Fragmentos entre 10 e 100 hectares ocupam 4,44% da área de cobertura florestal e somam 739,88 hectares.

Podemos concluir que, a medida que a pressão exercida pela expansão antrópica na BHRU aumenta, de acordo com os mapas temporais de uso e ocupação da terra, além da substituição dos tipos de usos e ocupação da terra, naturais, pelos tipos de atividades antrópicas, há a fragmentação da paisagem em decorrência da pressão do efeito de borda.

O aumento e a intensificação do efeito de borda no ecossistema aumentam os riscos da diminuição da variabilidade genética, podendo afetar a produtividade e a viabilidade dos indivíduos, ou seja, a adaptabilidade genotípica, além de afetar diretamente a fenodinâmica das plantas, causando alterações nos padrões de atividade e intensidade de frutificação na comunidade, facilitando os processos de fragmentação até extinção de fragmentos florestais em decorrência da pressão exercida pelo entorno (NOSS, 1987; TABARELLI et al., 1999; SANTOS, 2003; RAMOS; SANTOS, 2005; CORRÊA et al., 2011).

4.5.2 Alteração do Fluxo de Carbono da BHRU nas últimas décadas através de índices espectrais

O aumento das emissões de CO₂ ao redor do planeta, nos últimos anos, está diretamente relacionada às atividades antrópicas como a queima de combustíveis fósseis e aos processos industriais, tornando os níveis de emissões cada vez mais alarmantes (OLIVIER et al., 2015).

No Brasil, ao contrário dos demais países, as emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE's) foram provenientes da agropecuária e da mudança do uso terra, ficando em sexto lugar no ranking desse tipo de emissões comparado aos outros países, tornando esses setores prioritários em termos de mitigação das emissões dos GEE (GALZERANO et al., 2014).

4.5.2.1 Obtenção dos índices espectrais:

4.5.2.1.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Como resultado do NDVI da BHRU pode-se observar nas Figuras 58 que os valores de NDVI para o ano de 1991 varia entre -0,461 e 0,892e para o ano de 2001 variam entre -0,090 e 0,741. Onde as áreas em vermelho são representadas pelas atividades antrópicas, significando não haver relação com a atividade fotossintética, as áreas em bege são áreas de solo exposto, agricultura ou pastagem, portanto, as áreas em verde são áreas de vegetação.

O NDVI é um indicador do vigor vegetativo da vegetação, portanto os valores negativos estão associados a massas d'água e áreas urbanizadas, ou seja, são áreas que possuem maior refletâncias de ondas do vermelho visível. Valores próximos a zero estão associados a solos expostos ou áreas de pastagens. Valores positivos, próximos de 1, representam vegetações mais vigorosas e densa.

Em geral, se há mais radiação de ondas do infravermelho próximo que onde do vermelho visível, a vegetação, em determinado *pixel*, tende a ser mais densa e conter algum tipo de formação florestal. Entretanto, se há pequena diferença de intensidade refletida das ondas visível e infravermelho próximo, então a vegetação provavelmente é esparsa, pode ser composta de pastagem ou solo exposto (WEIER; HERRING, 2000).

Portanto, podemos observar que, do ano de 1991 a 2001, houve aumento nos valores mínimos do NDVI, justificando o aumento das classes de uso do solo relacionadas a atividades antrópicas, como por exemplo o aumento das áreas agrícolas e áreas de atividade urbana, como podemos observar na Figura 58 e no gráfico da Figura 59.

Figura 58 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada dos anos de 1991 e 2001

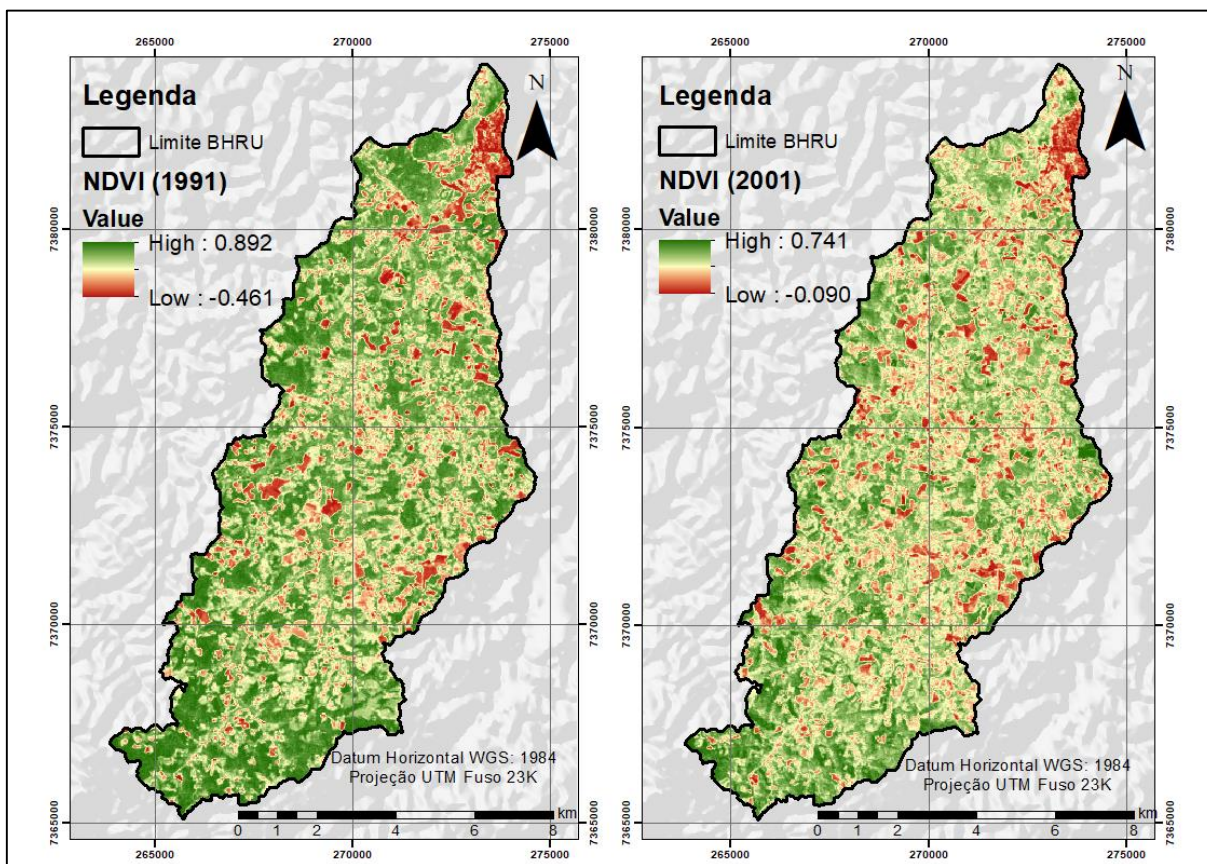
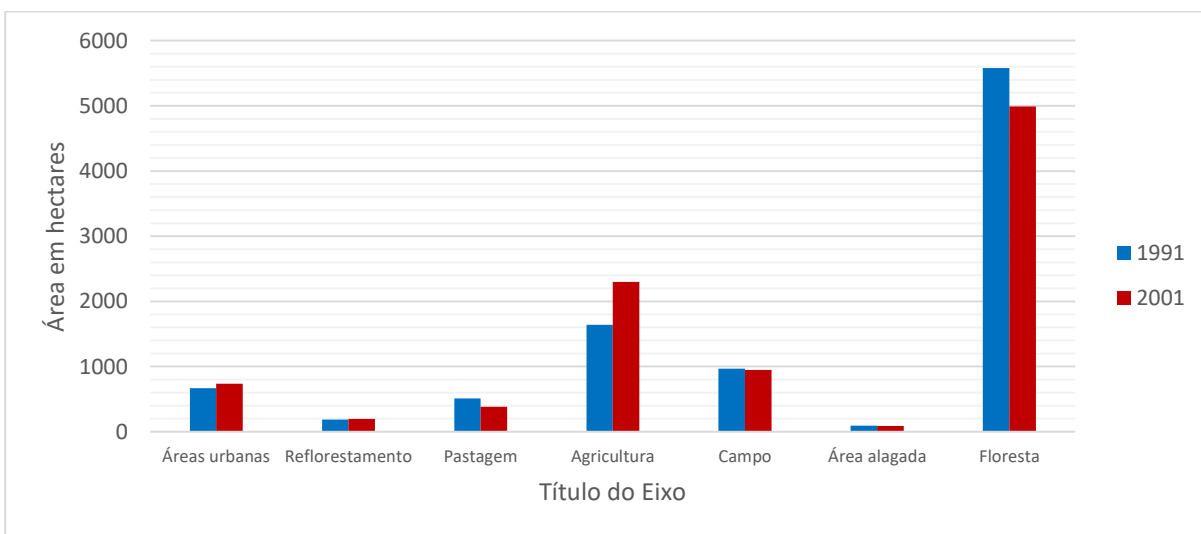
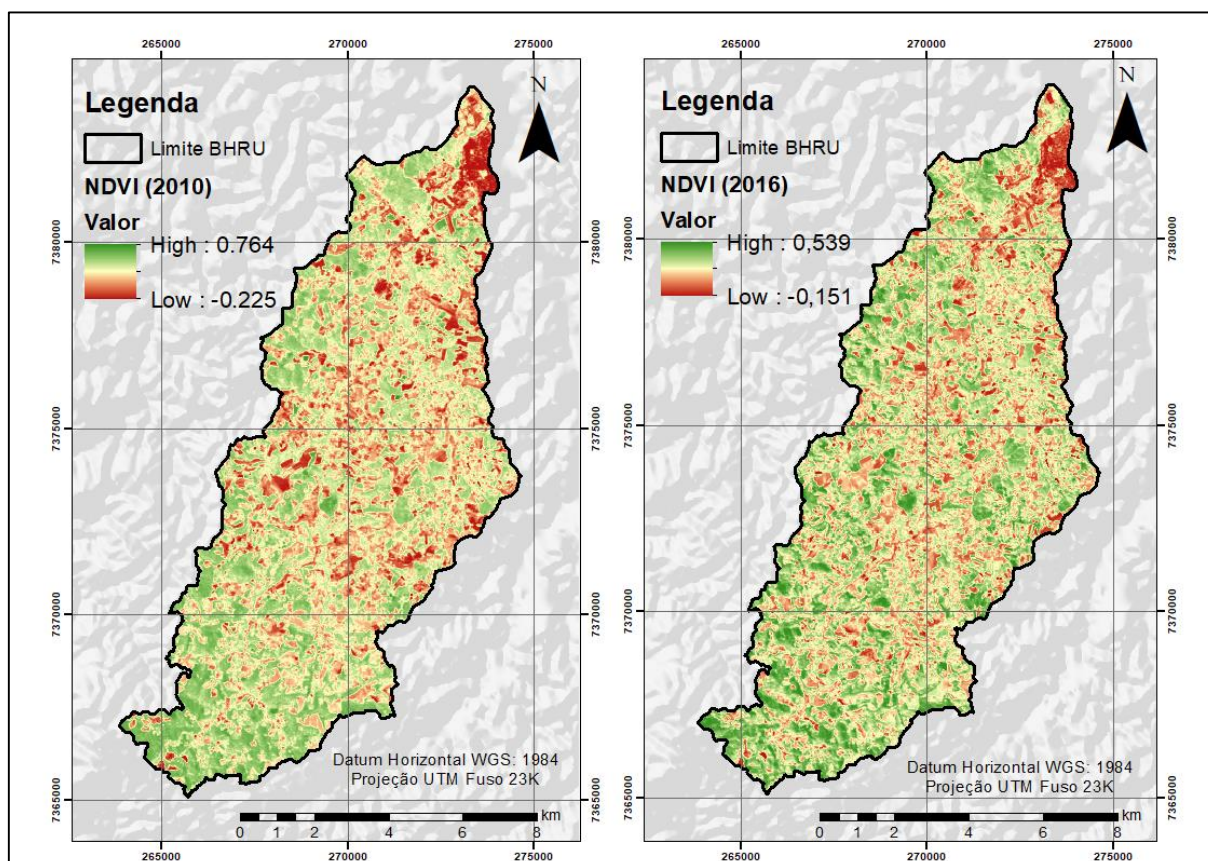


Figura 59 – Gráfico da evolução do uso e ocupação da terra de 1991 a 2001



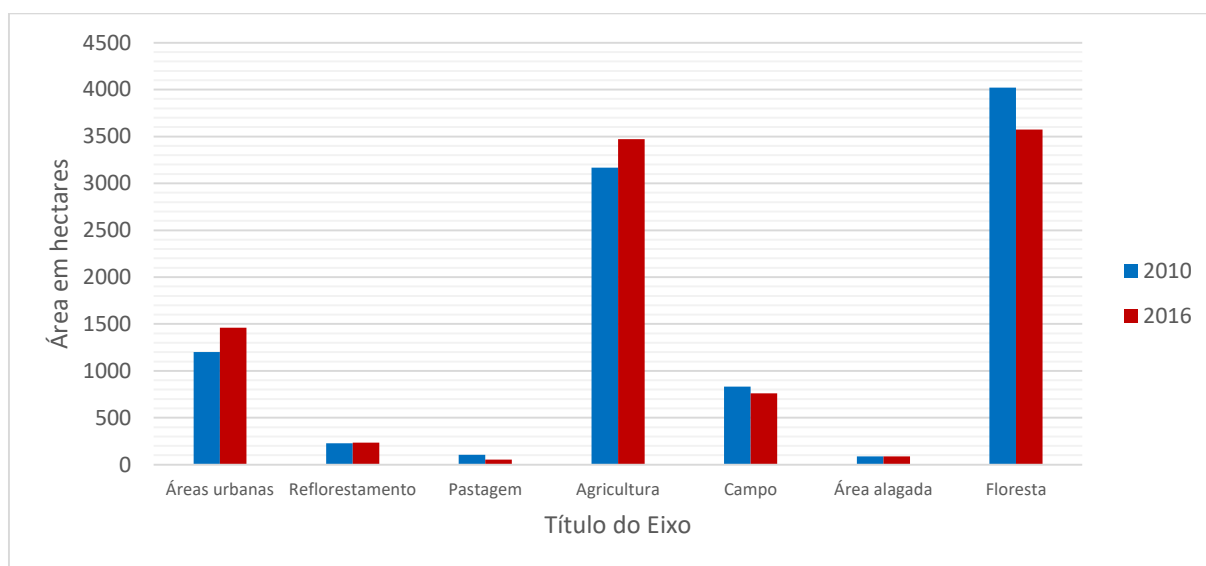
Com relação ao resultado para os anos de 2010 e 2016, podemos observar uma grande queda nos valores máximos, sendo a variação para 2010 de -0.225 e 0.764 e para o ano de 2016 -0.151 e 0.539. Conforme observa-se na Figura 60.

Figura 60 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada dos anos de 2010 e 2016



Podemos atribuir a redução dos valores máximos pela considerável perda da vegetação. No ano de 2010 a BHRU possuía 4020,7 hectares de florestas e 2016 passou a ter 3574,66 ha. A figura 61 mostra o gráfico da evolução da perda de atividades naturais da BHRU.

Figura 61 – Gráfico da evolução do uso e ocupação da terra de 2010 a 2016



Os resultados do uso e ocupação da terra obtidos para a BHRU corroboram com os estudos realizados por Silva et al. (2017), que relacionaram áreas de menores valores de NDVI com áreas de atividade agrícola e antrópica.

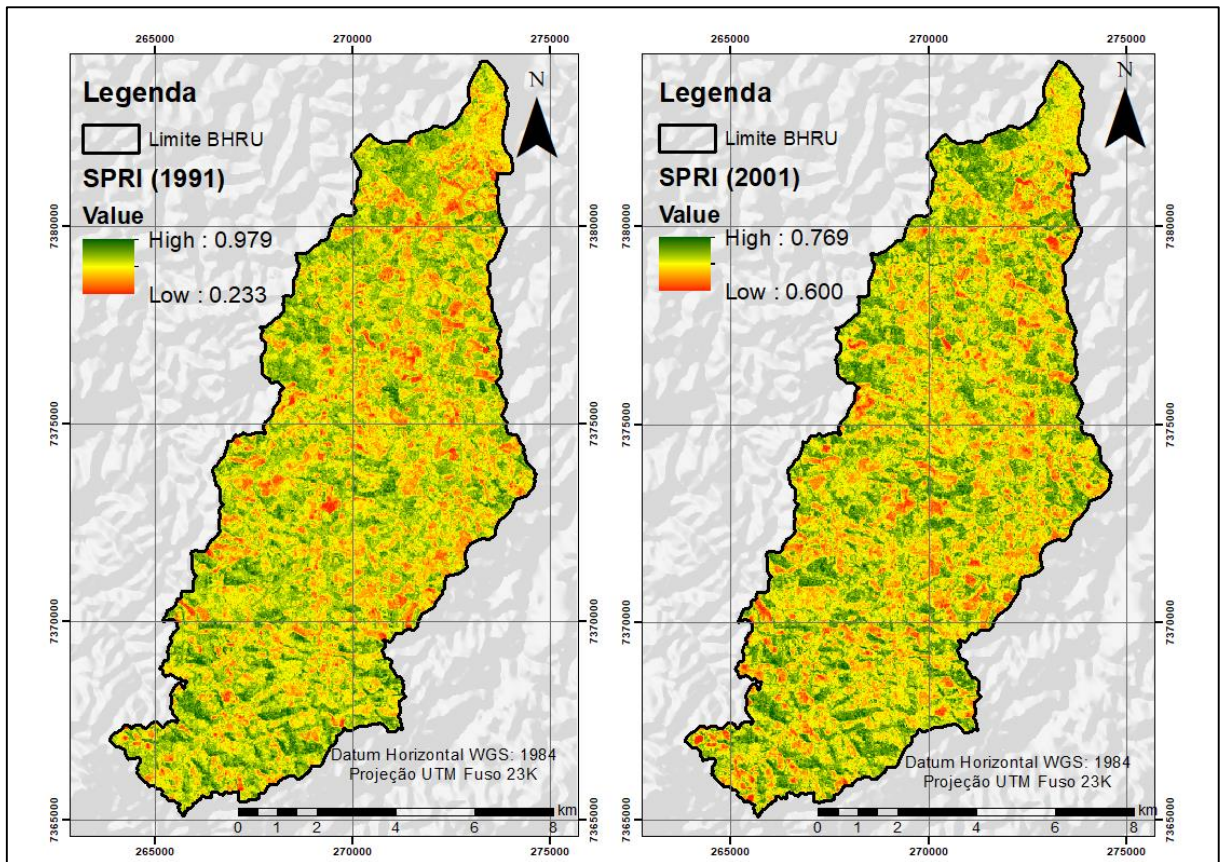
4.5.2.1.2 Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI)

Os resultados dos sPRI (Índice de Reflectância Fotoquímica reescalado para valores positivos), segundo Gamon (1997) indicam a eficiência da vegetação quanto ao uso da luz na fotossíntese.

De acordo com os resultados obtidos, foi possível observar que, assim como para o NDVI, a crescente perda de vegetação e alterações no uso do solo ao longo dos anos tiveram grande interferências nos valores de sPRI, como pode-se observar nas Figura 62 para o período que os valores mínimos tiveram um aumento e os valores máximos diminuíram, entre os anos de 1991 e 2001.

Podemos concluir que essa redução é atribuída ao acréscimo de áreas urbanas e perda de florestas.

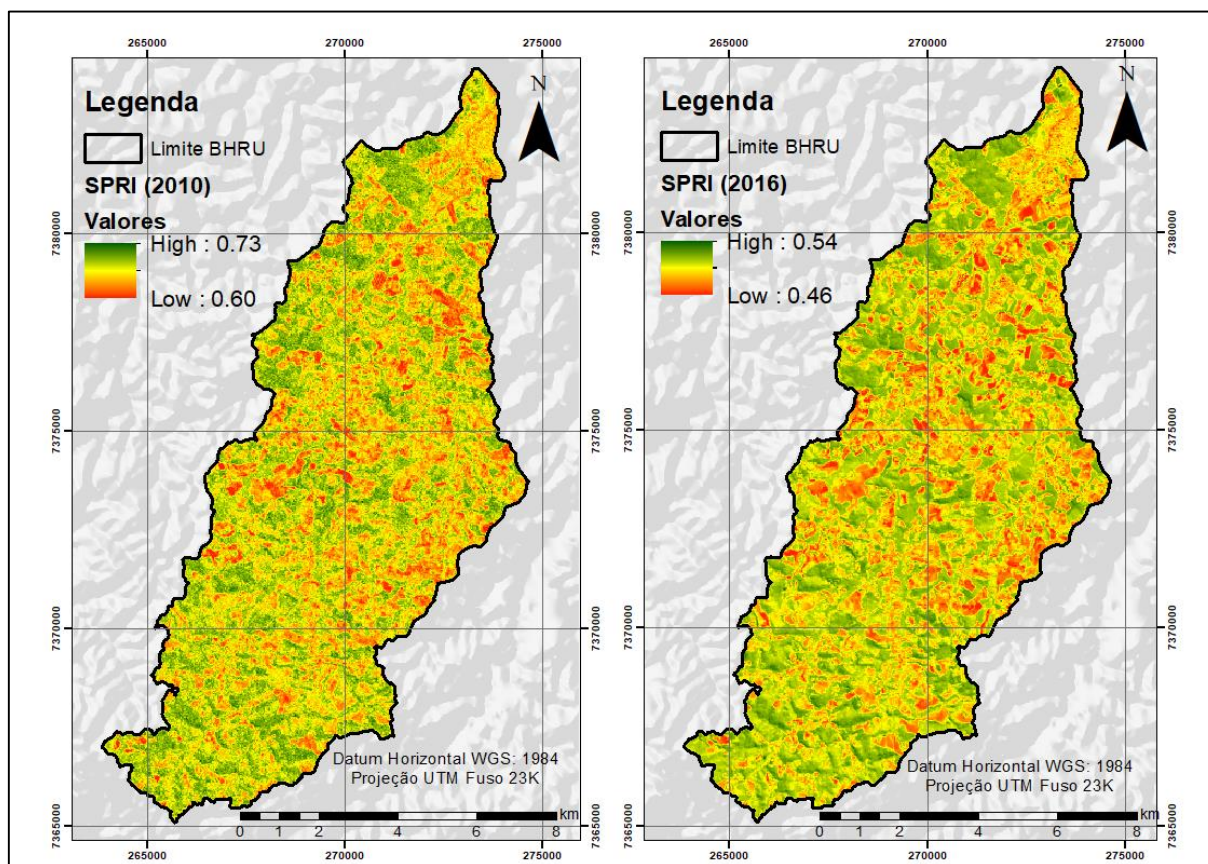
Figura 62 - Índice de Reflectância Fotoquímica da BHRU dos anos de 1991 e 2001



O mesmo ocorre na Figura 63, para os anos de 2010 e 2016, sendo os valores de 2016, com a menor taxa de vegetação do período avaliado obtiveram valor máximo de 0,54, obtendo considerável perda de áreas com valores altos de eficiência fotossintética. Consequentemente houve um aumento nas áreas com valores mínimos, ou com ausência de taxa fotossintética (áreas em vermelho).

Todavia, podemos observar, mesmo com a perda de vegetação ao longo dos anos, os maiores valores de sPRI para todas as datas estão concentrados na região sul da BHRU, onde há maior preservação dos fragmentos florestais.

Figura 63 - Índice de Reflectância Fotoquímica da BHRU dos anos de 2010 e 2016

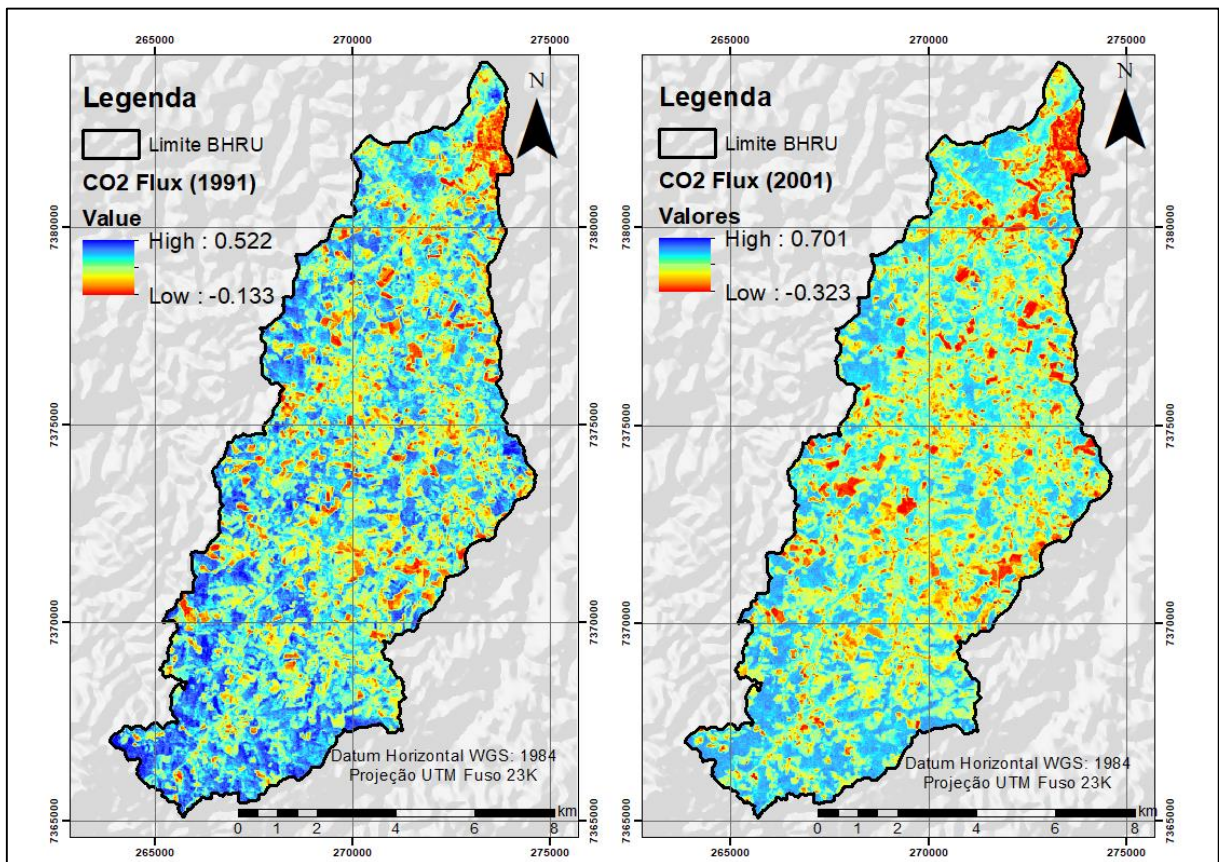


4.5.2.1 Índice de Fluxo de dióxido de Carbono (CO_2 Flux)

Como resultado final do cruzamento entre NDVI e sPRI obteve-se o CO_2 Flux. Os valores obtidos para o ano de 1991 variam entre -0.133 e 0.522, sendo que quanto maior o valor obtido, maior será o estoque armazenado de carbono. Portanto, comparando os valores de 1991 com os valores de 2001, pode-se observar que houve um aumento nos valores mínimos negativos para -0,323, ou seja, houve um aumento nos pontos onde não ocorre a captura de carbono. Correspondendo aos mapas de uso e ocupação da terra, que demonstram o crescimento de áreas agrícolas e áreas urbanas.

O mapa de 2001 apresenta valor máximo maior que 1991, porém é possível observar que são pequenos pontos, ou grupo de *pixels* com valores altos, que alteram o valor final da média, isso porque é possível observar que no mapa de 1991 há maior número de *pixels* da coloração azul mais forte, demonstrando maior área de aprisionamento de carbono, como é possível observar na Figura 64.

Figura 64 – Valores de CO₂ Flux para os anos de 1991 e 2001



Referente ao CO₂ Flux de 2010 e 2016, observa-se que em 2010 há o valor mínimo para o aprisionamento de dióxido de carbono é de -0.158, sendo maior que o valor mínimo de 2016. Uma vez que os valores negativos representam áreas de uso urbano, podemos deduzir que o aumento da área urbana e das áreas agrícolas (valores próximos a zero) aumentaram, de acordo com o mapeamento do uso do solo, elevando a média final para os valores mínimos.

Já os valores máximos, para 2016 representa a perda de vegetação, resultando em menor aprisionamento de carbono da BHRU.

A Figura 65 apresenta os mapas dos anos de 2010 e 2016 para o CO₂ Flux. A Figura 66 apresenta o gráfico dos valores médios de CO₂ Flux ao longo dos anos. Comprovando a teoria que houve a diminuição da captação de CO₂ ao longo da BHRU devido às atividades antrópicas e devido a diminuição dos fragmentos florestais.

Figura 65 - Valores de CO₂ Flux para os anos de 2010 e 2016

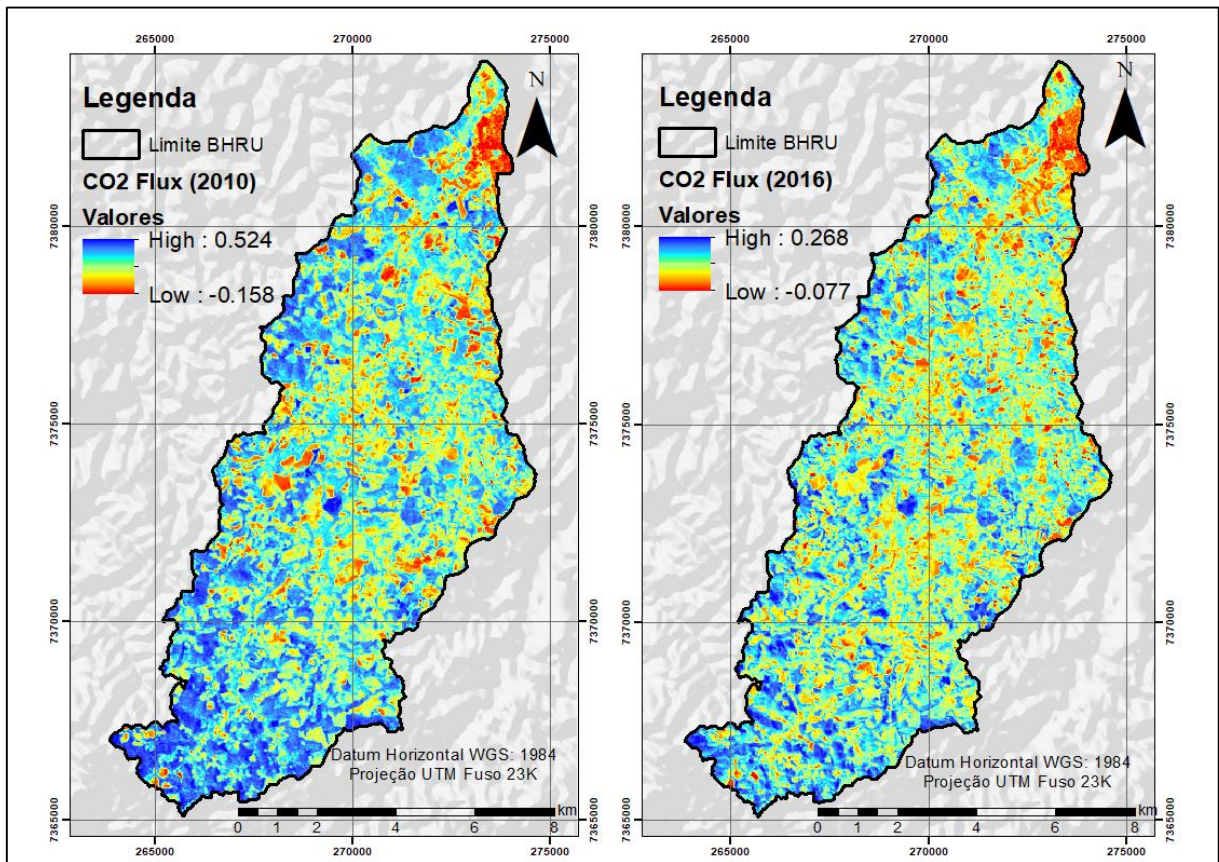
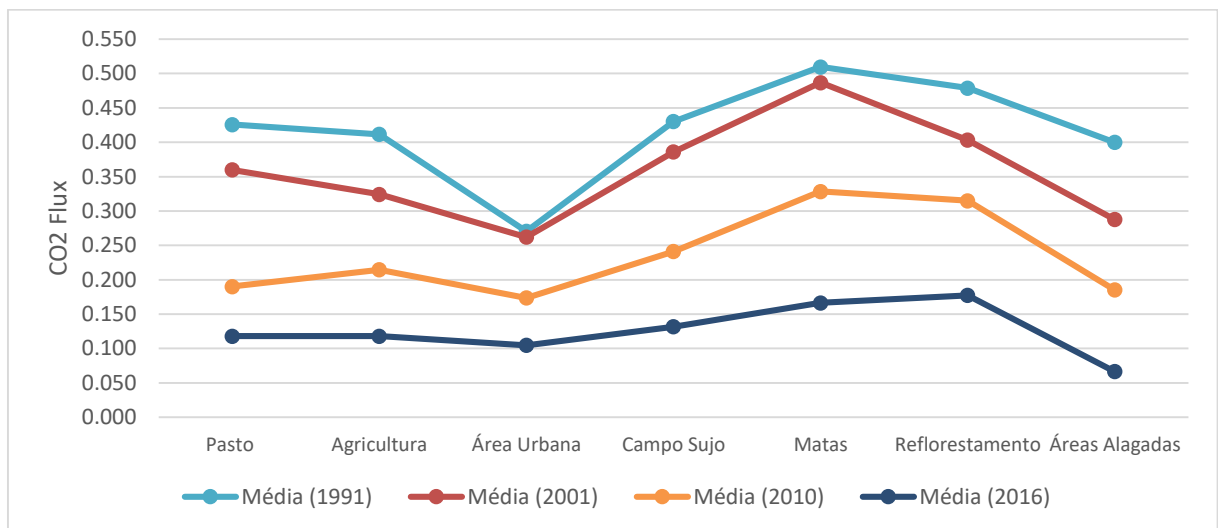


Figura 66 – Valores médios de CO₂ Flux ao longo da BHRU entre 1991 e 2016



É possível observar que, em todos os dados avaliados, houve maior captura de CO₂ nas áreas de matas, seguido pela classe de reflorestamento. Sendo os valores mais baixos, referente às áreas com ausência de atividade fotossintética, ou seja, áreas onde não ocorrem a

captação de CO₂. De acordo com os mapas de uso do solo, são as áreas ocupadas por atividades antrópicas como áreas urbanas e agricultura

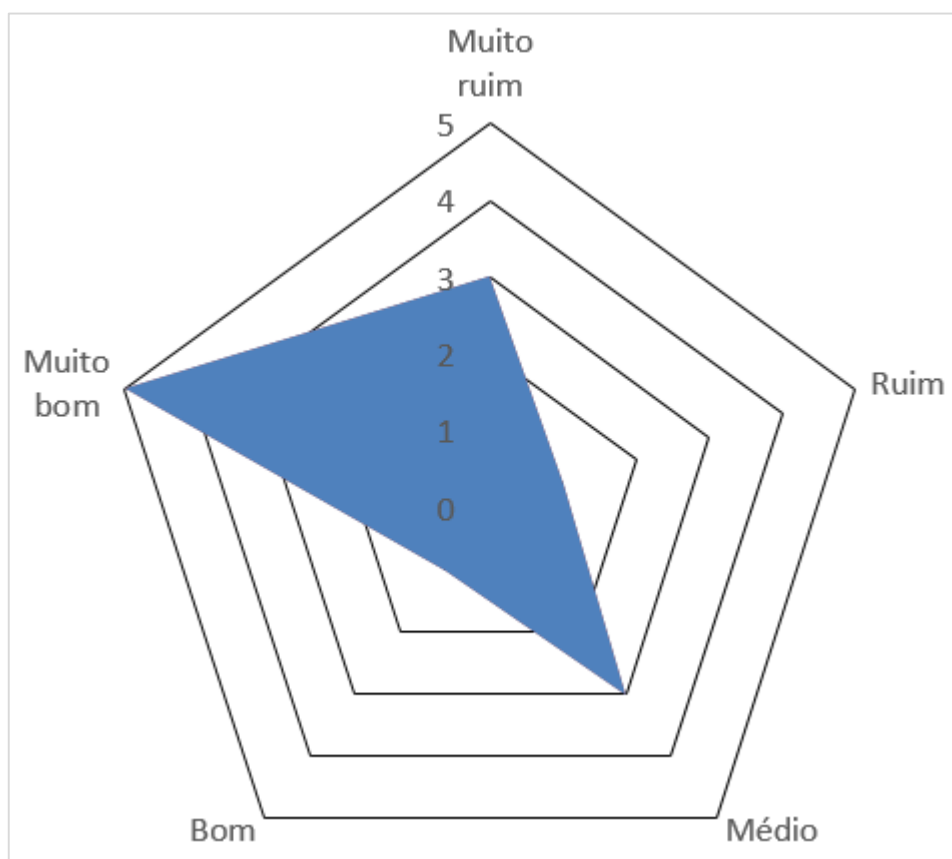
5 ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA

Como forma de síntese dos resultados obtidos por meio dos indicadores, obteve-se um panorama geral em formato de infográfico e de tabela, onde é possível avaliar o desempenho dos indicadores que compõem as variáveis de Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta. A tabela faz referência a todas as variáveis por meio de siglas e números, disponíveis no Anexo I.

A Figura 67 é o primeiro gráfico onde apresenta os resultados da Força Motriz. É possível observar que, dos 14 indicadores, 3 foram classificados como Muito Ruim (FM.01, FM.09, FM.13), apenas o indicador FM.08 foi classificado como Ruim, 3 indicadores foram classificados como Medianos (FM.02, FM.03, FM.04), o indicador FM.07 foi classificado como Bom, e os indicadores FM.05, FM.06, FM.10, FM.11 e FM.12, foram classificados como Muito Bom.

Levando em consideração que a Força Motriz representa um conjunto de atividades humanas que resultam nos impactos diretos ao meio ambiente, em um panorama geral pode-se observar que a BHRU possui uma taxa de crescimento acelerado e elevado, associada a expansão das atividades agrícolas. A distribuição de renda é ruim, apresentando renda *per capita* média aproximadamente de meio salário mínimo. Referente a qualidade do ensino há taxa de analfabetismo elevada na população de primeira infância e para a população adulta acima de 20 anos, cujo analfabetismo está diretamente associado à baixa renda.

Figura 67 - Gráfico de avaliação dos indicadores de Força Motriz

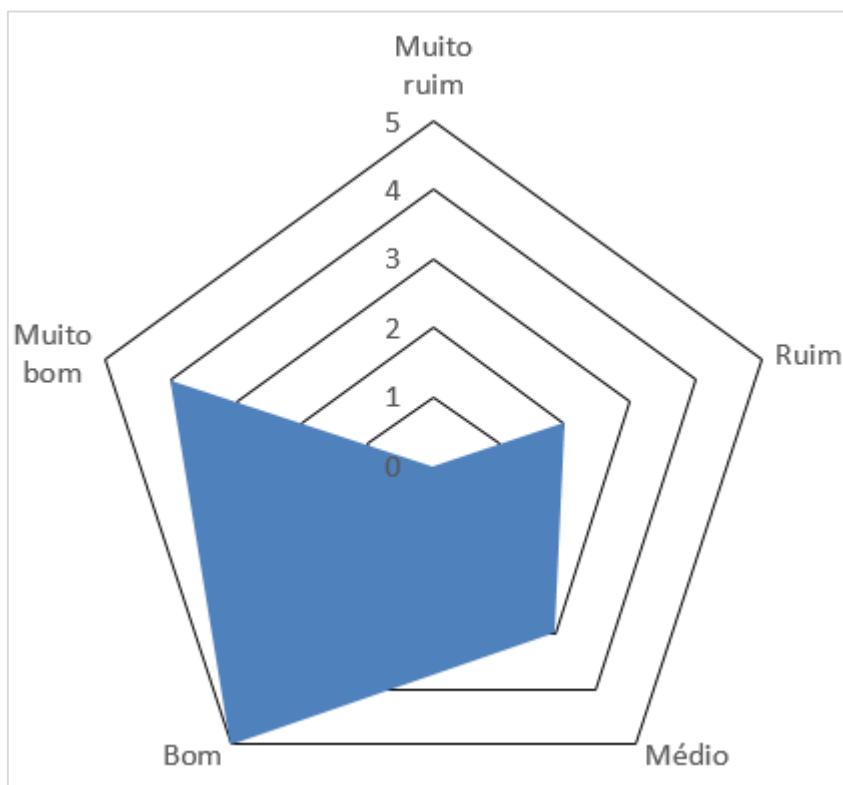


Fonte: Própria autoria

Para avaliar as pressões exercidas na BHRU, foram considerados os resultados obtidos a partir das variáveis de Força Motriz. Assim, dos 14 indicadores avaliados, dois foram classificados como Ruim (P.10 e P.11), o indicador P.09 foi classificado como Mediano, os indicadores P.08 e P.14 foram classificados como Bons e P.06, P.07, P.12 e P.13 foram classificados como Muito bons.

O gráfico da Figura 68 apresenta os resultados e pode-se observar que a avaliação para a variável Pressão varia entre Boa e Muito boa.

Figura 68 - Gráfico de avaliação dos indicadores de Pressão



Fonte: Própria autoria

Em um panorama geral a dinâmica de ocupação populacional do território da BHRU, juntamente com as altas taxas de crescimento populacional e as atividades de uso do solo, pode-se concluir que a expansão antrópica exerce grande pressão nos recursos naturais da bacia.

Havendo perda de áreas de floresta para atividades agrícolas, assim como perdas de campos para pastagens e atividades de reflorestamento.

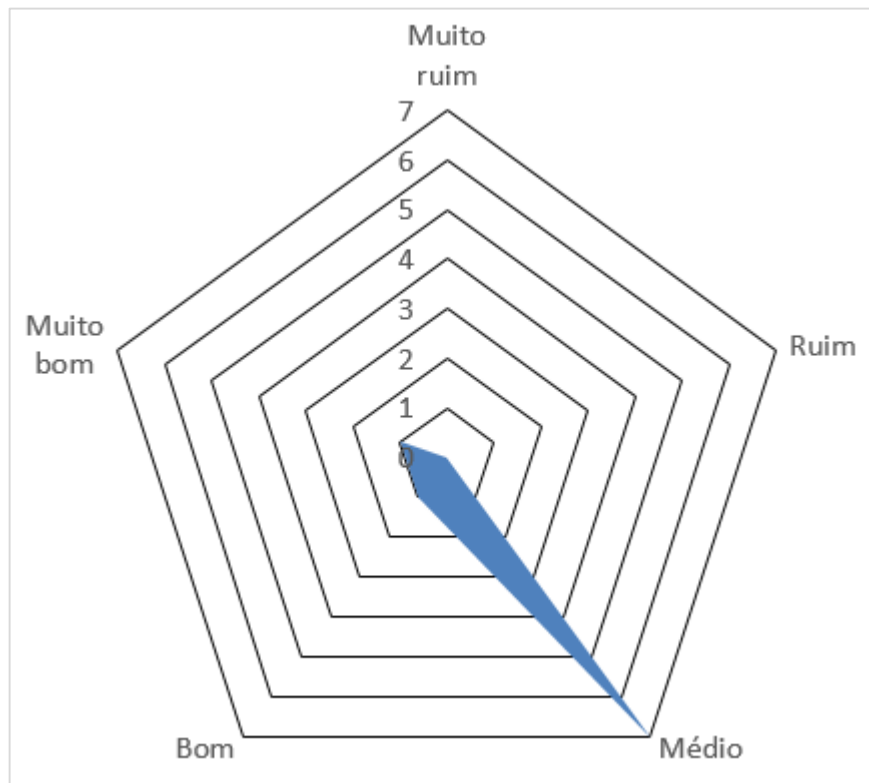
De acordo com a estrutura do modelo FPEIR, as atividades relacionadas com desenvolvimento social e econômico (Força Motriz) exercem Pressão sobre o ambiente e, como consequência, o Estado é alterado.

O Estado é a condição da combinação dos componentes abióticos e bióticos dos ecossistemas, levando em consideração as variáveis físicas, químicas e biológicas.

Desta a Figura 69 apresenta a avaliação geral de 9 indicadores. Sendo 7 deles classificados como Medianos (E.01, E.02, E.03, E.04, E.06, E.08 e E.09), 1 indicador foi classificado como Bom (E.07) e apenas o indicador E.05 foi classificado como Muito Bom.

O panorama geral da variável Estado é que os indicadores geomorfométricos e biológicos como de sanidade vegetal são medianos. Os indicadores referentes à qualidade da água e densidade de drenagem da bacia são considerados Bons.

Figura 69 - Gráfico de avaliação dos indicadores de Estado

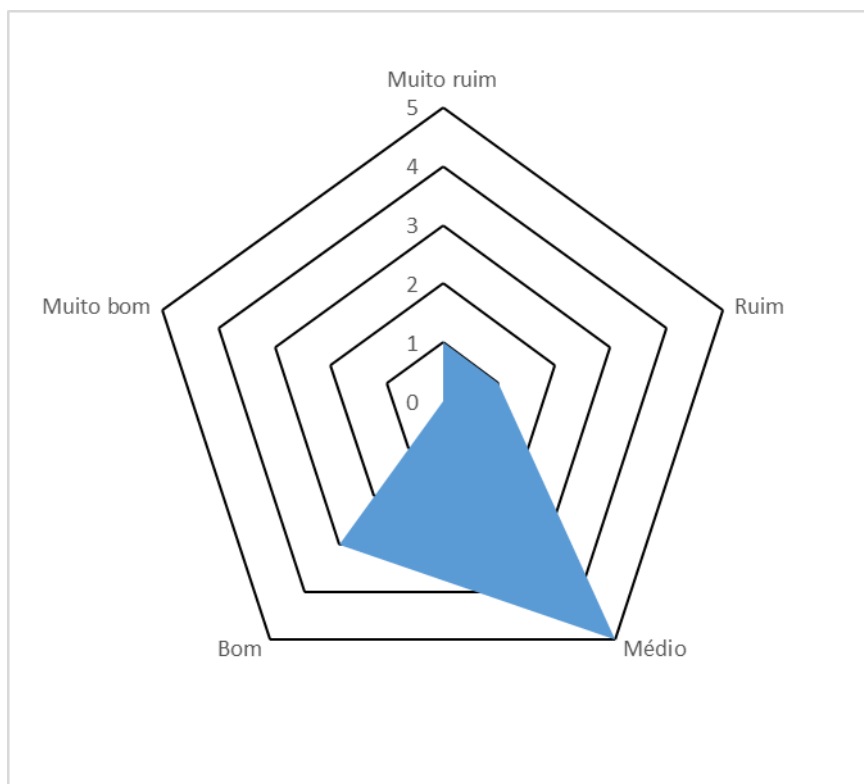


Fonte: Própria autoria

Mudanças na qualidade e funcionamento do ecossistema têm um impacto sobre o bem-estar dos seres humanos. Portanto para a variável Impacto foram avaliados 10 indicadores. Sendo I.06 e I.04 classificado como Muito Ruim e Ruim, respectivamente. Outros 5 indicadores foram classificados como Medianos (I.02, I.07, I.08, I.09 e I.10), apenas 3 indicadores foram classificados como Bom (I.01, I.03 e I.05).

A Figura 70 apresenta os resultados das variáveis de Impacto. O panorama geral para o é que foi diagnosticado que não há coleta de lixo adequada para 100% da bacia, assim como também boa parte da população não tem acesso à esgotamento sanitário e abastecimento de água da rede pública municipal. Outro aspecto importante de impacto é a existência de áreas de agricultura inseridas em APP, colaborando para a perda de solo e assoreamento dos cursos d'água da bacia.

Figura 70 - Gráfico de avaliação dos indicadores de Impacto



Fonte: Própria autoria

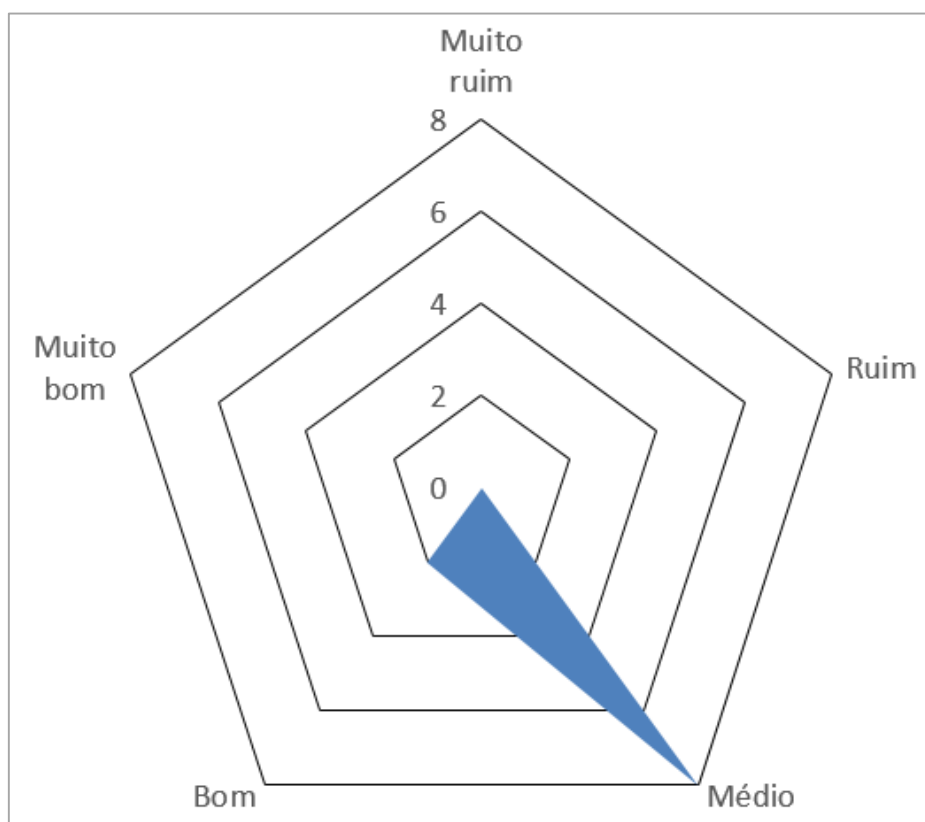
As Respostas são ações tomadas por grupos ou indivíduos na sociedade e no governo para prevenir, compensar, melhorar ou adaptar-se a mudanças no estado do ambiente; e modificar os comportamentos humanos que contribuem para os riscos para a saúde, ou para compensar os impactos sociais ou econômicos da condição humana no bem-estar humano.

A Figura 71 apresenta os resultados dos indicadores de Resposta. Dos 14 indicadores de 8 foram classificados como Medianos (R.01, R.02, R.03, R.04, R.09, R.10, R.11, R.12), 4 foram classificados como Muito Ruim (R.05, R.06), e apenas 2 foram classificados como Bom (R.07 e R.08).

As projeções futuras para a BHRU são alarmantes no que tange às mudanças do uso da terra, com grandes perdas de cobertura vegetal e expansão das atividades agrícolas.

Tais mudanças interferem diretamente na capacidade de depuração e de restauração do meio ambiente. Pode-se notar importante redução na capacidade de captação de dióxido de carbono em decorrência da diminuição da cobertura vegetal da bacia hidrográfica.

Figura 71 - Gráfico de avaliação dos indicadores de Resposta



Fonte: Própria autoria

Desta forma podemos concluir que o presente trabalho é eficiente como ferramenta de gestão, não só de bacias hidrográficas, mas para municípios e até outras escalas político-geográficas, podendo haver ajustes nos indicadores para adequar a realidade de outras áreas de trabalho.

Portanto, viabilizando a replica dessa metodologia para outras áreas de estudo permitindo a produção de um relatório periódico para o monitoramento de áreas de interesse ambiental.

Diante da importância e da complexidade das questões ambientais, é fundamental que tomemos consciência da necessidade de interação do meio ambiente com outros setores da sociedade que também sofrem influência e influenciam os impactos de consumo dos recursos naturais.

CAPÍTULO V

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados obtidos, podemos concluir que a presente pesquisa, alcançou seus objetivos e confirmou a hipótese que o uso do Sistema de Informação Geográfica tem potencial para ser usado particularmente em bacias hidrográficas de pequeno porte, e que a matriz de avaliação ambiental integrada FPEIR é uma metodologia adequada para atender as particularidades e dificuldades de gestão de pequenas áreas.

No que diz respeito aos objetivos gerais, o aprimoramento e inovação da pesquisa se deveu a utilização de indicadores ambientais, cientificamente já estabelecidos pela literatura acadêmica, e pela adequação ou criação de novos indicadores ambientais para atender as dimensões da matriz FPEIR, ajustados à realidade da bacia hidrográfica do rio Una.

Os objetivos específicos de realizar uma matriz de indicadores ambientais, para realizar as análises das dimensões Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta de aforam atendidos.

Assim sendo, os indicadores de Força Motriz atenderam os parâmetros das necessidades humanas da bacia hidrográfica, levantando dados referentes à dinâmica demográfica e dinâmica econômica da bacia hidrográfica. Os indicadores utilizados foram baseados em parâmetros já bem estabelecidos, no que diz respeito às informações socioambientais. Esses indicadores foram baseados em dados secundários oficiais do Censo demográfico de 2010, associados com ferramentas de geoprocessamento.

Entretanto, um exemplo de indicador desenvolvido para atender a realidade da área de estudos foi o IDH da bacia hidrográfica, cujo o desenvolvimento permitiu um diagnóstico setorizado da área de estudos, auxiliando nos diagnósticos da dimensão de Pressão.

Como consequência da expansão humana, identificada pela Força Motriz, foram avaliados os indicadores de Pressão. Responsáveis pela caracterização da ocupação territorial e da evolução temporal do uso antrópico. Todos os indicadores foram obtidos através de técnicas de Sensoriamento Remoto, o que permite um modelo de gestão de bacias hidrográficas espaço-temporal eficiente. Apresentando apenas limitações no que diz respeito a resolução espacial, de acordo com o sensor de satélite utilizado.

A dimensão do Estado, responsável pela análise da condição dos ecossistemas foi realizada com base em parâmetros pré-estabelecidos cientificamente, sendo adotados

indicadores morfométricos, químicos e ecológicos. Os indicadores obtiveram sucesso em seus resultados, pois realizaram diagnósticos morfológicos que auxiliam nos processos de impactos causado em associação com as atividades humanas.

Com base nos resultados da dimensão Estado, foram criados os indicadores de Impacto. Baseado em estudos científicos os indicadores foram criados para atender as necessidades da bacia hidrográfica no que diz respeito ao potencial de degradação ambiental. Levando em consideração os dados oficiais do Censo demográfico de 2010 para obter as taxas das residências com acesso a água tratada, residências conectadas à rede de esgoto pública além das taxas de conservação das áreas de preservação permanente.

Além desses indicadores foi desenvolvido um indicador que analisa o potencial de perda de solo para áreas de preservação permanente, inseridas em áreas de uso agrícola desprotegidas. Essas metodologias inovadoras, criadas com base em técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, comprovam a eficiência do uso das geotecnologias como ferramenta eficiente na avaliação ambiental integrada.

A maior dificuldade encontrada, no que diz respeito a criação de um relatório final da análise ambiental integrada, foi que o modelo de Resposta, quando aplicado em uma situação real de gestão, deve atender todas as dimensões da matriz FPEIR. Ou seja, deve haver uma proposição de Resposta, ou indicadores que atendam os problemas diagnosticados referente à Força Motriz, à Pressão, ao Estado e conseqüentemente aos Impactos.

A presente pesquisa não atendeu a essas respostas para todas as dimensões, devido a dois principais aspectos. Primeiro ponto é que o objetivo principal da tese não foi a total execução da matriz FPEIR, e sim a comprovação da hipótese que o Sistema de Informações Geográficas é uma ferramenta eficiente na avaliação ambiental integrada para bacias hidrográficas de pequeno porte, suprimindo a falta de dados oficiais disponíveis para essas áreas, através da adequação ou criação de novos indicadores.

Segundo, é importante ressaltar que diante da origem e objetivo ao qual a matriz FPEIR foi concebida, não foi possível produzir um relatório final completo, pois um relatório sustentável do método de avaliação ambiental integrada nos moldes da matriz, necessita, para a total eficiência, contar com participação de atores da sociedade e atores de órgãos públicos. Auxiliando na construção da matriz e de seus próprios indicadores, ajustados às necessidades não só ambientais, mas como das necessidades sociais e demandas da população residente.

Portanto, a dimensão Resposta, foi avaliada apenas referente aos indicadores de Impacto. Os indicadores também foram criados utilizando técnicas de sensoriamento remoto,

baseado nos impactos gerados pela expansão antrópica. Desta forma a análise integrada realizada foi restrita ao desencadeamento linear das atividades identificadas pela Força Motriz, responsáveis pela Pressão exercida na bacia do rio Una, em decorrência do Estado, que consequentemente ocasionaram os Impactos ambientais.

Desta forma, diante da hipótese da presente tese, conclui-se que a utilização das técnicas de SIG juntamente com matriz FPEIR, aplicada a escalas das bacias hidrográficas tem o potencial de promover o aprimoramento dos estudos de avaliação ambiental integrada. Para total eficiência do método é desejável que haja a participação pública de atores da sociedade, assim como a participação de representantes de órgãos dos mais diversos setores públicos, a fim de atender todas as necessidades da área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. V. S. et al. Proposta metodológica para o cálculo e análise espacial do IDH intraurbano de Viçosa - MG. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 28, n. 1, p. 169–186, 2011.
- AKTER, T.; JHOHURA, F. T.; AKTER, F.; CHOWDHURY, T. R.; MISTRY, S. K.; DEY, D.; BARUA, M. K; ISLAM, M. A.; RAHMAN, M. Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: a cross-sectional study. **Journal of Health, Population and Nutrition**. v.35, n.4, p. 1 - 12. 2016. DOI 10.1186/s41043-016-0041-5
- ALKIMIM, A. F.; LANI, J. L.; VELOSO, G. V. **Aplicação do Sistema de Informações Geográficas na integração de dados sobre o meio físico como subsídio ao gerenciamento de recursos naturais**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE. 2013, p. 3754 – 3762.
- ALSHUWAIKHAT, H. M.; ABUBAKAR, I. An integrated approach to achieving campus sustainability: assessment of the current campus environmental management practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 16, p. 1777-1785, 2008.
- ANDRADE, A. R. S. et al. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 322-329, mar./abr., 2005.
- ARAÚJO, T. S.; MENDES, L. M. S. Análise Espaço-Temporal do Estado de Conservação da Serra da Aratanha /Ceará. **GeoUECE**, v.3, n.4, p. 330-341, 2014.
- BARBOSA, L.M. Considerações Gerais e Modelos de Recuperação de Formações Ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. Matas Ciliares: conservação e recuperação. São Paulo: EdUSP, 2001.
- BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BAUMERT, K. A. et al. **Navigating the Numbers**: greenhouse gas data and international climate policy. World Resources Institute. 2005. Disponível em: Acesso em: 24 abr. 2016.

BAY, A. M. C.; SILVA, V. P. Percepção ambiental de moradores do bairro de Liberdade de Parnamirim/RN sobre esgotamento sanitário. **Holos**, v.3, n.27, p.97-112, 2011.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico**. Caderno de Ciências da Terra, nº 13. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1972.

BOISIER, S. Teorías y metáforas sobre desarrollo territorial. Cuestiones Generales. **Revista Austral de Ciencias Sociales**, v.1, n.2, p.5-18. 1998.

BORATTO, I. M. P; GOMIDE, R. L. **Aplicação dos Índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetal da região Norte de Minas Gerais**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE, 2013, p. 7345 – 7352.

BOSHI, L. S. et al. Mapeamento do biovolume de plantas aquáticas submersas a partir de dados hidroacústicos e imagem multiespectral de alta resolução. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 525–539, 2012.

BRADLEY, P.; YEE, S. **Using the DPSIR framework to develop a conceptual model: Technical support document**. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Atlantic Ecology Division, 2015.

BRASIL. André Aranha Corrêa do Lago. Fundação Alexandre de Gusmão (FUNAG) Ministério das Relações Exteriores. **ESTOCOLMO, RIO, JOANESBURGO: O BRASIL E AS TRÊS CONFERÊNCIAS AMBIENTAIS DAS NAÇÕES UNIDAS**. Brasília: FUNAG, 2006. 276 p.

BRASIL. Datasus. Ministério da Saúde (Org.). **Indicadores e Dados Básicos - Brasil - 2012: IDB-2012**. 2012. Disponível em: <<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2012/matriz.htm>>. Acesso em: 20 out. 2017.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF (2012 out. 17)

BRASIL. Lei nº 13.152, de 29 de julho de 2015. Diário Oficial da União, Brasília, DF, DECRETO Nº 9.661, DE 1º DE JANEIRO DE 2019.

BROWN, R. M. et al. A water quality index do we dare? **Water & Sewage Works**, v. 117, n 10, p. 339-343, 1970.

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment**. Clarendon Press, Oxford. 1994. Pp. 27-34.

CÂMARA, G.; CLODOVEU D. Introdução ao geoprocessamento. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS–INPE. Fundamentos de Geoprocessamento. São José dos Campos: v.1, n.1. p.1-5. 2001.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas, Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília SPI, 1998. Cap. 1, p. 3-11.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; MEDEIROS J. S. Representações computacionais do espaço: fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação. **Revista Geografia (UNESP)** v.28.n.1, p. 83-96. 2003.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B; NOVACK, J. M; PARKIN, T. B; KARLEN, D. L; TURCO R. F.; KNOPKA, A. E. Field-scale variability of soil proprieties in central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

CANAVESI, V.; PONZONI, F. J.; VALERIANO, M. M. Estimativa de volume de madeira em plantios de *Eucalyptus spp*. Utilizando dados hiperespectrais e dados topográficos. **Revista árvore**, v. 34, n. 3, p.539-549, 2010.

CARDOSO, C. A. L.; FARIA, F. S. R. O Uso do Geoprocessamento na Análise Ambiental como Subsídio para a Indicação de Áreas Favoráveis a Criação de Unidades de Conservação para o Uso Sustentável do Minhocuçú *Rhinodrilus alatus*. **E-Scientia**, v. 3, n. 1, 2010.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p. 241-248. 2006.

CARSON, B. D. **Testing Kriging-Based Areal Interpolation for Census-Based Socioeconomic Data**. University of Redlands. 82p. 2013.

CARVALHO, A. X. Y.; LAURETO, M. R.; PENA, M. G. **Crescimento da Produtividade Agrícola nas Microrregiões Brasileiras**: Texto para Discussão. Rio de Janeiro: IPEA, 2015. 10 p.

CARVALHO, M S; CÂMARA, G (Org.). **Análise de Eventos Pontuais**. In: EMBRAPA. **Druck S. et al. Análise Espacial de Dados Geográficos**. Planaltina: Embrapa, 2004. Cap. 2. p. 1-15.

CAVANI, A. C. M.; ALBUQUERQUE-FILHO, J. L. **Plano de Bacias, Mapa Diagnóstico**. Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio Sorocaba e Médio Tiete - CBH-SMT e Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**. 2017. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_228.html> Acesso em: 07 de dezembro 2017.

CETESB - Companhia de Tecnologia de saneamento. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. Technical report. CETESB, São Paulo. 2015. Disponível: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acessado 04 março, 2019.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2008**. São Paulo, CETESB, 528p, 2009.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2005**. São Paulo, CETESB, 528p, 2006.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2006**. São Paulo, CETESB, 528p, 2007.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2007**. São Paulo, CETESB, 528p, 2008.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2010**. São Paulo, CETESB, 528p, 20011.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2011**. São Paulo, CETESB, 528p, 2012.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2012**. São Paulo, CETESB, 528p, 2013.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo – 2013**. São Paulo, CETESB, 528p, 2014.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo – 2014**. São Paulo, CETESB, 528p, 2015.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 2015**. São Paulo, CETESB, 528p, 2016.

CHEN, J.; SHI, H.; SIVAKIMAR, B.; PEART, M. R. Population, water, food, energy and dams. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 18-28, 2016.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas no Planalto de Poços de Caldas**. 1970, 375f. Tese (Livre Docência), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1970.

CLARK LABS. **Idrisi Selva**. Worcester: Clark Labs, Clark University. 2012.

CLARK, C. Urban population densities. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, v. 114, n. 4, p. 490-496, 1951.

COELHO, V. H. R. et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.1, p.64-72, 2014.

COLTRI, P. P. et al. Coffee Crop's Biomass and Carbon Stock Estimation With Usage of High Resolution Satellites Images. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 6, n. 3, p. 1786-1795, 2013.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº. 357/05**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, SEMA, 2005.

COOPER, P. The DPSWR Social Ecological Accounting Framework; Notes on its Definition and Application. School of Management University of Bath. Bath BA27AY. 13pp. 2012.

CORRÊA, B. S.; PASSAMANI, M.; MOURA, A. S. Avaliação do efeito borda na distribuição da avifauna em fragmentos florestais de Cerrado. **Revista Agroambiental**. v.4, n.1. 2011.

CRESPO, S.; LA ROVERE, A. L. N. **Projeto GEO Cidades: relatório ambiental urbano integrado: Informe GEO**. Rio de Janeiro: Consórcio Parceria 21, 2002. 193 p.

CROPPER, M.; GRIFFITHS, C. The interaction of population growth and environmental quality. **The American Economic Review**. v. 84, n. 2, p. 250-254, 1994.

DE MORAES, M. E. B.; LORANDI, R. **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas**. Ilhéus, BA: Editus-Editora da UESC, 2016. 283p.

DEMARCHI J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens Landsat-5. **RA´E GA**, v. 21, p. 234-271, 2011.

DIAMOND, J. **Armas. Germes e Aço: Os destinos das sociedades humanas**. 12. ed. Rio de Janeiro: Record, 2010. p. 83-90.

DOMINGUES, C. V.; FRANÇOSO, M. T. Aplicação de Geoprocessamento no Processo de Modernização da Gestão Municipal. **Revista Brasileira de Cartografia**, Campinas, v. 1, n. 60, p.71-78. 2008.

DOS SANTOS, J. T. S.; PENA, H. W. A. Geoprocessamento Aplicado a Ecologia de Paisagem: Uma Análise da Dinâmica da Ilha do Papagaio - PA, Amazônia-Brasil. **Revista OIDLES**, v. 5, n. 11, 2011. Disponível em: <<http://www.eumed.net/rev/oidles/11/ssap.html>>. Acesso em: 09 Setembro de 2015.

DSF - DAVID SUZUKI FOUNDATION (Canada). School of Resource and Environmental Management (Org.). **The Maple Leaf in the OECD: Canada's Environmental Performance**. Burnaby: David Suzuki Foundation, 2010. 50 p.

DUTTA, V. Land Use Dynamics and Peri-urban Growth Characteristics. **Environment and Urbanization Asia**, Lucknow, v. 3, n. 2, p.277-301, set. 2012. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0975425312473226>.

EEA. Environmental Indicators: Typology and Use in Reporting. European Environment Agency, 20pp. 2003.

EEA. **Europe's Environment: the Dobbris Assessment**. European Environmental Agency, Copenhagen, 8pp. 1995.

ELME. European Lifestyles and Marine Ecosystems, Description of Work. European Union, 85pp. 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 286.p

ENDLICH, A. M. Maringá e a rede urbana regional: conteúdo urbano e concentração demográfica. **Acta Scientiarum** v.21, n.4, p. 897-907, 1999.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília**, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

ESRI. ArcGIS Desktop. Release 10.1. Redlands Environmental Systems Research Institute. 2014.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **La erosión del suelo por el agua: Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo**. Cuadernos de fomento agropecuario de la Organización de Las Naciones Unidas, Roma: FAO, n.81, 1980, 207p.

FÉ, M. M. M. A análise ambiental integrada e sua construção teórica na geografia física. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.8, n.2, p. 294-307, 2014.

FITZ, P. R. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo - SP: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina do Texto, 2011. 128 p.

FOLHARINI, S. O.; OLIVEIRA, R. C. Cálculo do Índice Espectral CO₂ FLUX em área de mata atlântica e sua relação com processos gravitacionais no município de Cubatão. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v.1, n. 2017, p.4642-4653, 2017.

FRANÇA, J. F. B. F. A POLÍTICA EXTERNA BRASILEIRA PARA O MEIO AMBIENTE: DE ESTOCOLMO A JOANESBURGO. **Cadernos de Relações Internacionais**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, p.1-31, 2010.

FRANCA, L. P. Indicadores Ambientais Urbanos - Revisão da Literatura. p. 35. 2001.

FREITAS, S. R.; METZGER, J. P. Relação entre a densidade e a conectividade das estradas e o relevo em uma paisagem da Mata Atlântica (Planalto de Ibiúna, SP). **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 13, p. 2659-2664, 2007

GALZERANO, L. et al. Emissão de CO₂, características do dossel e acúmulo de forragem em pastos de capim-pensacola sob frequências de desfolhação. **Ciência Animal Brasileira**, v.15, n. 2, p. 138-144, 2014.

GAMON, J. SERRANO, L.; SURFUS, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. **Oecologia**, v. 112, n. 4, p.492-501, 1997.

GAO, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, n.1, p. 257-266. 1996

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning. 2012.

GARI, S. R. et al. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. **Ocean & Coastal Management**. N. 103, p.63-77. 2015. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2014.11.013

GARI, S. R.; NEWTON, A.; ICELY, J. D. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. **Ocean & Coastal Management** v.103, pp. 63 – 77. 2015. Elsevier. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2014.11.013

GEORGAKARAKOS, S.; KITSIOU, D. Mapping abundance distribution of small pelagic species applying hydroacoustics and Co-Kriging techniques. **Hydrobiologia**, v. 612, n. 1, p. 155-169, 2008.

GOULART, M. J. F. N. "**Gestão da água na produção de leite na Ilha do Faial**". 2015. XI, 58 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente). Angra do Heroísmo: Universidade dos Açores, 2013.

GUIMARÃES, Roberto Pereira; FEICHA, Susana Arcangela Quacchia. Desafios na Construção de Indicadores de Sustentabilidade. **Ambiente & Saúde**, Campinas, v. 2, p.307-323, 2009.

HACATOGLU, K.; DINCER, I.; ROSEN, M. A. A new model to assess the environmental impact and sustainability of energy systems. **Journal of Cleaner Production**, Oshawa, v. 103, p.211-218, set. 2015. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.06.050.

HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciência & Saúde Coletiva**. v.3, n.2, pp. 73-84, 1998.

SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S.; CORDEIRO NETTO, O. M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. **Cad. Saúde Pública**. v.18, n.6, p.713-1724, 2002.

HOOVER, Bruce. **Integrated river basin governance**. IWA publishing, 2005. 284 p.

HOSHINO, S. et al. Estimation of increase in storm surge damage due to climate change and sea level rise in the Greater Tokyo area. **Natural Hazards**, v. 80, n. 1, p. 539-565, 2016.

HUZUI, A. E.; CALIN, I.; PATRU-STUPARIU, I. Spatial pattern analyses of landscape using multi-temporal data sources. **Procedia Environmental Sciences**, v. 14, p. 98-110, 2012

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (Org.). **IBGE - Cidades @**. Rio de Janeiro: IBGE 2017. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/sp/ibiuna/panorama>>. Acesso em: 26 abr. 2017

IBGE -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Org.). **Downloads IBGE: Geociências**. Rio de Janeiro: IBGE 2016. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em: 26 set. 2017.

IBGE. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário**. Rio de Janeiro: IBGE 2012. 125p.

IBGE. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário**. Rio de Janeiro: IBGE 2012. 125p.

IBGE. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem da População 2007**. Rio de Janeiro: IBGE 2007. 311p.

IBGE. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais Técnicos em Geociências: Manual Técnico do Uso da Terra**. 3ª Edição. Rio de Janeiro. IBGE, 2013. 171p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Org.). @Cidades. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/>> . Acesso em 08 jan. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Org.). **Censo Demográfico 2000 Trabalho e Rendimento: Resultados da Amostra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000b. 306 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Org.). **Censo Demográfico 2000 Características Gerais da população: Resultados da Amostra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000a. 306 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Org.). **Censo Demográfico 2000 Educação: Resultados da Amostra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000c. 306 p.

IBIÚNA. Prefeitura Municipal de Ibiúna. Secretaria Municipal do Meio Ambiente (Org.). **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico**. Ibiúna: Prefeitura Municipal, 2012. 220 p.

IMAZON. INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. Análise das Emissões de GEE no Brasil (1990 - 2012) Mudanças de uso da Terra. 2014. 19p.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**. Kamiyamaguchi: IGES, 2003. 590p.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (São Paulo). Secretaria de Desenvolvimento do Estado de São Paulo. **Subsídio para o Ordenamento Territorial Geomineiro do Município de Ibiúna**: Parecer Técnico n 14021-301. Ibiúna: IPT, 2007. 57 p.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Centro de Tecnologias Ambientais e Energéticas - Cetae Laboratório de Recursos Hídricos e Avaliação Geoambiental - Labgeo. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) – SP/MG**: (Relatório Síntese – R3). São Paulo: Ipt, 2008. 52 p.

ISAIAS, F. B. **A sustentabilidade da água**: proposta de um índice de sustentabilidade de bacias hidrográficas. 2008. 169 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - UnB, Brasília, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/1153>

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ª ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coord) [et al.]; São José dos Campos: Parêntese. 2009. 672 p.

KAGALOU, I. et al. The DPSIR Approach for an Integrated River Management Framework. A Preliminary Application on Mediterranean Site (Kalamas River – NW Greece). **Water Resour Manage**. n. 26, p.1677-1692, 2012. DOI: 10.1007/s11269-012-9980-9

KAUANO, E. E.; PASSOS, E. Análise do uso da terra em áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica do Rio da Gama, Tijucas do Sul, Paraná. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v.6, n.2, p.181-190. 2008.

KAWAKUBO, F. S. **Representações gráficas do relevo e álgebra de mapas: aplicações no estudo da fragilidade ambiental**. 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, 2005.

KELBLE, C. R. et al. The EBM-DPSER conceptual model: integrating ecosystem services into the DPSIR framework. *PLOS One* 8 (8), 1-12. 2013.

KENNEL, E.; HUBBART, J. A.; IKEM, A. A comparison of forest and agricultural shallow groundwater chemical status a century after land use change. **Science of the Total Environment**, v. 529, p. 82–90, 2015.

KOLK, A; MAUSER, A. The evolution of environmental management: from stage models to performance evaluation. **Business Strategy and The Environment**, Netherlands, v. 11, n. 1, p.14-31, 2001. DOI:10.1002/bse.316.

KRISTENSEN, P. The DPSIR Framework. In: WORKSHOP ON A Comprehensive/detailed assessment of the vulnerability of water resources to environmental change in Africa using river basin approach., 1., 2004, Nairobi. **European Topic Centre on Water**. Kenya: European Environment Agency, 2004. p. 1 - 10.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 52, n. 6, p. 119-139, 1951

KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D. C. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.17, n.10, p.1116–1123, 2013.

LAKES, T.; KIM, H. O. The urban environmental indicator Biotope Area Ratio—an enhanced approach to assess and manage the urban ecosystem services using high resolution remote-sensing. **Ecol. Indic.**, n.13, p. 93-103, 2013.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. **Land use policy**, v. 27, n. 2, p. 108-118, 2010.

LESLIE, C. R.; SERBINA, L. O.; MILLER, H. M. **Landsat and agriculture—Case studies on the uses and benefits of Landsat imagery in agricultural monitoring and production**: U.S. Geological Survey Open-File Report 2017–1034, 2017. 27p.

LOPES, E. R. N. et al. Socioeconomic and Environmental Determinants on the Urban Potential of the Una Watershed, Ibiúna, SP. **REDE: Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, p. 07–22, 2016.

LOPES, E. R. N.; REUSS-STRENZEL, G. M. Geoprocessamento aplicado ao monitoramento da ocupação de unidades de conservação: um olhar sobre a Área de Proteção Ambiental de Guaibim. **Revista de Geografia da UFPE**, v. 32, n. 3, p. 43- 59, 2015.

LORENZON, T. H.; PAIVA, S. L. P.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J.; NUNES, E. S. **Geotecnologias aplicadas à análise do estado de conservação das APPs das nascentes da bacia hidrográfica do rio Cabaçal, Mato Grosso – Brasil**. Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 415 -425. 2014.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES J.; MEDEIROS, G. A.; OTERO, R. A. P.. Metodologia para seleção de áreas aptas à instalação de aterros sanitários consorciados utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 122-140, 2015.

MAGESH, N. S.; CHANDRASEKAR, N.; KALIRAJ, S. A GIS based automated extraction tool for the analysis of basin morphometry. Bonfring **International Journal of Industrial Engineering and Management Science**, v. 2, n.1, p. 32–35, 2012.

MARCONDES, D. A. S. **Mata Ciliar e a Qualidade da Água**. São Paulo: Companhia Energética de São Paulo, 2001. CR-ROM.

MARGERUM, R. D. **Beyond Consensus: Improving Collaborative Planning and Managemant**. London: MIT Press Cambridge, 2011. 416 p.

MARGERUM, R. D. Integrated Environmental Management: The Foundations for Successful Practice. **Environmental Management**, v.24, n.2, pp. 151–166. 1999.

MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from Landsat: A review. **Remote Sensing of Environment**, United States, v. 122, p.30-40, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.026>.

MARTIN, D. Mapping population data from zone centroid locations. Transactions of the Institute of British Geographers NS, 14: 90-97. 1989.

MARTINS, S.V. Recuperação de Matas Ciliares. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. 1.ed. Lavras: Editora UFLA, 455p. 2013.

MENDONÇA, F. **Geografia e Meio Ambiente**. São Paulo: Contexto, 2005.

MENDOZA, M. E. et al. Analysing land cover and land use change process at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975-2003). **Applied Geography**, v.31, p.237-350, 2011.

METZGER, J. P. O Código Florestal tem Base Científica. **Natureza & Conservação**, v. 8, n. 1, p. 92-99, 2010.

MILLER, R. B.; SMALL, C. Cities from space: Potential applications of remote sensing in urban environmental research and policy. **Environmental Science & Policy**, v.6, n.2, p.129–137, 2003.

MITTERMEIER, R. A. et al. **Hotspots Revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions**. Washington: Conservation International, 2005. 392 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Termo de Referência para o Estudo de Avaliação Ambiental Integrada dos Aproveitamentos Hidrelétricos da bacia do rio Uruguai. 2005. 13p.

MORAIS, M. C. M. **ELABORAÇÃO DE UM INDICADOR DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL PARA BACIAS HIDROGRÁFICAS**. 2017. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba, 2017.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2011. 422 p.

MUELLER, C. C.; MARTINE, G. Modernização da agropecuária, emprego agrícola e êxodo rural no Brasil- A década de 1980. **Revista de Economia Política**, v. 17, n. 3, p. 85 – 104, 1997.

NEC – National Environment Commission. Royal Government of Bhutan (Org). **Environmental Management tool & Techniques – National Capacity Self-Assessment Project**. Phama Printers. Thimphu, p. 96. 2011.

NESS, B.; URBEL-PIIRSALU, E.; ANDERBERG, S.; OLSSON, L. Categorising tools for sustainability assessment. **Ecological Economics**, Sweden, v. 60, n. 3, p.498-508, 2007. DOI 10.1016/j.ecolecon.2006.07.023.

NEWTON, A. A systems approach for sustainable development in coastal zones. **Ecol. Soc.** 17 (3), 41. 2012. DOIÇ 10.5751/ES-04711-170341

NOSS, R. F. Corridors in Real Landscape: A Reply to Simberloff and Cox. **Conservation Biology**, v. 1, n. 2, p. 159-164, Aug 1987.

NOVAES, A.P.; SIMÕES, M.L.; INAMASU, R.Y.; JESUS, E.A.P.; MARTINETO, L.; SANTIAGO, G.; DASILVA, W.T.L. Saneamento básico na área rural. In: SPADOTTO, C. & RIBEIRO, W. (Org.). **Gestão de resíduos na agricultura e na agroindústria**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais. p. 262-275, 2006.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto. Princípios e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1995.

NUCCI, J. C. Origem e Desenvolvimento da Ecologia e da Ecologia da Paisagem. **Revista Eletrônica Geografar**, Curitiba, v. 2, n. 1, p.77-99, 2007.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. **Environmental Indicators. Indicateurs d'environnement**. OECD Core Set. Corps central de l'OCDE. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris. 1994. 152.p.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. **Indicateurs Clés de L'environnement**. Direction de l'Environnement de l'OCDE Paris, France. 2008. 36.p.

OECD. **OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews**. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, France, 93pp. 1993.

O'HIGGINS, T. et al. Achieving good environmental status in the Black Sea: scale mismatches in environmental management. **Ecol. Soc.** 19 (3), 54. 2014.

OLIVEIRA, J. S. e S. **Índices de vegetação (NDVI, IVAS, IAF, NDWI) como subsídio à gestão do uso e ocupação do solo na zona de amortecimento da Reserva Biológica de Saltinho, Pernambuco**. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

OLIVEIRA, J. S. S.; OLIVEIRA, T. H.; GALVINCÍO, J. D.; TORRES, M. F. A. **Utilização do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – IVAS, na identificação das áreas de fragilidade ambiental na Zona de Amortecimento da REBIO Saltinho – PE**. Anais XVII Simpósio

Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, INPE. 2015, p. 6328 – 6335.

OLIVEIRA, T. H. et al. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife. n. 03 p. 55-69, 2010.

OLIVIER, J. G. J.; JANSSENS-MAENHOUT, G.; MUNTEAN, M.; PETERS, J. A. H. W. Trends in global CO2 emissions, 2015 report. Netherlands Environmental Assessment Agency, 2015. Disponível em: http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2015-trends-inglobal-co2-emissions-2015-report-98184.pdf. Acesso em: 14 ago. 2016.

ONU, 2012, Rio de Janeiro. **CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, RIO+20: O futuro que queremos**. Rio de Janeiro: UNEP, 2012. 21 p.

PANACHUKI, E. et al. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. 2006.

PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 30, p. 30-43, 2011.

PASINI, M. P. B.; LÚCIO, D. A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Modelos de semivariogramas para estimar a densidade populacional da mosca-do-figo ao longo do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 7, p. 493-505, 2014.

PATRÍCIO, J. et al. DPSIR—Two Decades of Trying to Develop a Unifying Framework for Marine Environmental Management? **Frontiers In Marine Science**, n.1, v. 3, p.1-14. 2016. DOI:10.3389/fmars.2016.00177.

PINTO, R. H. **Metaconglomerados e Rochas Associadas do Grupo São Roque a Noroeste da Cidade de São Paulo: Proveniência e Implicações para a Idade da Sedimentação**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

PNUD. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2013**. PNUD. Brasília: 2013. 51.p. Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil/rio-de-janeiro_rj>. Acesso em 20 jan.

2017.

PNUMA - Programa de Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente. División de Evaluación y Alerta Temprana (Org.). **Manual de capacitación GEO para la realización de evaluaciones ambientales integrales y la elaboración de informes.** Ciudad de Panamá: PNUMA, 2009. 33 p.

PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. **GEO Anuario: Generalidades de nuestro cambiante entorno.** Nairobi: Pnuma, 2006. 91 p.

PNUMA. Programa das Nações Unidas Para O Meio Ambiente. **Metodologia para a elaboração de Relatórios GEO Cidades: Manual de Aplicação.** v.2. México: PNUMA, 2004. 181 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 2010.

PRAÇA, L. **O Geoprocessamento Utilizado como Instrumento de Sistematização das Informações do Trabalho Técnico Social do Programa Vila Viva.** Instituto de Geociências, Departamento de Cartografia, UFMG. 2011. 52 p.

RAFIEE, R.; MAHINY, A. S.; KHORASANI, N. Assessment of changes in urban green spaces of Mashad city using satellite data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.11, p. 431-438, 2009.

RAHMAN, A. F. et al. Modeling CO2 flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In: **AVIRIS Workshop.** 2000.

RAMOS, F. N.; SANTOS, F. M. Phenology of *Psychotria tenuinervis* (Rubiaceae) in Atlantic Forest fragment. **Canadian Journal of Botany**. v.83, p.1305-1316. 2005.

RAMOS, T. B. Utilização de indicadores na gestão e avaliação ambiental. Painel sobre Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável. In: ENCONTRO NACIONAL DO COLÉGIO DE ENGENHARIA DO COLÉGIO DE ENGENHARIA DO AMBIENTE, 2., 2002, Portugal. **Encontro Nacional.** Porto: ENCEA, 2002. p. 56 - 67.

RANIERE, N. B. S.; ALVES, A. L. A. Direito à educação e direitos na educação em perspectiva interdisciplinar. **São Paulo: Cátedra UNESCO de Direito à Educação/Universidade de São Paulo (USP)**, 2018.

REKOLAINEN, S., KAMARI, J., HILTUNEN, M. A conceptual framework for identifying the need and role of models in the implementation of the water framework directive. **Int. J. River Basin Manag.** 1 (4), 347e352. 2003.

RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29p.

RIOS-NETO, E.; MARTINE, G; ALVES, J. E. D. Marco conceitual: população e políticas públicas. **E-book**, v. 3, p. 19-49, 2015.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. Manual de Manejo Integrado de bacias Hidrográficas. Santa Maria: Editora da UFSM, 2001. 282 p.

SALES, J. C. A. **Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na bacia hidrográfica do rio una, Ibiuna/SP**. 2015. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba, 2015.

SALES, J. C. A.; SILVA, D. C. C.; ROMAGNANO, L. F. T.; BERTAGNA, R.; LOURENÇO, R. W. Avaliação do impacto ambiental causado pelas alterações espaço temporal do uso do solo e da cobertura vegetal utilizando o modelo das cadeias de Markov. **Ciência e Natura**, v. 38, p. 115-124, 2016.

SALLES, M. H. D. et al. Avaliação Simplificada de Impactos Ambientais na Bacia do Alto Sorocaba (SP). **Revista de estudos ambientais**. v.10, n. 1, p. 6-20. 2008.

SALVADOR, J. L. G. Considerações sobre as matas ciliares e a implantação de reflorestamento mistos nas margens de rios e reservatórios. São Paulo: CESP, 1987.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 390 p.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p.

SANTOS, D. S.; SPAROVEK, G. Retenção de sedimentos removidos de área de lavoura pela mata ciliar, em Goiatuba (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1811-1818, 2011.

SANTOS, J. S. A. M.; Análise da Paisagem de um Corredor Ecológico na Serra da Mantiqueira. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. São José dos Campos. 2003.

SÃO PAULO - ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO (Estado). Lei nº 11.579, de 02 de dezembro de 2003. **Altera a Lei n. 10.100, de 1.º de dezembro de 1998**. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, SP.

SÃO PAULO – ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO (Estado). Lei nº 10.100, de 01 de dezembro de 1998. **Declara Área de Proteção Ambiental O Entorno da Represa de Itupararanga**. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, SP.

SÃO PAULO. – Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2004/2007 Resumo**. São Paulo. DAEE. 2006. 92.p.

SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria Estadual de Saneamento e Recursos Hídricos - Coordenadoria de Recursos Hídricos (Org.). **Situação dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo: Ano base 2009**. São Paulo: SSRH/CRHI, 2011. 210 p.

SÃO PAULO. Instituto Florestal. Secretaria do Meio Ambiente (Org.). **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: Páginas e Letras, 2005. 200 p.

SÃO PAULO. SigRH - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo (Org.). **Indicadores para Gestão dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo: Legenda de revisão**. São Paulo: SigRH, 2014. 217 p.

SCHJONNING, P. et al. Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) Analysis and Risk Assessment for Soil Compaction - A European Perspective. **Advances In Agronomy**, Denmark, v. 133, n. 1, p.183-237, 2015. DOI: 10.1016/bs.agron.2015.06.001.

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise De Dados. (Org.). **Portal de Estatística do Estado de São Paulo: População e Estatísticas Vitais**. 2017. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>>. Acesso em: 23 out. 2017.

SEQUINEL, M. C. M. Cúpula mundial sobre desenvolvimento sustentável - Joanesburgo: entre o sonho e o possível. **ANÁLISE CONJUNTURAL**, v.24, n.11-12, p.12, 2002.

SILVA, D. C. C. et al. Avaliação do Potencial de Sequestro de Carbono na Bacia Hidrográfica do rio Pirajibu-Mirim em Sorocaba (SP). In: TULLIO, Leonardo (Org.). **Aplicações e Princípios do Sensoriamento remoto 2**. 2. ed. Ponta Grossa: Atena, 2018. Cap. 7. p. 80-93.

SILVA, D. C. C. **PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ELABORAÇÃO DE UM ÍNDICE ESPACIAL DE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL APLICADO A BACIAS HIDROGRÁFICAS**. 2016. 177 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciencias Ambientais, Ciencias Ambientais, Universidade Estadual Paulista: "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba, 2016. Cap. 3.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE-FILHO, J. L.; OLIVEIRA, R. A.; LOURENÇO, R. W. Metodologia para análise do potencial de degradação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. **Caderno de Geografia**, v.27, n.50, 2017. Doi:10.5752/p.2318-2962.2017v27n50p455.

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE-FILHO, J. L.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.2, p.627-642, 2016.

SILVA, E. R. A. C.; MELO, J. G. S., GALVÍNCIO, J. D. Identificação das Áreas Susceptíveis a Processos de Desertificação no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca – PE Através do Mapeamento do Estresse Hídrico da Vegetação e da Estimativa do Índice de Aridez. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, PE, n. 03, p. 629-649, 2011.

SILVA, S. C. P.; BAPTISTA, G. M. D. Análises espectrais da vegetação com dados hyperion e sua relação com a concentração e o fluxo de CO₂ em diferentes ambiente na Amazônia brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 2, p.354-370, 2015.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: 2001.

SKORUPA, L. A. **Área de Preservação Permanente e Desenvolvimento Sustentável**. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, dezembro, 2003.

SMEETS, E., WETERINGS, R. Environmental Indicators: Typology and Overview. Technical report. n.25. EEA, 19pp. 1999.

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Série Histórica**. 2013. Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: set. 2017.

SONG, X.; FROSTELL, B. The DPSIR Framework and a Pressure-Oriented Water Quality Monitoring Approach to Ecological River Restoration. **Water**, v.4, n.1. p.670-682, 2012. doi:10.3390/w4030670

SOUZA, J. C. **Metodologia para avaliação ambiental em bacias hidrográficas, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto**. 2017. 81 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Ambientais, LABGEO, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba, 2017.

SOUZA. C.G., et al. **Caracterização e manejo integrado de bacias hidrográficas**. Belo Horizonte: EMATER, 2002. 124p.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.1, p.1117-1142, 1952.

SVARSTAD, H. et al. Discursive biases of the environmental research framework DPSIR. **Land Use Policy**. Norway. v. 25, n.1, pp. 116–125, 2008. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.landusepol.2007.03.005.

SVARSTAD, H. et al. Discursive biases of the environmental research framework DPSIR. **Land Use Policy**, n.1, v. 25, n. 1, p.116-125, 2008. DOI: 10.1016/j.landusepol.2007.03.005.

TABARELLI, M.; MANTOVANI, W.; Peres, C. A. Effects on habitat fragmentation on plant guild structure in the montane Atlantic forest of southeastern Brazil. **Biological Conservation**, v.91, n. 2-3, p. 119- 127, 1999.

TARBOTON, D. G.; BRAS, R. L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. **Hydrological Processes**, v.5, n.1, p.81–100, 1991.

TATALOVICH, Z.; WILSON, J. P.; COCKBURN, M. A comparison of thiessen polygon, kriging, and spline models of potential UV exposure. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 33, n. 3, p. 217-231, 2006.

TEODORO, V. L. I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Escoamento superficial. Hidrologia: ciência e aplicação**, v. 4, p. 391-437, 1993.

TUCCI, C. E. M; MENDES, C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. **Ministério do Meio Ambiente/SQA. Brasília: MMA/SQA**, 2006. 302p.

UN - UNITED NATIONS. Economic and Social Council (Org.). **Commission on the Status of Women**. 7. ed. New York, 2000. 35 p.

UNEP - United Nations Environment Programme. International Institute for Sustainable Development (Org.). **Integrated Environmental Assessment: Training Manual**. Nairobi: UNEP, 2010. 28 p.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Keeping Track of Our Changing Environment: From Rio to Rio+20 (1992-2012)**. Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi. p.111, 2012a.

UNEP - United Nations Environment Programme. Key Environmental Indicators: Tracking progress towards environmental sustainability. In: PROGRAMME, United Nations Environment (Ed.). **UNEP YEAR BOOK 2012: Emerging Issues in our Global environment**. 2012. ed. Nairobi, UNEP, 2012b. p. 51-65.

UNITED STATES. USGS. U.S. Geological Survey (Org.). **Earth Explorer**. 2017. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

VASSEUR, E. United Nations Conference on the Human Environment: Stockholm, 5–16 June 1972. **Water Research**, v. 7, n. 8, p.1227–1233, 1973.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Editora Mc Graw Hill, São Paulo 1975, 245p.

VON WIRTH, T; GRÊT-REGAMEY, A.; STAUFFACHER, M. Mediating effects between objective and subjective indicators of urban quality of life: testing specific models for safety and access. **Soc. Indic. Res.**, n.122, p.189-210, 2015.

WATRIN, O. S.; VENTURIERI, A. I. **Métricas de paisagem na avaliação da dinâmica do uso da terra em projetos de assentamentos no Sudeste Paraense**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiania: INPE. 2005. p. 4333-3440.

WEIER, J.; HERRING, D. Measuring Vegetation (NDVI and EVI): Earth Observatory. 2000. **NASA**. Disponível em: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation>>. Acesso em: 12 de Jun. 2019.

WMO. **The Dublin Statement and Report of the Conference. International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century**. Dublin, Ireland. p.26-31 1992.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de textos, 2015.

ZALDÍVAR, J. et al. Eutrophication in Transitional Waters: an Overview (JRC-EU). **Transitional Waters Monographs**, 1, pp. 1e78. 2008.

APÊNDICE I

Tabela 36 – Análise Integrada das variáveis e indicadores do modelo FPEIR para a Bacia Hidrográfica do rio Una.

Variáveis	Indicadores	Ref.	Parâmetros	Unidade	Resultados	Referência	Avaliação
Força Motriz	Crescimento Populacional	FM.01	Taxa geométrica de crescimento anual	% a.a.	3,31%	>1,80 Muito alta	
		FM.02	População total: número habitantes	n° hab	18.150	(*)	
	População	FM.03	População urbana: número de habitantes	n° hab	15754	(*)	
		FM.04	População rural: número de habitantes	n° hab	2396	(*)	
	Dinâmica demográfica e social	FM.05	Densidade demográfica: Habitantes área urbana	n° hab/km ²	1.611	Região Sudeste (mais populosa possui 67,77 hab/km ²) (IBGE, 2012)	
		FM.06	Densidade demográfica: Habitantes área rural	n° hab/km ²	28		
	Desenvolvimento Humano	FM.07	Índice de Desenvolvimento Humano por Setor Censitário	Adimensional	0,78	0 a 1 (PNUD, 2013)	
	Dinâmica econômica e social	FM.08	Distribuição da renda	Renda média per capita	R\$519.54	Salário Mínimo R\$998,00 - Decreto nº 9.661/2019 (Brasil, 2019)	

Variáveis	Indicadores	Ref.	Parâmetros	Unidade	Resultados	Referência	Avaliação
Pressão	Ensino	FM.09	Distribuição do ensino: Fluxo escolar	% hab de 5 a 6 anos alfabetizada	60,42%	(*)	
		FM.10		% hab de 11 a 13 anos alfabetizada	97%	(*)	
		FM.11		% hab de 15 a 17 anos alfabetizada	98%	Meta Plano Nacional de Educação (PNE) - 7% Analfabetismo. População acima de 15 anos	
		FM.12		% hab de 18 a 20 anos alfabetizada	97,72%		
		FM.13		% hab maior que 20 anos	83.83%		
			Distribuição do ensino: Escolaridade da população adulta				
	Dinâmica de ocupação do território	P.01	Proporção da área agrícola: 2016	%	35,98%	Entre 20 a 40% Média IPT (2008)	
		P.02	Proporção da área vegetal: 2016	%	37.06%	Entre 50 a 25% Boa IPT (2008)	
		P.03	Proporção da área de silvicultura: 2016	%	2.44%	Entre 0 a 20% Baixa IPT (2008)	
		P.04	Proporção da área pastagem: 2016	%	0.56%		
		P.05	Proporção da área urbanizada: 2016	%	15.16%	(**)	
	Dinâmica de uso e ocupação da terra	P.06	Evolução do uso da terra nas últimas décadas: Área Florestal 1991	%	57,88%	> 50% Muito Boa IPT (2008)	

Variáveis	Indicadores	Ref.	Parâmetros	Unidade	Resultados	Referência	Avaliação
		P.07	Evolução do uso da terra nas últimas décadas: Área Florestal 2001	%	51,75%		
		P.08	Evolução do uso da terra nas últimas décadas: Área Florestal 2010	%	41,70%	Entre 50 a 25% Boa IPT (2008)	
		P.09	Comparativo das áreas de uso antrópico: 1991	%	31,15%	Entre 20 a 40% Média IPT (2008)	
		P.10	Comparativo das áreas de uso antrópico: 2001	%	37,56%	Entre 40 a 60% Alta IPT (2008)	
		P.11	Comparativo das áreas de uso antrópico: 2010	%	48,8%		
		P.12	Comparativo das áreas de Naturais: 1991	%	68,85%	> 50% Muito Boa IPT (2008)	
		P.13	Comparativo das áreas de Naturais: 2001	%	62,48%		
		P.14	Comparativo das áreas de Naturais: 2010	%	45,87%	Entre 50 a 25% Boa IPT (2008)	
Estado	Geomorfométricas	E.01	Circularidade (Ic)	Adimensional	0,46	0 a 1 Viana e Pinheiro (1998)	
		E.02	Coeficiente de compacidade (Kc)	Adimensional	1.48	Entre 1,25 a 1,50 Mediana a enchentes Mello e Silva (2013)	

Variáveis	Indicadores	Ref.	Parâmetros	Unidade	Resultados	Referência	Avaliação		
Impacto	Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos	E.03	Declividade média	%	18,56%	Predominantemente Ondulado Embrapa (2006)			
		E.04	Declividade média	Graus	10,61°				
		Capacidade de escoamento	E.05	Densidade de drenagem (Dd)	km/km²	2,14	Entre 2,5 ≤ 3,5 km/km² Muito Boa drenagem Villela e Mattos (1975)		
			E.06	Coefficiente de Rugosidade (RN)	Adimensional	24.875091	Adimensional		
		Químico	IQA	E.07	Relatório CETESB	IQA	Boa	CETESB (2016)	
		Ecológica	Qualidade vegetal	E.08	Vigor vegetal SAVI médio	Adimensional	0.402	> 0,35 ≤ 0,44 Vegetação esparsa a densa Média Oliveira et al (2015)	
	E.09			Vigor vegetal NDWI médio	Adimensional	0.112	> 0,07 ≤ 0,26 Moderado Oliveira (2013)		
	Potencial de Degradação dos Recursos Hídricos	Integridade da mata ciliar	I.01	Taxa de residências sem coleta de lixo	Adimensional	0.181	Entre 60 e 70% da bacia tem coleta de lixo		
			I.02	Mapeamento das áreas potencialmente poluidoras	%	34,02%	Entre 20 a 40% Média IPT (2008)		
		Esgotamento Sanitário	I.03	Taxa de residências sem acesso esgotamento sanitário	Adimensional	0.316	Entre 70% ≤ 80% possui tratamento de esgoto		
			I.04	Mapeamento das áreas potencialmente poluidoras	%	56%	Entre 40 a 60% Alta IPT (2008)		
		Abastecimento de Água	I.05	Taxa da população sem acesso a água tratada	Adimensional	0.181	Entre 60 e 70% da bacia tem acessoa a água tratada		
			I.06	Mapeamento das áreas	%	70%	> 70% Muito Alta		

Variáveis	Indicadores	Ref.	Parâmetros	Unidade	Resultados	Referência	Avaliação
Perda de solo das áreas de agricultura inseridas em APP	Áreas de agricultura inseridas em APP	I.07	Mapeamento das áreas de agricultura inseridas em APP	hectares	475.83	(**)	
		I.08	Porcentagem de agricultura em APP	%	25,79%	(**)	
		I.09	Exutório	n°	554	(**)	
		I.10	Sub-bacias de captação da perda de solo	n°	482	(**)	
Resposta	Projeção futura da expansão antrópica	R.01	Mapeamento uso do solo dos anos 1991 e 2016 (perda de vegetação)	hectares	2210.6	Entre 20 a 40% Média IPT (2008)	
		R.02	Land Change Modeler (LCM) - 2016 - 2046 (perda de vegetação)	hectares	2248.68	Entre 20 a 40% Média IPT (2008)	
	Alteração do Fluxo de Carbono da BHRU nas últimas décadas	R.03	NDVI Médio: 1991	pixels	0.593	Entre 0 e 1. Quanto maior o valor maior a condição florestal	
		R.04	NDVI Médio: 2001	pixels	0.468		
		R.05	NDVI Médio: 2010	pixels	0.375		
		R.06	NDVI Médio: 2016	pixels	0.264	Entre 0 e 1. Quanto maior o valor maior a condição florestal	
		R.07	SPRI Médio: 1991	pixels	0.692		
		R.08	SPRI Médio: 2001	pixels	0.704		
		R.09	SPRI Médio: 2010	pixels	0.690		
		R.10	SPRI Médio: 2016	pixels	0.513		
		R.11	CO2 Flux: 1991	pixels	0.412	Entre 0 e 1. Quanto maior o valor maior a condição florestal	
		R.12	CO2 Flux: 2001	pixels	0.330		
		R.13	CO2 Flux: 2010	pixels	0.261		
		R.14	CO2 Flux: 2016	pixels	0.136		

Legenda:

	Muito ruim
	Ruim
	Médio
	Bom
	Muito bom

(*) Sem dado disponível para estabelecimento de critério

(**) Sem situação ótima definida