

**JOCY ANA PAIXÃO DE SOUSA**

**MUDANÇAS DE USO DA TERRA E ESTIMATIVAS DE EMISSÕES  
ANTRÓPICAS DE CO<sub>2</sub> EM BACIA HIDROGRÁFICA**

Sorocaba  
2018

**JOCY ANA PAIXÃO DE SOUSA**

**MUDANÇAS DE USO DA TERRA E ESTIMATIVAS DE EMISSÕES  
ANTRÓPICAS DE CO<sub>2</sub> EM BACIA HIDROGRÁFICA**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre 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

Sorocaba  
2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp  
Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Sousa, Jocy Ana Paixão de.

Mudanças de uso da terra e estimativas de emissões  
antrópicas de CO<sub>2</sub> em bacia hidrográfica / Jocy Ana Paixão de  
Sousa, 2018.

96 f.: il.

Orientador: Roberto Wagner Lourenço.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio  
de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de  
Sorocaba), 2018.

1. Gases estufa. 2. Efeito estufa (Atmosfera). 3. Dióxido de  
carbono. 4. Impacto ambiental. 5. Desmatamento. I.  
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto  
de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba). II. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MUDANÇAS DE USO DA TERRA E ESTIMATIVAS DE EMISSÕES ANTRÓPICAS DE CO<sub>2</sub> EM BACIA HIDROGRÁFICA

AUTORA: JOCY ANA PAIXÃO DE SOUSA

ORIENTADOR: ROBERTO WAGNER LOURENCO

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



Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENCO  
Ciências Ambientais / UNESP Sorocaba



Profª. Drª. KELLY CRISTINA TONELLO  
Departamento de Engenharia Florestal / Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR



Prof. Dr. ANTONIO CESAR GERMANO MARTINS  
Ciências Ambientais / Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP - Sorocaba

Sorocaba, 11 de janeiro de 2018

*Aos meus queridos pais e a Gabriel,  
com muito amor e carinho.*

## *AGRADECIMENTOS*

*Primeiramente gratidão a Deus que em todos os momentos me abonava de forças para continuar nesta jornada curta, mas desafiadora.*

*Gratidão aos meus amados pais, que mesmo distantes estavam ali sempre torcendo por mim. Os amo demais.*

*Ao meu futuro esposo Gabriel, que está sempre ao meu lado para me apoiar nos sonhos mais loucos. Obrigada por me entender e por compartilhar comigo o turbilhão de emoções pelo qual sempre passo. Te amo!!*

*Ao meu orientador Roberto W. Lourenço (China) por acreditar, confiar e compartilhar comigo seus conhecimentos e principalmente pelo bom relacionamento proporcionado nesta caminhada. Minha mais sincera gratidão professor.*

*Aos amigos que Deus me deu de presente e que me acolherem aqui em Sorocaba com todo amor e carinho, Zé e Fany (Elfany). Especialmente a Fany, amigo de longa jornada e meu braço direito nos momentos bons e ruins. Obrigada meninos por me aturarem, apoiarem e por contribuírem para o meu crescimento, os amo de coração.*

*Às companheiras fofas do laboratório, em especial Gi, Cíntia, Naia, Amanda e Rita, pelas risadas e sofrências. A companhia de vocês deixou a caminhada mais prazerosa.*

*Às minhas companheiras de casa Flor e Glau, que compartilharam comigo não apenas uma moradia, mas aprendizado e bons momentos.*

*À minha amiga Michele (Preta Pretinha), que mesmo longe sempre esteve ali me apoiando. Também à Lu, que me deu de presente sua amizade.*

*Aos funcionários da Unesp Sorocaba que ao longo do tempo retribuíram ao meu sorriso, em especial as senhorinhas da limpeza, Danilo e Suzan pela atenção.*

*À CAPES e a UNESP/Sorocaba pelo apoio recebido durante a realização desta pesquisa.*

SOUSA, J. A. P. **Mudanças de uso da terra e estimativas de emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> em bacia hidrográfica**. 2018. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Campus Experimental de Sorocaba - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Sorocaba, 2018.

## RESUMO

As interferências antrópicas sobre natureza sempre provocaram impactos ambientais. Porém, entre os mais significativos encontram-se as mudanças de uso da terra, nos quais contribuem com as emissões dos gases do efeito estufa. Entre esses principais gases destacam-se o dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>. O estudo apresentou como objetivo estimar as emissões do dióxido de carbono devido as mudanças de uso da terra para a análise do fluxo de carbono em bacia hidrográfica. A área de estudo localiza-se na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, São Paulo. Para atingir os objetivos foram realizados o mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal, mapeamento pedológico, análise da textura do solo, mapeamento da vegetação pretérita, estoque de carbono sob associação solo-vegetação, matriz de transição e os cálculos das emissões líquidas de CO<sub>2</sub>. Constatou-se que em relação ao mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal, o maior quantitativo foi de floresta e estas predominam no sul da bacia. Ao longo de nove anos houve uma redução de florestas, campo e área alagada e um aumento da área de agricultura, área urbana, pastagem e reflorestamento. Foram encontrados solos do tipo Argissolos e Latossolos, além das texturas argilosa, franco-argilo-arenosa, argilo-arenosa e franco-argilosa. Para a vegetação pretérita constatou-se floresta ombrófila densa montana, floresta estacional decidual e semidecidual. Em relação ao conteúdo de carbono no solo sob a associação solo-vegetação foram definidos valores que variam de 2,59 a 6,33 Kg<sub>c</sub>/m<sup>2</sup>. Nas matrizes de transições para os períodos de 2007-2010, 2010-2013 e 2013-2016, observou-se que a floresta convertida para as demais categorias apresentou posição de destaque. As emissões líquidas para todos os períodos mostraram que há mais emissões do que remoções na bacia, com um destaque para o período de 2013 a 2016, em que houve uma maior estimativa de emissões CO<sub>2</sub>, porém a menor remoção ocorreu no último período. A pesquisa mostrou que a maioria das transições que ocorreram foram em função da mudança de floresta para outras categorias, fator que mais contribuiu para emissões líquidas de CO<sub>2</sub>, resultante do intenso processo de antropização da bacia.

**Palavras-chave:** Emissão de GEE. Impactos Ambientais. Desmatamento. Matriz de Transição.

SOUSA, J. A. P. **Changes in land use and estimates of anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions in watershed**. 2018. 96f. Dissertation (Masters in Environmental Sciences) - Sorocaba Experimental Campus - Paulista State University "Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Sorocaba, 2018.

### **ABSTRACT**

Anthropogenic interference with nature has always had environmental impacts. However, among the most significant are land use changes, in which they contribute to the emissions of effect gases, especially carbon dioxide, CO<sub>2</sub>. The objective of the study was to estimate carbon dioxide emissions due to the change in land use for an analysis of the carbon flux in the watershed. The study area is located in the Una Watershed, Ibiúna, São Paulo. To achieve the objectives, the mapping of land use and vegetation cover, pedological mapping, soil texture analysis, mapping of past vegetation, carbon stock under soil-vegetation association, transition matrix, and calculations of net CO<sub>2</sub> emissions. It was verified that in relation to the mapping of the land use and vegetal cover, the biggest quantitative one was of forest and these predominate in the south of the basin. During nine years there was a reduction of forests, field and flooded area and an increase of the area of agriculture, urban área, pasture and reforestation. Soils of the type Argisols and Latosols were found, in addition to clay, clay-loam-sandy, clay-sandy and loam-loamy textures. For the past vegetation it was verified dense montane forest, deciduous and semidecidual forest. Regarding the non-singlet carbon content in a soil-vegetation association to define values ranging from 2.59 to 6.33 Kgc / m<sup>2</sup>. In the transitional matrices for the periods 2007-2010, 2010-2013 and 2013-2016, it was observed that the forest converted to the other categories presented a prominent position. Net emissions for all periods showed that there are more emissions than removals in the basin, with a highlight for the period from 2013 to 2016, where there was a higher estimate of CO<sub>2</sub> emissions, but the lowest removal occurred in the last period. The research showed that most of the transitions that occurred were due to the change of forest to other categories, which contributed most to net CO<sub>2</sub> emissions, resulting from the intense process of anthropization of the basin.

**Keywords:** GHG emission. Environmental impacts. Deforestation. Transition Matrix.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Efeito estufa.....	16
Figura 2 - Ciclo do carbono simplificado .....	23
Figura 3 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	30
Figura 4 - Malha amostral irregular da análise granulométrica para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	34
Figura 5 - Fluxograma das etapas para o cálculo das estimativas de emissões líquidas de CO <sub>2</sub> da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	46
Figura 6 - Mapa base da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	47
Figura 7 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2007 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	49
Figura 8 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2010 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	50
Figura 9 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2013 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	51
Figura 10 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	52
Figura 11 - Agricultura da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	53
Figura 12 - Área urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	53
Figura 13 - Reflorestamento da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	54
Figura 14 - Pastagem da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	54
Figura 15 - Categoria campo da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	55
Figura 16 - Categoria área alagada da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	55
Figura 17 - Categoria floresta da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	56
Figura 18 - Quantificação das categorias de uso da terra para cada ano analisado para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	57
Figura 19 - Vegetação pretérita da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	61
Figura 20 - Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	62
Figura 21 - Estoque de carbono no solo sob associação solo-vegetação (Kg/m <sup>2</sup> ) da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	66
Figura 22 - Transições entre o período de 2007 e 2010 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	68
Figura 23 - Transições entre o período de 2010 e 2013 da Bacia Hidrográfica do Rio Una,	

Ibiúna, SP.....	70
Figura 24 - Transições entre o período de 2013 e 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	72
Figura 25 - Estimativas de emissões líquidas de CO <sub>2</sub> , em GgCO <sub>2</sub> , para cada categoria no período de 2007 a 2010 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	75
Figura 26 - Fluxo de CO <sub>2</sub> em função da mudança de uso da terra no período de 2007 a 2010 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	75
Figura 27 - Estimativas de emissões líquidas de CO <sub>2</sub> , em GgCO <sub>2</sub> , para cada categoria no período de 2010 a 2013 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	77
Figura 28 - Fluxo de CO <sub>2</sub> em função da mudança de uso da terra no período de 2010 a 2013 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	78
Figura 29 - Estimativas de emissões líquidas de CO <sub>2</sub> , em GgCO <sub>2</sub> , para cada categoria no período de 2013 a 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	79
Figura 30 - Fluxo de CO <sub>2</sub> em função da mudança de uso da terra no período de 2013 a 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	80
Figura 31 - Emissões ou remoções de CO <sub>2</sub> , GgCO <sub>2</sub> , nos períodos de 2007 a 2010, 2010 a 2013 e 2013 a 2016 da Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna, SP.....	81
Figura 32 - Fluxo de CO <sub>2</sub> em função da mudança de uso da terra no período de 2007 a 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	83

### **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Valores do estoque de carbono no solo sob a associação solo-vegetação estabelecidos para os solos do Brasil.....	36
Tabela 2 - Modelo da matriz de transição para as categorias de uso da terra para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	37
Tabela 3 - Valores do estoque médio e incremento médio de carbono utilizados nas equações das estimativas de emissões líquidas de CO <sub>2</sub> .....	43
Tabela 4 - Fator de mudança de carbono do solo em função da mudança de uso da terra.....	44
Tabela 5 - Exemplo da matriz de estimativas de emissões líquidas em cada período estudado, para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	45
Tabela 6 - Quantificação das categorias de uso da terra para cada ano analisado para a Bacia	

Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	57
Tabela 7 - Frações areia total, silte e argila, em percentagem (%), da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	63
Tabela 8 - Estoque de carbono no solo sob a associação solo-vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	65
Tabela 9 - Matriz de transição para as categorias de uso da terra no período de 2007 a 2010 (ha) da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	67
Tabela 10 - Matriz de transição para as categorias de uso da terra para o período de 2010 a 2013 (ha) da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	69
Tabela 11 - Matriz de transição para as categorias de uso da terra para o período de 2013 a 2016 (ha) da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	71
Tabela 12 - Estimativas de emissões líquidas de CO <sub>2</sub> (GgCO <sub>2</sub> ) no período de 2007 a 2010 da Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna, SP.....	74
Tabela 13 - Estimativas de emissões líquidas de CO <sub>2</sub> (GgCO <sub>2</sub> ) no período de 2010 a 2013 da Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna, SP.....	77
Tabela 14 - Estimativas de emissões líquidas de CO <sub>2</sub> (GgCO <sub>2</sub> ) no período de 2013 a 2016 da Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna, SP.....	79

### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Características das imagens dos satélites utilizados.....	31
Quadro 2 - Grupos de vegetação definidos para o bioma mata atlântica.....	33
Quadro 3 - Grupos de solos estabelecidos para o Brasil.....	35
Quadro 4 - Equações para as transições ocorridas para as categorias de uso da terra.....	38
Quadro 5 - Categorias de uso da terra adotadas neste estudo.....	48
Quadro 6 - Grupos de vegetação definidos para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	60
Quadro 7 - Grupos de solos encontrados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR4	Quarto relatório de avaliação do IPCC
°C	Grau Celsius
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	Glicose
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CFCs	Clorofluorcarbonetos
CO <sub>2</sub> eq	Dióxido de carbono equivalente
COP	Conferência das Partes
CQNUMC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas
GEE	Gases do Efeito Estufa
GgCO <sub>2</sub>	Gigagrama de dióxido de carbono
GPG	<i>Good Practice Guidance</i>
Gt	Gigatonelada
Gt CO <sub>2</sub> eq	Gigatonelada de dióxido de carbono equivalente
H <sub>2</sub> O	Água
ha	Hectare
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
KgC/m <sup>2</sup>	Kilograma de carbono por metro quadrado
LULUCF	<i>Land Use, Land-Use Change and Forestry</i>
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NO <sub>2</sub>	Dióxido de nitrogênio
PDI	Processamento Digital de Imagens
ppm	Partes por milhão
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
tc	Tonelada de carbono
tonCO <sub>2</sub> eq	Toneladas de carbono equivalente

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1	CONTEXTO GLOBAL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	16
2.1.1	Efeito estufa .....	16
2.1.2	Mudanças climáticas.....	18
2.1.3	Protocolo de Kyoto .....	21
2.2	DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> ) .....	22
2.3	INVENTÁRIOS PARA ESTIMAR OS GEE .....	24
2.4	O USO DAS GEOTECNOLOGIAS APLICADO AOS ESTUDOS AMBIENTAIS .....	25
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>28</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	28
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	28
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
3.1	MATERIAL .....	29
3.2	ÁREA DE ESTUDO.....	29
3.3	MÉTODOS .....	31
3.3.1	Construção da base cartográfica .....	31
3.3.2	Mapeamento do uso da terra.....	31
3.3.3	Mapeamento da vegetação pretérita .....	32
3.3.4	Mapeamento pedológico e caracterização da textura do solo .....	33
3.3.5	Mapeamento do estoque de carbono no solo sob associação solo-vegetação .....	35
3.3.6	Estudo da mudança de uso da terra .....	36
3.3.7	Cálculo das estimativas de emissões e remoções de CO <sub>2</sub> .....	38
3.3.8	Elaboração das matrizes de emissões líquidas de CO <sub>2</sub> .....	44
3.4	FLUXOGRAMA DAS ESTIMATIVAS DE EMISSÕES LÍQUIDAS .....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>46</b>
4.1	MAPA BASE DA ÁREA DE ESTUDO .....	46
4.2	MAPA DE USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL.....	48
4.3	MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO PRETÉRITA .....	60
4.4	MAPEAMENTO PEDOLÓGICO E CARACTERIZAÇÃO DA TEXTURA DO SOLO .....	61
4.5	MAPEAMENTO DO ESTOQUE DE CARBONO PARA ASSOCIAÇÃO SOLO-VEGETAÇÃO .....	65
4.6	MATRIZ DE TRANSIÇÃO .....	67
4.7	ESTIMATIVAS DAS EMISSÕES LÍQUIDAS DE CO <sub>2</sub> .....	74
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>85</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As interferências antrópicas sobre a natureza sempre provocaram danos ambientais, porém foi em meados do século XVIII, a partir da Revolução Industrial, que esses impactos sobre o meio ambiente atingiram uma escala global. As ações antrópicas resultam em diversas transformações tanto na superfície terrestre quanto na composição da atmosfera, o que contribui de forma significativa para os desequilíbrios ambientais e socioeconômicos (BAEDE et al., 2001; CARVALHO et al., 2010; SANTOS et al., 2012).

O uso da terra com a finalidade de produzir bens para suprir as necessidades do ser humano tem sido um desafio no que diz respeito a encontrar um ponto de equilíbrio entre o uso racional dos recursos naturais e a produtividade essenciais à sua sobrevivência. Ainda assim, a maneira como o homem interfere na natureza reflete em diversas alterações na superfície terrestre, portanto, à medida que essas mudanças se intensificam a preocupação com o meio ambiente aumenta (SILVA; ROSA, 2016).

Entre as ações antropogênicas mais significativas estão as mudanças de uso da terra, nos quais contribuem com as emissões dos gases do efeito estufa (GEE's) influenciando no balanço energético da atmosfera. As mudanças de uso da terra são consideradas a segunda fonte emissora de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no mundo, perdendo somente para os combustíveis fósseis (TORRES, 2011; IPCC, 2014; MATA et al., 2015).

No Brasil as mudanças de uso da terra são consideradas as principais fontes de emissão de GEE. Entre os anos de 1990 e 2012, este setor emitiu para a atmosfera 28 bilhões de toneladas de carbono equivalente (tonCO<sub>2</sub>eq), o que corresponde a 61% de toda emissão brasileira nesse período. A mudança de uso da terra, devido a transição de floresta para agricultura, pecuária e áreas urbanizadas são as transições que contribuem com mais de 90% destas emissões CO<sub>2</sub>, onde destacam-se os desmatamentos no bioma amazônico, cerrado e na mata atlântica (ANGEOTTI, 2011; GODOY, 2013; IMAZON, 2014).

O CO<sub>2</sub> é um gás regulador do efeito estufa, que é proveniente de forma natural e das atividades antrópicas. Estudos têm demonstrado que a intensificação do efeito estufa tem apresentado como principal consequência o aumento da temperatura, contribuindo assim para que catástrofes aconteçam, favorecendo 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; MOREIRA; GIOMETTI, 2008; HOSHINO et al., 2016; REIS; SILVA, 2016).

Por isso, vale ressaltar que a avaliação das estimativas de emissões de CO<sub>2</sub> resultante da alteração de uso da terra é de grande relevância para as pesquisas que contribuem com políticas de redução dos GEE's. Existem várias metodologias para estimar CO<sub>2</sub> provenientes destas mudanças, sendo que a maioria delas se baseiam no Guia de Boas Práticas do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (GPG/LULUCF) (IPCC, 2003).

No Brasil foram realizados trabalhos tendo como referência o GPG/LULUCF, entre eles, o primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa (BRASIL, 2006), primeiro inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo (CETESB, 2011) e o primeiro inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo - Emissões do setor de uso da terra, mudanças de uso da terra e florestas (CETESB, 2012).

Junto com a crescente demanda para se estimar a emissões de CO<sub>2</sub> surge a necessidade de utilização de geotecnologia que aprimore a obtenção destes dados, destacando assim o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e do Sensoriamento Remoto (SR). Essas geotecnologias permitem a atualização na periodicidade dos dados, maior processamento na quantidade de dados e menor custo. Além disso, contribuem para aquisição de informações espaciais, análise multitemporal, além de auxiliar no diagnóstico que ajudam a monitorar a superfície terrestre. Sendo portanto, capazes de auxiliar nos estudos que busquem estimar os GEE (VAEZA et al., 2010; LEITE; FREITAS, 2013).

Nesse contexto esta pesquisa procurou estimar CO<sub>2</sub> resultante da mudança de uso da terra para traçar uma metodologia mais simples, uma vez que as metodologias existentes são complexas, e que possa ser replicada em outros territórios, além de gerar informações que contribuam para a mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

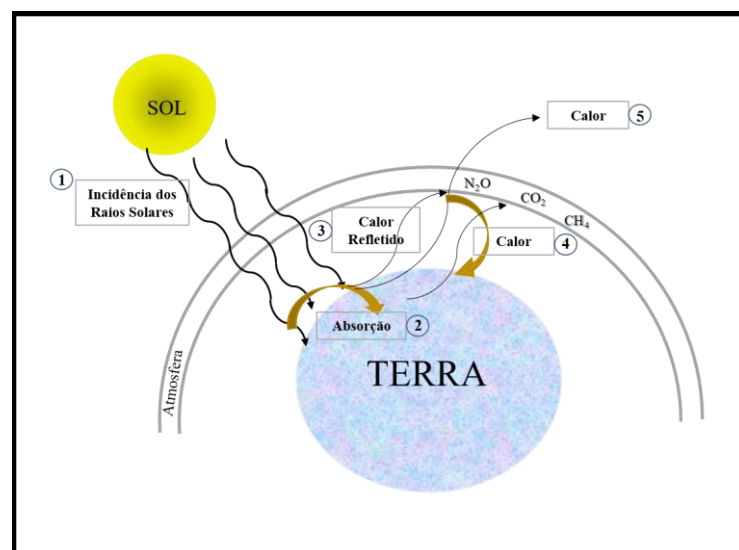
### 2.1 Contexto global das mudanças climáticas

#### 2.1.1 Efeito estufa

O efeito estufa (Figura 1) é considerado um fenômeno natural, onde os GEE's podem ser provenientes, por exemplo, das erupções vulcânicas. Esses gases são responsáveis por manter a temperatura em um nível adequado à sobrevivência das espécies, aproximadamente de 15 °C, considerada uma temperatura apropriada para a existência de vida na terra. Sem esses GEE's a temperatura seria -18 °C, apresentando variações muito extremas, onde durante o dia a temperatura seria altíssima e à noite bastante baixa (MOREIRA; GIOMETTI, 2008; CARVALHO et al., 2010; TONIOLO; CARNEIRO, 2010).

A energia solar atinge a atmosfera na forma de ondas curtas, sendo que parte dessa radiação vai ser refletida ou absorvida, e uma parcela chega à superfície da terra. Na superfície da terra essa radiação vai sofrer o processo de reflexão e absorção, que devido as interações físicas transforma-se em calor, ditas ondas longas, que ao ser irradiado para a atmosfera interage com os GEE's, onde parte desse calor vai ser utilizado para manter a temperatura da terra em níveis adequados. O nome efeito estufa é dado em alusão a estufa de vegetação, que permite livremente a entrada dos raios solares, mas dificulta a saída do calor, resultando assim no aumento da temperatura no interior da estufa (Figura 1) (SANTOS, 2008; GODOY, 2009; TONIOLO; CARNEIRO, 2010; CASAGRANDE et al., 2011).

Figura 1 - Efeito estufa.



Fonte: Adaptado de Calijuri e Cunha (2013).



Legenda: 1) Incidência dos raios solares, 2) Absorção do raios solares, 3) Reflexão do calor, 4) Calor que retorna e 5) Calor que escapa para o espaço.  $N_2O$ ,  $CO_2$  e  $CH_4$  são exemplos de gases do efeito estufa.

A elevação da quantidade de GEE's que são emitidos para atmosfera em função das atividades antrópicas, com o destaque para a queima de combustível fóssil e mudança no uso da terra, contribuem para uma maior retenção de calor, conseqüentemente aumenta a temperatura da terra que pode intensificar as ocorrências de eventos climáticos, como, aumento da desertificação, fortes tempestades, aumento do nível do mar, enchentes e a escassez dos recursos hídricos (SOARES; HIGUCHI, 2006; MOREIRA; GIOMETTI, 2008; FLORIDES; CHRISTODOULIDES, 2009; CARVALHO et al., 2010).

Destacam-se como os GEE's, vapor d'água ( $H_2O$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), (Clorofluorcarbonetos) CFC's e metano ( $CH_4$ ). O  $CO_2$  é o principal GEE, pois está entre o gases com maior contribuição para o efeito estufa, proveniente principalmente das atividades antrópicas. Desde a era industrial, século XVIII, a emissão de  $CO_2$  provenientes das ações antrópicas tem crescido consideravelmente, uma vez que, é nesse período que se inicia uma grande demanda pela humanidade, principalmente de combustíveis fósseis (SANTOS, 2008; LACERDA; NOBRE, 2010).

A concentração de  $CO_2$  no início da Revolução Industrial era 280 ppm (partes por milhão) e em 2005 já atingia um valor de 379 ppm, o que deixa clara a forte relação que existe entre a atividade antropogênica e o aumento da emissão de GEE para a atmosfera (IPCC, 2007; SANTOS, 2008; LACERDA; NOBRE, 2010; SAMIMI; ZARINABADI, 2012).

De acordo com o IPCC (2014), metade da emissão de  $CO_2$  para atmosfera terrestre, considerando o período de 1750 a 2011, foi liberado nos últimos 40 anos. Desde o ano de 1970 as emissões de  $CO_2$  aumentaram aproximadamente 40%, principalmente àquelas advindas do combustível fóssil, queimadas e mudança do uso da terra. Uma das maiores emissões dos gases antropogênicos já registradas aconteceu entre 2000 e 2010, sendo que em 2010 chegou a 49 Gt  $CO_2eq$  ao ano. Somente o  $CO_2$  contribuiu com de cerca de 76% dessas emissões.

Na maioria dos países o aumento das emissões de  $CO_2$ , nos últimos anos, está diretamente relacionada à queima de combustíveis fósseis e aos processos industriais voltados principalmente para a produção de cimentos, pois em 2014 foram liberados para atmosfera 35,7 bilhões de toneladas de  $CO_2$ . Os países que mais emitiram  $CO_2$  foram: China, Estados Unidos, União Europeia (EU-28), Índia, Rússia, Japão, com 29,6%, 15%, 9,6%, 6,5%, 5% e 3,6% respectivamente, já o Brasil destaca-se em 12º lugar, contribuindo com mais de 1% (EDGAR, 2015a; EDGAR, 2015b; OLIVIER et al., 2015).

No Brasil, ao contrário dos demais países, as emissões de 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 (GALZERANO et al., 2014; MELO; ROCHA, 2015), o que torna esses setores prioritários em termos de mitigação de GEE.

No entanto, a principal forma de contribuir para a mitigação das emissões GEE oriundas das ações antropogênicas não é apenas reduzir o uso de combustível fóssil (contribui com mais de 90% de CO<sub>2</sub>), o desmatamento, mudança de uso da terra, a queima de biomassa e manejo inadequado do solo, mas também implementar ações que visem a intensificação do sequestro de carbono pelo solo e pela vegetação (CARVALHO et al., 2010; OLIVIER et al., 2015).

### 2.1.2 Mudanças climáticas

Para o CQNUMC as mudanças climáticas referem-se àquelas em que há a contribuição das atividades antrópicas para as modificações que ocorrem na composição da atmosfera (NOBRE, 2008).

Desde que os registros das temperaturas globais começaram, em 1880, o ano 2014 foi considerado o mais quente, tanto para a superfície terrestre quanto para os oceanos. A temperatura da terra atingiu 1 °C acima da média do século. Já para os oceanos, o valor também foi recorde, 0,57 °C acima da média do século, comparado aos anos de 1998 e 2003 que foram os mais quentes, com 0,05 °C cada. Em 2014, foi a primeira vez desde 1990 que a temperatura dos oceanos atingiu valores mais altos na ausência do fenômeno El niño (NOAA, 2014).

O mundo tem sentido os possíveis efeitos prejudiciais da mudanças climáticas, onde suas consequências, são cada vez mais evidentes, principalmente para algumas nações que se tornaram ainda mais susceptíveis a catástrofes naturais que acontecem com mais frequência e são bastantes destrutivas (LEE et al., 2012).

Em 2014 a maioria dos regiões do mundo apresentaram temperaturas acima da média global. Países como a Rússia, Estados Unidos, Austrália e aqueles situados na Europa e parte da América do Sul (destacando-se o Brasil) sofreram bastantes com a variação de temperatura (NOAA, 2014).

A África, por exemplo, apesar de contribuir com 2 a 3% dos GEE, é um dos continentes mais susceptível às consequências das mudanças climáticas, pois qualquer alteração que ocorra na temperatura global, torna-se muito expressiva. Sabe-se que o Sul da

África está aquecendo equivalente ao dobro da média global, 2 °C para a terra significa 4 °C para esse continente (ROBERTS, 2013). De acordo com Amaral et al. (2012), acredita-se que as mudanças no clima não ocorram de forma igualitária no planeta, já que o aumento da temperatura poderá ser mais significativo nas maiores latitudes do hemisfério norte, o que abrange parte da África.

O Brasil nos últimos anos tem sofrido bastante com as possíveis consequências das mudanças climáticas, onde foram registrados nos anos de 2005 e 2010, graves secas e enchentes na Amazônia e desde 2013 a seca foi agravada no semiárido nordestino. No sudeste, entre 2014 e 2015, a seca e a baixa de precipitação, contribuíram para o grave déficit dos recursos hídricos, onde o sistema cantareira que abastece água para milhões de pessoas chegou a níveis críticos (MARENGO, 2014; MARENGO; ALVES, 2015).

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças do Clima (CQNUMC) se constitui em uma parceria formada entre alguns países em função de uma preocupação comum em relação aos problemas socioambientais provocados pelas ações do homem. O CQNUMC é o principal reponsável por acompanhar e incentivar atividades que visem a redução dos danos sobre o meio ambiente e possíveis contribuições para as mudanças climáticas (CRUZ; FERNANDES, 2013).

Como forma de garantir o bom funcionamento da CQNUMC foi criada a Conferência das Partes (COP), onde os países se reúnem uma vez por ano para discutir sobre as mudanças climáticas (ABNT; BID, 2013).

Um importante órgão ligado ao CQNUMC é o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), que foi criado para se interar das mudanças climáticas, como também fornecer aos governos soluções para as possíveis consequências das mudanças do clima, dando suporte principalmente aos países menos desenvolvidos, pois são os que menos apresentam infraestrutura para se adaptar à essas mudanças (SILVA; FERNANDES; 2010). O IPCC apresenta como objetivo reunir as informações de maior importância vinculadas no meio científico, pois das suas avaliações elaboram-se relatórios periódicos sobre os riscos proeminentes das consequências das mudanças do clima. Hoje encontra-se no seu quinto relatório, lançado em 2014 (LACERDA; NOBRE, 2010; CRUZ; FERNANDES, 2013).

Há indícios de que o aumento das alterações no clima em função ações antrópicas vem se intensificando desde o quarto relatório de avaliação realizado pelo IPCC referente a mudança do clima (AR4). Provavelmente mais da metade da elevação da média da temperatura do planeta, notada entre os anos de 1951 a 2010, foi provocado pela emissão de GEE oriundos das interferências do homem, onde geralmente a emissão desses gases foram

impulsionadas pelo crescimento da população, economia, estilo de vida, uso de energia, padrões do uso da terra. As consequências das mudanças climáticas podem provocar impactos irreversíveis para os seres vivos e os sistemas naturais, tais como, escassez d'água e extinção de espécies (IPCC, 2014a; IPCC, 2014b).

Caso as emissões GEE's continuem nas proporções que acontecem hoje, nos próximos anos a temperatura global poderá aumentar até 3 °C, o que é um valor acima do estipulado em debates sobre o clima, já que a meta é manter esse aumento no limite de 2 °C, tendo como base o nível pré-industrial. Porém, as últimas discussões nas Conferências das Partes deixaram um série de incertezas, principalmente em relação às medidas a serem tomadas para se manter a temperatura em um nível adequado para a sobrevivência das espécies (ROBERTS, 2013; TOLLEFSON, 2015).

Esse aumento da temperatura é conhecido como aquecimento global que pode ter reflexos diretos nas mudanças do clima e apesar de todas as controversas em relação ao reconhecimento ou não da sua existência, existe um consenso de que é preciso a colaboração de todos para que se possa amenizar os GEE's e assim evitar as possíveis consequências danosas das mudanças climáticas (LEE et al., 2012).

Importante ressaltar que os GEE's ficam na atmosfera por um período maior que cem anos, isso significa que as emissões muito antigas ainda hoje podem influenciar nas alterações do clima (IPEA, 2011). Caso não haja iniciativas urgentes de todos, em um prazo de 30 a 40 anos, as piores previsões sobre as consequências da alteração do clima serão concretizadas (NOBRE, 2008). Por isso, é de extrema importância encontrar formas de mitigar os GEE's, já que é a única forma de tentar amenizar seus possíveis danos.

Embora existam algumas ações individuais para que se consiga reduzir as emissões dos GEE's, são necessárias ações coletivas, ou seja, que se tenha a participação de todos os países e que essas decisões sejam pautadas em discussões políticas e socioeconômicas, principalmente porque cada país apresenta ambições e opiniões específicas sobre o que são as mudanças climáticas e como amenizá-las. As possíveis consequência dos GEE ainda são marcadas por incertezas, uma vez que, existem questionamentos quanto a forma como as emissões são projetadas, além disso, cada país interpreta e toma as atitudes para reduzir os GEE's de acordo com o seu entendimento (GODOY, 2009).

A China atualmente é o principal emissor dos GEE's (MOREIRA; RIBEIRO, 2016). Porém, ainda que este país apresente uma posição de destaque em relação a emissão desses gases procura se interar das políticas relacionadas às mudanças climáticas, ao contrário dos Estados Unidos, que mesmo sendo um dos maiores emissores dos GEE's o governo deste país

não concorda com a existência da mudança do clima, ignorando as políticas relacionadas à ela. Ainda que sua Agência de Proteção Ambiental (EPA) juntamente com a conclusão de cientistas em um relatório sobre alterações climáticas façam afirmações de que os americanos estão sentindo seus efeitos (EPA, 2017; FRIEDMAN, 2017).

### 2.1.3 Protocolo de Kyoto

Diante do crescente aumento dos GEE's liberados para a atmosfera decidiram criar o Protocolo de Kyoto, que consiste no primeiro acordo internacional que estabelece medidas para que os países reduzam as emissões desses gases. Esse protocolo foi assinado em dezembro de 1997 na realização da Terceira Conferência das Partes (COP-3) da CQNUMC, que aconteceu na cidade de Kyoto, Japão. Porém, o acordo somente entrou em vigor em 2005 (SANTOS, 2008; MARQUES, 2012; SONGOLZADEH et al., 2014).

No Protocolo ficou decidido que os países industrializados iriam estabilizar e reduzir as emissões do GEE no período de 2008 a 2012, em 5,2%, em relação ao que emitiram no ano de 1990 (MOHAMMADI et al., 2013). Para se alcançar os objetivos do Protocolo foram estabelecidas mecanismos de flexibilização, que dentre eles destaca-se o MDL.

No MDL os países desenvolvidos podem contribuir com projetos que reduzam as emissões, sejam estes, sumidouros ou que não liberem os GEE's. Neste mecanismo pode fazer parte também países em desenvolvimento de forma voluntária, onde sua principal contribuição é ajudar os países desenvolvidos a reduzirem suas emissões e assim atingirem suas metas. Em contrapartida, os países em desenvolvimento crescem economicamente e de forma sustentável (PLAZA; SANTOS, 2009).

Próximo ao fim do prazo, em 2011 na 17ª COP, que foi realizada em Durban na África do Sul, houve a votação para a prorrogação desse Protocolo com início em 2013 e término em 2017 ou 2020, sendo que seus detalhes ficaram de ser definidos na Conferência de Doha. Diferentemente do acordo anterior, não apenas os países desenvolvidos fariam parte, mas também os em desenvolvimento. Nessa conferência foram estabelecidas metas para as nações com o intuito de reduzir os GEE's, incluindo países como, Estados Unidos e China, que se destacam em relação às emissões desses gases no mundo (MARQUES, 2012; THIELE et al., 2012).

Os acordos feitos na COP-17 resultaram na Plataforma Durban, que além da prorrogação do Protocolo de Kyoto estabeleceu regras para o Fundo Climático Verde, que surgiu com o intuito de ser um meio para ajudar os países mais pobres a lidar com as

consequências das mudanças do clima. Tem previsão para começar a funcionar a partir de 2020 (MARQUES, 2012; SILVA, 2012).

De acordo com Markandya et al. (2015) quando esse Fundo estiver em operação terá como principal finalidade auxiliar os países pobres em relação a mitigação de GEE, ajudando-os a se adaptarem às alterações do clima, por meio da invenção de tecnologias que emitam menos GEE's. Além disso, irá tentar solucionar diversos problemas relacionados à mitigação e a adaptação, como: a quantidade de financiamentos feitos pelos países desenvolvidos aos mais pobres, medidas para aumentar esses financiamentos e criar um meio econômico para administrá-los e distribuí-los. Uma parte importante desse recurso será destinado às atividades que envolvam a redução de emissão dos GEE's por desmatamento.

A COP-18 que aconteceu em 2012 em Doha, Catar, foi o último encontro com a primeira fase do Protocolo ainda em vigor. Nele foi decidido que o Protocolo de Kyoto seria prorrogado até 2020 e que suas regras seriam mantidas (GAMBA; RIBEIRO, 2013; SOUZA et al., 2017). Apesar dos resultados da COP-18 não terem sido muito satisfatórios, surgiram duas das mais significativas decisões, que foram, a definição de uma segunda fase do Protocolo, entre janeiro de 2013 até dezembro de 2020, e a criação de um novo acordo legalmente vinculativo no ano de 2020 (CARIAS, 2015).

Na COP-18 os países firmaram um acordo em manter o crescimento da temperatura do globo a um nível abaixo de 2 °C até o ano de 2050, além disso se comprometeram em reduzir os GEE's entre 2013 e 2020 em pelo menos 18% abaixo dos valores de 1990 (CARIAS, 2015), porém algumas decisões essenciais não foram definidas, por exemplo, como se dará a segunda fase do Protocolo de Kyoto e também com será a assistência aos países mais pobres para lidar com as consequências da mudanças climáticas globais (SOUSA, 2014).

Na última COP (22<sup>a</sup>), realizado em 2016, que aconteceu em Marrocos foi demonstrado que o acordo de Paris, firmado na 21<sup>a</sup> COP, já estava em andamento e que os países envolvidos encontravam-se trabalhando coletivamente nas questões voltadas às mudanças climáticas (UNITED NATIONS, 2016).

## **2.2 Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

O carbono é um dos elementos mais importantes para a vida, já que é capaz de se ligar a outros elementos formando compostos essenciais, tais como: carboidratos, lipídios e proteínas. O carbono pode ser encontrado na atmosfera, nos ecossistemas terrestres, oceanos e biosfera e muitas vezes esses compartimentos são chamados de reservatórios ou estoque de

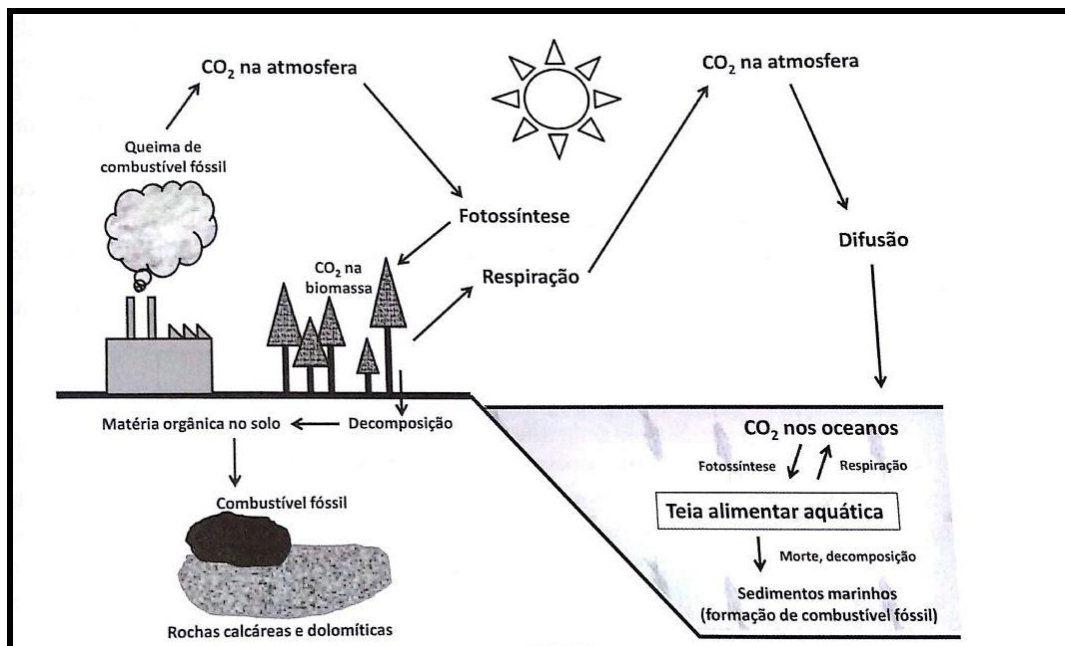
carbono, pois funcionam como um local de armazenamento de grandes quantidades desse componente. A circulação de carbono de um reservatório para outro é conhecida por fluxo de carbono (UNH, 2009).

O maior reservatório de carbono encontra-se nos oceanos (40.000 Gt), seguido dos solos (1.500 Gt) e vegetação (650 Gt). Porém, existe também um grande reservatório geológico, em que aproximadamente 6,5 Gt de carbonos são emitidos anualmente para atmosfera devido a queima de combustíveis fósseis (ZIMOV et al., 2006).

Desde a revolução industrial a concentração de  $\text{CO}_2$  já aumentou mais de 40%. As estimativas globais de emissão de  $\text{CO}_2$  são aproximadamente de 30Gt/ano, isso faz com que no ciclo natural do carbono haja um desequilíbrio e conseqüentemente provoque um aumento desse gás na atmosfera. Atualmente essa concentração aumenta aproximadamente 2ppm/ano (MOREIRA; PIRES, 2016).

O ciclo do carbono (Figura 2) pode ser definido como a maneira no qual o carbono, em suas diversas formas, circula por seus compartimentos principais (SOUSA, 2013). Esse ciclo apresenta grande importância para os ecossistemas terrestres e aquáticos. A superfície da terra fixa o  $\text{CO}_2$  da atmosfera por meio de dois processos, biológicos e físico-químicos. O processo biológico é responsável pela formação dos combustíveis fósseis e o físico-químico está diretamente relacionado à formação das rochas (TONIOLO; CARNEIRO, 2010).

Figura 2 - Ciclo do carbono simplificado.



Fonte: Calijuri e Cunha (2013).

A vegetação e o solo, que formam o ecossistema terrestre são considerados essenciais no ciclo do carbono. A planta por meio da fotossíntese retira o CO<sub>2</sub> da atmosfera para formar glicose (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>). Parte desse gás retorna para a atmosfera, quando ocorre a respiração e a decomposição da matéria morta, e a outra parte é utilizada para formar biomassa dos seres vivos. Esse processo de retirada e devolução de CO<sub>2</sub> da atmosfera pode sofrer interferências das atividades antrópicas, contribuindo para um desequilíbrio do ciclo natural, o que pode provocar alteração do efeito estufa (BRAGA et al., 2002; LIXANDRU et al., 2007; LACERDA; NOBRE, 2010; CALIJURI; CUNHA, 2013).

Quando os animais e plantas morrem parte de suas biomassas são incorporadas à biomassa dos decompositores, porém a outra parte vai se concentrar na litosfera por meio de um processo lento, e que ao longo do tempo vai formar os combustíveis fósseis. A liberação desse carbono acumulado só acontece quando há um processo de queima. Porém, existe um problema, a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado por meio da queima de combustível fóssil é muito maior que a capacidade dos vegetais em absorvê-lo e para agravar mais essa situação, tem o aumento do desmatamento, que reduz o sequestro de CO<sub>2</sub> da atmosfera por meio dos vegetais (BRAGA et al., 2002; CALIJURI; CUNHA, 2013).

Pode-se dizer que o ciclo de carbono é um dos responsáveis por proporcionar bem-estar ao nosso planeta, uma vez que apresenta uma das funções mais importantes, que é regular a temperatura da terra por meio do controle das concentrações CO<sub>2</sub> na atmosfera (BRAGA et al., 2002; UNH, 2009).

De acordo com Baird e Cann (2011), medir o tempo de vida de uma molécula de CO<sub>2</sub> na atmosfera é um processo difícil, uma vez que em relação a maioria dos gases, a molécula de CO<sub>2</sub> não sofre o processo de decomposição química ou fotoquímica. Apenas anos depois de ser emitida a molécula de CO<sub>2</sub> vai estar disponível para ser dissolvida pela superfície do mar ou absorvida pelos vegetais.

O ciclo de carbono é complexo, porém é um dos ciclos biogeoquímicos mais importantes para a manutenção da vida na terra, pois seu entedimento é de suma importância para a compreensão de todos os processos que contribuem com o aumento da temperatura terrestre e assim tentar encontrar soluções que possam amenizar os danos em escala global.

### **2.3 Inventários para estimar os GEE**

Uma das formas de se estimar os gases do efeito estufa é por meio de inventários dos GEE's, já que permitem saber e atualizar os dados referentes à essas emissões, o que ajuda no



planejamento das decisões a serem tomadas. Portanto, os inventários são essenciais para se levantar as principais informações relacionadas ao aumento dos GEE's de origem antropogênica (ABNT; BID, 2013).

O governo brasileiro com o intuito de contribuir com as reduções dos GEE's, criou em dezembro de 2009 a Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC), que é instituída pela Lei nº 12.187, no qual o país se comprometeu de forma voluntária em reduzir entre 36,1% e 38,9% das emissões estabelecidas até o ano de 2020. Alguns artigos dessa Lei são regulamentados pelo decreto Nº 7.390, do ano de 2010, que para atingir seu objetivo criou ações para reduzir o desmatamento, recuperar pastagem degradadas e aumentar o reflorestamento, pois assim poderá reduzir as emissões entre 1.168 milhões de tonCO<sub>2</sub>eq a 1.259 milhões de tonCO<sub>2</sub>eq em relação ao valor total de 3.236 milhões tonCO<sub>2</sub>eq estipulado para 2020 (BRASIL, 2009; BRASIL, 2010).

O primeiro inventário brasileiro de emissões do gases do efeito estufa foi realizado em 2006. Depois deste os Estados de São paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro já tomaram iniciativas para ajudar na redução dos GEE's, de acordo com Lei nº 13.798 do ano de 2009, Decreto Estadual nº 45.229 do ano de 2009 e Lei nº 5.690, do ano de 2010, respectivamente (SÃO PAULO, 2009; MINAS GERAIS, 2009; RIO DE JANEIRO, 2010).

O inventário de emissão do GEE de origem antrópica do Estado de São Paulo encontra-se na sua segunda edição e segue metodologia proposta pelo guia de boas práticas do IPCC. Esse inventário permitiu saber quais as principais origens dos GEE's, como também identificar quais áreas são prioritárias em termos de mitigação, tornando-se uma importante ferramenta de gestão (CETESB, 2012).

Na literatura existem vários trabalhos a nível governamental para estimar as emissões dos GEE's oriundas das atividades antrópicas, tais como, os inventários para os Estados citados anteriormente, porém a maioria deles utilizam metodologias complexas e de difícil replicação, principalmente quando precisa se utilizar dessa metodologia para realizar uma pesquisa mais específica, por exemplo, a nível de bacia hidrográfica.

#### **2.4 O uso das geotecnologias aplicado aos estudos ambientais**

As geotecnologias vêm se destacando em diversas áreas como uma das ferramentas fundamentais nas tomadas de decisões. Em relação ao meio ambiente elas podem permitir um diagnóstico, análise, planejamento e gestão dos recursos de forma mais efetiva, tornando-as essenciais para estudar as transformações ambientais ocorridas ao longo dos anos. Dentre as

geotecnologias destacam-se, o geoprocessamento, SR, SIG e o processamento digital de imagens (PDI) (ROSA 2005; CAMPOS et al., 2015; MARTINS; ROSA, 2016).

Essas ferramentas tornaram-se imprescindíveis para que se possa fazer o monitoramento das mudanças na superfície da terra, principalmente por se tratar de um meio de aquisição de dados de forma rápida, eficaz e com menor custo econômico, além de possibilitar o levantamento de informações a nível temporal e fornecer subsídios para tomadas de decisões futuras (FITZ, 2008; VAEZA et al., 2010).

O geoprocessamento pode ser definido como a utilização de métodos matemáticos e computacionais para que se possa fazer o tratamento dos dados adquiridos ou extrair informações de objetos ou fenômenos que podem ser localizados geograficamente. As técnicas de geoprocessamento são bastantes empregadas para saber as transformações ocorridas no uso da terra, sendo capazes de criar uma base georreferenciada que auxilie na representação e diagnóstico do espaço geográfico de forma mais dinâmica (MOREIRA, 2003; FUJACO et al., 2010).

As técnicas empregadas no geoprocessamento compõem um conjunto definido como SIG (MOREIRA, 2003), que são ferramentas computacionais formadas por equipamentos e programas, nos quais são responsáveis por gerenciar dados, pessoas e organizações possibilitando a coleta, o armazenamento, processamento, análise e o fornecimento de informações de forma georreferenciada, que seja de fácil aplicabilidade, segura e eficiente nos estudos referentes ao meio geográfico (ROSA, 2005).

No SIG, além da necessidade da utilização de um computador é essencial que se tenha uma base de dados georreferenciados, pois estas informações estão ligadas a coordenadas conhecidas, ou seja, os dados associam-se aos pontos do mundo real por suas coordenadas geográficas. Logo, os produtos resultantes do SIG, pelo fato de estarem associados ao meio físico, podem apresentar diversas aplicabilidades relacionadas à fatores ambientais, econômicos e sociais (FITZ, 2008).

O sensoriamento remoto pode ser definido como um forma de obtenção de informações de objetos ou eventos que se encontram a uma certa distância sem que haja contato direto dos sensores com os alvos ou fenômenos observados. Isto só acontece devido a existência ou a geração de um campo de força entre o sensor e o objeto a ser imageado (KONECNY, 2003; WENG, 2010).

A utilização do sensorimento remoto foi iniciado no período das duas primeiras guerras mundias como uma forma de estratégia militar no auxílio das decisões a serem tomadas. Inicialmente fazia-se apenas o uso de fotografias aéreas, com o passar do tempo as

técnicas de obtenção de informações da superfície da terra foram se aperfeiçoando e então os sensores começaram a ser utilizados. A obtenção dessas informações pode ser de duas formas, a nível orbital e suborbital. Orbital, quando as imagens são adquiridas por sensores acoplados em satélites, já no suborbital pode ser obtido por sensores instalados em aeronaves ou no solo (ROSA, 2005; RUBERT; MACIEL; 2009).

O primeiro país a lançar um satélite foi os Estados Unidos, no ano de 1972. Posteriormente as técnicas de obtenção de imagens orbitais foram se aprimorando, tornando-as indispensáveis para aquisição de informações sobre a superfície terrestre. No Brasil, somente em meados da década de 60 que teve início o uso do sensoriamento, por meio de trabalhos feitos pelo RADAM BRASIL, cuja a principal finalidade era fornecer informações sobre os riquezas naturais do país (ROSA, 2005). Estudos relacionados ao uso da terra começaram a utilizar os procedimentos de sensoriamento remoto apenas na década de 70 (AQUINO et al., 2012).

Os sensores podem ser classificados em dois tipos: não-imageadores, que captam a radiância do alvo e os resultados dos dados são apresentados em forma de tabelas e gráficos; e imageadores, em que a saída dos dados é em forma de imagens. As características dos sistemas sensores imageadores podem ser expressas por quatro tipos de resolução: espectral, espacial ou geométrica, temporal e radiométrica (MOREIRA, 2003).

A resolução espectral é representada pela quantidade de bandas espectrais que o sensor possui, o que vai determinar sua capacidade de absorção em função do intervalo de tempo do seu comprimento de onda; resolução espacial ou geométrica é a área real que cada pixel da imagem representa no terreno, ou seja, é o tamanho do pixel; resolução temporal diz respeito ao período necessário para que o satélite volte a fazer o imageamento da área de estudo; por fim, a resolução radiométrica corresponde ao número de níveis de cinza que uma imagem apresenta, sendo representado por números binários, que são os *bits* (MOREIRA, 2003; FITZ, 2008).

As imagens em sensoriamento remoto são obtidas por meio de sensores imageadores que medem a radiação eletromagnética, que é refletida e/ou emitida pelos objetos (exemplo, vegetação, solo e água), proveniente da luz solar. Como esses sensores são capazes de determinar a variação da energia dos alvos em diferentes regiões do espectro eletromagnético, o que se obtém são imagens que podem ser transformadas em informações úteis para o estudo em diversas áreas do conhecimento, como, engenharias, geologia, geografia e biologia (MOREIRA, 2003; ROSA, 2005; SALIM, 2013; FERREIRA; ARAÚJO, 2015; ARAÚJO et al., 2016).

As imagens servem de suporte para diversos usos e a maioria das vezes precisam de tratamentos para que se obtenha melhor qualidade, isso pode ser alcançado, por exemplo, por meio do PDI. Este é realizado com objetivo de obter dados específicos das imagens e está relacionado à necessidade de se modificar o formato original de uma imagem para realçar determinadas características, que são de interesse do analista. Esse método minimiza a subjetividade característica do procedimento de interpretação visual, obtendo assim melhores resultados para as informações pretendidas (LUCHIARI, 2001; LOPERA, 2010).

Uma das principais formas de analisar uma imagem multiespectral é por meio da sua classificação, que pode ser definida como a identificação de certos elementos que se encontram nessa imagem, no qual pode associar cada um dos seus pixels à uma categoria de uso da terra já predefinida. A classificação de imagens é importante, porque gera imagens virtuais da área de estudo, que além de possibilitar o cruzamento de dados, ajuda na elaboração de mapas temáticos (LOVELAND et al., 2002; MOREIRA, 2003; GONÇALVES et al., 2008; FITZ, 2008; CASTILLEJO-GONZÁLEZ et al., 2009; ROSA, 2009; KAWAKUBO, 2010).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Estimar as emissões do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em função das mudanças de uso da terra para a análise do fluxo de carbono em bacia hidrográfica.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Mapear, caracterizar e quantificar o uso da terra dos anos de 2007, 2010, 2013 e 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una para análise das mudanças ocorridas;
- Caracterizar as transições observadas entre as categorias de uso da terra e calcular as estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub> entre os anos de 2007-2010, 2010-2013 e 2013-2016;
- Traçar um delineamento técnico-metodológico para o cálculo das estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub> provenientes das mudanças de uso da terra.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

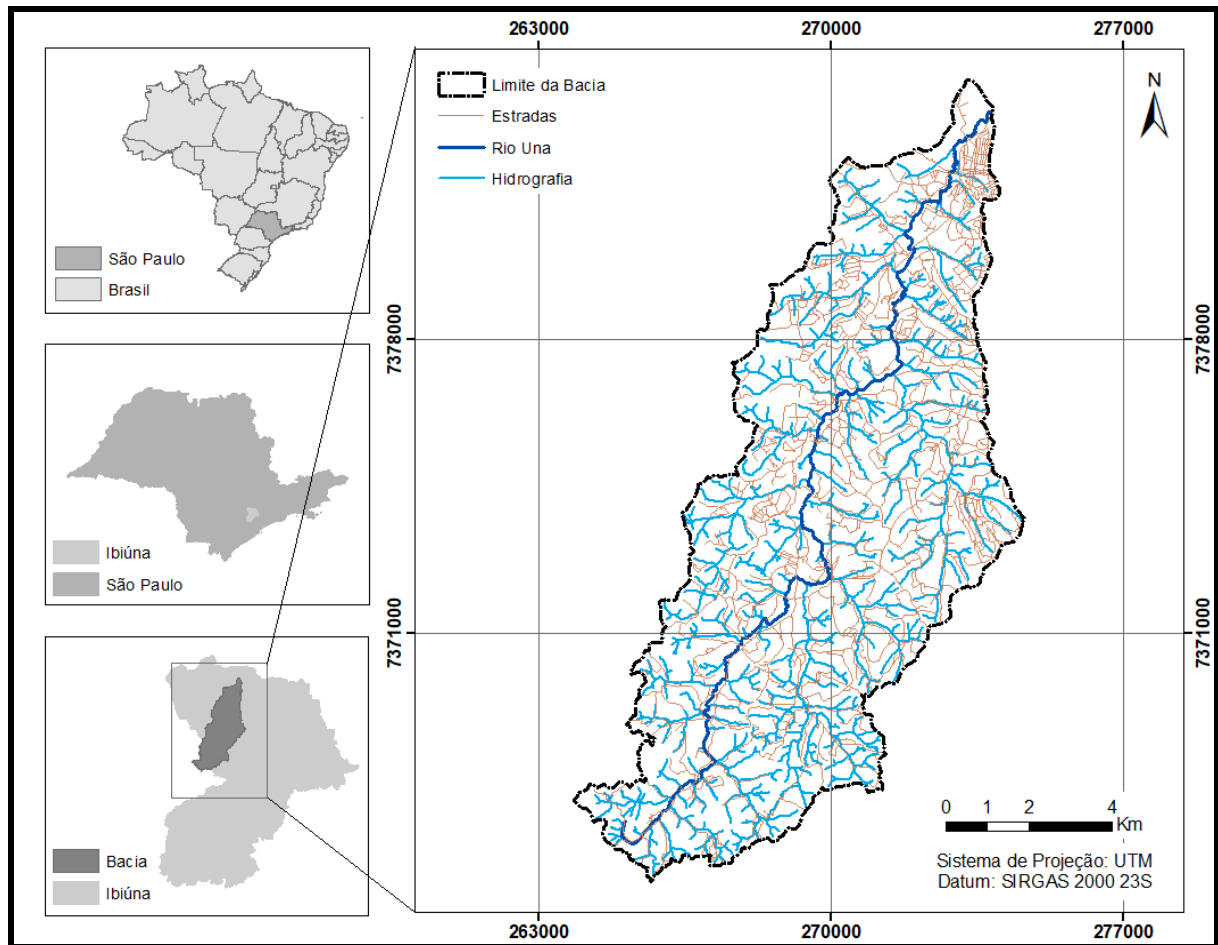
#### 3.1 Material

- Mapa da Vegetação do Brasil na escala de 1:5.000.000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004);
- Mapa de solos do Estado de São Paulo na escala de 1:500.000, disponibilizado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (OLIVEIRA et al., 1999);
- Cartas topográficas do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) na escala de 1:10.000, para o município de Ibiúna (IGC, 1979);
- Imagens do satélite *Landsat 5* (TM) para o ano de 2007 (*United States Geological Survey - USGS*);
- Imagens do satélite *Spot 5* para o ano de 2010, cedidas pela Secretaria de Meio ambiente do Estado de São de Paulo (SMA);
- Imagens do satélite *RapidEye* para o ano de 2013, disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA);
- Imagens de satélite *Sentinel 2A* para o ano de 2016, obtidas no *United States Geological Survey* (USGS);
- *Softwares* de geoprocessamento e processamento de dados e imagens ArcGIS 10.3 (ESRI, 2014), Idrisi Selva (CLARK LABS, 2012) e *Microsoft Excel* (MICROSOFT CORPORATION, 2010).

#### 3.2 Área de estudo

O estudo foi aplicado na Bacia Hidrográfica do Rio Una (Figura 3), situada na cidade de Ibiúna, sudeste do Brasil, ocupando 9% dessa área territorial.

Figura 3 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

A bacia apresenta uma área de aproximadamente 96,42 km<sup>2</sup> e destaca-se por estar inserida em um território de elevado desenvolvimento econômico, com forte expressão da produção agrícola. A Bacia Hidrográfica do Rio Una contribui significativamente para a formação de importantes reservatórios, entre eles o de Itupararanga, considerado a principal fonte de fornecimento de água para diversos municípios da região, com destaque para Ibiúna, Sorocaba, Mairinque e Votorantim. Além disso, é marcada por apresentar uma intensa ocupação e fragmentação da paisagem, com diferentes usos da terra e diversos graus de perturbação devido às atividades antropogênicas (SÃO PAULO, 2008; IBGE, 2010; SANTOS, 2012; ROSA et al., 2014).

A cobertura arbórea da bacia é formada por fragmentos florestais característicos da Mata Atlântica. Predominam solos do tipo argissolos e latossolos e a pluviosidade média é de aproximadamente 1.500 mm/ano, com o destaque para o mês de janeiro com maior

precipitação média (cerca de 43 mm) e o período de agosto como menos chuvoso (precipitação de 5,8 mm) (OLIVEIRA et al., 1999; SALLES et al., 2008).

### 3.3 Métodos

#### 3.3.1 Construção da base cartográfica

A base cartográfica de apoio foi construída com as informações adquiridas em formato digital das cartas topográficas do IGC para a área de estudo, cuja primeira edição foi em 1979, em sistema de coordenada *Universal Transversa de Mercator* (UTM), Meridiano Central de 45° e Fuso 23, com o Datum Córrego Alegre para referência horizontal e o Datum do Marégrafo de Imbituba para a referência vertical.

As cartas topográficas, foram vetorizadas por meio do *software Autocad Map* (AUTODESK, 2012) considerando as informações referentes as planimétricas, como: estradas, hidrografia, área urbana e limite da bacia. Além disso, foram obtidas as informações altimétricas referentes às curvas de nível e pontos cotados. Todas as informações vetorizadas foram passadas para o *software ArcGIS 10.3* (ESRI, 2014) e manipuladas empregando ferramentas de análise espacial.

#### 3.3.2 Mapeamento do uso da terra

Os mapeamentos das coberturas da superfície terrestre foi elaborado utilizando-se as imagens de satélites do Landsat 5 para o ano de 2007, *Spot 5* para 2010, *RapidEye* para 2013 e Sentinel 2A para 2016 (Quadro 1), resultando no produto temático denominado “Mapa de uso do solo e cobertura vegetal”. As imagens utilizadas referem-se ao mês de novembro, com exceção do Landsat 5 que foi adquirida para o mês de setembro, ambas com cobertura de nuvens inferior a 20%.

Quadro 1 - Características das imagens dos satélites utilizados

Satélite	Ano	Órbita/Ponto	Resolução Espacial	Mês
<i>Landsat 5</i>	2007	219/076	30 metros	Setembro
<i>Spot 5</i>	2010	-	2,5 metros	Novembro
<i>RapidEye</i>	2013	-	5 metros	Novembro
<i>Sentinel 2A</i>	2016	Órbita 38	20 metros	Novembro

Fonte: Autoria própria.

As imagens passaram pelos processos de reprojeção e correções geométricas para o hemisfério sul, utilizando o sistema de projeção UTM, Datum SIRGAS 2000, fuso 23S.

A classificação das imagens foi realizada por meio de interpretação visual e retroanálise multitemporal. O método da interpretação visual, consiste na vetorização das categorias ou classes identificadas na área de estudo sobre a tela do computador através da identificação das feições, pela sua forma (geometria do alvo), tonalidade (quantidade de energia que é refletida pelo alvo) e textura (se o objeto é mais homogêneo, heterogêneo, liso ou rugoso) (PANIZZA; FONSECA; 2011).

A composição utilizada para os mapeamentos foram a falsa cor. Para a composição do *Spot 5* foram utilizadas as bandas espectrais 3 (red), 2 (blue) e 1 (green), para o Landsat 5 as bandas 4 (red), 3 (blue) e 2 (green), para o *RapidEye* utilizou-se as bandas 5 (red), 2 (blue) e 1 (green) e em relação ao Sentinel 2A as bandas foram 12 (red), 11 (blue) e 8A (green).

A retroanálise multitemporal foi realizada com base nos mapeamentos de uso do solo e cobertura vegetal dos anos de 2010 e 2013, já que estes mapeamentos foram executados com imagens de alta resolução. A partir do mapeamento de 2010 fez-se a o mapeamento de 2007 e o mapeamento de 2013 serviu de base para se obter o mapeamento de 2016.

Para retroanálise multitemporal utilizando imagens com baixa resolução espacial, Oliveira et al. (2014) recomenda que seja feita uma simplificação das categorias do mapeamento, a partir do mapeamento realizado com a imagem de melhor resolução, reduzindo os danos à análise obtida.

As categorias de uso da terra adotadas para as legendas dos mapas de uso do solo e cobertura vegetal gerados foram adaptadas das orientações do Guia de Boas Práticas para Uso da Terra, Mudanças no Uso da Terra e Floresta (GPG/LULUCF) e do o Manual Técnico de Uso da Terra, sendo elas: Floresta (F), Reflorestamento (R), Campo (C), Agricultura (A), Área urbana (Au), Área alagada (Aa) e Pastagem (P) (IPCC, 2003; IBGE, 2013).

### 3.3.3 Mapeamento da vegetação pretérita

A vegetação pretérita refere-se ao tipo de vegetação que ocorria em um determinado local antes das interferências antrópicas, neste caso tendo como base o descobrimento do Brasil (IBGE, 2004; DON et al., 2011; SANTOS et al., 2012).

Para a definição da vegetação pretérita da bacia realizou-se um recorte do arquivo vetorial do mapeamento da vegetação pretérita do Brasil para a área de estudo e com o auxílio



do Modelo Digital de Elevação (MDE) determinou os tipos de formações florestais que existiam na bacia.

O MDE foi gerado através das curvas de nível e pontos cotados obtidos da vetorização base cartográfica de apoio e do método Irregular Triangulated Networks (TIN), onde os pontos foram ligados entre si formando uma rede de triângulos. O TIN apresenta uma estrutura vetorial com topologia nó-arco, onde para cada um dos três vértices do triângulo existem coordenadas de localização X, Y e o atributo Z (SOUZA, 2006; SOUSA JUNIOR; DEMATTÊ, 2008; ESRI, 2014).

Depois de criado o MDE, este foi sobreposto ao mapa da vegetação pretérita da bacia para saber quais os tipos de vegetação que predominavam em cada relevo, ou seja, na parte baixa, média e alta da bacia na época do descobrimento do Brasil. O MDE teve a função orientativa na construção do mapa de vegetação pretérita da bacia, já que um dos fatores controladores da cobertura de florestas está relacionado a altitude do relevo.

Obtidas as fisionomias florestais pretéritas, estas foram enquadradas nas categorias de vegetação estabelecidas por Bernuox e colaboradores (2002). Estes autores definem 15 grupos de vegetação para o Brasil (Quadro 2), porém como na bacia encontra-se somente o bioma característico da mata atlântica, este foi utilizado como base para a definição dos grupos de vegetação existentes na área de estudo. Com exceção dos demais tipos vegetacionais, a floresta atlântica aqui correspondeu a floresta ombrófila densa montana, já que conforme suas definições foi que apresentou características similares.

Quadro 2 - Grupos de vegetação definidos para o bioma mata atlântica

<b>Grupos</b>	<b>Categorias da vegetação</b>
<b>V3</b>	Floresta Ombrófila Densa Montana (Floresta Atlântica)
<b>V4</b>	Floresta Estacional Decidual
<b>V5</b>	Floresta Estacional Semidecidual
<b>V6</b>	Floresta Ombrófila Mista

Fonte: Adaptado de Bernuox et al. (2002).

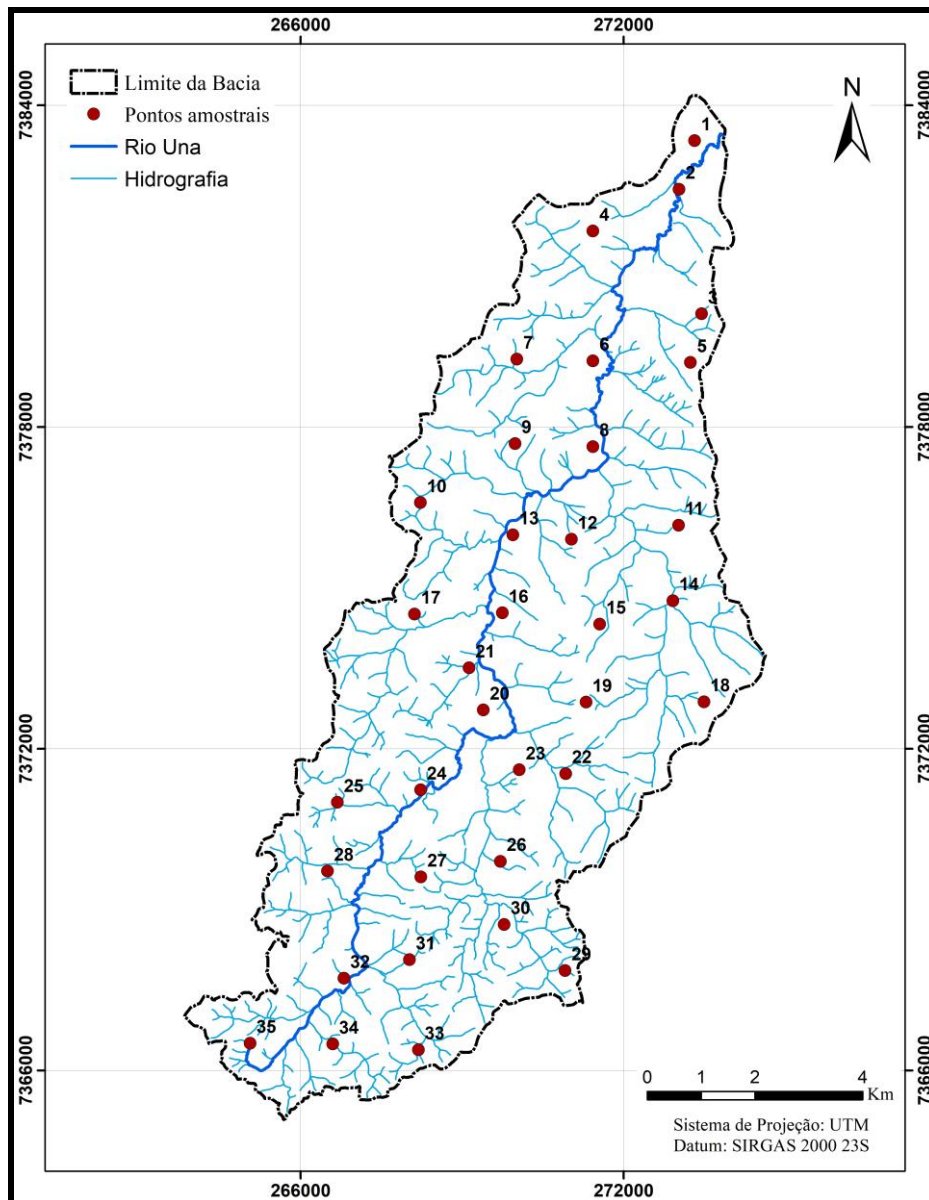
### 3.3.4 Mapeamento pedológico e caracterização da textura do solo

Para se obter os tipos de solos existentes na bacia foi realizado um recorte do arquivo vetorial do mapeamento de solos do Estado de São Paulo para a área de estudo.

A escala desse mapeamento é pequena, o que não permitiu maiores detalhes para a área de estudo. Desta maneira, fez-se necessário a realização de uma análise das texturas do solo no sentido de detalhar a caracterização da textura do solo e conseqüentemente proporcionar uma maior contribuição nos estudos do estoque de carbono no solo.

A textura foi caracterizada por meio da análise granulométrica do solo. Foram feitas 35 coletas dos pontos amostrais de solo distribuídos em uma malha amostral irregular o qual considerou diferentes tipos de uso do solo e cobertura vegetal (Figura 4).

Figura 4 - Malha amostral irregular da análise granulométrica para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria

A coleta foi realizada com trado na profundidade de 0-20 cm, retirando-se 500 gramas de solo. Todas as amostras foram embaladas em saco plástico, identificadas e levadas ao Laboratório de Águas e Solos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba.

A metodologia empregada foi a desenvolvida pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), denominado método da pipeta na terra fina seca ao ar (TFSA). O solo em solução dispersante de hidróxido e hexametafosfato de sódio foi misturado em agitador rotatório de Wagner durante 16 horas. Para a determinação das frações de areia foram utilizadas peneira de 0,2 mm e as frações de argila e silte foram separadas por pipeta em períodos de sedimentação, tendo como embasamento a Lei de Stokes (IAC, 2009). A classificação das texturas do solo foi realizada conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS) (EMBRAPA, 2006).

Foi realizado uma interseção entre os tipos de solos e as texturas do solo da bacia, visando definir os grupos de solos na bacia, a partir dos grupos de solos estabelecidos para o Brasil de acordo Bernuox et al. (2002) (Quadro 3).

Quadro 3 - Grupos de solos estabelecidos para o Brasil

<b>Grupos</b>	<b>Categorias de solos</b>
<b>S1</b>	Solos que apresentam argila de atividade alta
<b>S2</b>	Latossolos com presença de argila de atividade baixa
<b>S3</b>	Solos diferentes de Latossolos com argila de atividade baixa
<b>S4</b>	Solos arenosos
<b>S5</b>	Solos hidromórficos
<b>S6</b>	Solos que não apresentam nenhuma das características citadas anteriormente

Fonte: Adaptado de Bernuox et al. (2002).

### 3.3.5 Mapeamento do estoque de carbono no solo sob associação solo-vegetação

A partir do mapa da vegetação pretérita juntamente com os grupos de solos estabelecidos para a bacia, foi realizado o mapeamento do estoque de carbono no solo resultante dessa associação. Os valores de carbono adotados neste estudo foram determinados segundo CETESB (2012) para o solos do Brasil (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores do estoque de carbono no solo sob a associação solo-vegetação estabelecidos para os solos do Brasil

Vegetação	Solos (KgC/m <sup>2</sup> )					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6
V3	5,83	5,23	4,29	6,33	3,58	41,78
V4	4,67	3,08	4,00	2,59	3,27	3,18
V5	4,09	4,43	3,74	2,70	5,36	3,16
V6	9,88	10,25	5,68	-	8,54	-

Fonte: Adaptado da CETESB (2012).

Legenda: (V3) Floresta Ombrófila Densa Montana, (V4) Floresta Estacional Decidual, (V5) Floresta Estacional Semidecidual e (V6) Floresta Ombrófila Mista. (S1) Solos que apresentam argila de atividade alta, (S2) Latossolos com presença de argila de atividade baixa, (S3) Solos diferentes de Latossolos com argila de atividade baixa, (S4) Solos arenosos, (S5) Solos hidromórficos e (S6) Solos que não apresentam nenhuma das características citadas anteriormente.

Os estoques de carbono resultantes da associação solo-vegetação foram obtidos e espacializados utilizando a Interpolação IDW feita pela ferramenta Ponderação do Inverso da Distância (IDW) do *software* ArcGIS 10.3. A interpolação IDW é considerada um método simples e mais utilizado para pontos que se encontram espalhados espacialmente, onde o peso do ponto é atribuído conforme a distância, ou seja, quanto mais próximo estiver o ponto maior o peso e vice-versa (MARCUIZZO et al., 2011; RIGHI; BASSO; 2016). Essa interpolação é obtida conforme a Equação 1.

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(x_i) \frac{1}{d_{ij}^\alpha}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^\alpha}} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

$z$  (valores estimados),  $x$  (número de pontos),  $n$  (é a quantidade de pontos que estão próximos e utilizados na interpolação do ponto  $x$ ),  $x_i$  (valores conhecidos),  $d_{ij}$  (peso do valor  $x_i$  sobre o ponto  $x$ ) e  $\alpha$  (potência, que geralmente igual a dois).

### 3.3.6 Estudo da mudança de uso da terra

As transições foram realizadas utilizando os mapas de uso do solo e cobertura vegetal gerados para três períodos, 2007 a 2010, 2010 a 2013 e 2013 a 2016. O método utilizado foi o de detecção de mudanças pós-classificação, já que anteriormente as imagens foram classificadas individualmente e depois comparadas (OLIVEIRA et al., 2014). Esse método de detecção de mudança apresenta entre suas vantagens a possibilidade de se comparar imagens

de diferentes resoluções e sua desvantagem está no fato da sua acurácia depender da classificação feita para cada ano (MENKE et al. 2009).

As matrizes de transições consistem na comparação do ano anterior com o ano posterior para detectar as mudanças ocorridas e detecção das áreas em hectares (ha) de cada categoria. Esse processo foi realizado por meio da ferramenta de tabulação cruzada (*Tabulate Area*) no *software* ArcGIS 10.3.

Os valores identificados foram registrados em uma matriz de transição similar à Tabela 2, onde as células preenchidas em cinza indicam as transições improváveis de acontecer no período analisado, as células em verde foram as áreas em que houveram permanência no período analisado e as células não coloridas são as transições que ocorreram. As linhas representam o ano anterior e as colunas o ano posterior (CETESB, 2011; CETESB, 2012).

Tabela 2 - Modelo da matriz de transição para as categorias de uso da terra para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

Área (ha)	Uso da terra (Ano posterior)									Transição
		C	F	Au	A	Aa	P	R	Total (Ano anterior)	
Uso da terra (Ano anterior)	C									
	F									
	Au									
	A									
	Aa									
	P									
	R									
Total (Ano posterior)										Total de transição

Fonte: Modelo da matriz adaptado da CETESB (2012).

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento.

Para a representação espacial das transições ocorridas foi utilizada a ferramenta *Land Change Modeler* do *software* Idrisi Selva (CLARK LABS, 2014). Essa ferramenta possibilita

estudar as mudanças do uso da terra e identificar as transições ocorridas a nível espacial (ERASO et al., 2013).

### 3.3.7 Cálculo das estimativas de emissões e remoções de CO<sub>2</sub>

As matrizes das emissões líquidas de CO<sub>2</sub> foram obtidas por meio dos cálculos das estimativas de emissões/remoções de CO<sub>2</sub> resultantes das mudanças de uso da terra e das estimativas de emissões e remoções de CO<sub>2</sub> relativo à mudança de estoque do carbono no solo. Ambos os procedimentos foram feitos por meio do *software* ArcGIS 10.3.

#### 3.3.7.1 Cálculo das estimativas de emissões e remoções de CO<sub>2</sub> das mudanças de uso da terra

Foram utilizadas equações segundo o Quadro 4 (CETESB, 2012), considerando-se as sete categorias de uso da terra estabelecidas nesta pesquisa: Campo (C), Floresta (F), Área urbana (Au), Agricultura (A), Área alagada (Aa), Pastagem (P) e Reflorestamento (R).

Quadro 4 - Equações para as transições ocorridas para as categorias de uso da terra

TRANSIÇÕES	EQUAÇÕES
<b>Campo para Área urbana</b>	$E_i = A_i * (C_i - S)$ (Equação 2) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> (tc); <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> (ha); <i>C<sub>i</sub></i> : estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>S</i> : estoque médio de carbono em áreas urbanas [tc.ha <sup>-1</sup> ].
<b>Campo para Agricultura</b>	$E_i = A_i * [C_i - Av(Agr)]$ (Equação 3) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> (tc); <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> (ha); <i>C<sub>i</sub></i> : estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Av(Agr)</i> : estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha <sup>-1</sup> ].
<b>Campo para Pastagem</b>	$E_i = A_i * (C_i - Pec)$ (Equação 4) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>C<sub>i</sub></i> : estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Pec</i> : estoque médio de carbono em pastagem [tc.ha <sup>-1</sup> ].
<b>Campo para Floresta</b>	$E_i = A_i * (C_i - O')$ (Equação 5) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>C<sub>i</sub></i> : estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>O'</i> : estoque médio de carbono em outro uso [tc.ha <sup>-1</sup> ].  <i>'aqui considerou - se outro uso como Floresta</i>
<b>Campo para Área alagada</b>	$E_i = A_i * (C_i - Res)$ (Equação 6) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> (tc); <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> (ha); <i>C<sub>i</sub></i> : estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Res</i> : estoque médio de carbono em áreas alagadas [tc.ha <sup>-1</sup> ].

Quadro 4 - Equações para as transições ocorridas para as categorias de uso da terra

(Continuação)

TRANSIÇÕES	EQUAÇÕES
<b>Campo para Reflorestamento</b>	$E_i = A_i * \left\{ C_i - \left[ Incr(Ref) * \left( \frac{T}{T} \right) \right] \right\}$ (Equação 7) <p><i>E<sub>i</sub></i>: emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i>: área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>C<sub>i</sub></i>: estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha<sup>-1</sup>]; <i>Incr(Ref)</i>: incremento médio anual de carbono em reflorestamento [tc.(ha.ano)<sup>-1</sup>]; <i>T</i>: intervalo do período inventariado [ano].</p>
<b>Floresta para Campo</b>	$E_i = A_i * (C_i - O')$ (Equação 8) <p><i>E<sub>i</sub></i>: emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i>: área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>C<sub>i</sub></i>: estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha<sup>-1</sup>]; <i>O</i>: estoque médio de carbono em outros usos [tc.ha<sup>-1</sup>].</p> <p><i>'aqui considerou - se outro uso como Campo</i></p>
<b>Floresta para Área urbana</b>	$E_i = A_i * (C_i - S)$ (Equação 9) <p><i>E<sub>i</sub></i>: emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> (tc); <i>A<sub>i</sub></i>: área do polígono <i>i</i> (ha); <i>C<sub>i</sub></i>: estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha<sup>-1</sup>]; <i>S</i>: estoque médio de carbono em áreas urbanas [tc.ha<sup>-1</sup>].</p>
<b>Floresta para Agricultura</b>	$E_i = A_i * [C_i - Av(Agr)]$ (Equação 10) <p><i>E<sub>i</sub></i>: emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> (tc); <i>A<sub>i</sub></i>: área do polígono <i>i</i> (ha); <i>C<sub>i</sub></i>: estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha<sup>-1</sup>]; <i>Av(Agr)</i>: estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha<sup>-1</sup>].</p>
<b>Floresta para Área alagada</b>	$E_i = A_i * (C_i - Res)$ (Equação 11) <p><i>E<sub>i</sub></i>: emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> (tc); <i>A<sub>i</sub></i>: área do polígono <i>i</i> (ha); <i>C<sub>i</sub></i>: estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha<sup>-1</sup>]; <i>Res</i>: estoque médio de carbono em áreas alagadas [tc.ha<sup>-1</sup>].</p>
<b>Floresta para Pastagem</b>	$E_i = A_i * (C_i - Pec)$ (Equação 12) <p><i>E<sub>i</sub></i>: emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i>: área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>C<sub>i</sub></i>: estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha<sup>-1</sup>]; <i>Pec</i>: estoque médio de carbono em pastagem [tc.ha<sup>-1</sup>].</p>
<b>Floresta para Reflorestamento</b>	$E_i = A_i * \left\{ C_i - \left[ Incr(Ref) * \left( \frac{T}{T} \right) \right] \right\}$ (Equação 13) <p><i>E<sub>i</sub></i>: emissão média de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i>: área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>C<sub>i</sub></i>: estoque médio de carbono da fisionomia vegetal do polígono <i>i</i> [tc.ha<sup>-1</sup>]; <i>Incr(Ref)</i>: incremento médio anual de carbono em reflorestamento [tc.(ha.ano)<sup>-1</sup>]; <i>T</i>: intervalo do período inventariado [ano].</p>
<b>Área urbana para Agricultura</b>	$E_i = A_i * (S - O')$ (Equação 14) <p><i>E<sub>i</sub></i>: emissão média de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i>: área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>S</i>: estoque médio de carbono em áreas urbanas [tc.ha<sup>-1</sup>]; <i>O</i>: estoque médio de carbono em outro uso [tc.ha<sup>-1</sup>].</p> <p><i>'aqui considerou - se outro uso como Agricultura</i></p>

Quadro 4 - Equações para as transições ocorridas para as categorias de uso da terra

(Continuação)

TRANSIÇÕES	EQUAÇÕES
Área urbana para Campo	$E_i = A_i * (S - O')$ (Equação 15) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão média de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>S</i> : estoque médio de carbono em áreas urbanas [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>O</i> : estoque médio de carbono em outro uso [tc.ha <sup>-1</sup> ]. <i>'aqui considerou – se outro uso como Campo</i>
Área urbana para Floresta	$E_i = A_i * (S - O')$ (Equação 16) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão média de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>S</i> : estoque médio de carbono em áreas urbanas [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>O</i> : estoque médio de carbono em outro uso [tc.ha <sup>-1</sup> ]. <i>'aqui considerou – se outro uso como Floresta</i>
Área urbana para Reflorestamento	$E_i = A_i * (S - O')$ (Equação 17) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão média de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>S</i> : estoque médio de carbono em áreas urbanas [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>O</i> : estoque médio de carbono em outro uso [tc.ha <sup>-1</sup> ]. <i>'aqui considerou – se outro uso como Reflorestamento</i>
Área urbana para Área alagada	$E_i = A_i * (S - O')$ (Equação 18) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão média de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> [tc]; <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> [ha]; <i>S</i> : estoque médio de carbono em áreas urbanas [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>O</i> : estoque médio de carbono em outro uso [tc.ha <sup>-1</sup> ]. <i>'aqui considerou – se outro uso como Área alagada</i>
Agricultura para Campo	$E_i = A_i * \left\{ Av(Agr) - \left[ Reb(G) * \left(\frac{T}{\tau}\right) \right] \right\}$ (Equação 19) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> (tc); <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> (ha); <i>Av(Agr)</i> : estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Reb(G)</i> : incremento médio anual de carbono em campo [tc.(ha.ano) <sup>-1</sup> ]; <i>T</i> : intervalo de tempo (ano).
Agricultura para Floresta	$E_i = A_i * \left\{ Av(Agr) - \left[ Rebf * \left(\frac{T}{\tau}\right) \right] \right\}$ (Equação 20) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> (tc); <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> (ha); <i>Av(Agr)</i> : estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Rebf</i> : incremento médio anual de carbono na floresta [tc. (ha.ano) <sup>-1</sup> ]; <i>T</i> : intervalo de tempo (ano).
Agricultura para Área urbana	$E_i = A_i * [Av(Agr) - S]$ (Equação 21) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> (tc); <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> (ha); <i>Av(Agr)</i> : estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>S</i> : estoque médio de carbono em áreas urbanas [tc.ha <sup>-1</sup> ].
Agricultura para Área alagada	$E_i = A_i * [Av(Agr) - Res]$ (Equação 22) <i>E<sub>i</sub></i> : emissão de carbono associada ao polígono <i>i</i> no período <i>T</i> (tc); <i>A<sub>i</sub></i> : área do polígono <i>i</i> (ha); <i>Av(Agr)</i> : estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Res</i> : Estoque médio de carbono em áreas alagadas [tc.ha <sup>-1</sup> ].



Quadro 4 - Equações para as transições ocorridas para as categorias de uso da terra

(Continuação)

TRANSIÇÕES	EQUAÇÕES
<b>Agricultura para Pastagem</b>	$Ei = Ai * [Av(Agr) - Pec]$ (Equação 23) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>Av(Agr)</i> : estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Pec</i> : estoque médio de carbono em pastagem [tc.ha <sup>-1</sup> ].
<b>Agricultura para Reflorestamento</b>	$Ei = Ai * \left\{ Av(Agr) - \left[ Incr(Ref) * \left( \frac{T}{2} \right) \right] \right\}$ (Equação 24) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T[tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>AvAgr</i> : estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Incr(Ref)</i> : incremento médio anual de carbono em reflorestamento [tc.(ha.ano) <sup>-1</sup> ]; <i>T</i> : intervalo do período inventariado [ano].
<b>Área alagada para Área urbana</b>	$Ei = Ai * (O' - S)$ (Equação 25) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>O'</i> : estoque médio de carbono em outro uso [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>S</i> : estoque médio de carbono em áreas urbanas [tc.ha <sup>-1</sup> ].  <i>'aqui considerou - se outro uso como Área urbana</i>
<b>Área alagada para Floresta</b>	$Ei = Ai * \left\{ O' - \left[ Rebf * \left( \frac{T}{2} \right) \right] \right\}$ (Equação 26) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T[tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>O'</i> : estoque médio de carbono em outro uso [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Rebf</i> : incremento médio anual de carbono na floresta [tc.(ha.ano) <sup>-1</sup> ]; <i>T</i> : intervalo do período inventariado [ano].  <i>'aqui considerou - se outro uso como Floresta</i>
<b>Área alagada para Agricultura</b>	$Ei = Ai * [O' - Av(Agr)]$ (Equação 27) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>O'</i> : estoque médio de carbono em outro uso [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Av(Agr)</i> : estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha <sup>-1</sup> ].  <i>'aqui considerou - se outro uso como Agricultura</i>
<b>Pastagem para Campo</b>	$Ei = Ai * \{ Pec - [Reb(G)] * (T/2) \}$ (Equação 28) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>Pec</i> : Estoque médio de carbono em pastagem [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Reb(G)</i> :Incremento médio anual de carbono em campo secundário [tc.(ha.ano) <sup>-1</sup> ]; <i>T</i> : intervalo do período inventariado [ano].
<b>Pastagem para Floresta</b>	$Ei = Ai * \left\{ Pec - \left[ Rebf * \left( \frac{T}{2} \right) \right] \right\}$ (Equação 29) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>Pec</i> : estoque médio de carbono em pastagem [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Rebf</i> : incremento médio anual de carbono em floresta secundária [tc.(ha.ano) <sup>-1</sup> ]; <i>T</i> : Intervalo do período inventariado [ano].
<b>Pastagem para Área urbana</b>	$Ei = Ai * (Pec - S)$ (Equação 30) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>Pec</i> : estoque médio de carbono em pastagem [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>S</i> : estoque médio de carbono em áreas urbanas [tc.ha <sup>-1</sup> ].

Quadro 4 - Equações para as transições ocorridas para as categorias de uso da terra

(Continuação)

TRANSIÇÕES	EQUAÇÕES
<b>Pastagem para Agricultura</b>	$Ei = Ai * [Pec - Av(Agr)]$ (Equação 31) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>Pec</i> : estoque médio de carbono de pastagem [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Av(Agr)</i> : estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha <sup>-1</sup> ].
<b>Pastagem para Área alagada</b>	$Ei = Ai * (Pec - O)$ (Equação 32) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>Pec</i> : estoque médio de carbono em pastagem [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Incr(Ref)</i> : <i>O</i> : estoque médio de carbono em outro uso [tc.ha <sup>-1</sup> ].  <i>'aqui considerou - se outro uso como Área alagada</i>
<b>Reflorestamento para Campo</b>	$Ei = Ai * \{Av(Ref) - [Reb(G) * (T/2)]\}$ (Equação 33) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>Av(Ref)</i> : estoque médio de carbono em área de reflorestamento [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Reb (G)</i> : incremento médio anual de carbono em campo secundário [tc (ha.ano) <sup>-1</sup> ]; <i>T</i> : intervalo do período inventariado [ano].
<b>Reflorestamento para Floresta</b>	$Ei = Ai * \left\{ Av(Ref) - \left[ Rebf * \left( \frac{T}{2} \right) \right] \right\}$ (Equação 34) <i>Ei</i> : emissão média de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : Área do polígono i [ha]; <i>Av(Ref)</i> : estoque médio de carbono em reflorestamento [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Rebf</i> : incremento médio anual de carbono em floresta secundária [tc.(ha.ano) <sup>-1</sup> ]; <i>T</i> Intervalo do período inventariado [ano].
<b>Reflorestamento para Área urbana</b>	$Ei = Ai * [Av(Ref) - S]$ (Equação 35) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>Av(Ref)</i> : estoque médio de carbono em reflorestamento.
<b>Reflorestamento para Agricultura</b>	$Ei = Ai * [Av(Ref) - Av(Agr)]$ (Equação 36) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T [tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>Av(Ref)</i> : estoque médio de carbono em reflorestamento [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Av(Agr)</i> : estoque médio de carbono em área agrícola [tc.ha <sup>-1</sup> ].
<b>Reflorestamento para Pastagem</b>	$Ei = Ai * [Av(Ref) - Pec]$ (Equação 37) <i>Ei</i> : emissão de carbono associada ao polígono i no período T[tc]; <i>Ai</i> : área do polígono i [ha]; <i>Av(Ref)</i> : estoque médio de carbono em reflorestamento [tc.ha <sup>-1</sup> ]; <i>Pec</i> : estoque médio de carbono em pastagem [tc.ha <sup>-1</sup> ].

Fonte: Adaptado da CETESB (2012).

Na Tabela 3 encontram-se os valores do estoque médio e incremento médio de carbono adotados nas equações das transições entre as categorias identificadas para a Bacia Hidrográfica do Rio Una.

Tabela 3 - Valores do estoque médio e incremento médio de carbono utilizados nas equações das estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub>

Categorias	Conteúdo de Carbono		Referência
	Estoque médio (tc.ha <sup>-1</sup> )	Incremento médio (tc.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	
Campo	6,55	0,52	MCTI (2015)
<u>Floresta</u>			
Ombrófila densa montana	122,92	0,32	MCTI (2015)
Estacional decidual	104,95	0,32	MCTI (2015)
Estacional semidecidual	140,09	0,32	
Área urbana	0	-	CETESB (2012) e MCTI (2015)
Agricultura	7,90	6,00	CETESB (2012)
Área alagada	0	-	CETESB (2012) e MCTI (2015)
Pastagem	8,05	-	CETESB (2012)
Reflorestamento	55,4	13,70	CETESB (2012)

Fonte: Adaptado da CETESB (2012) e MCTI (2015).

### 3.3.7.2 Cálculos das estimativas de emissões e remoções de CO<sub>2</sub> relativo à mudança de estoque do carbono no solo

Os cálculos das estimativas de carbono no solo foram realizados por meio da Equação 38, que considera a remoção ou emissão de carbono no solo em função da mudança do uso da terra. O IPCC (2003) considera necessário um período de 20 anos para que haja alteração do estoque de carbono no solo.

$$ESi = Ai * C_{solo} * (fc_{(to)} - fc_{(tf)}) * ((T/2)/20) \quad (\text{Equação 38})$$

Onde:

*ESi*: emissão líquida do polígono i no período T devida a mudança de carbono do solo (tc); *Ai*: área do polígono i (ha); *C<sub>solo</sub>*: Conteúdo de carbono do solo resultante da associação solo-vegetação do polígono [tc.ha<sup>-1</sup>]; *fc<sub>(to)</sub>*: Fator de alteração de carbono do solo no instante inicial (adimensional); *fc<sub>(tf)</sub>*: Fator de alteração de carbono do solo no instante final (adimensional); *T*: intervalo de tempo (ano).

A) Para definir o fator de alteração de carbono no solo (*fc*), utilizou-se a seguinte equação:

$$fc(t) = fLu * fMG * fI \text{ (Equação 39)}$$

Onde:

$fc(t)$ : Fator de mudança de carbono no solo em um determinado instante (adimensional);  $fLU$ : Fator de mudança de carbono pelo uso da terra (adimensional);  $fMG$ : Fator de alteração de carbono em função da prática de manejo (adimensional);  $fI$ : Fator de alteração de carbono pelo uso de fertilizantes (adimensional).

Os valores das variáveis do fator de alteração de carbono no solo devido a mudança de uso da terra foram utilizados com base nos dados fornecidos pela CETESB (2012) (Tabela 4).

Tabela 4 - Fator de mudança de carbono do solo em função da mudança de uso da terra

Uso da terra	$f_{Lu}$	$f_{MG}$	$f_I$	$f_c$
<b>C</b>	1	-	-	1
<b>F</b>	1	-	-	1
<b>Au</b>	0	-	-	0
<b>A</b>	0,58	1,16	0,91	0,612
<b>Aa</b>	0	-	-	0
<b>P</b>	1	0,97	1	0,97
<b>R</b>	0,58	1,16	1	0,673

Fonte: Adaptado da CETESB (2012).

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento.

### 3.3.8 Elaboração das matrizes de emissões líquidas de CO<sub>2</sub>

Para a obtenção das matrizes de emissões líquidas foi realizado o somatório das emissões ou remoções referentes a mudança do uso da terra com o somatório do estoque de carbono no solo, em tonelada de carbono (tc). Portanto, o valor da emissão líquida positivo refere-se a emissão de CO<sub>2</sub>, caso contrário, ocorreu a remoção de CO<sub>2</sub> da atmosfera.

Inicialmente os valores de toneladas de carbono foram convertidos para Gigagrama de carbono (Gg) e posteriormente por meio da Equação 40 transformados em Gigagrama de CO<sub>2</sub> (GgCO<sub>2</sub>) finalizando com a elaboração da matriz de emissões líquidas (ELETROBRAS, 2009; AGUIAR et al., 2016) (Tabela 5).

$$ECO_2 = Ec \times 44/12 \text{ (Equação 40)}$$

Onde:

$ECO_2$  = emissão de  $CO_2$  ( $GgCO_2$ );  $Ec$  = emissão de carbono ( $GgC$ );  $44/12$  = razão entre os pesos moleculares do  $CO_2$  e do Carbono.

Tabela 5 - Exemplo da matriz de estimativas de emissões líquidas em cada período estudado, para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

$GgCO_2$	Uso da terra (Ano posterior)									
Uso da terra (Ano anterior)		C	F	Au	A	Aa	P	R	Emissão/ Remoção	
	C									
	F									
	Au									
	A									
	Aa									
	P									
	R									
<b>Total</b>										

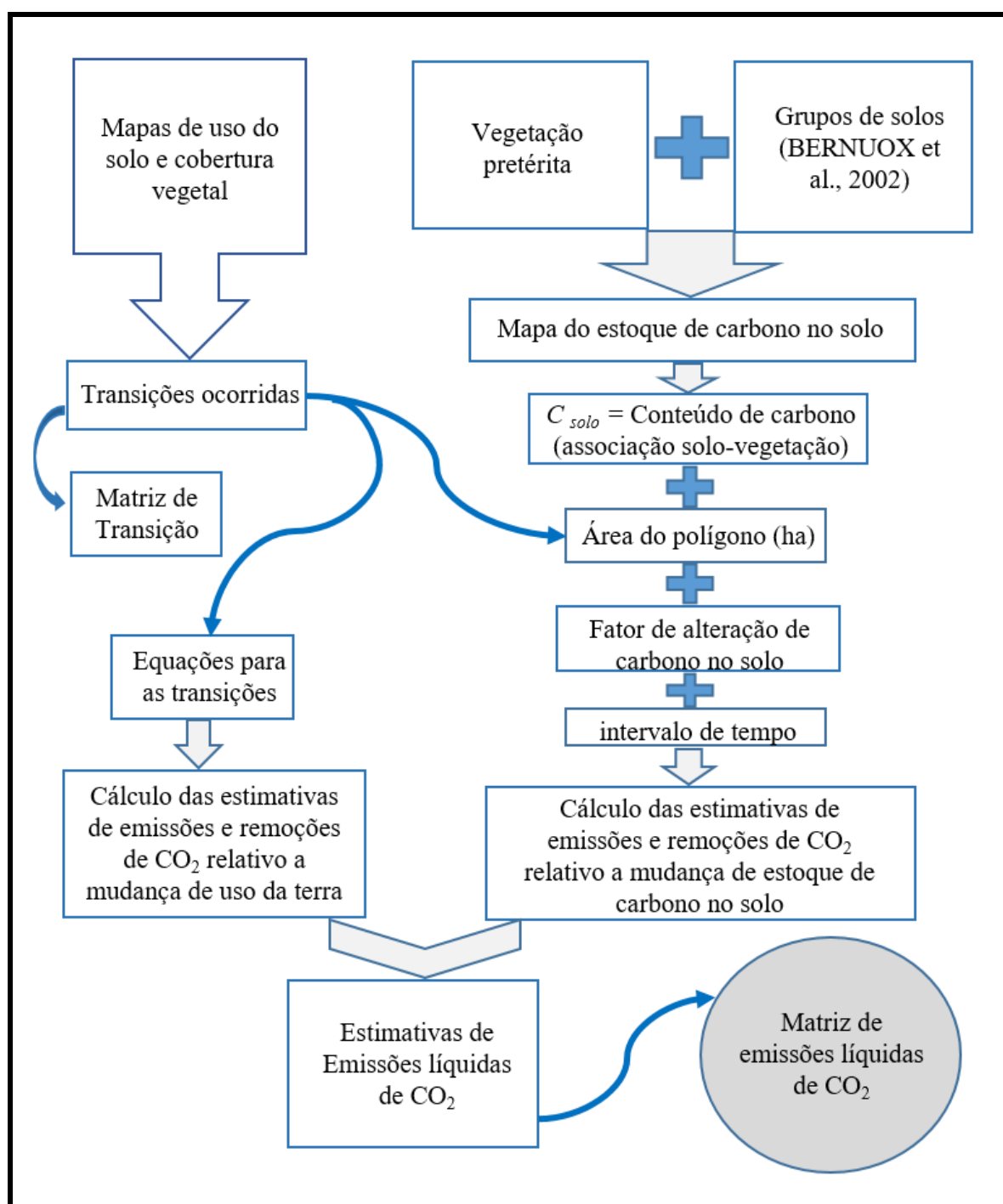
Fonte: Modelo da matriz adaptado da CETESB (2012).

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento.

### 3.4 Fluxograma das estimativas de emissões líquidas

As estimativas de emissões líquidas de  $CO_2$  em razão das mudanças de uso da terra foram obtidas com base na análise dos mapas de uso do solo e cobertura vegetal, mapa da vegetação pretérita e grupos de solos definidos por Bernoux et al. (2002). O esquema metodológico completo para alcance e análise dos resultados é mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma das etapas para o cálculo das estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub> da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



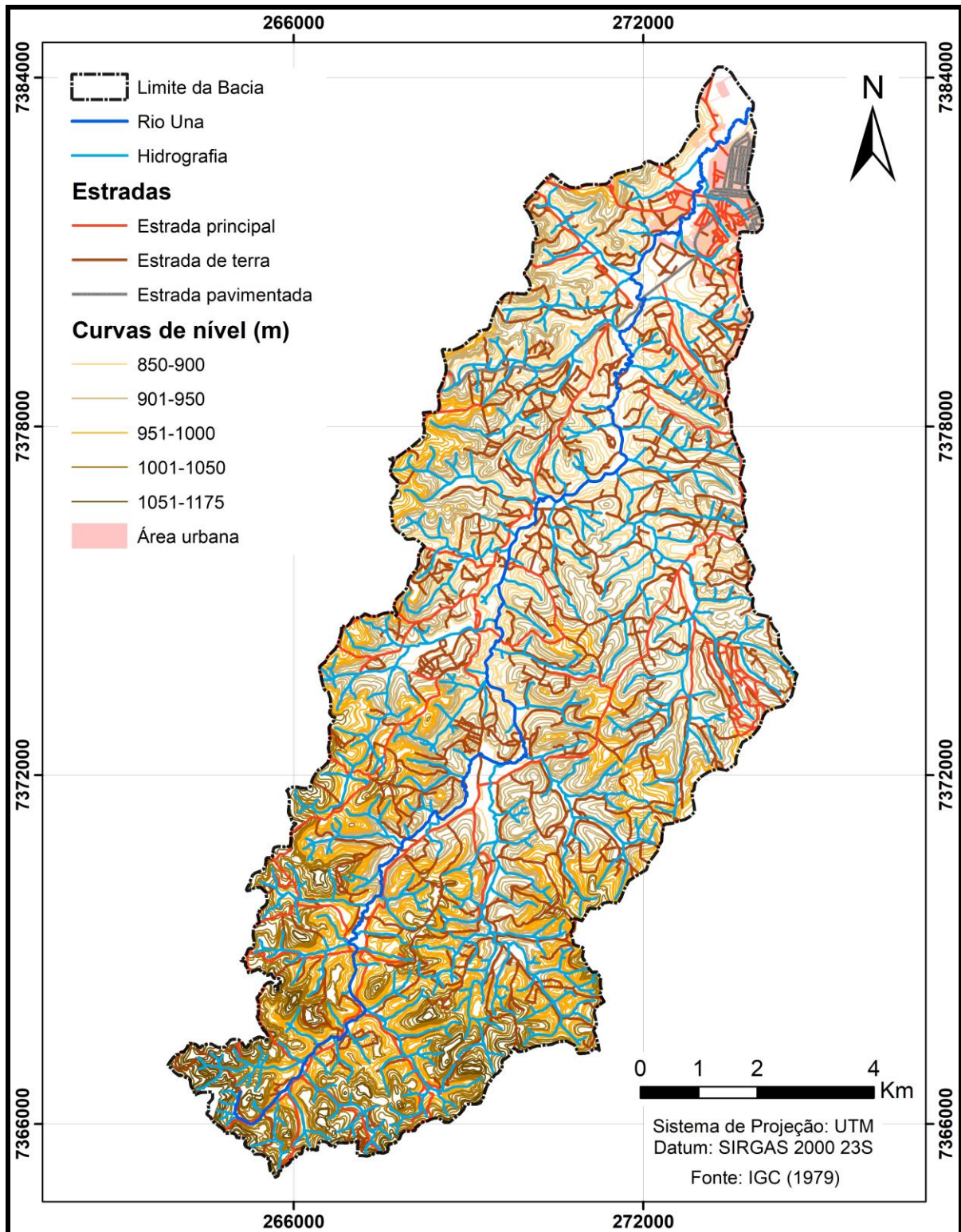
Fonte: Autoria própria.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Mapa base da área de estudo

O Mapa Base da Bacia Hidrográfica do Rio Una referente às informações planialtimétricas é mostrado na Figura 6 a seguir.

Figura 6 - Mapa base da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

A bacia corresponde a um total de aproximadamente 96,42 km<sup>2</sup>, a malha viária foi quantificada em 413,65 km, sendo 110,47 km de estrada principal, 283,87 km de estrada de



terra e 19,31 km de estrada pavimentada. A hidrografia 277,31 km e as curvas de nível variam de 850 a 1175 m.

#### 4.2 Mapa de uso do solo e cobertura vegetal

No Quadro 5 apresenta-se as classes identificadas, que foram agrupadas ou simplificadas conforme as categorias de uso da terra adotadas neste estudo.

Quadro 5 - Categorias de uso da terra adotadas neste estudo

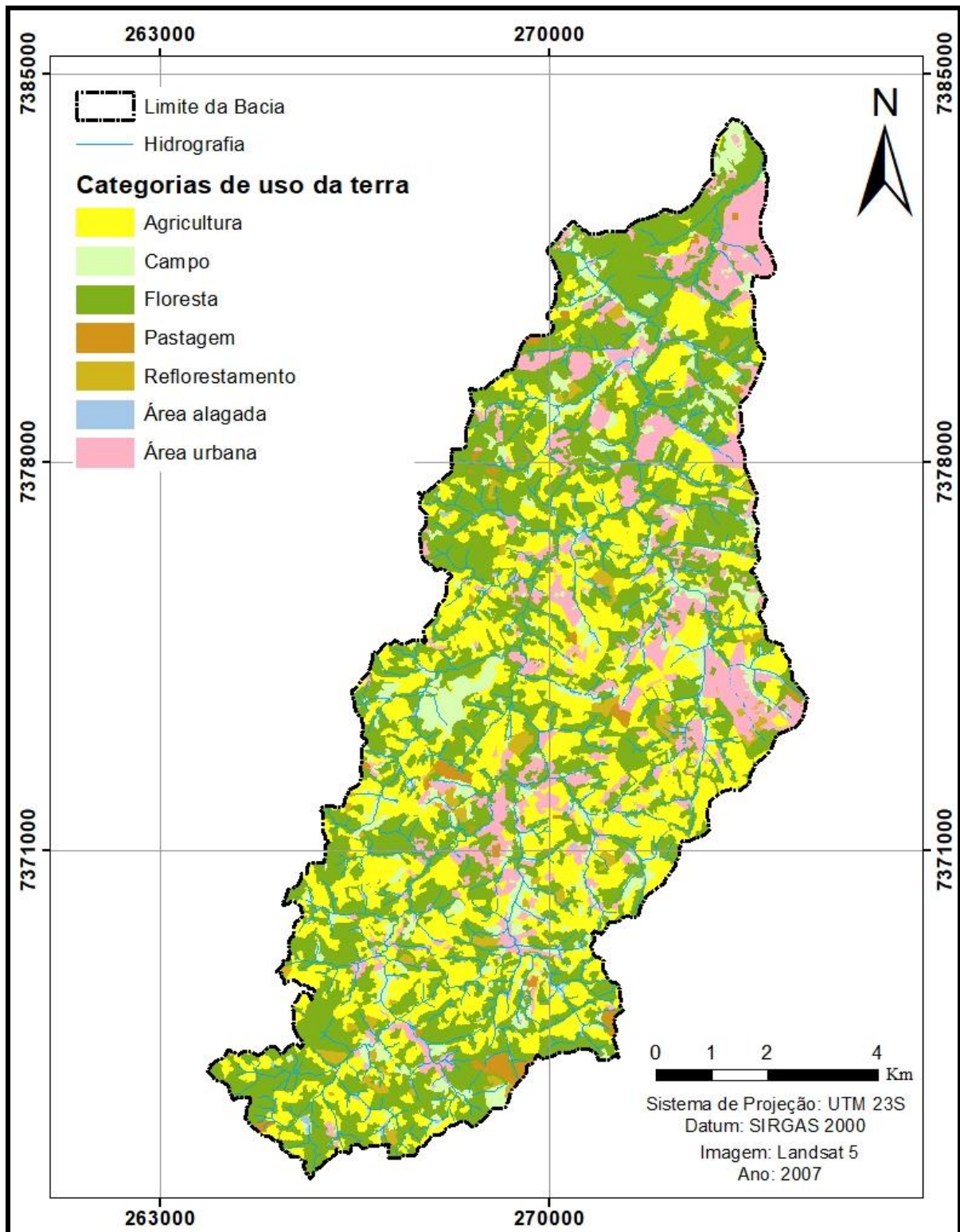
<b>Classes</b>	<b>Categorias adotadas</b>
Matas	Floresta (F)
Agricultura de longo período	Reflorestamento (R)
Campo sujos e campos degradados	Campo (C)
Agricultura de curto período	Agricultura (A)
Edificações urbanas, Edificações rurais, ETE, Aterro sanitário e solo exposto	Área urbana (Au)
Rios, lagos, lagoas, reservatórios e áreas sujeitas a inundação	Área alagada (Aa)
Pastagem	Pastagem (P)

Fonte: Adaptado do IPCC (2003) e IBGE (2013)

Os mapas de uso do solo e cobertura vegetal da área de estudo são apresentados nas Figura 7 (ano de 2007), Figura 8 (ano de 2010), Figura 9 (ano de 2013) e Figura 10 (ano de 2016), respectivamente.

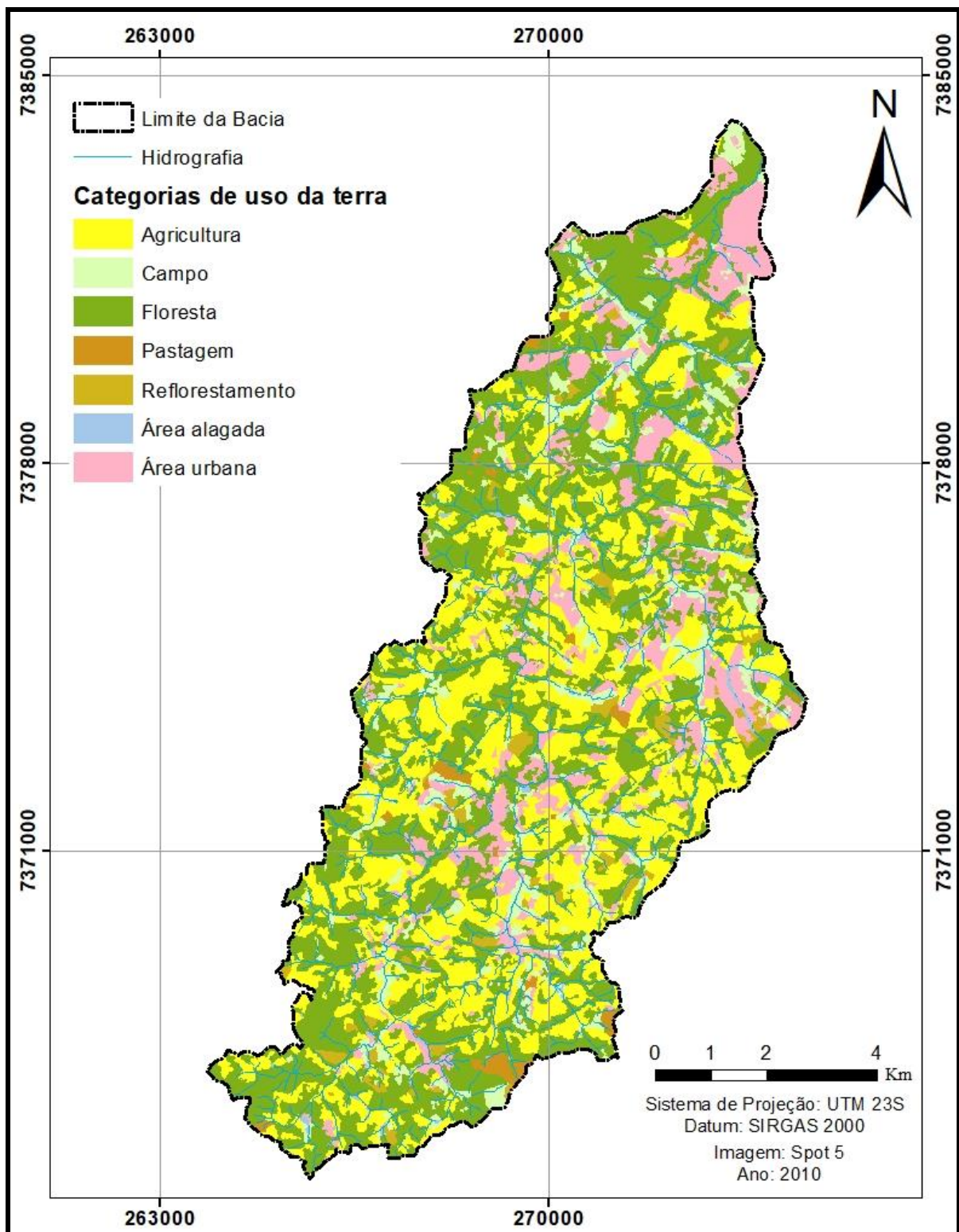


Figura 7 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2007 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



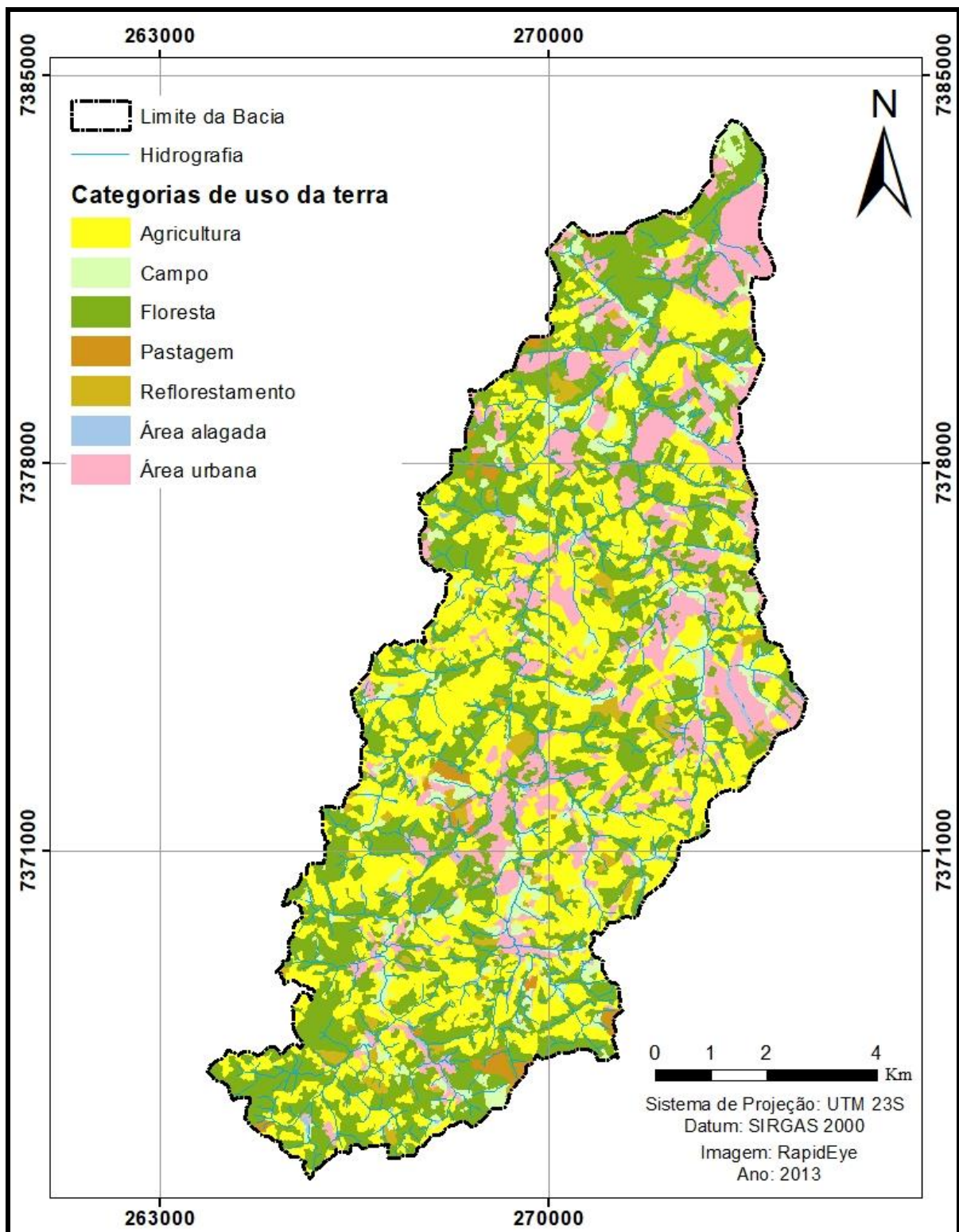
Fonte: Autoria própria.

Figura 8 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2010 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

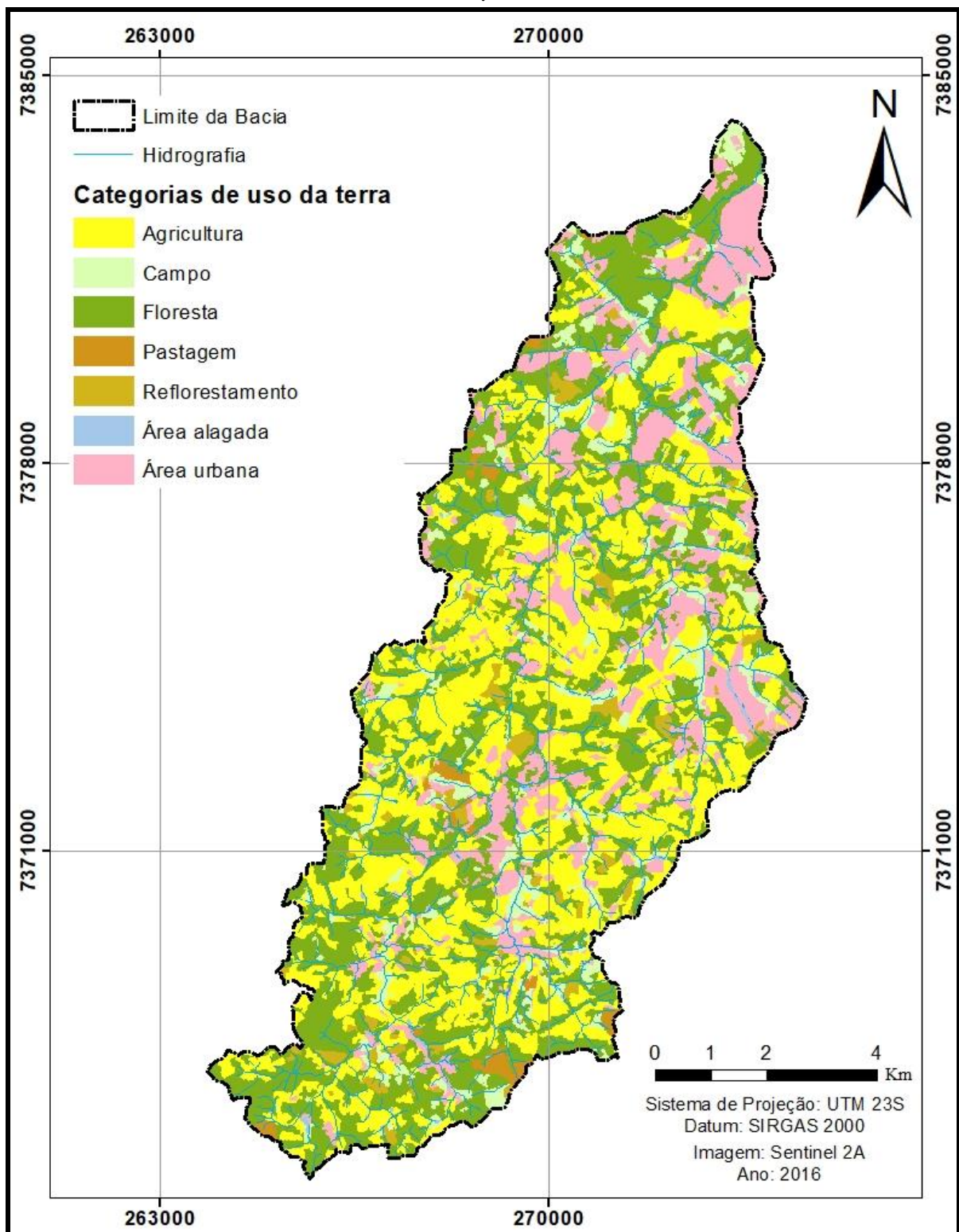
Figura 9 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2013 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.



Figura 10 - Mapa de uso do solo e cobertura vegetal do ano de 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

A agricultura refere-se a agricultura de curto período, que é a principal atividade econômica da bacia, responsável pelo sustento da população local (Figura 11).

Figura 11 - Agricultura da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

A área urbana da bacia é representada pelas edificações urbanas e rurais, solo exposto e E.T.E. A Figura 12 mostra edificação urbana e rural, respectivamente.

Figura 12 - Área urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

O reflorestamento, que representa a agricultura de longo período é também uma importante atividade econômica para o local, porém seu crescimento, tal como da agricultura, também é acompanhado da supressão da vegetação (Figura 13).

Figura 13 - Reflorestamento da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

A pastagem é destinada principalmente a criação de gado, apesar de não ser uma categoria que contribui tanto com a degradação da bacia, ocupa espaços que antes era de vegetação nativa (Figura 14)

Figura 14 - Pastagem da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

A categoria campo representada por campos sujos e campos degradados encontra-se em locais marcados por vegetação mais rala (Figura 15).



Figura 15 - Categoria campo da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

A área alagada é representada pelos rios, lagos, lagoas, reservatórios e áreas sujeitas à inundação. Na Figura 16 mostram-se um trecho do rio Una e lago, simultaneamente.

Figura 16 - Categoria área alagada da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

A categoria floresta encontra-se presente em toda a bacia, porém sua maior concentração é na porção sul, onde estão os fragmentos florestais mais bem conservados (Figura 17).

Figura 17 - Categoria floresta da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Acervo pessoal.

De forma geral comparando-se os mapas de uso do solo e cobertura vegetal (Figura 7, 8, 9 e 10), percebeu-se que a porção sul da bacia apresenta a maior presença de floresta, isto pode ser explicado pelo fato desse local ser o mais alto, conseqüentemente menos acessível, o que dificulta a prática agrícola e a urbanização. Segundo Weckmuller et al. (2010), a predominância da agricultura e da urbanização são dificultadas pelo relevo, o que favorece a presença desses usos em áreas mais planas.

Prado et al. (2012) enfatizam que a topografia pode ajudar ou dificultar a prática de determinadas atividades agrícolas, ou seja, quando a mesma não favorece ocorre maior predomínio da vegetação e vice-versa. Diante de tal situação pode-se afirmar que as maiores altitudes diminuem a possibilidade de mudança de uso da terra e conseqüentemente a quantidade de GEE que podem ser emitidos para atmosfera.

A Tabela 6 e Figura 18 mostram os valores encontrados para as categorias de uso da terra para todos os anos estudados.

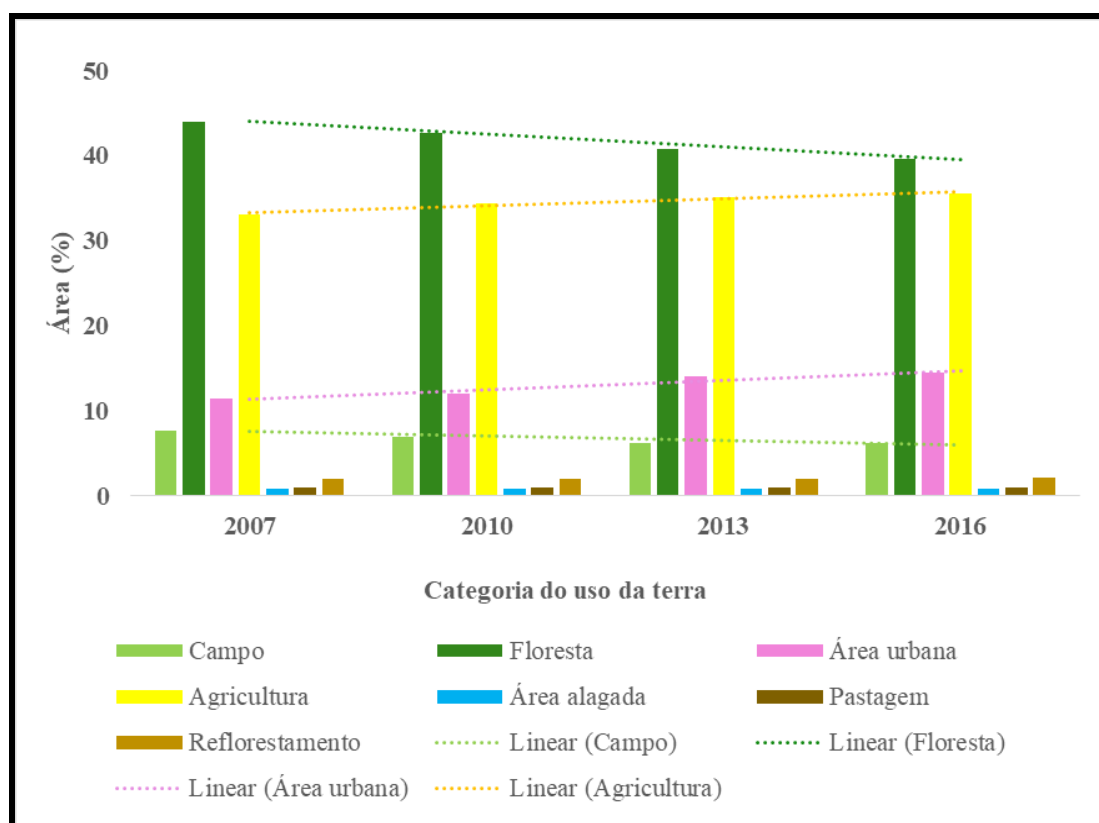


Tabela 6 - Quantificação das categorias de uso da terra para cada ano analisado para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.

Categorias	2007		2010		2013		2016	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Campo	741,28	7,69	673,27	6,98	592,11	6,14	598,67	6,21
Floresta	4.242,5	44,00	4.122,5	42,75	3.938,08	40,84	3.828,19	39,70
Área urbana	1.107,87	11,49	1.160,03	12,03	1.356,45	14,07	1.400,14	14,52
Agricultura	3.186,71	33,05	3.315,74	34,38	3.389,67	35,15	3.433,44	35,61
Área alagada	82,28	0,85	81,77	0,85	81,36	0,84	80,84	0,84
Pastagem	91,7	0,95	92,2	0,96	93,35	0,97	97,75	1,01
Reflorestamento	190,43	1,97	197,26	2,05	191,75	1,99	203,74	2,11
<b>Total</b>	<b>9.642,77</b>	<b>100,00</b>	<b>9.642,77</b>	<b>100,00</b>	<b>9.642,77</b>	<b>100,00</b>	<b>9.642,77</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Autoria própria.

Figura 18 - Comportamento das categorias de uso da terra para cada ano analisado para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Pode-se verificar na Tabela 6 e Figura 18 que ao longo de nove anos ocorreu um crescimento das áreas de agricultura, que aumentou de 33,05% para 35,61% (aumento de 2,56%). A classe área urbana aumentou de 11,49% para 14,52%. O reflorestamento apresentou um aumento de menos que meio hectare e a pastagem de 0,06%.

A expansão urbana pode ser explicada mediante a observação dos dados dos últimos censos do IBGE para o município de Ibiúna, em que houve um aumento de 65 mil para 71 mil habitantes. Já em 2016 a população foi estimada em cerca de 77 mil, o que mostra um possível crescimento da população em cerca de 18% em nove anos (IBGE, 2007; IBGE, 2010, IBGE, 2017).

De acordo com Casagrande et al. (2011), o crescimento da população é um fator que contribui para o aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> que é emitido para atmosfera. Na bacia observou-se que houve um crescimento progressivo das áreas urbanizadas, de 3,03%. Muito dessa expansão ocorreu sobre áreas de vegetação natural, colaborando assim para emissão de CO<sub>2</sub>.

Observa-se na Tabela 6 e Figura 18, que houve uma redução da área alagada, campo e floresta. A área alagada apresentou um decréscimo em seu percentual, com redução de 0,85% em 2007 para 0,84% em 2016. Apesar de pequena, torna-se preocupante, uma vez que a maior parte dessa perda pode ter sido convertida em áreas urbanas, o que pode estar associada a aterramentos de nascentes, assoreamento de várzeas e planícies de inundação.

Observou-se também uma redução significativa da categoria de floresta. Em 2007 era de 44,00%, enquanto em 2016 verificou-se um decréscimo para 39,70%, ou seja, uma perda de 414,31 ha (4,30%). O campo foi a segunda categoria com maior perda de área, onde apresentou uma redução de 1,48 %.

Weckmuller e colaboradores (2012) em estudo realizado em uma área de mata atlântica também constataram um aumento da área urbana, agricultura e pastagem, com uma redução significativa das áreas de florestas, porém o principal fator impulsionador do desmatamento foi o crescimento das áreas de pastagens.

Em pesquisa feita por Eckhardt et al. (2013) para o mesmo bioma, no município de Bom Retiro do Sul, RS, estes autores encontraram resultados opostos ao deste estudo, onde verificaram um aumento da vegetação natural e redução das áreas agrícolas, justificado pela intenso êxodo rural que acontece desde do década de 80 somado a substituição do uso de ferramentas manuais para mecanizadas que dificultam sua utilização em altas declividades, o que contribuiu para o abandono destas áreas, favorecendo assim a recuperação desse ecossistema.

A presença de campo não significa necessariamente uma vantagem ambiental, visto que pode se tratar de uma categoria que está ocupando espaços que antes apresentavam florestas, indicando processos de desmatamento. Além do que, os campos quando comparado às florestas apresentam papel minoritário no sequestro do carbono, induzindo a mais emissão de CO<sub>2</sub>.

O decréscimo da vegetação natural evidencia o nível de exposição antrópica em que a bacia se encontra, embora o percentual pareça baixo, 4,30%, mas ao se considerar a importância da bacia e de seus atributos hídricos, reforçam a necessidade de conservação das áreas naturais, para que possibilite o fluxo gênico, formação de corredores ecológicos, a regeneração natural e a conservação dos seus recursos hídricos.

Sales (2015) em estudo realizado nessa mesma bacia constatou que todos os fragmentos florestais encontram-se com algum tipo de exposição antrópica pelo uso antrópico, sendo que 40% deles foram classificados com média exposição e o restante (60%) com alta exposição. Diante disto, fica evidente a urgência de medidas protetivas para a vegetação remanescente.

Essas áreas de florestas se destacam por estar mais fragmentadas ao longo de nove anos. Acredita-se que a fragmentação e o decréscimo da vegetação encontra-se influenciada pelo crescimento agrícola na região, o que pode ter ou estar contribuindo para emissão de CO<sub>2</sub>.

Por ser uma vegetação de mata atlântica, esta requer um monitoramento eficaz visando a manutenção da biodiversidade nesses espaços. Além disso, a redução da cobertura vegetal implica no aumento da erosão e da lixiviação, que para Moura et al. (2010) a alta taxa de atividades agrícolas compromete a qualidade dos recursos hídricos, sobrecarregando-os de resíduos e contaminantes.

A tendência de supressão da área florestada para transformação em locais produtivos nos anos investigados evidencia, segundo Barros et al. (2013) a pressão que essa bacia sofre para atender as demandas das atividades antrópicas. Para Greggio et al. (2009), isto tem sido evidente no país, quando se observa que as áreas agrícolas têm crescido desordenadamente sobre áreas de matas nativas, contribuindo para fortes impactos sobre os recursos naturais.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Murundú, área vizinha a deste estudo, Rosa et al. (2014) também constataram que a agricultura responde por uma das maiores taxas de ocupação do território, ficando claro a colocação do autor quando reafirma que essa atividade é a base econômica do município de Ibiúna e que o entorno da Bacia Hidrográfica do Rio Una encontra-se antropizado.

### 4.3 Mapeamento da vegetação pretérita

Ao se caracterizar a vegetação pretérita da bacia verificou-se que existe três de tipos de fisionomias vegetais da mata atlântica, floresta ombrófila densa montana, floresta estacional decidual e floresta estacional semidecidual (Figura 19). Esses tipos de formações apresentam estas denominações porque se consideram as características fisionômicas da vegetação combinada à topografia de alta altitude (IBGE, 2012).

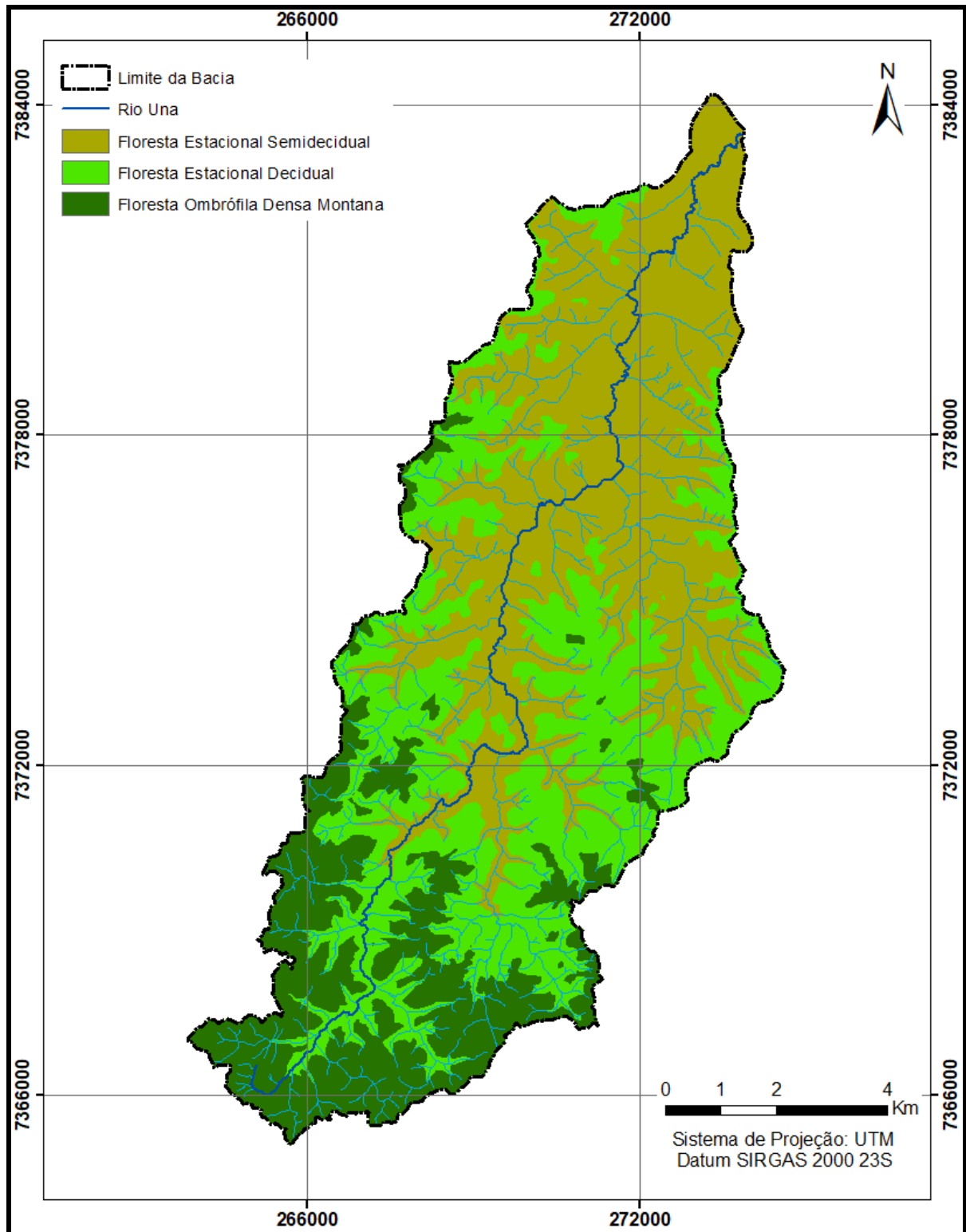
As tipologias vegetais definidas foram enquadradas em três dos quatro grupos proposto por Bernoux e colaboradores (2002) para o bioma mata atlântica, onde a floresta ombrófila densa montana, floresta estacional decidual e floresta estacional semidecidual ficaram dentro do grupamento V3, V4 e V5, respectivamente (Quadro 6).

Quadro 6 - Grupos de vegetação definidos para a Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

<b>Grupos</b>	<b>Categorias da vegetação</b>
<b>V3</b>	Floresta ombrófila densa montana
<b>V4</b>	Floresta estacional decidual
<b>V5</b>	Floresta estacional semidecidual

Fonte: Adaptado de Bernoux et al. (2002).

Figura 19 - Vegetação pretérita da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.

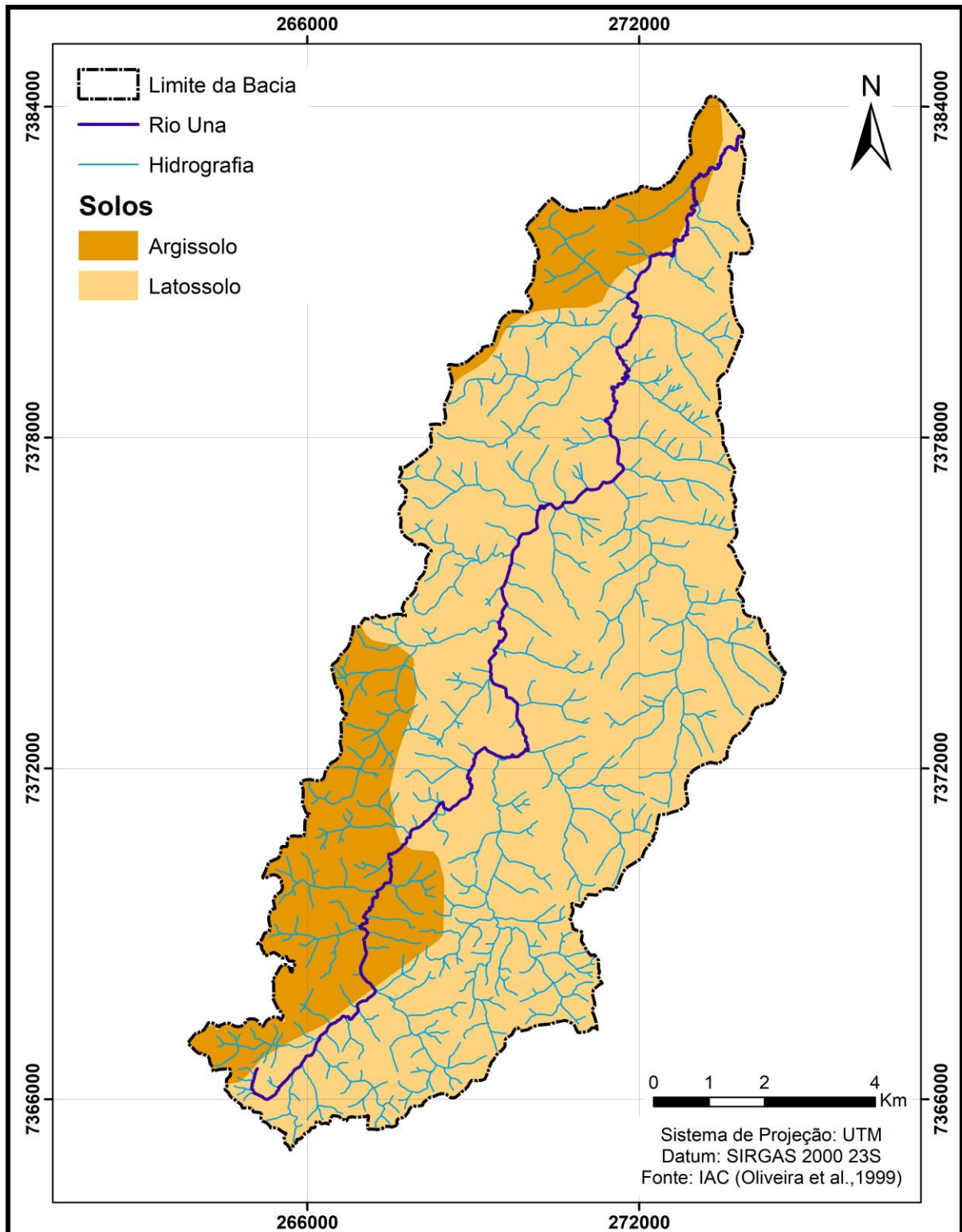


Fonte: Autoria própria.

#### 4.4 Mapeamento pedológico e caracterização da textura do solo

Na Figura 20 são apresentados os tipos de solos para a Bacia Hidrográfica do Rio Una.

Figura 20 - Mapa de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Foram identificados os solos do tipo Latossolos e Argissolos. No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS) (EMBRAPA, 2006), consta que os argissolos são os solos formados por minerais, que apresentam horizonte B textural (Bt), podem ter argila de alta ou

baixa atividade associada a baixa saturação por bases ou a um caráter alítico e são de forte a moderadamente ácidos.

Os latossolos são solos altamente intemperizados, que se caracterizam por ter em sua composição uma determinada concentração de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que apresentam uma deficiente mobilização de materiais, como, de argila. Geralmente variam de fortemente a bem drenados, são altamente ácidos, apresentando baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos (EMBRAPA, 2006).

Na Tabela 7 encontra-se a caracterização da textura do solo na bacia em função das frações granulométricas.

Tabela 7 - Frações areia total, silte e argila, em percentagem (%), da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

Amostras	%			Textura	Categorias de uso do da terra
	Areia Total	Silte	Argila		
1	13,35	49,15	37,50	Argilosa	Floresta
2	18,15	39,70	42,15	Franco-argilosa	Floresta
3	16,00	24,45	59,55	Franco-argilo-arenosa	Floresta
4	18,30	58,90	22,80	Argilosa	Floresta
5	7,75	57,65	34,60	Argilosa	Floresta
6	5,82	52,78	41,40	Argilosa	Agricultura
7	15,50	42,53	41,98	Argilosa	Floresta
8	13,75	52,45	33,80	Argilosa	Área urbana
9	11,75	43,10	45,15	Argilo-arenosa	Agricultura
10	21,30	26,10	52,60	Franco-argilo-arenosa	Floresta
11	6,95	53,95	39,10	Argilosa	Área urbana
12	6,90	49,35	43,75	Argilosa	Reflorestamento
13	13,50	36,15	50,35	Argilo-arenosa	Agricultura
14	11,00	46,25	42,75	Argilosa	Agricultura
15	11,45	27,05	61,50	Franco-argilo-arenosa	Floresta
16	11,43	29,67	58,90	Franco-argilo-arenosa	Agricultura
17	14,20	23,95	61,85	Franco-argilo-arenosa	Floresta

Tabela 7 - Frações areia total, silte e argila, em percentagem (%), da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

(Continuação)

Amostras	%			Textura	Categorias de uso do da terra
	Areia Total	Silte	Argila		
18	6,62	52,35	41,02	Argilosa	Agricultura
19	10,90	24,00	65,10	Franco-argilo-arenosa	Floresta
20	7,55	54,55	37,90	Argilosa	Reflorestamento
21	12,20	25,35	62,45	Franco-argilo-arenosa	Floresta
22	7,75	50,43	41,83	Argilosa	Agricultura
23	11,95	45,98	42,07	Argilosa	Agricultura
24	14,75	21,72	63,53	Franco-argilo-arenosa	Floresta
25	16,80	27,35	55,85	Franco-argilo-arenosa	Agricultura
26	11,08	36,72	52,20	Argilo-arenosa	Campo
27	4,95	56,90	38,15	Argilosa	Agricultura
28	12,00	40,55	47,45	Argilo-arenosa	Floresta
29	14,17	25,47	60,35	Franco-argilo-arenosa	Floresta
30	9,65	45,00	45,35	Argilo-arenosa	Agricultura
31	10,43	41,77	47,80	Argilo-arenosa	Floresta
32	20,45	49,75	29,80	Argilosa	Floresta
33	11,15	44,65	44,20	Argilo-arenosa	Agricultura
34	16,30	38,13	45,57	Argilo-arenosa	Agricultura
35	13,05	40,80	46,15	Argilo-arenosa	Agricultura

Fonte: Autoria própria.

Observou-se na bacia quatro tipos de texturas: argilosa, franco-argilo-arenosa, argilo-arenosa e franco-argilosa. Essas texturas em consonância com os tipos de solos foram enquadradas em cinco grupos segundo o Quadro 7.



Quadro 7 - Grupos de solos encontrados na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

<b>Grupos</b>	<b>Categorias de solos</b>
<b>S1</b>	Solos que apresentam argila de atividade alta
<b>S2</b>	Latossolos com presença de argila de atividade baixa
<b>S3</b>	Solos diferentes de Latossolos com argila de atividade baixa
<b>S4</b>	Solos arenosos
<b>S5</b>	Solos hidromórficos

Fonte: Adaptado de Bernoux et al. (2002).

#### 4.5 Mapeamento do estoque de carbono para associação solo-vegetação

Os resultados do mapeamento do estoque de carbono para a associação solo-vegetação são apresentados na Tabela 8 e Figura 21.

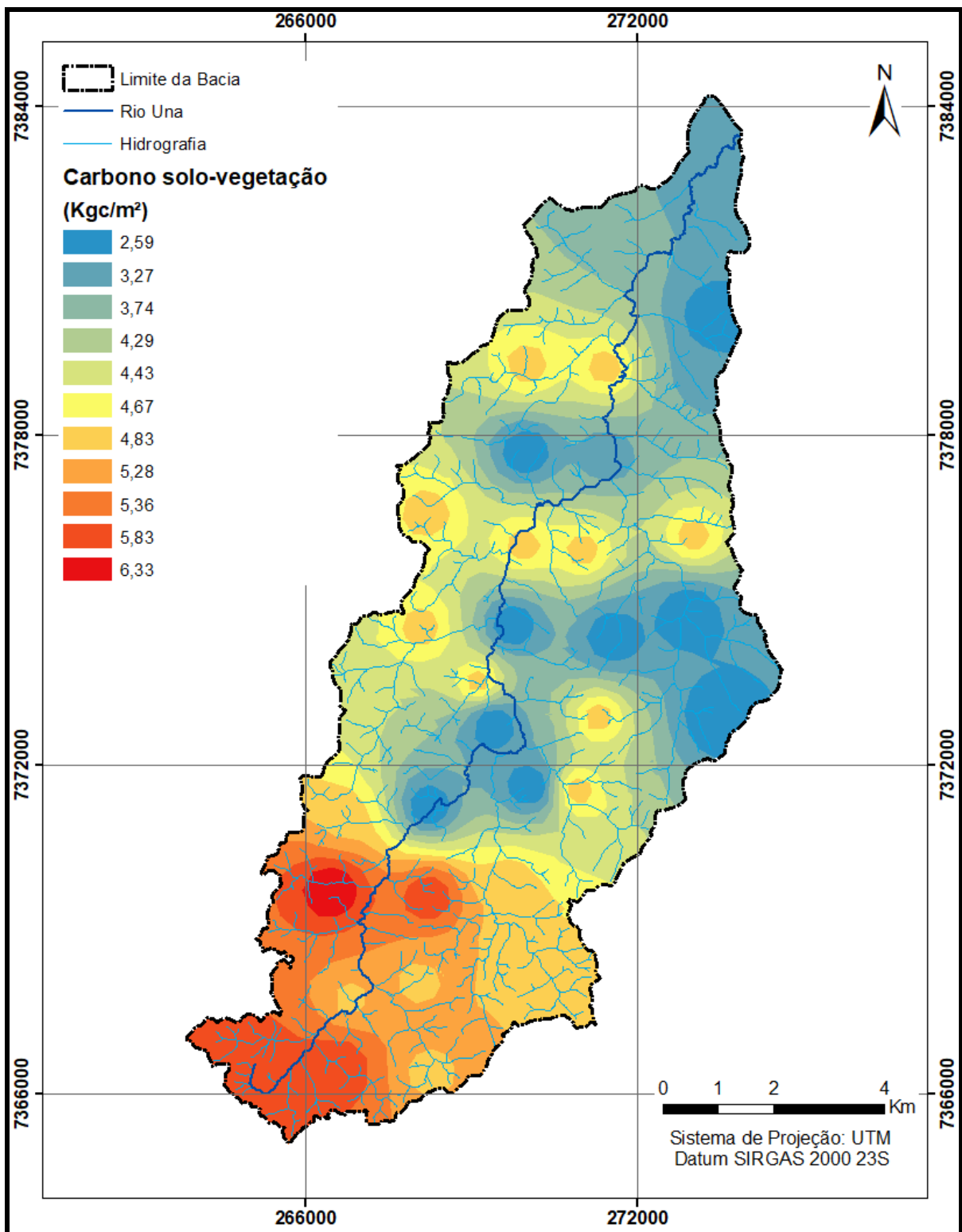
Tabela 8 - Estoque de carbono no solo sob a associação solo-vegetação da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

<b>Vegetação</b>	<b>Solos (Kg/m<sup>2</sup>)</b>				
	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>
<b>V3</b>	5,83	5,23	4,29	6,33	3,58
<b>V4</b>	4,67	3,08	4,00	2,59	3,27
<b>V5</b>	4,09	4,43	3,74	2,7	5,36

Fonte: Adaptado da CETESB (2012).

Legenda: V3) Floresta ombrófila densa montana, V4) Floresta estacional decidual, V5) Floresta estacional semidecidual. S1) Solos com a presença de argila de atividade alta, S2) Latossolos com presença de argila de atividade baixa, S3) Solos diferentes de Latossolos com argila de atividade baixa, S4) Solos arenosos e S5) Solos hidromórficos.

Figura 21 - Estoque de carbono no solo sob associação solo-vegetação ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ) da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 21 pode-se observar que os valores de carbono resultante da associação solo-vegetação variaram de 2,59 a 6,33  $\text{Kg}/\text{m}^2$ . Sendo que as maiores quantidades de carbono

encontraram-se na porção mais alta da bacia, o que pode ser resultante do fato dessa parte da bacia apresentar as menores mudança de uso da terra, consequente maiores serão as quantidades de carbono encontrada.

#### 4.6 Matriz de transição

Na Tabela 9 e Figura 22 encontram-se as transições ocorridas no período de 2007 a 2010 na Bacia Hidrográfica do Rio Uma

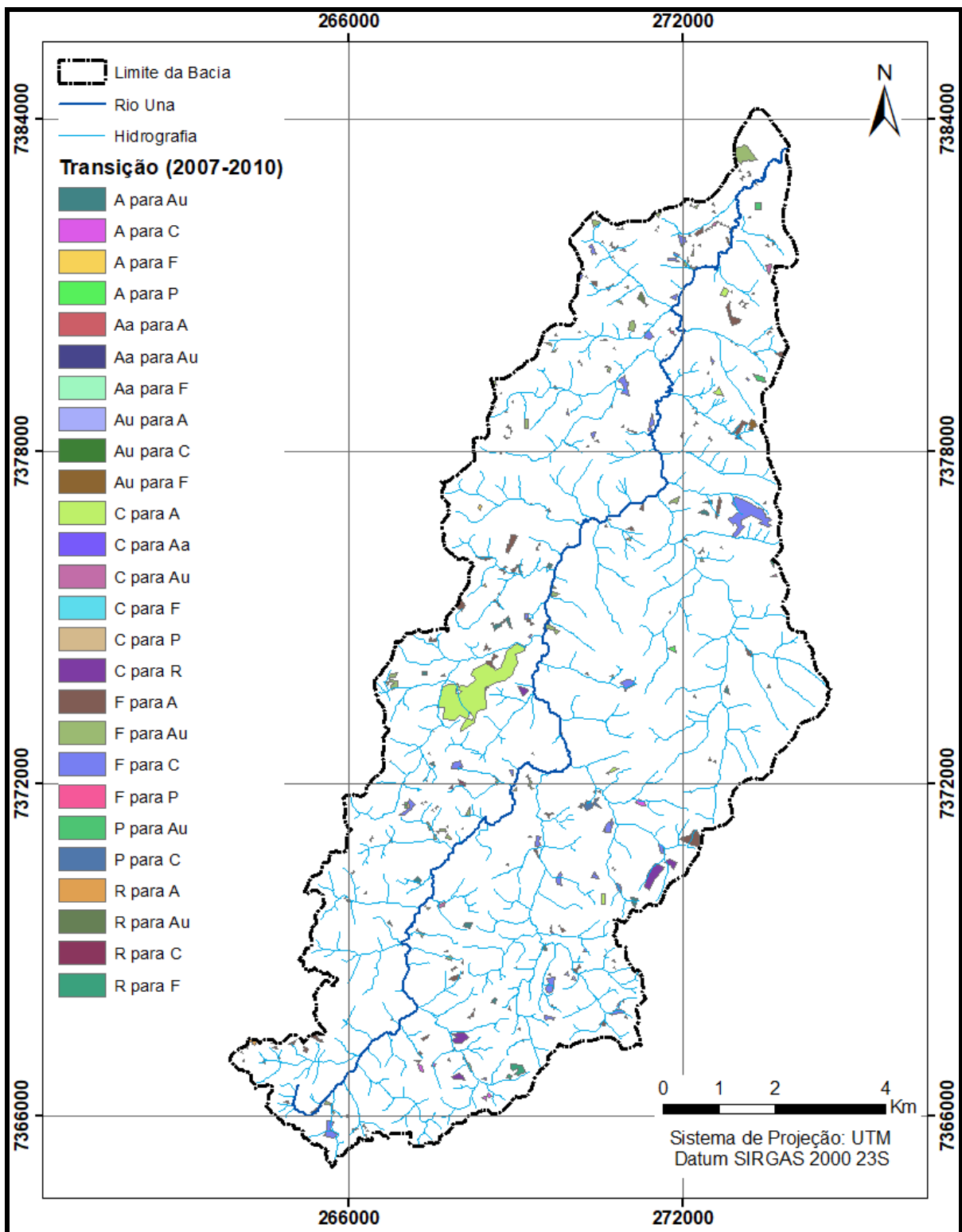
Tabela 9 - Matriz de transição para as categorias de uso da terra no período de 2007 a 2010 (ha) da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

Área (ha)	Uso da terra em 2010									
		C	F	Au	A	Aa	P	R	Total 2007	Transição 2007-2010
Uso da terra em 2007	C	628,86	0,24	12,15	82,49	0,06	0,60	16,88	741,28	112,42
	F	38,93	4.112,50	26,99	62,57		1,51		4.242,50	130,00
	Au	0,56	3,66	1.102,60	1,05				1.107,87	5,27
	A	3,37	0,66	12,98	3.167,81		1,89		3.186,71	18,90
	Aa		0,06	0,45	0,06	81,71			82,28	0,57
	P	0,34		3,16			88,20		91,70	3,50
	R	1,21	5,38	1,70	1,76			180,38	190,43	10,05
<b>Total 2010</b>	673,27	4.122,50	1.160,03	3.315,74	81,77	92,20	197,26	<b>9.642,77</b>	<b>Total de transição 280,71</b>	

Fonte: Modelo da matriz adaptado da CETESB (2012).

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento. As células da tabela preenchidas em cinza indicam as transições improváveis de acontecer no período analisado, as células em verde foram as áreas em que houveram permanência no período analisado e as não coloridas são as transições que ocorreram. As linhas representam o ano 2007 e as colunas o ano 2010.

Figura 22 - Transições entre o período de 2007 e 2010 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reforestamento.

Pode-se verificar na Tabela 9 e Figura 22 que ao total ocorreram 280,71 ha de transições de uso da terra entre o ano de 2007 e 2010. A categoria com maior número de transições foi de floresta (130,00 ha), com aproximadamente 46% do total de transições, seguida de campo e agricultura. As transições de floresta para agricultura foram uma das mais significativas com 62,57 ha, seguido de floresta para campo (38,93 ha) e floresta para área urbana (26,99 ha).

A classe campo foi a segunda categoria com maior alteração, apresentando um total de 112,42 ha, no qual as transições de campo-agricultura e campo-reflorestamento foram as mais representativas, com 82,49 ha e 16,88 ha, respectivamente. A agricultura foi a terceira classe com maior quantidade de transições, totalizando 18,90 ha, sendo que de agricultura-área urbana foi onde ocorreu a maior transição (12,98 ha).

Na Tabela 10 e Figura 23 encontram-se as transições ocorridas no período de 2010 a 2013 na Bacia Hidrográfica do Rio Una.

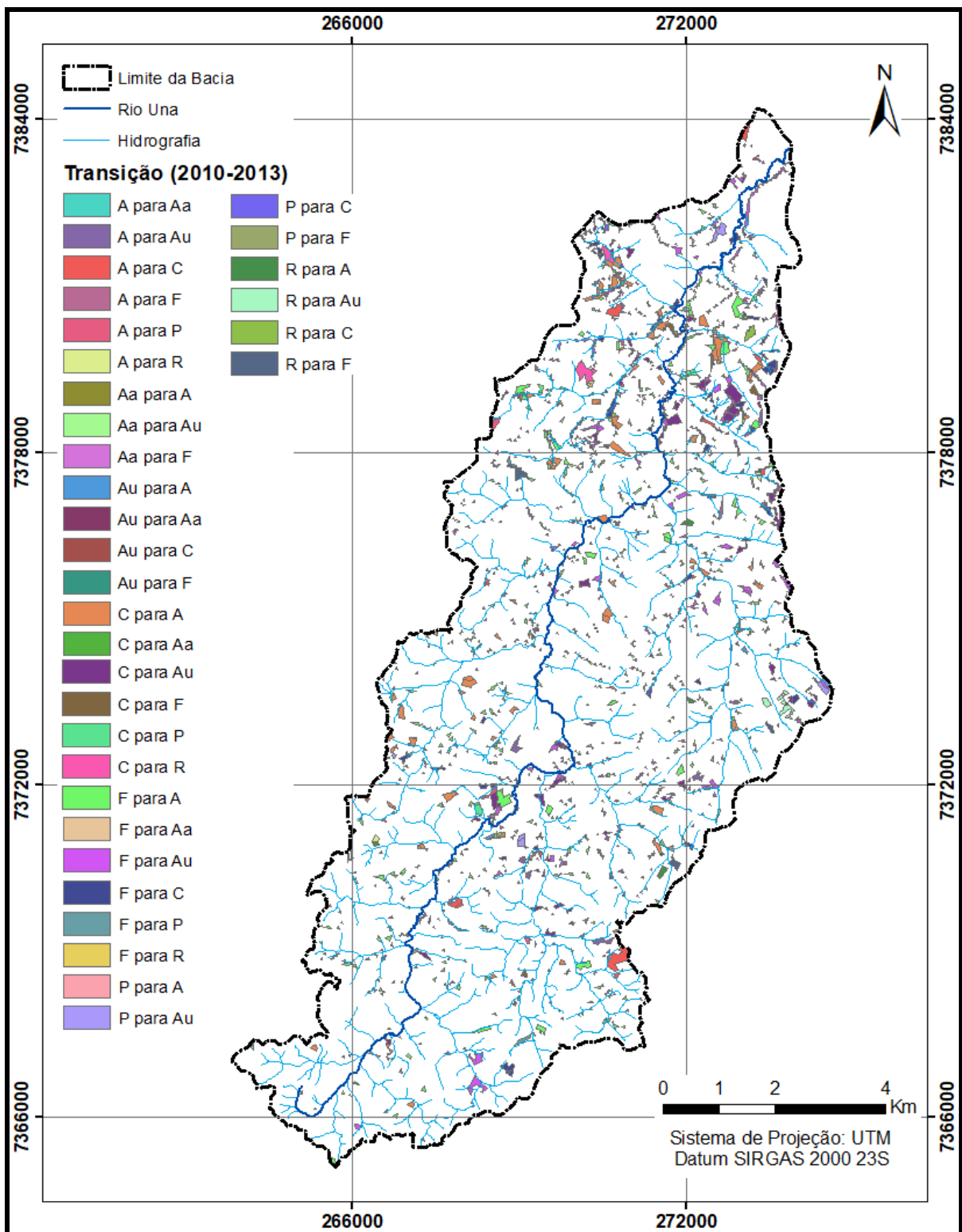
Tabela 10 - Matriz de transição para as categorias de uso da terra no período de 2010 a 2013 (ha) da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

Área (ha)	Uso da terra em 2013									Transição 2010-2013
		C	F	Au	A	Aa	P	R	Total 2010	
Uso da terra em 2010	C	513,89	6,45	75,76	61,47	0,15	3,63	11,92	673,27	159,38
	F	48,24	3.913,64	89,00	63,01	0,49	6,52	1,60	4.122,50	208,86
	Au	1,21	0,91	1.155,03	2,82	0,06			1.160,03	5,00
	A	24,39	8,57	19,47	3.256,12	0,24	3,62	3,33	3.315,74	59,62
	Aa		0,40	0,43	0,52	80,42			81,77	1,35
	P	0,96	0,45	10,97	0,24		79,58		92,20	12,62
	R	3,42	7,66	5,79	5,49			174,9	197,26	22,36
	Total 2013	592,11	3.938,08	1.356,45	3.389,67	81,36	93,35	191,75	9.642,77	Total de transição 469,19

Fonte: Modelo da matriz adaptado da CETESB (2012).

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento. As células da tabela preenchidas em cinza indicam as transições improváveis de acontecer no período analisado, as células em verde foram as áreas em que houveram permanência no período analisado e as não coloridas são as transições que ocorreram. As linhas representam o ano 2010 e as colunas o ano 2013.

Figura 23 - Transições entre o período de 2010 e 2013 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reforestamento.

Verificou-se que ao total ocorreram 469,19 ha de transições no período. Com maior destaque para a categoria floresta com 208,86 ha, sendo que a sua maior transição foi de floresta para área urbana, 89,00 ha, seguido para agricultura, com 63,01 ha. O campo apresentou a segunda maior mudança, 159,38 ha, destacando-se a transição de campo-área urbana, com 75,76 ha e campo-agricultura (61,47 ha). Agricultura foi a terceira categoria com as maiores mudanças, totalizando 59,62 ha, com destaque para conversão em campo, 24,39 ha, seguido para área urbana, 19,47 ha.

Na Tabela 11 e Figura 24 encontram-se as transições ocorridas no período de 2013 a 2016 na Bacia Hidrográfica do Rio Una.

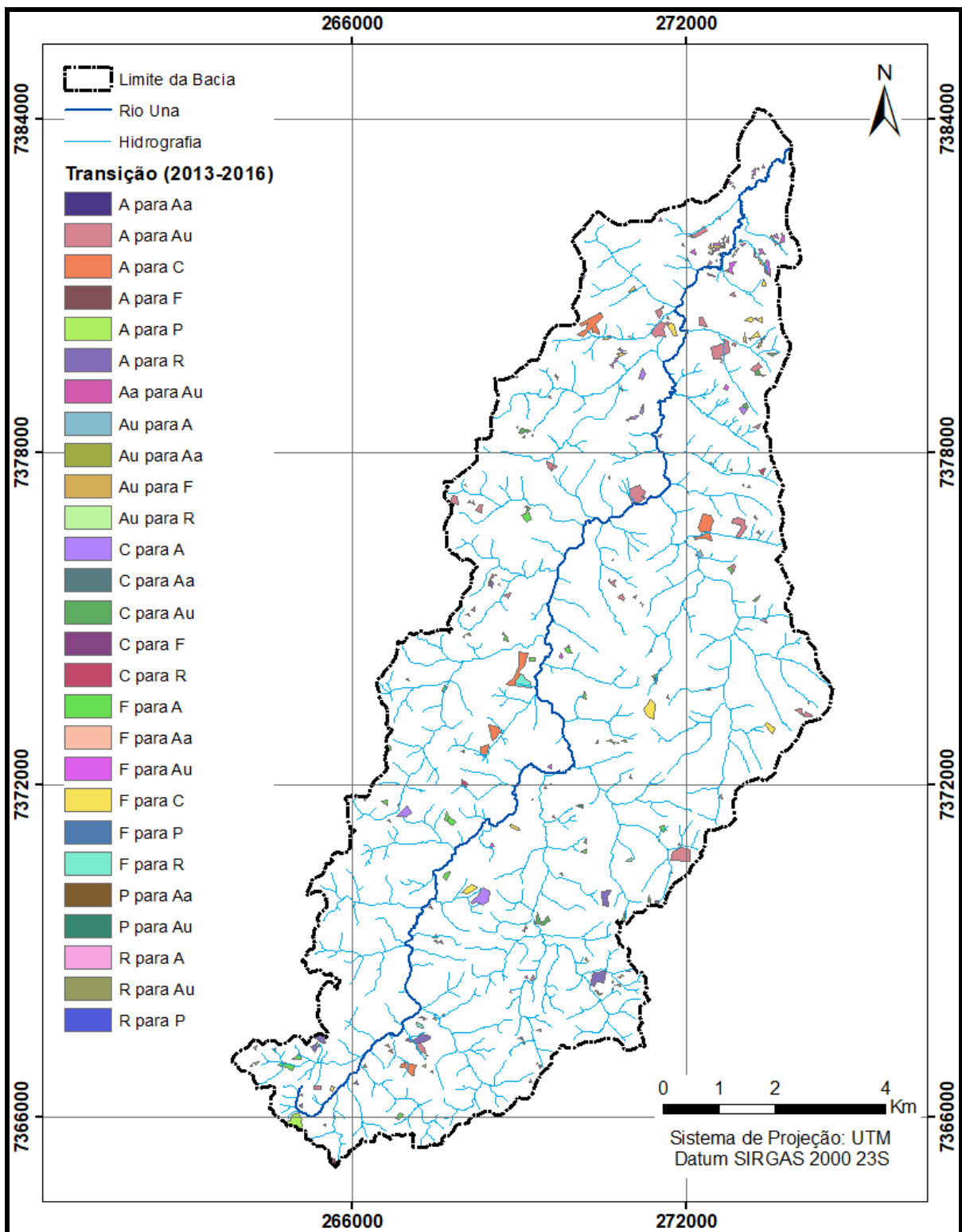
Tabela 11 - Matriz de transição para as categorias de uso da terra no período de 2013 a 2016 (ha) da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP

Área (ha)	Uso da terra em 2016									
		C	F	Au	A	Aa	P	R	Total 2013	Transição 2013-2016
Uso da terra em 2013	C	531,91	0,06	5,54	52,46	0,18		1,96	592,11	60,20
	F	41,24	3.824,55	25,66	40,41	0,39	0,66	5,17	3.938,08	113,53
	Au		2,91	1.352,04	1,00	0,46		0,04	1.356,45	4,41
	A	25,52	0,67	14,02	3.338,73	0,37	4,28	6,08	3.389,67	50,94
	Aa			1,98		79,38			81,36	1,98
	P			0,66		0,06	92,63		93,35	0,72
	R			0,24	0,84		0,18	190,49	191,75	1,26
Total 2016	598,67	3.828,19	1.400,14	3.433,44	80,84	97,75	203,74	9.642,77	Total de transição 233,04	

Fonte: Modelo da matriz adaptado da CETESB (2012).

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento. As células da tabela preenchidas em cinza indicam as transições improváveis de acontecer no período analisado, as células em verde foram as áreas em que houveram permanência no período analisado e as não coloridas são as transições que ocorreram. As linhas representam o ano 2013 e as colunas o ano 2016.

Figura 24 - Transições entre o período de 2013 e 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento.



Em relação às transições ocorridas, houve um total de 233,04 ha, que ao se comparar com os anos anteriores, verificou-se que foi neste período onde aconteceu a menor quantidade de transições. A categoria com as principais mudanças continuou sendo a floresta, totalizando 113,53 ha, com uma maior evidência da transição de floresta-campo (41,24 ha) e floresta-agricultura (40,41ha).

O campo foi a segunda classe com maior mudança, apresentando um total de 60,20 ha de transições. As mudanças de campo para agricultura foram as predominantes (52,46 ha), seguidas de campo para área urbana (5,54 ha). Assim como nos períodos anteriores a categoria agricultura foi a terceira maior em número de transições.

Ao se comparar as matrizes de transições notou-se que a floresta convertida para as demais categorias apresentou uma posição de destaque na conversão para áreas antropizadas. A maior quantidade desse tipo de mudança ocorreu do ano de 2010 para 2013, com 208,86 ha.

A maior conversão da categoria floresta em quase todos os períodos estudados, é um fator preocupante, sobretudo quando se considera a quantidade de florestas que foram suprimidas e as consequências que acarretam para o meio ambiente, principalmente por deixar de prestar um dos serviços ecossistêmicos mais importantes, que é o sequestro ou estocagem de CO<sub>2</sub>, já que este em excesso contribui para intensificação do efeito estufa (RIBEIRO et al., 2009).

Segundo Baird e Cann (2011), uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> é emitida para atmosfera quando as florestas são derrubadas, principalmente para suprir a demanda da agricultura. O desmatamento é responsável por cerca de um quarto das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de atividades antropogênicas e o restante é originado das queimadas.

Na Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11 constatou-se que o processo de urbanização tem aumentado ao longo do tempo, embora as áreas agrícolas sejam mais proeminentes. Bacias em processo de urbanização se tornam vulneráveis à rápidas transformações e modificações em suas condições naturais, o que influencia principalmente na qualidade da sua paisagem, as expõem a degradação ambiental, contribui para a ocupação irregular e um planejamento inadequado na gestão da urbanização (GUIMARÃES; PENHA, 2009).

Segundo Campana e Tucci (2001) uma das maiores barreiras a serem enfrentadas pelos governantes consiste em prever os danos resultantes de um processo inadequado de ocupação, que para Zanella (2011) isto acentua as características físicas desfavoráveis da paisagem devido as mudanças ambientais constantes. Hora e Gomes (2009) destacam entre as principais consequências dessa ocupação desordenada, as inundações, que afetam a população no âmbito social e econômico.

#### 4.7 Estimativas das emissões líquidas de CO<sub>2</sub>

Na Tabela 12 e Figura 25 encontram-se as estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub>, ocorridas no período de 2007 a 2010. Na Figura 26 observa-se para o mesmo período o fluxo de CO<sub>2</sub> na Bacia Hidrográfica do Rio Una.

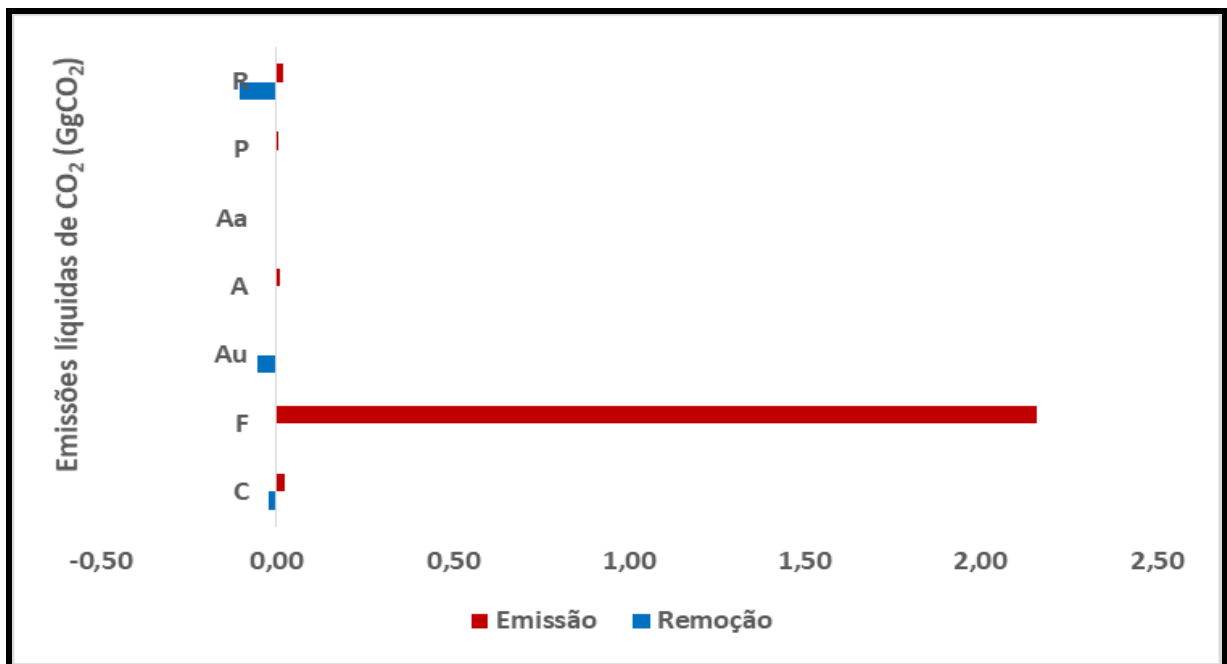
Tabela 12 – Matriz das Estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub> (GgCO<sub>2</sub>) no período de 2007 a 2010 da Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna, SP

GgCO <sub>2</sub>	Uso da terra em 2010								Emissão/ Remoção
		C	F	Au	A	Aa	P	R	
Uso da terra em 2007	C		-0,0021	0,0025	0,0190	0,0001	-0,0002	-0,0194	0,0001
	F	0,8383		0,4632	0,8100		0,0471		2,1586
	Au	-0,0004	-0,0516		-0,0015				-0,0535
	A	0,0012	-0,0004	0,0104			-0,0001		0,0111
	Aa		-0,0006		-0,0001				-0,0007
	P	0,0020		0,0017					0,0037
	R	0,0039	-0,1030	0,0073	0,0060				-0,0858
	<b>Total = 2,0335</b>								

Fonte: Modelo da matriz adaptado da CETESB (2012).

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento.

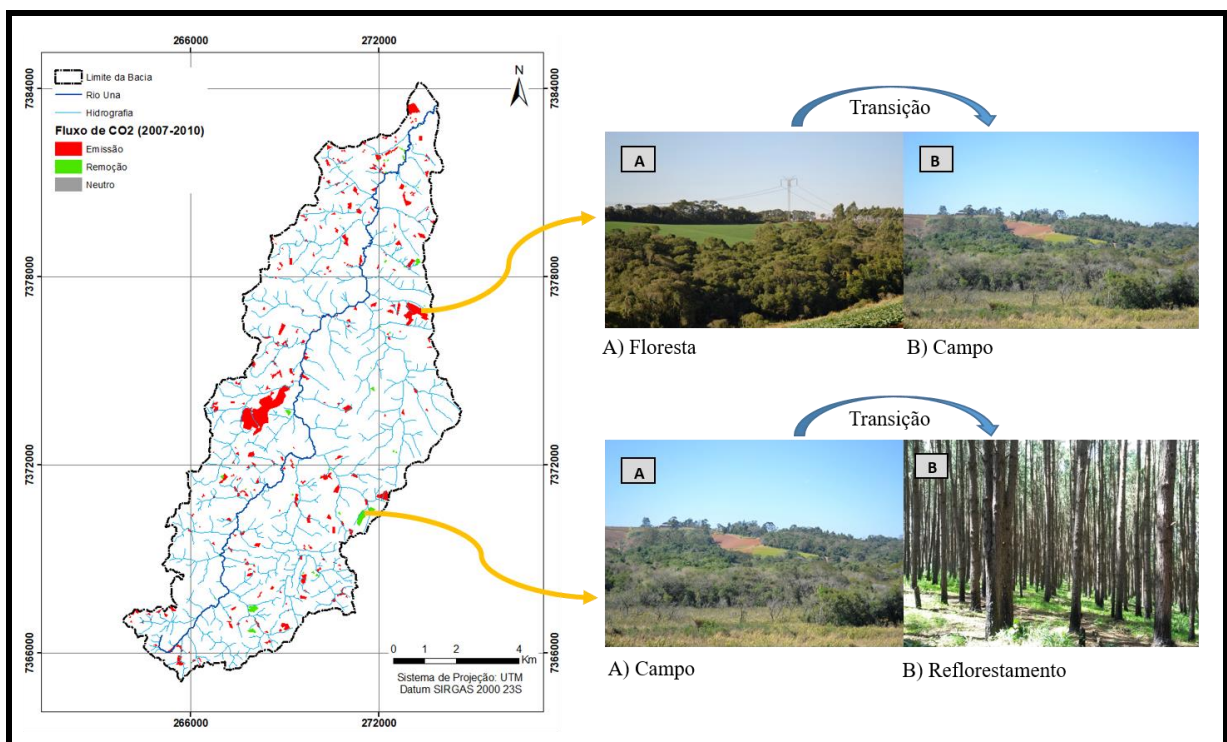
Figura 25 - Estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub>, em GgCO<sub>2</sub>, para cada categoria no período de 2007 a 2010 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento.

Figura 26 - Fluxo de CO<sub>2</sub> em função da mudança de uso da terra no período de 2007 a 2010 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 12 e Figura 25 nota-se que as emissões líquidas no período de 2007 a 2010 totalizaram 2,0335 GgCO<sub>2</sub>. Esse valor implica que a emissão foi maior que remoção de CO<sub>2</sub> na bacia. A mudança de uso da terra que mais contribuiu para emissões de CO<sub>2</sub> nesse período foi a transição de floresta para campo, seguido para agricultura e para área urbana, com 0,8383, 0,8100, 0,4632 GgCO<sub>2</sub>, respectivamente. A menor emissão foi observada na mudança de campo para área alagada (0,0001 GgCO<sub>2</sub>).

Uma maior emissão de CO<sub>2</sub> devida a conversão de floresta para outras categorias se justifica pelo fato que as florestas apresentam grande quantidade de carbono em sua biomassa, logo quando há supressão dessa vegetação para atender a demanda de outras categorias, a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido vai ser superior a capacidade de novos usos em sequestrar carbono.

Arora e Boer (2010), mostraram em seus estudos que áreas de agricultura sequestram menos carbono do que as florestas. Partindo dessa perspectiva é fácil entender porque a conversão floresta-agricultura é uma desvantagem ambiental. Para Don et al. (2011) e Kim e Kirschbaum (2015), a supressão da floresta provoca uma perda de carbono rapidamente, principalmente se a biomassa for queimada, fazendo com que haja um aumento de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Uma das maiores remoções de CO<sub>2</sub> está relacionada com a transição de reflorestamento para floresta (-0,1030 GgCO<sub>2</sub>) e de área urbana para floresta (-0,0516 GgCO<sub>2</sub>). Já a menor estimativa foi constatada na mudança de área alagada para agricultura e de agricultura para pastagem, ambas com o mesmo valor de -0,0001 GgCO<sub>2</sub>.

O fluxo de CO<sub>2</sub> nesse período se destacou pelas emissões, que foram superiores a quantidade de remoções (Figura 25).

Na Tabela 13 e Figura 27 encontram-se as estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub>, ocorridas no período de 2010 a 2013. Na Figura 28 observa-se para o mesmo período o fluxo de CO<sub>2</sub> na Bacia Hidrográfica do Rio Una.

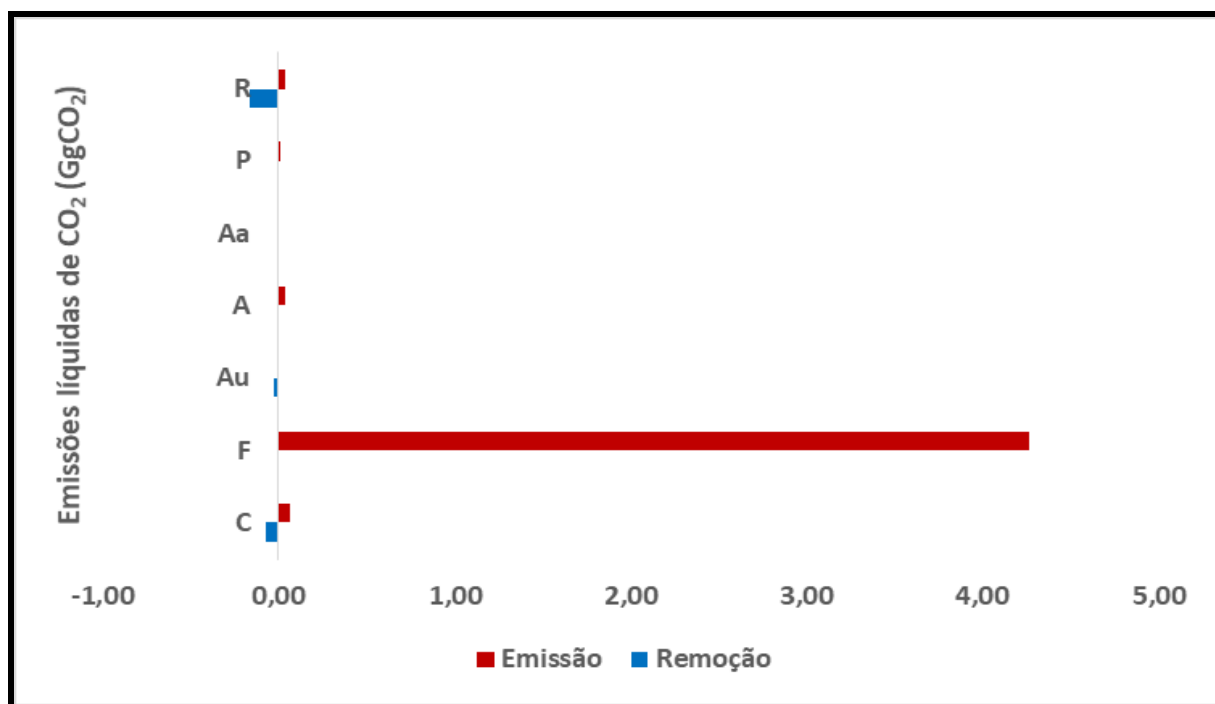
Tabela 13 - Matriz das Estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub> (GgCO<sub>2</sub>) no período de 2010 a 2013 da Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna, SP

GgCO <sub>2</sub>	Uso da terra em 2013								Emissão/ Remoção
		C	F	Au	A	Aa	P	R	
Uso da terra em 2010	C		-0,0562	0,0535	0,0143	0,0011	-0,0044	-0,0115	-0,0032
	F	1,2452		2,0147	0,8223	0,0086	0,1698	0,0022	4,2628
	Au	-0,0015	-0,0186		-0,0048				-0,0249
	A	0,0191	-0,0034	0,0184		0,0010	-0,0005	-0,0034	0,0312
	Aa		-0,0038		-0,0013				-0,0051
	P	0,0009	-0,0007	0,0087	0,0001				0,0090
	R	0,0058	-0,1670	0,0126	0,0210				-0,1276
	Total = 4,1422								

Fonte: Modelo da matriz adaptado da CETESB (2012).

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento.

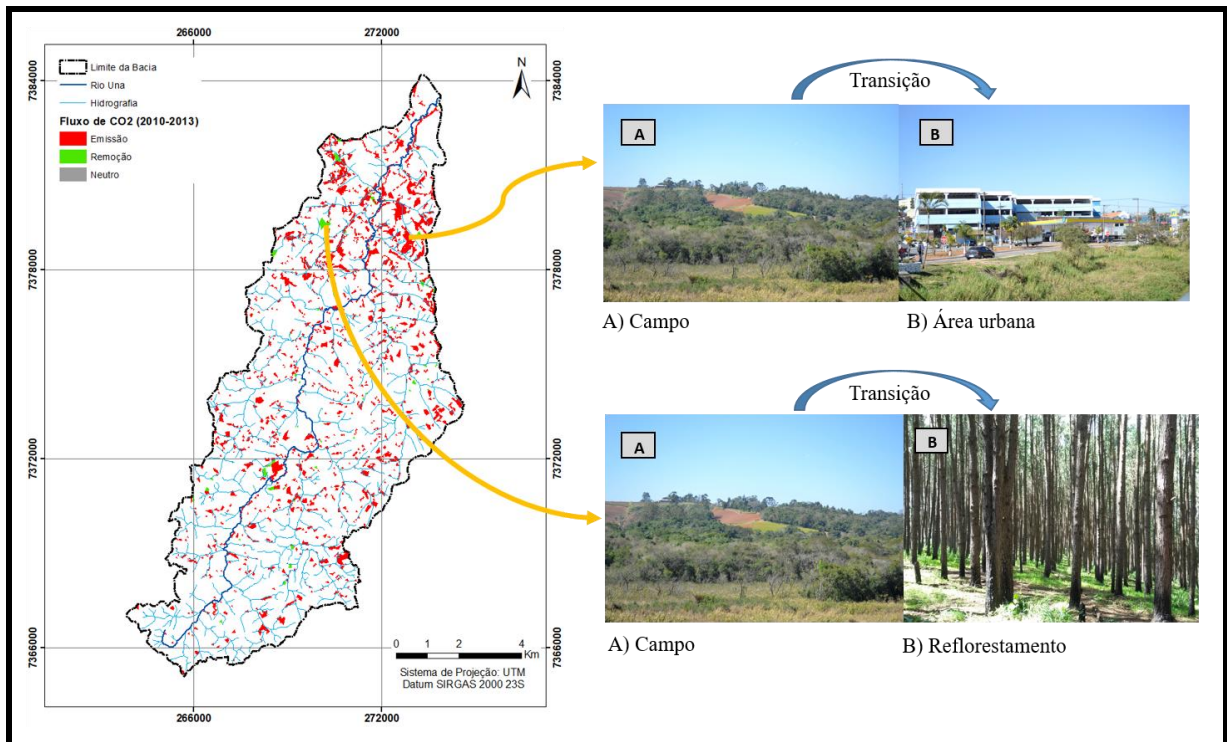
Figura 27 - Estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub>, em GgCO<sub>2</sub>, para cada categoria no período de 2010 a 2013 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reforestamento.

Figura 28 - Fluxo de CO<sub>2</sub> em função da mudança de uso da terra no período de 2010 a 2013 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 13 e Figura 27 observa-se que ocorreu um total de 4,1422 GgCO<sub>2</sub> de emissões líquidas. As mudanças de floresta para área urbana, campo e agricultura foram as que mais contribuíram para emissões, com 2,0147, 1,2452 e 0,8223 GgCO<sub>2</sub>, respectivamente. Entre as conversões com menos emissões está a pastagem-agricultura, com o valor de 0,0001 GgCO<sub>2</sub>.

A maior remoção foi verificada na transição de reflorestamento para floresta (-0,1670 GgCO<sub>2</sub>) e campo para floresta (-0,0562 GgCO<sub>2</sub>). Já a menor remoção foi observada na mudança de agricultura para pastagem (-0,0005 GgCO<sub>2</sub>).

Na Figura 28 verificou-se um fluxo de CO<sub>2</sub> maior que no período de 2007 a 2010. Na região mais ao norte da bacia foi onde ocorreu o maior fluxo de emissão e remoção desse gás. Individualmente as maiores contribuições para emissões de CO<sub>2</sub> foram as mudanças de floresta, totalizando 4,2628 GgCO<sub>2</sub>, e em relação as remoções foram as conversões de reflorestamento (-0,1276 GgCO<sub>2</sub>).

Na Tabela 14 e Figura 29 encontram-se as estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub>, ocorridas no período de 2013 a 2016. Na Figura 30 observa-se para o mesmo período o fluxo de CO<sub>2</sub> na Bacia Hidrográfica do Rio Una.

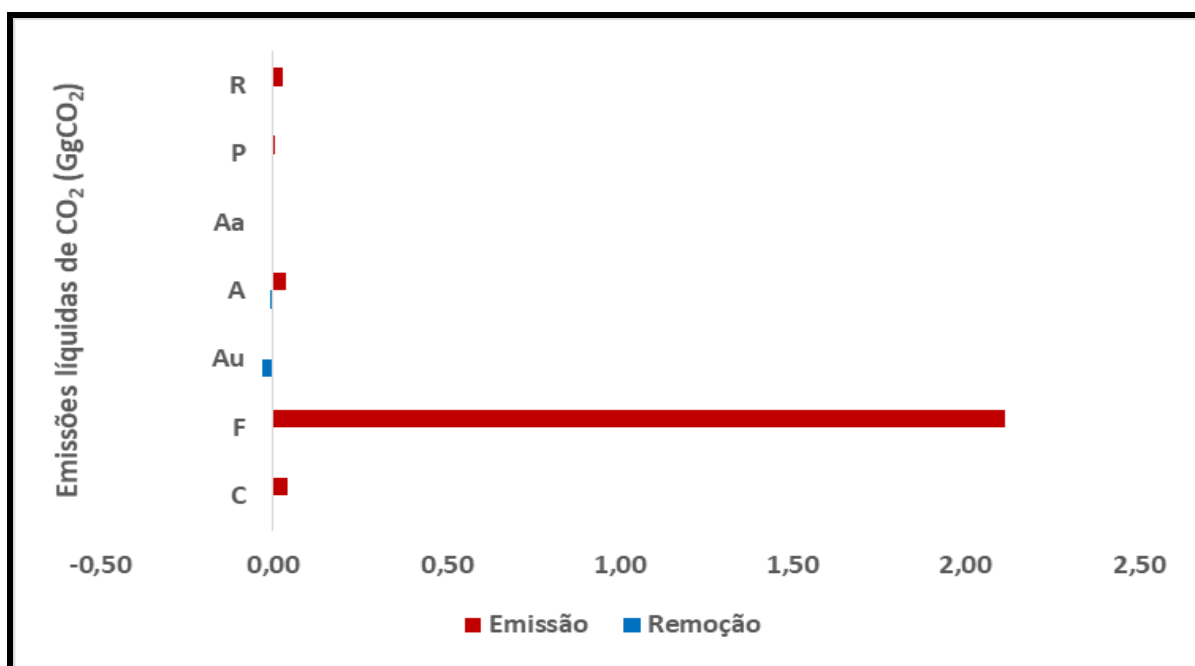
Tabela 14 - Matriz das Estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub> (GgCO<sub>2</sub>) no período de 2013 a 2016 da Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna, SP

GgCO <sub>2</sub>	Uso da terra em 2016								Emissão/ Remoção
	C	F	Au	A	Aa	P	R		
Uso da terra em 2013	C		-0,0003	0,0120	0,0110	0,0180		-0,0004	0,0403
	F	1,1130		0,4066	0,5470	0,0046	0,0296	0,0145	2,1153
	Au		-0,0316		-0,0011			-0,0003	-0,0330
	A	0,0202	-0,0005	0,0139		0,0016	-0,0005	-0,0098	0,0249
	Aa								0,0000
	P			0,0008		0,0007			0,0015
	R			0,0060	0,0030		0,0189		0,0279
	<b>Total = 2,1769</b>								

Fonte: Modelo da matriz adaptado da CETESB (2012).

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento.

Figura 29 - Estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub>, em GgCO<sub>2</sub>, para cada categoria no período de 2013 a 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.

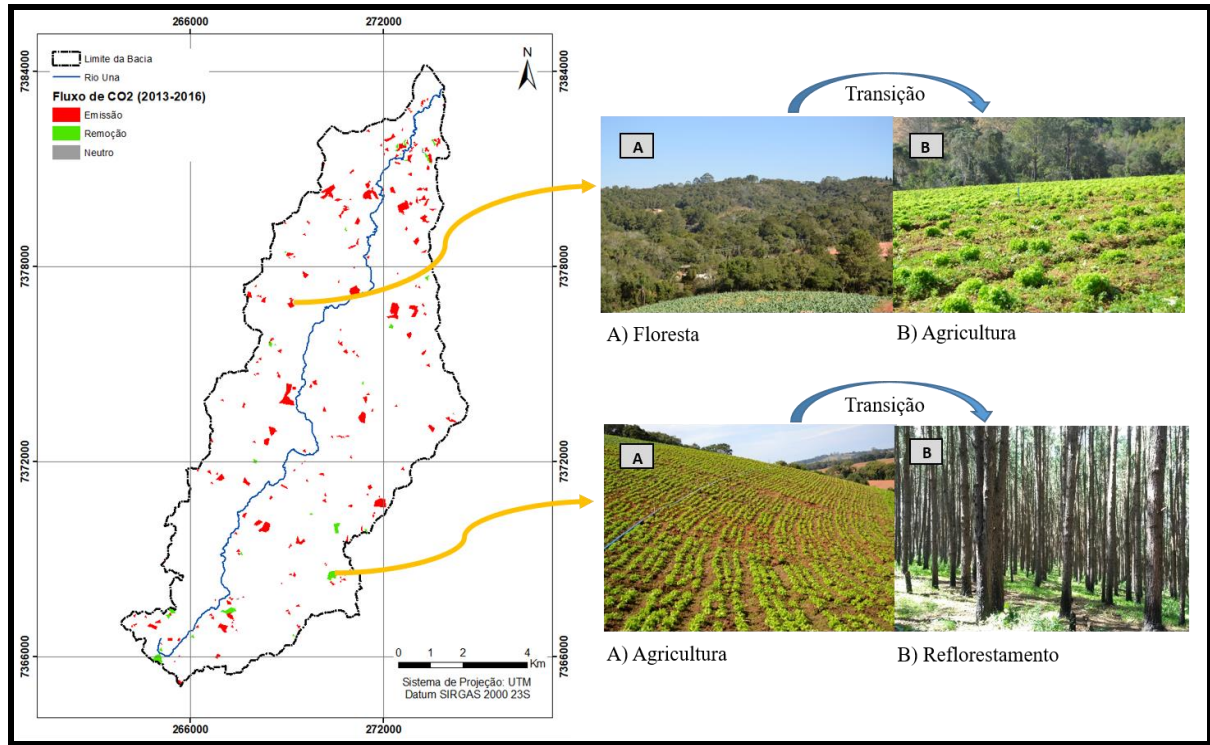




Fonte: Autoria própria.

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento.

Figura 30 - Fluxo de CO<sub>2</sub> em função da mudança de uso da terra no período de 2013 a 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Apresenta-se na Tabela 14 e Figura 29 um total de 2,1769 GgCO<sub>2</sub> emissões líquidas. A maior estimativa de emissão foi verificada na transição de floresta para campo (1,1130 GgCO<sub>2</sub>), seguido de floresta para agricultura (0,5470 GgCO<sub>2</sub>), floresta para área urbana (0,4066 GgCO<sub>2</sub>). A menor estimativa de emissões verificou-se na mudança de pastagem para área alagada (0,0007 GgCO<sub>2</sub>).

As maiores remoções de CO<sub>2</sub> na bacia durante este período foram observadas na transição de área urbana para floresta (-0,0316 GgCO<sub>2</sub>), este tipo de transição só foi possível do ponto de vista ambiental porque a categoria área urbana neste estudo englobou diversos usos, entre eles, solo exposto, o que possibilita a realização de atividade de restauração florestal. Outra transição que contribuiu para remoção foi a de agricultura-reflorestamento (-0,0098 GgCO<sub>2</sub>). Já a menor remoção ocorreu na mudança de campo para floresta e área urbana para reflorestamento, ambas com o mesmo valor, -0,0003 GgCO<sub>2</sub>.



Ao se comparar as Figuras 26, 28 e 30 observou-se que o fluxo de CO<sub>2</sub> do ano de 2010-2013 em função da mudança de uso da terra foi mais visível. Também foi neste período que se constatou a maior estimativa de emissões de CO<sub>2</sub> (4,1422 GgCO<sub>2</sub>). Apesar de todos as categorias apresentarem algum tipo de transição que emitisse esse gás, as conversões que mais contribuíram para emissões de CO<sub>2</sub> foram as florestas.

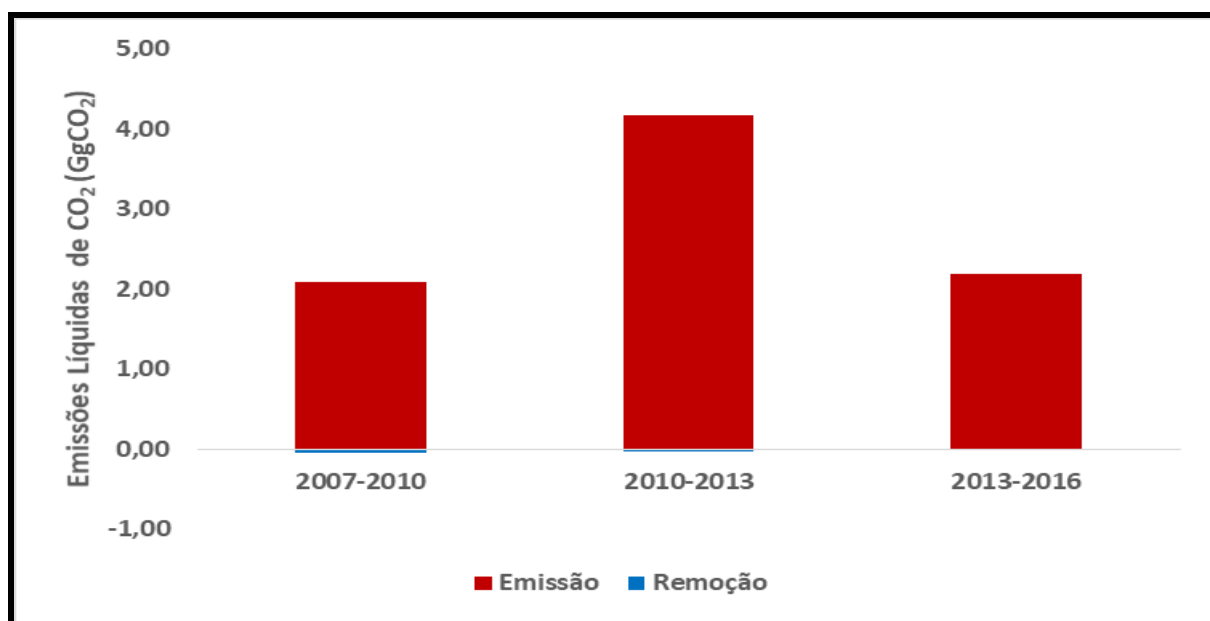
Analisando as emissões de CO<sub>2</sub> nos três períodos observou-se que os resultados estão coerentes com os relatados na literatura. Kim e Kirschbaum (2015), mostraram em seu estudo que as conversões de floresta-agricultura e floresta-pastagem, assim como de pastagem para agricultura emitiram CO<sub>2</sub>. Sendo que houve remoção desse gás na mudança de pastagem-floresta, agricultura-pastagem e agricultura-floresta.

De modo geral os valores estimados de emissões líquidas estão condizentes com o que se esperava obter em uma bacia hidrográfica, uma vez que em função do seu tamanho essas emissões não poderiam ser comparadas a nível de Estado ou país, já que possivelmente a quantidade de mudança de uso da terra nestes locais seriam muito maiores.

A exemplo, no inventário da CETESB (2012) para o estado de São Paulo, o valor de emissão devido a conversão de agricultura para área urbana considerando os seus três períodos estudados (1994-2002, 2002-2005 e 2005-2008) foi entorno de 444,26 GgCO<sub>2</sub>, muito superior ao obtido na bacia, que apresentou uma média aproximada de 0,0142 GgCO<sub>2</sub>.

A Figura 31 apresenta-se as estimativas de emissões ou remoções de CO<sub>2</sub> (GgCO<sub>2</sub>) em função da mudança de uso da terra para todos os períodos analisados na bacia.

Figura 31 - Emissões líquidas de CO<sub>2</sub>, em GgCO<sub>2</sub>, nos períodos de 2007 a 2010, 2010 a 2013 e 2013 a 2016 da Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Ao se comparar o total de emissões líquidas de CO<sub>2</sub> nos três períodos estudados (Tabela 12, 13 e 14 e a Figura 31), notou-se que o período com as maiores estimativas líquidas CO<sub>2</sub> foi de 2010 a 2013, seguido de 2013 a 2016 e de 2007 a 2010.

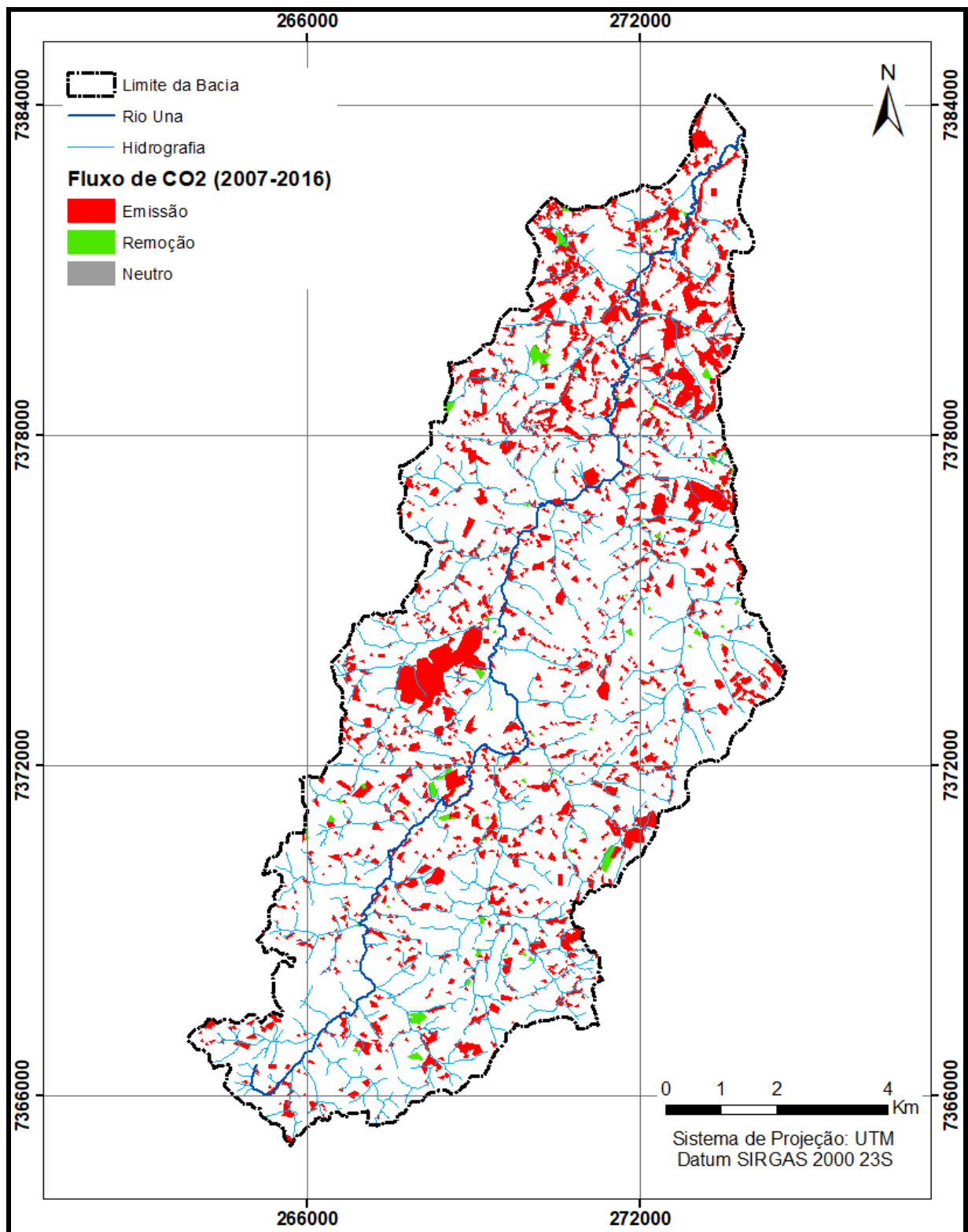
Entre 2010-2013 as estimativas de emissões foi o dobro do período de 2007-2010 e um pouco menos que o dobro dos anos de 2013 a 2016. A quantidade de emissões de 2010-2013 pode ser justificada pela quantidade de transições que ocorreram, principalmente devido as mudanças de áreas de floresta para outras categorias, porém também foi a época em que houve menos remoção CO<sub>2</sub>.

Observa-se que o período de 2013-2016 apresentou uma estimativa de emissões inferior a 2010-2013, o que pode ter ocorrido uma redução da supressão da vegetação, mas que não foi acompanhado de práticas de incentivo a recuperação da mata nativa, uma vez que neste último período ocorreu a menor remoção de CO<sub>2</sub> em comparação aos anos anteriores. Além disso, existe uma tendência de emissões na bacia, já que a floresta é constantemente suprimida, como constatado pelo decréscimo da vegetação nos últimos nove anos (Tabela 6 Figura18).

Em todos os anos analisados notou-se que, com exceção da área alagada, as conversões de áreas urbanas para outras categorias foram as únicas que contribuíram apenas para a remoção de CO<sub>2</sub>, o que pode ser justificado pelo fato de que as categorias para quais foram convertidas são as que mais contribuem para remoção, tais como, para floresta, reflorestamento, campo e agricultura. Mas isto não significou um ganho ambiental, já que a quantidade remoções foram insignificantes em relação as emissões, principalmente porque o estudo mostra uma tendência do aumento dos usos antrópicos na bacia, com crescimento do desmatamento, da agricultura e da urbanização.

Na Figura 32 nota-se o fluxo de CO<sub>2</sub> em função da mudança de uso da terra que ocorreu nos últimos 9 anos na bacia.

Figura 32 - Fluxo de CO<sub>2</sub> em função da mudança de uso da terra no período de 2007 a 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Una, Ibiúna, SP.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 29 verificou-se o Fluxo de CO<sub>2</sub> ao longo da bacia ocorrido em nove anos, o que mostra com clareza o quanto essa bacia vem sofrendo com as intervenções antrópicas, principalmente na porção central e ao norte da bacia, onde se constataram a maioria das emissões, indicando a ocorrência de degradação ambiental neste local.

A tendência é que essas emissões aumentem se as áreas de florestas forem substituídas por novas ocupações, ou seja, a bacia estará sujeita ainda mais a perda da sua qualidade ambiental, comprometendo seus recursos hídricos, sua diversidade da fauna e da flora, como também afetando o bem-estar da população local.

Entre as medidas a serem realizadas com o intuito de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> estão, Projeto de Restauração de Áreas Degradadas (PRAD), Cadastro Ambiental Rural (CAR) e Plano de Controle Ambiental (PCA), que com o auxílio de ferramentas de geotecnologias (sensoriamento remoto e geoprocessamento) podem prever e remediar os impactos ocasionados pela mudança do uso da terra.

Outra medida eficaz seria o incentivo ao pequeno agricultor para adoção do sistema agrossilvipastoril, associando a prática da agricultura e criação de gado com a manutenção da floresta, assim a floresta continuaria fornecendo um ambiente adequado às práticas dessas atividades como também manteria os benefícios ao meio ambiente.

O uso da terra é considerado um fator importante quando se trata das políticas relacionadas às mudanças climáticas, por isso Rose et al. (2012), relatam que as mudanças nas práticas e nas tecnologias adotadas no uso da terra podem reduzir os GEE's e a longo prazo podem ser uma importante estratégia de mitigação e com baixo custo. Were et al. (2013), recomendam a implantação de medidas ambientais sustentáveis que associem restauração com a conservação dos recursos naturais, aliado a uma prática de agricultura menos degradante.

## 5 CONCLUSÕES

Verificou-se o aumento das mudanças de uso da terra sobre a vegetação natural, onde as florestas foram reduzidas em 4,30%, principalmente em função do aumento da agricultura e da área urbana. O campo e a área alagada também diminuíram em 1,48% e 0,01%, respectivamente. A pastagem apresentou um aumento de 0,06% e o reflorestamento de 0,14%.

A classe que apresentou as maiores transições nos períodos estudados foi a floresta, revelando a perda da biodiversidade, da manutenção da qualidade dos recursos hídricos e por deixar de prestar uma das funções essenciais como a de sequestrar carbono.

A vegetação pretérita da bacia, juntamente com o mapeamento pedológico e a análise das texturas do solo permitiu definir os valores de estoque de carbono no solo resultante dessa associação, solo-vegetação. Esta foi uma etapa importante para os cálculos das estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub> na bacia.

Em todos os períodos analisados verificou-se emissões líquidas de CO<sub>2</sub> para atmosfera. O período com maior emissão foi de 2010 para 2013, como um total de 4,1422 GgCO<sub>2</sub>.

Foi notória a maior contribuição de emissões de CO<sub>2</sub> em função da supressão da vegetação para atender a demanda da agricultura e expansão da urbanização.

As estimativas de emissões foi superior as remoções de CO<sub>2</sub> na bacia, sendo que as áreas que apresentaram remoção não implicaram em um ganho ambiental, já que a quantidade de florestas suprimidas continuou sendo alta, o que significa uma perda de valor inestimável para a qualidade ambiental.

Este estudo contribuiu para identificar as intervenções antrópicas e principalmente a quantidade de áreas de florestas que são desmatadas por ano na Bacia Hidrográfica do Rio Una.

Iniciativas como restauração florestal, projetos de conservação dos ecossistemas naturais, incentivos à prática pelo pequeno produtor de sistema agrossilvipastoril, aliado ao monitoramento das mudanças de uso da terra, devem ser consideradas.

O processo metodológico apresentado no estudo é capaz de servir como um delineamento técnico-metodológico, com etapas claras e fundamentadas, visando obter as estimativas de emissões líquidas de CO<sub>2</sub> provenientes das mudanças de uso da terra.

## 6 REFERÊNCIAS

- A R O R A, V.K.; B O E R, G. J. Uncertainties in the 20th century carbon budget associated with land use change. **Global Change Biology**, v. 16, 3327–3348, 2010.
- AGUIAR, L. V.; FORTES, J. D. N.; MARTINS, E. Neutralização compensatória de carbono-estudo de caso: indústria do setor metal mecânico, Rio de Janeiro (RJ). **Eng. Sanit. Ambient**, v. 21, n. 1, p. 197-205, 2016.
- AMARAL, D. D.; CORDEIRO, L. A. M.; GALERANI, P. R. Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura–PLANO ABC (Sectoral Plan for Mitigation and Adaptation to Climate Change for a Consolidation Economy Low Carbon...). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1266-1274, 2012.
- ANGEOTTI, F. Mudanças Climáticas e Problemas Fitossanitários. In: LIMA, R. C. C.; BARRETO, A. M. C.; PEREZ-MARIN, A. M. **Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p. 147-160.
- AQUINO, C. M. S. ; ALMEIDA, J. A. P. ; OLIVEIRA, J. G. B. Estudo da cobertura vegetal/uso da terra nos anos de 1987 e 2007 no núcleo de degradação/desertificação de São Raimundo Nonato-Piauí. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 25, p. 252-278, 2012.
- ARAÚJO, E. D. S.; SILVA, J. B.; MACHADO, C. C. C. Identificação de Ilhas de Calor na Cidade de Campina Grande-PB utilizando Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 2, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT); BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). **Guia Metodológico para a Realização de Inventários em Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 30p.
- BAEDE, A. P. M.; AHLONSOU, E.; DING, Y.; SCHIMEL, D. **Em Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge University Press: Cambridge, 2001, chap.1.
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman. 2011, 844p.
- BARROS, K. O. et al. Análise temporal das classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vieira, Montes Claros, Minas Gerais. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 2, p. 43-54, 2013.
- BAUMERT, K. A. et al. **Navigating the Numbers: greenhouse gas data and international climate policy**. World Resources Institute. 2005. Disponível em: <[http://pdf.wri.org/navigating\\_numbers.pdf](http://pdf.wri.org/navigating_numbers.pdf)>. Acesso em: 24 abr. 2016.
- BERNUOX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Sci. Soc**, v. 66, p. 888-896, 2002.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305p.

BRASIL. **Emissões e remoções de Dióxido de Carbono pelos Solos por Mudanças de Uso da Terra e Calagem**. Relatório de Referência: Uso da Terra, Mudança de uso da Terra e Floresta. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília: MCT, 2006. 50p.

BRASIL. Lei n. 12,187, de 29 de dezembro de 2009. Política Nacional sobre Mudança do Clima. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2009. 109p.

BRASIL. Decreto n. 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os arts, 6º, 11 e 12 da Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2010. 4p.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. 7. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 789 p.

CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Diluvio basin. **Urban Water**, Porto Alegre. v. 3, p. 113-124, 2001.

CAMPOS, M. et al, Geoprocessamento Aplicado no Conflito do Uso da terra em Áreas de Preservação Permanente na Microbacia do Córrego Três Barras Botucatu (SP). **Energia na Agricultura**, v. 30, n. 4, p. 378-382, 2015.

CARIAS, L. C. Comentario de las Cumbres de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático. **Revista de Derecho**, v. 35, p. 5-25, 2015.

CARVALHO, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010.

CASAGRANDE, A.; SILVA JUNIOR, P.; MENDONÇA, F. Mudanças climáticas e aquecimento global: controvérsias, incertezas e a divulgação científica. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 8, p. 30-44, 2011.

CASTILLEJO-GONZÁLEZ, I, L. et al. Object-and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using QuickBird imagery. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 68, n. 2, p. 207-215, 2009.

CLARK LABS. **Idrisi Selva**. Worcester: Clark Labs, Clark University. 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Primeiro Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo - Emissões do setor de uso da terra, mudanças de uso da terra e florestas**: relatório de referência. São Paulo: FUNCATE, CETESB, 2012. 120p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Primeiro Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo**. Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – Pro clima. 2. ed. São Paulo: CETESB, 2011. 192p.

CRUZ, A. A.; FERNANDES, E. A. Relação PIB e meio ambiente: abordagem da pegada ecológica. **Redes**, v. 18, n. 1, p. 88-107, 2013.

DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE. DIVISÃO DE ESTUDOS E PLANEJAMENTO (ELETROBRAS). **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa provenientes de Usinas Termelétricas (fontes fixas) de 2003 a 2008**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2009. 44p.

DON, A., SCHUMACHER, J., FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. **Glob. Change Biol.** v. 17, 1658–1670, 2011.

ECKHARDT, R. R.; SILVEIRA, C. REMPEL, C. Evolução Temporal do Uso e Cobertura da Terra no Município de Bom Retiro do Sul - RS – Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 47, p. 150–161, 2013.

ECONOMIC AND SOCIAL RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS 10.3**. 2014.

EMISSIONS DATABASE FOR GLOBAL ATMOSPHERIC RESEARCH (EDGAR). **CO<sub>2</sub> time series 1990-2014 per region/country**, 2015b, Disponível em: <<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=CO2ts1990-2014&sort=des9>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

EMISSIONS DATABASE FOR GLOBAL ATMOSPHERIC RESEARCH (EDGAR). **What's new?**. 2015a. Disponível em: <<http://edgar.jrc.ec.europa.eu/>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

ERASO, N. R.; PASCUAL, D. A.; ALUMBREROS, J. R. Land use and land cover change in the Colombian Andes: dynamics and future scenarios. **Journal of Land Use Science**, v. 8, n. 2, p. 154-174, 2013.

FERREIRA, C. W. S.; ARAÚJO, M. S. B. Influência do Uso da terra e da Drenagem no Transporte de Sedimentos para um Reservatório de Água no Semiárido de Pernambuco (Influence of Land Use and Drainage on Sediment Transport for a Water Reservoir in Pernambuco Semiarid). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 6, p. 1229-1243, 2015.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São paulo: Oficina de textos, 2008. 160p.

FLORIDES, G. A.; CHRISTODOULIDES, P. Global warming and carbon dioxide through sciences. **Environment international**, v. 35, n. 2, p. 390-401, 2009.

FRIEDMAN, L. **Scientists Fear Trump Will Dismiss Blunt Climate Report**. 2017. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2017/08/07/climate/climate-change-drastic-warming-trump.html?mcubz=0>>. Acesso em: 05 set. 2017.

FUJACO, M. A. G; LEITE, M. G. P. ; MESSIAS, M. C. T. Análise multitemporal das mudanças no uso e ocupação do Parque Estadual do Itacolomi (MG) através de técnicas de geoprocessamento. **R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 63, n. 4, p. 695-701, 2010.



GALZERANO, L. et al. Emissão de CO<sub>2</sub>, 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.

GAMBA, C.; RIBEIRO, W.C. A encruzilhada brasileira na ordem ambiental internacional das mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 27, n. 78, p. 177-194, 2013.

GODOY, S. G. M. Projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa: desempenho e custos de transação. **R. Adm.** São Paulo, v. 48, n. 2, 2013.

GODOY, S. G. M. Uma análise do mercado mundial de certificados de carbono. **Revista Cronos**, v. 10, n. 2, p. 77-99, 2009.

GONÇALVES, M. L. et al. Classificação não-supervisionada de imagens de sensores remotos utilizando redes neurais auto-organizáveis e métodos de agrupamentos hierárquicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 1, p. 17-29, 2008.

GREGGIO, T. C.; PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, F. M. Avaliação dos fragmentos florestais do município de Jaboticabal-SP. **Revista Árvore**, v. 33, n. 1, p. 117-124, 2009.

GUIMARÃES, N. A.; PENHA, J. W. Mapeamento das áreas de risco de inundação com a utilização do modelo digital de elevação hidrologicamente consistente: Estudo de caso em Muriaé-MG. **Revista Agrogeoambiental**, Inconfidentes, v. 1, n. 2, p. 46-52, 2009.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Boletim técnico 106** - Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas: IAC, 2009. 77p.

HORA, S. B; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 2, p. 57-75, 2009.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contagem da população, 2007**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem.pdf>>. Acessado em: 20/05/2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE cidades. 2017**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/sp/ibiuna/panorama>>. Acesso 10 out. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Ibiúna. 2010**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=351970>>. Acesso em: 14 abr. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamento**. 2. ed.

Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) & Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2012. 271p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p. Disponível em:<[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/manual\\_usodaterra.sh](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/manual_usodaterra.sh)>. Acesso em: 16 abr. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Vegetação do Brasil**. 2004. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 16 abr. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA), **Mudança do clima no Brasil : aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Brasília: IPEA. 2011, 440p.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON). **Análise das Emissões de GEE no Brasil (1990 - 2012) Mudanças de uso da Terra**, 2014. 19p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (IGC). **Carta topográfica**. Serviço Gráfico do IGC, 1979. Escala 1:10.000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), **Climate Change 2014: Synthesis Report**, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151pp. 2014b. Disponível em: < [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml) >. Acesso em: 28 jun. 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Synthesis Report**, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 2007. 104pp. Disponível em: < [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml) >. Acesso em: 25 jun. 2016.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**. Kamiyamaguchi: IGES, 2003. 590p.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. 2014a. Disponível em: < [http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-PartA\\_FINAL.pdf](http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf) >. Acesso em: 10 abr. 2016.

KAWAKUBO, F, S, **Metodologia de classificação de imagens multiespectrais aplicada ao mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal na Amazônia: exemplo de caso na região de São Félix do Xingu, sul do Pará**. 2010. 129f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

KIM, D. G.; KIRSCHBAUM, M. U. F. The effect of land-use change on the net exchange rates of greenhouse gases: A compilation of estimates. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 208, p. 114–126, 2015.

KONECNY, G. **Geoinformation: remote sensing, photogrammetry and geographic information systems**. 1. ed. London : Taylor & Francis, 2003. 248 p.

LACERDA, F.; NOBRE, P. Aquecimento global: conceituação e repercussões sobre o Brasil. **Rev. Bras.de geografia física**, v. 3, n. 1, p. 14-17, 2010.

LEE, J. H.; LEITNER, J. M.; CHUNG, M. The Road to Doha through Seoul: The Diplomatic and Legal Implications of the Pre-COP 18 Ministerial Meeting. **Jornal of Korean Law**, v. 12, p. 55-81, 2012.

LEITE, M. E.; FREITAS, M. F. Análise Espaço-Temporal de uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Tabuas, Norte de Minas Gerais, com Aplicação das Geotecnologias (Temporal-Spatial Analysis of the Use Of Soil in the Hydrographic Basin of the Tabuas River, North of Minas Gerais). **Rev. Bras. Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 184-194, 2013.

LIXANDRU, B. et al. Influence of Agricultural Pollutants on the Greenhouse Effect. **Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies**, v. 40, n. 1, p. 252-257, 2007.

LOPERA, J, E, P, **Modelagem empírica da transferência gótica projetada em processos de soldagem GMAW baseada em técnicas de processamento de imagens digitais e superfícies de resposta**. 2010. 156f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

LOVELAND, T. R.; SOHL, T. L.; STEHMAN, S. V.; GALLANT, A. L.; SAYLER, K. L.; NAPTON, D. E. A strategy for estimating the rates of recent United States land-cover changes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 68, p. 1091-1099, 2002.

LUCHIARI, A. Identificação da cobertura vegetal em áreas urbanas por meio de produtos de sensoriamento remoto e de um sistema de informação geográfica. **Revista do departamento de geografia**, v. 14, p. 47-58, 2001.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. **Rev. Bras. de Geografia Física**, v. 4, p. 793-804, 2011.

MARENGO, J, A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, n. 103, p. 25-32, 2014.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 19, n. 3, p. 485-494, 2015.

MARKANDYA, A, et al. Analyzing trade-offs in international climate policy options: The case of the green climate fund. **World Development**, v. 74, p. 93-107, 2015.

MARQUES, F. A Plataforma de Durban. **Pesquisa FAPESP**, p. 38-39, 2012.

MARTINS, A. P.; ROSA, R. Caracterização Climática da Bacia do Rio Paranaíba a partir da Rede de Estações de Superfície Automática do INMET (2001-2011), utilizando Ferramentas de Geoprocessamento. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 1303-1316, 2016.

MATA, M. V. M. et al. Emissões de CO<sub>2</sub> Provenientes de uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro. **Rev. Bras. Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 144-155, 2015.

MELO, J. A. T.; ROCHA, D. A. A (in) sustentável política climática e de desenvolvimento do governo brasileiro: as respostas da sociedade civil e dos movimentos sociais (2003-2012). **Theomai**, n. 32, p. 151-169, 2015.

MENKE, A. B. et al. Análise das mudanças do uso agrícola da terra a partir de dados de sensoriamento remoto multitemporal no município de Luís Eduardo Magalhães (BA-Brasil). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 315-326, 2009.

MICROSOFT office 2010 professional. [S.I.]: Microsoft Corporation, 2010.

MINAS GERAIS (Estado). Decreto n. 45.229, de 3 de dezembro de 2009. Regulamenta medidas do Poder Público do Estado de Minas Gerais referentes ao combate às mudanças climáticas e gestão de emissões de gases de efeito estufa e dá outras providências. **Diário do Executivo**, Belo horizonte, 2009. 2p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa** - Relatórios de Referência: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. 2015. 343p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. 2. ed. Brasília: MCTI. 2014. 190p.

MOHAMMADI, A. et al. What is energy efficiency and emission reduction potential in the Iranian petrochemical industry?. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 12, p. 460-471, 2013.

MOREIRA, D. ; PIRES, J, C, M. Atmospheric CO<sub>2</sub> capture by algae: negative carbon dioxide emission path. **Bioresource technology**, v. 215, p. 371-379, 2016.

MOREIRA, H. ; RIBEIRO, W. C. A China na ordem ambiental internacional das mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 87, p. 213-234, 2016.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. R. Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto internacional**, p. 9-47, 2008.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 307p.

MOURA, L. H.A.; BOAVENTURA, G. R.; PINELLI, M. P. A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama-Distrito Federal. **Química nova**, v. 33, n. 1, p. 97-103, 2010.

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION (NOAA). **Global Analysis - Annual 2014**. 2014. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201413>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

NOBRE, C, A. Mudanças climáticas e o Brasil—Contextualização. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p, 07-18, 2008.

OLIVEIRA, J. B et al. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: IAC/Embrapa, 1999. Mapa, escala 1:500.000.

OLIVEIRA, S. N. et al. Detecção de mudança do uso e cobertura da terra usando o método de pós-classificação na fronteira agrícola do Oeste da Bahia sobre o Grupo Urucuia durante o período 1988-2011. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 66, 2014.

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-in-global-co2-emissions-2015-report-98184.pdf](http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2015-trends-in-global-co2-emissions-2015-report-98184.pdf). Acesso em: 14 ago. 2016.

PANIZZA, A. C; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, n. 30, p. 30-43, 2011.

PLAZA, C. M. C. V.; SANTOS, N. Certificados de Emissões Reduzidas e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): Socialização dos Prejuízos e Privatização dos Lucros. **Inter Science Place**, v. 1, n. 4, p. 1-25, 2015.

PRADO, L. A.; MIZIARA, F.; FERREIRA, M.E. Expansão da fronteira agrícola e mudanças no uso do solo na região sul de Goiás: ação antrópica e características naturais do espaço. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 32, n. 1, 2012.

REIS, D. A.; SILVA, L. F. Análise de dissertações e teses brasileiras de Educação Ambiental: compreensões elaboradas sobre o tema "mudanças climáticas". **Ciência & Educação**, v. 22, n. 1, p. 145-162, 2016.

RIBEIRO, S. C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **R. Árvore**, v.33, n.5, p. 917-926, 2009.

RIGHI, E.; BASSO, L. A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. **Ambiência**, Guarapuava, v.12, n.1 p. 101-117, 2016.

RIO DE JANEIRO (Estado). Lei n. 5690, de 14 de abril de 2010. Institui a Política Estadual sobre Mudança Global do Clima e Desenvolvimento Sustentável e dá outras Providências. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, n. 068, 14 abr. 2010.

ROBERTS, D. Cities OPT in while nations COP out: Reflections on COP18. **South African Journal of Science**, v. 109, n. 5-6, p, 01-03, 2013.

ROSA, F.S. et al. Estrutura da paisagem, relevo e hidrografia de uma microbacia como suporte a um programa de pagamento por serviços ambientais relacionados à água. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 526-539, 2014.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed. Uberlândia: Ed da UFU, 2009. 262p.

ROSE, S. K. et al. Land-based mitigation in climate stabilization. **Energy Economics**, v. 34, p. 365–380, 2012.

RUBERT, C.; MACIEL, E. A. P. Uso de Sistema de Informações Geográficas na Análise dos Programas de Controle do Desmatamento da Amazônia. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 4, n. 4, p. 75-89, 2009.

SALES, J. C. A. **Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na bacia hidrográfica do rio Una, Ibiúna/SP**. 2015. 131f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2015.

SALIM, A. **Caracterização do uso da terra em periferias urbanas utilizando geotecnologias: bacia do Reservatório Guarapiranga**. 2013. 165f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

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.

SAMIMI, A. ; ZARINABADI, S. Reduction of greenhouse gases emission and effect on environment. **Journal of American Science**, v. 8, n. 8, p. 1011-1015, 2012.

SANTOS, A. C. A. **Teores de carbono e nitrogênio dos solos de duas microbacias hidrográficas com diferentes usos da terra no município de Ibiúna-SP**. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2012.

SANTOS, A. S. **Vulnerabilidade socioambientais diante das mudanças climáticas projetadas para o semi-árido da Bahia**. 2008. 153f. Dissertação (Mestrado Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, C. P. F.; SCOLASTRICI, A. S. S.; MARTINS, F. S. R. V. Mapas representativos de estoque de carbono na vegetação e nos solos do bioma Pantanal. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 4., 2012, Bonito. **Anais...** Bonito: s Informática Agropecuária/INPE, 2012. p. 629 -638.

SÃO PAULO. (Estado). Lei n. 13.798, de 9 de novembro de 2009. Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC). **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, v. 119, n. 209, 9 nov. 2009.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. **Guia do sistema paulista de recursos hídricos: comitê de bacias**. São Paulo: SMA, 2008. 49p.

SILVA, F.M, **Mudanças Climáticas e o Protocolo de Quito: Desafios Jurídicos Ambientais**. 2012. 102f. Dissertação (Mestrado em Direito) – Universidade Católica de Santos, Santos, 2012.

SILVA, M. K. A.; ROSA, R. Aquisição de Dados Espaciais e Acesso a Novas Tecnologias para Estudos Hidrometeorológicos. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 1278-1290, 2016.

SILVA, R. E. C.; FERNANDES, E. Mudanças Climáticas: Um Panorama das Discussões Atuais. **Sociedade e Território**, v. 22, n. 1, p. 2-16, 2010.

SOARES, T. J; HIGUCHI, N. A convenção do clima e a legislação brasileira pertinente, com ênfase para a legislação ambiental no Amazonas. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 4, p. 573-580, 2006.

SONGOLZADEH, M. et al. Carbon dioxide separation from flue gases: a technological review emphasizing reduction in greenhouse gas emissions. **The Scientific World Journal**, p, 1-34, 2014.

SOUSA JUNIOR, J. G. A.; DEMATTÊ J. A. M. Modelo Digital de Elevação na Caracterização de Solos Desenvolvidos de Basalto e Material Arenítico. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 32, n.1, p.449-456, 2008.

SOUSA, J. M. F. **As Alterações Climáticas na era do Antropoceno, Um novo paradigma para as Relações Internacionais? O caso do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas**. 2013. 135f. Dissertação (Mestrado Ciência Política e Relações Internacionais) - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013.

SOUSA, L. V. C. **Efeitos de políticas climáticas sobre o bem-estar econômico no Brasil e em países do Anexo I do Protocolo de Quioto**. 2014. 90f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

SOUZA, D. H. S. P. **Metodologia para Pós-Processamento em Modelos SRTM**. 84f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.

SOUZA, L. J. S. et al. Desafios para a efetivação do segundo período do Protocolo de Quioto. **Revista Latinoamericana de Estudios Rurales**, v. 2, n. 3, 2017.

THIELE, F.T. et al. O futuro do Protocolo de Kyoto – 18º Conferência das Partes. 2012. Disponível em: < <http://201.33.24.15/altoparaiso/simar2014/COP18.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2016.

TOLLEFSON, J. Global-warming limit of 2 C hangs in the balance. **Nature**, v. 520, n. 7545, p. 14-15, 2015.

TONIOLO, J. C. ; CARNEIRO, C. D. R. Processos geológicos de fixação de carbono na Terra e aquecimento global. **Terra e Didática**, v. 6, n. 1, p. 31-56, 2010.

TORRES, D. R. **Análise multitemporal de uso da terra e cobertura florestal com dados dos satélites Landsat e Alos**. 2011. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

UNITED NATIONS. **Marrakech Climate Change Conference**. 2016. Disponível em: <[http://unfccc.int/meetings/marrakech\\_nov\\_2016/meeting/9567.php](http://unfccc.int/meetings/marrakech_nov_2016/meeting/9567.php)>. Acesso em: 10 set. 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. 2017. **Climate Change Indicators in the United States**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/climate-indicators>>. Acesso em: 05 set. 2017.

UNIVERSITY OF NEW HAMPSHIRE (UNH). **Globe Carbon Cycle**. 2009. Disponível em: <http://globecarboncycle.unh.edu/CarbonCycleBackground.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2016.

VAEZA, R. F. et al. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010.

WECKMULLER, R.; SLOVINSKI, N. C.; SÁNCHEZ VICENS, R. S. Análise Multitemporal como Subsídio à Identificação da Trajetória Evolutiva do Uso e Cobertura da Terra no Corredor Ecológico do Muriqui/RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65, p.467-477, 2013.

WENG, Q. **Remote sensing and GIS integration: theories, methods, and applications**. New York : McGraw-Hill, 2010. 397 p.

WERE, K.O.; DICK, O. B. SINGH, B. R. Remotely sensing the spatial and temporal land cover changes in Eastern Mau forest reserve and Lake Nakuru drainage basin, Kenya. **Applied Geography**, v. 41, p. 75-86, 2013.

ZANELLA, L. **Análise da interferência Antrópica na Fragmentação da Mata Atlântica e Modelos de Simulação de Paisagem na Microrregião da Serra da Mantiqueira do Estado de Minas Gerais**. 2011. 117f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ZIMOV, S. A.; SCHUUR, E. A G; CHAPIN, F. Stuart. Permafrost and the global carbon budget. **Science**, v. 312, n. 5780, p. 1612-1613, 2006.