

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOMÁTICA

Makele Rosa de Paula

**INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA QUALIDADE  
DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INGAÍ – RS**

Santa Maria, RS, Brasil  
2016

**Makele Rosa de Paula**

**INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA  
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INGAÍ – RS**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geomática, área de concentração “Tecnologia da Geoinformação”, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Geomática.**

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Caroline Benedetti  
Co-orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho

Santa Maria, RS  
2016

**Makele Rosa de Paula**

**INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA  
DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INGAÍ – RS**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geomática, área de concentração “Tecnologia da Geoinformação”, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Geomática**.

**Aprovado em 21 de março de 2016:**

---

**Ana Caroline Benedetti, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)**  
(Presidente/Orientadora)

---

**Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)**  
(Co-orientador)

---

**Janete Teresinha Reis, Dr<sup>a</sup>. (UFRGS)**

---

**Felipe Correa dos Santos, Me. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2016

*D*edico a Deus, meu alicerce,  
ao meu avô Francisco (*in memoriam*),  
aos meus pais, Luciene e Wagner.  
Minha irmã Tátila Michele e  
minha sobrinha Ana Clara.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a *Deus* pela vida.

A *Universidade Federal de Santa Maria* pela possibilidade de cursar um ensino de Pós-graduação gratuito e de qualidade.

Ao *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto “Caracterização espectral e limnológica de ambientes lênticos no Rio Grande do Sul, com abordagem espaço-temporal” (Processo nº 484712/2007-1) sob a coordenação do Professor Waterloo Pereira Filho.

A *professora e orientadora Dr.<sup>a</sup> Ana Caroline Benedetti* que sempre esteve disposta em ajudar. O meu infinito agradecimento pela oportunidade de sua orientação, pela confiança, compreensão, dedicação e pelos seus ensinamentos.

Ao *professor e co-orientador Dr. Waterloo Pereira Filho* pelo incentivo, compreensão e contribuições científicas.

Aos *professores do Programa de Pós-graduação em Geomática* pelo conhecimento compartilhado, por meio das disciplinas ministradas.

Ao professor e amigo *Dr. Flávio Wachholz* pela coleta dos dados de campo.

A *equipe de laboratório que realizaram as análises da água*.

A banca examinadora, *Dr.<sup>a</sup> Janete Teresinha Reis e Me. Felipe Correa dos Santos* pela leitura e contribuições a este trabalho.

Aos *meus pais*, que mesmo distante, sempre estiveram ao meu lado, que me deram todas as condições possíveis para eu chegar até aqui. Vocês são o meu porto-seguro O meu muito obrigada! A *minha irmã e minha sobrinha* pelo carinho e amor incondicional. Ao *meu namorado* pelo companheirismo, amor, incentivo e atenção.

Ao *colega Fábio* pela disposição em ajudar.

Ao amigo *Edison Alberti* pelas ajudas frequentes e pelo apoio, estímulo e amizade.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada!

“Não há saber mais ou saber menos:  
Há saberes diferentes.”  
(Paulo Freire)

## RESUMO

### INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INGAÍ – RS

AUTORA: Makele Rosa de Paula  
ORIENTADORA: Ana Caroline Benedetti  
CO-ORIENTADOR: Waterloo Pereira Filho

A qualidade da água de uma bacia hidrográfica sofre influência de inúmeros fatores, sejam eles naturais ou antrópicos. As ações antrópicas sempre tiveram uma atuação mais intensa sobre estes ambientes, sendo demonstradas pelos diferentes usos à que são submetidas a cobertura da terra ao longo do tempo. Neste sentido, esta pesquisa tem como objetivo analisar a influência do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Ingaí nos parâmetros de qualidade da água do mesmo, no intuito de subsidiar a gestão de recursos hídricos nesta área. Para isso, utilizou-se o *software* Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 4.3.3) para a realização dos mapas de uso e cobertura da terra com uso de imagens do sensor Thematic Mapper/Landsat 5 para as datas: 21/01/2009 (período vegetativo - agricultura) e 20/10/2009 (período de entressafra – solo exposto). As classes de uso e cobertura da terra definidas foram: floresta, agricultura, solo exposto, área urbana, água e campo. Os parâmetros limnológicos analisados foram: total de sólidos em suspensão (TSS), transparência da água (DS), clorofila *a* (Chl *a*), temperatura da água (temp.), potencial hidrogênionico (pH) e condutividade elétrica (CE), coletados em um único ponto amostral na foz do rio Ingaí e a obtenção de dados pluviométricos. A avaliação integrada dos sistemas aquático e terrestre permitiu concluir que a alteração das propriedades da água do rio Ingaí possui forte relação com as alterações no uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica, provenientes principalmente de fontes difusas, devido à extensa área destinada a agricultura, áreas de solo exposto, aliados a ocorrência de precipitação pluviométrica. Nesse sentido, fica evidente a importância da gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Ingaí e espera-se que as informações obtidas nesta pesquisa possam subsidiar ações direcionadas a este propósito.

Palavras-chave: Qualidade da Água. Bacia Hidrográfica. Uso da Terra.

## **ABSTRACT**

### **INFLUENCE OF USE AND LAND COVER ON WATER QUALITY OF THE WATERSHED OF INGAÍ RIVER**

AUTHOR: Makele Rosa De Paula  
ADVISOR: Ana Caroline Benedetti  
CO-ADVISOR: Waterloo Pereira Filho

The water quality of a watershed is influenced by numerous factors, whether natural or anthropogenic. The human actions have always had a more intense action on these environments being demonstrated by the different uses to which they are subjected to land cover over time. In this sense, this research aims to analyze the influence of land use and coverage of the watershed of Ingaí river the water quality parameters the same, in order to support the management of water resources in this area. For this, we used the system software Georeferenced Information Processing (SPRING 4.3.3) to the achievement the use of maps and land cover with use of images of the Thematic Mapper sensor/Lansat5 for dates: 21/01/2009 (vegetative period – agriculture) and 20/10/2009 (period between harvests - soil exposed). The classes use and land cover were defined: forest, agriculture, soil exposed, urban area, water and field. The limnological parameters analyzed were: total of solids in suspension (TSS), water transparency (DS), chlorophyll *a* (Chl *a*), water temperature (temp.), hydrogen potential (pH) e electric conductivity (CE), collected in a single sample point at the mouth of the river Ingaí and obtaining rainfall data. The integrated assessment of aquatic and terrestrial systems, concluded that changing the properties of water from the Ingaí river has strong relationship with changes in land use and land cover of the watershed, mainly from diffuse sources, due to the extensive area intended for agriculture, soil exposed areas, allies the occurrence of rainfall. In this sense, it is evident the importance of water management of the watershed of Ingaí river and it is hoped that the information obtained from this research may support actions aimed at this purpose.

Key words: Water quality. Watershed. Land use.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Principais etapas realizadas para o desenvolvimento da pesquisa.....	23
Figura 2 –	Localização da bacia hidrográfica do rio Ingaí.....	24
Figura 3 –	Dados de precipitação pluviométrica diária em 30 dias anteriores a coleta de campo realizada no dia 07 de fevereiro de 2009.....	29
Figura 4 –	Dados de precipitação pluviométrica diária em 30 dias anteriores a coleta de campo realizada no dia 21 de outubro de 2009.....	30
Figura 5 –	Mapas de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Ingaí: em 21 de janeiro e 20 de outubro de 2009.....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Classificação de estado trófico para a clorofila <i>a</i> em reservatórios	17
Tabela 2 –	Características do sensor TM – Landsat 5.....	21
Tabela 3 –	Principais aplicações das bandas do sensor TM.....	22
Tabela 4 –	Caracterização das classes temáticas de uso e cobertura da terra definidas para a área de estudo.....	26
Tabela 5 –	Áreas das classes de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Ingaí – RS para as datas 21 de janeiro e 20 de outubro de 2009.....	32
Tabela 6 -	Dados das variáveis limnológicas no ponto de coleta localizado na foz do rio Ingaí.....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
TM	<i>Thematic Mapper</i>
LANDSAT	<i>Land Satellite</i>
TSS	Total de Sólidos em Suspensão
DS	Transparência do Disco de Secchi
Chla	Clorofila <i>a</i>
Temp.	Temperatura da água
pH	Potencial Hidrogeniônico
CE	Condutividade Elétrica
BH	Bacia hidrográfica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
MaxVer	Máxima Verossimilhança
nm	Nanômetro
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
APHA	<i>American Public Health Association</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
INPE	Instituto nacional de pesquisas espaciais

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	14
2.1	BACIA HIDROGRÁFICA.....	14
2.2	LIMNOLOGIA.....	14
<b>2.2.1</b>	<b>Variáveis limnológicas</b> .....	15
2.2.1.1	<i>Total de sólidos em suspensão</i> .....	15
2.2.1.2	<i>Fitoplâncton: clorofila a</i> .....	16
2.2.1.3	<i>Transparência da água</i> .....	18
2.2.1.4	<i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i> .....	18
2.2.1.5	<i>Condutividade elétrica</i> .....	18
2.2.1.6	<i>Temperatura da água</i> .....	19
2.3	INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	19
2.4	CARACTERÍSTICAS DO SENSOR TM/LANDSAT 5.....	20
2.5	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	23
3.1	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDOS.....	23
3.2	MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA.....	25
3.3	TRABALHO DE CAMPO E AQUISIÇÃO DE DADOS LIMNOLÓGICOS.....	26
<b>3.3.1</b>	<b>Total de sólidos em suspensão</b> .....	26
<b>3.3.2</b>	<b>Clorofila a</b> .....	27
<b>3.3.3</b>	<b>Transparência da água</b> .....	28
<b>3.3.4</b>	<b>Temperatura da água, Potencial Hidrogeniônico, Condutividade elétrica</b> .....	28
3.4	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	28
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
4.1	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA.....	29
4.2	USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INGAÍ – RS.....	30
4.3	VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS.....	33
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	36
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

A água é essencial a todas as formas de vida na Terra. Sua composição química é controlada por inúmeros fatores naturais e antrópicos (AHEARN et al., 2005). Os impactos naturais são provenientes dos próprios mecanismos de funcionamento dos ecossistemas e das bacias hidrográficas, que de certa forma são absorvidos pelo ecossistema, enquanto que os impactos pela ação humana geram alterações na estrutura e na função dos ecossistemas aquáticos (TUNDISI, J. e TUNDISI, T., 2008), principalmente representado pelo uso e ocupação da terra (BRAMLEY et al., 2002; AHEARN et al., 2005; LIU et al., 2015).

Mudanças nas práticas de uso da terra têm afetado a qualidade dos recursos hídricos em todo o mundo (MISERENDINO et al., 2011), alterando profundamente o ciclo hidrológico, causando impactos econômicos e sociais e, em alguns casos alterações permanentes e irreversíveis em lagos, rios e represas (TUNDISI, J. e TUNDISI, T., 2008), tornando os custos de tratamento da água mais elevados.

Devido à necessidade de aumentar a produção no setor primário e secundário para atender a demanda populacional contribui para a escassez e contaminação dos recursos naturais, visto que a escassez está relacionada à degradação dos corpos d'água (PAULA, 2013), uma vez que os ambientes aquáticos sofrem influências das mudanças do uso e cobertura da terra de uma bacia hidrográfica.

As várias atividades humanas e o acúmulo de usos múltiplos implicam em diferentes ameaças e problemas para a disponibilidade de água (TUNDISI, J. e TUNDISI, T., 2008), tais como a eutrofização, sedimentação de rios, lagos e represas; poluição industrial; o desmatamento e a introdução de espécies exóticas com valor comercial; remoção de espécies ripárias; poluição urbana; deterioração dos mananciais, (TUNDISI, BRAGA e REBOUÇAS, 2006), o uso indiscriminado de fertilizantes, corretivos e agrotóxicos, e outros (PINTO, et al., 2004), representam uma ameaça à biodiversidade e conservação dos ecossistemas lóticos.

Tendo em vista o risco da escassez do recurso água, seja de forma quantitativa ou qualitativa, decorrentes das atividades humanas, é preciso que haja um planejamento e gerenciamento de forma integrada, visando à otimização do mesmo (PRADO, 2004). Isso gera grande preocupação, sendo imprescindíveis as pesquisas sobre a prevenção da contaminação da água e proteção ambiental, buscando compreender suas respostas provenientes das atividades humanas (PAULA, 2015), com intuito de subsidiar o planejamento de programas de conservação, gerenciamento e recuperação de lagos, represas, rios, entre outros corpos de águas (SANTOS, 2012).

Avaliar os impactos resultantes das atividades humanas em bacias hidrográficas é um assunto importante enfrentado pelos legisladores e planejadores. O levantamento do uso da terra em uma determinada região tornou-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço (ROSA, 2009). Uma vez que os ecossistemas aquáticos continentais estão submetidos a um conjunto de impactos resultantes das atividades humanas e dos usos múltiplos das bacias hidrográficas os quais estão inseridos (TUNDISI, J. e TUNDISI, T., 2008). No entanto, o conhecimento do uso e cobertura da terra representa um desafio significativo para a compreensão dos impactos causados pela ação antrópica e sua influência na qualidade da água.

Nesse sentido, faz-se necessário o uso do sensoriamento remoto o qual contribuí nos estudos dos ecossistemas terrestre e aquático, dentre os quais destacam-se: Estudos realizados por Tong e Chen (2002) sob uma ampla escala regional no Estado de Ohio, que permitiram verificar a existência de uma relação entre o uso da terra e a qualidade da água de superfície, especialmente para nitrogênio, fósforo e coliformes fecais. A modelagem hidrológica e de qualidade da água mostrou que os usos agrícolas e urbanos, produziram um nível muito mais elevado de nitrogênio e fósforo do que outros usos da terra. Reis (2006), relacionou dados de uso da terra com o ecossistema aquático da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, identificando os pontos críticos quanto as condições ambientais. De maneira geral, concluiu, que o ecossistema aquático do Arroio Cadena está comprometido, em virtude das formas inadequadas de usos da terra.

Nesta perspectiva, o objetivo geral desta pesquisa consiste em analisar a influência do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Ingaí, localizada na porção Centro-Norte do Estado do Rio Grande do Sul, nos parâmetros de qualidade da água do mesmo, no intuito de subsidiar a gestão de recursos hídricos nesta área. Para atingir o objetivo geral do presente estudo foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a dinâmica do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Ingaí – RS, para a compreensão dos padrões de organização em dois períodos distintos.
- Analisar as variáveis limnológicas: total de sólidos em suspensão, transparência da água, clorofila *a*, temperatura da água, potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica, e sua possível relação com as formas de uso e cobertura da terra.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

São apresentadas as temáticas sobre definições de bacia hidrográfica e sua importância; sobre a limnologia, abordando algumas variáveis limnológicas; e referente a influência do uso e cobertura da terra na qualidade da água do rio Ingaí – RS.

### 2.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Bacia hidrográfica é uma área topograficamente definida pela drenagem de um canal fluvial ou por um sistema de canais fluviais conectados, de tal forma que toda água drenada nesse espaço tenha uma única saída (ROSA et al., 2004).

Segundo Von Sperlin (2005), a bacia hidrográfica é uma unidade de planejamento que permite o melhor entendimento dos impactos da ação antrópica sobre a quantidade e principalmente a qualidade da água como resultante de fenômenos naturais e da ação humana. Pode-se dizer, então, que a qualidade da água é determinada pelas condições naturais e do uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica.

O planejamento de recursos hídricos é de fundamental importância para o gerenciamento da água e da bacia hidrográfica, e isso exige que se considerem diversos processos naturais e sociais interligados, com abordagem holística e sistêmica, visando compatibilizar o uso e ocupação da terra nas bacias hidrográficas com a garantia de disponibilidade de água para a sustentabilidade do desenvolvimento econômico, social e ambiental (LEAL, 2012).

Tong e Chen (2002) concluíram que, bacia hidrográfica é uma unidade de estudo muito útil e confiável, capaz de caracterizar as condições de qualidade de água. Podendo fornecer orientações não só para os gestores de recursos na restauração de nossos ecossistemas aquáticos, mas também para os planejadores locais na elaboração de planos de desenvolvimento de bacias hidrográficas, bem como para os decisores políticos na avaliação de decisões alternativas de manejo da terra.

### 2.2 LIMNOLOGIA

Segundo Tundisi, J. e Tundisi, T. (2008), a limnologia tem como objetivo estudar as águas continentais em todo o planeta, os quais envolvem estudos de lagos, rios, represas, áreas alagadas, pequenos tanques, águas temporárias e lagos salinos no interior dos continentes.

Uma das grandes preocupações da limnologia atual são a deterioração da qualidade da água e a redução de sua disponibilidade, assim a limnologia busca a conservação e recuperação dos ecossistemas aquáticos continentais (ESTEVEZ, 2011). A degradação da qualidade da água é de diversas magnitudes e isso demonstra a ação antrópica sobre os ambientes naturais, pois a forma como o homem se relaciona com o espaço repercute no ecossistema aquático. Silva et al. (2009) ressaltam que, em consequência da exploração não sustentável dos recursos hídricos, estes se encontram, em geral, com sérios problemas na qualidade da água.

Nesse sentido, há necessidade de buscar constantemente informações para a compreensão do ecossistema aquático para as tomadas de medidas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, visto que a situação do mesmo vem se tornando emergente. E é dentro desse contexto que a limnologia atua, ao buscar conhecer a dinâmica de águas continentais.

A partir de pesquisas sobre a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas aquáticos, a limnologia fornece subsídios indispensáveis para as diversas formas de manejo destes ecossistemas e de suas espécies. Contribuindo com a recuperação de ambientes aquáticos continentais seriamente comprometidos, principalmente nas regiões onde são fontes de abastecimento. Geralmente, este comprometimento é resultante de fenômenos de eutrofização, poluição e uso indevido de suas margens e da bacia hidrográfica (TUNDISI, J. e TUNDISI, T., 2008).

### **2.2.1 Variáveis limnológicas**

A análise de variáveis limnológicas é de fundamental importância para identificar alterações ou para determinar padrões de qualidade da água. Neste estudo, considerou-se as variáveis: total de sólidos em suspensão; clorofila *a*, transparência da água, potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica e temperatura da água. Além da variável pluviométrica que contribui significativamente nas alterações dos parâmetros de qualidade da água.

#### *2.2.1.1 Total de sólidos em suspensão*

O total de sólidos em suspensão (TSS) é todo material particulado em suspensão na água e que não passa por um filtro de 0,45  $\mu\text{m}$ . Os sólidos presentes na água são compreendidos por sólidos orgânicos em suspensão (SOS) que são compostos por



fitoplâncton, zooplâncton e matéria orgânica particulada; e os sólidos inorgânicos em suspensão (SIS) que são por partículas minerais, principalmente silte e argila (ESTEVEZ, 2011; BARBOSA, 2005).

O volume de material em suspensão transportado pelos rios está associado aos usos das bacias hidrográficas, do grau de desmatamento ou da cobertura vegetal (TUNDISI, J. e TUNDISI, T., 2008). Como consequência dos solos desprovidos de cobertura vegetal ocorre erosões dos solos da bacia o que tende a uma elevada quantidade de sólidos carreados para os corpos d'água, ocasionando assoreamento dos rios, lagos e reservatórios (LATRUBESSE et al., 2005; TYLER et al., 2006; LATRUBESSE et al., 2012). Ocorrências de ressuspensão dos sedimentos de fundo, devido à ação do vento, são também responsáveis pelo aumento da concentração de sólidos em suspensão na coluna d'água (BRAGA, 1998).

Assim, monitorar o tipo, a quantidade e a distribuição espacial de sedimentos em suspensão em corpos d'água interiores e costeiros é de suma importância, pois os sedimentos acarretam diversos problemas, como por exemplo, assoreamentos de rios, reservatórios, obras para controle de inundação e estuários, afetam a qualidade da água e a sua adequação para o consumo humano, recreação e uso industrial (CARVALHO, 2008; JENSEN, 2009). Assume papel de agente transportador e armazenador de pesticidas, fósforo e nitrogênio absorvidos, e compostos orgânicos, podendo ser um indicador de poluição, além de impedir a transmissão de radiação solar, reduz a fotossíntese em vegetação aquática submersa e fitoplâncton próximo ao substrato, sendo que a vegetação aquática e o fitoplâncton têm um papel vital na cadeia alimentar do ecossistema aquático (JENSEN, 2009). Além disso, altos teores de sais minerais como sulfato e cloreto estão associados à corrosão em sistemas de distribuição e a conferir sabor às águas (CETESB, 2009).

#### 2.2.1.2 *Fitoplâncton: clorofila a*

A clorofila (*a*, *b*, *c* e *d*) é um dos grupos de pigmentos, além dos carotenóides e ficobilinas, responsáveis pelo processo fotossintético (pigmentos fotossintetizantes) (CETESB, 2014).

A clorofila *a* é encontrada em todos os grupos de algas e cianobactérias (CETESB, 2014). É utilizada para estimar a biomassa do fitoplâncton e inferir sobre a qualidade da água, e conseqüentemente, na carga de nutrientes e nas condições gerais do ecossistema aquático (PAN et al., 2013). Ou seja, um indicador do crescimento de algas e cianobactérias devido ao

enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, fenômeno este denominado eutrofização (CETESB, 2014).

Desse modo, tem sido crescente a demanda de informações relativas às possíveis consequências de ações antrópicas sobre ecossistemas aquáticos, bem como informações sobre grupos de algas indicadoras da qualidade da água (LONDE et al., 2005).

Os diferentes sistemas aquáticos podem ser classificados em função do estado trófico<sup>1</sup> da água. Sendo que, um dos indicadores de nível trófico é a concentração de clorofila *a*. Segundo a classificação de estado trófico proposta por Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004), os limites estabelecidos para as diferentes classes de trofia estão descritos na Tabela 1. Consideraram-se limites de trofia para reservatórios, uma vez que a foz do rio Ingaí (ponto de coleta) foi atingida por um maior volume de água após a construção do reservatório Passo Real.

Tabela 1 - Classificação de estado trófico para a clorofila *a* em reservatórios

<b>Estado trófico</b>	<b>Clorofila <i>a</i> (µg/L)</b>
Ultraoligotrófico	$\leq 1,17$
Oligotrófico	$1,17 < CL \leq 3,24$
Mesotrófico	$3,24 < CL \leq 11,03$
Eutrófico	$11,03 < CL \leq 30,55$
Supereutrófico	$30,55 < CL \leq 69,05$
Hipereutrófico	$> 69,05$

Fonte: Classificação de estado trófico proposta por Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004).

A classe ultraoligotrófico possui características de corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não prejudica aos usos da água. A classe Mesotrófico possui produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, sendo de níveis aceitáveis, na maioria dos casos. A classe hipereutrófico caracteriza-se por corpos d'água afetados pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos (CETESB, 2007 apud ANA, 2016).

<sup>1</sup> “O Índice do Estado Trófico tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes” (LAMPARELLI, 2004).

### 2.2.1.3 *Transparência da água*

A transparência da água sob o ponto de vista óptico é influenciada pela própria água e pelos constituintes opticamente ativos nela suspensos e dissolvidos (SANTOS, 2014). Pode variar desde alguns centímetros até dezenas de metros, considerada o oposto da turbidez. (FERREIRA; PEREIRA FILHO e ROSA, 2012). Uma técnica simples para avaliação da transparência da água é o uso do disco de Secchi.

### 2.2.1.4 *Potencial hidrogeniônico (pH)*

O pH do corpo d'água natural pode fornecer informações importantes sobre muitos processos químicos e biológicos. A escala de pH vai de 0 a 14, sendo que o valor 7 de pH é neutro, um pH inferior a 7 é ácido e maior do que 7 representa a saturação de base ou alcalinidade (ESTEVES, 1998).

O pH indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade em uma solução aquosa. A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Os efeitos indiretos também são muito importantes, pois em determinadas condições de pH podem contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados; enquanto outras condições podem exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes (CETESB, 2009).

### 2.2.1.5 *Condutividade elétrica*

A condutividade elétrica da água é dada pela capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica. É uma variável que pode fornecer informações importantes sobre o metabolismo do ecossistema aquático, bem como sobre fenômenos importantes que ocorrem na sua bacia de drenagem. Uma vez que a mesma está associada à composição iônica da água, ela pode ajudar na identificação de fontes poluidoras e pode identificar diferenças geoquímicas entre afluentes (ESTEVES, 1998).

Segundo CETESB (2009), a condutividade elétrica depende das concentrações iônicas e da temperatura da água, e indica a quantidade de sais existentes no corpo d'água, e, portanto, é considerada uma medida indireta da concentração de poluentes. De modo geral, níveis superiores a 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes impactados.

### 2.2.1.6 Temperatura da água

As variações de temperatura em corpos d'água são parte do regime climático normal, e apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A temperatura desempenha um papel importante no meio aquático atuando diretamente numa série de variáveis físico-químicas (CETESB, 2009). O lançamento de efluentes com altas temperaturas pode causar impacto significativo nos corpos d'água. Os organismos aquáticos quando afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, causa impactos sobre seu crescimento e reprodução (ANA, 2016)

## 2.3 INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA

A intervenção antrópica nos ecossistemas terrestre e aquático gera uma série de problemas. Silva et al. (2009) ressaltam que, em consequência da exploração não sustentável dos recursos hídricos, estes se encontram, em geral, com sérios problemas na qualidade da água.

Diversos fatores, como crescimento populacional e a demanda por abastecimento de distribuição de água, irrigação para práticas agrícolas que exige um grande consumo de água; as usinas de geração de energia elétrica, trás como consequência a modificação das condições naturais do curso d'água, causando um desequilíbrio ambiental (KOBİYAMA; MOTA e CORSEUIL, 2008). A geração de resíduos industriais, a ausência de tratamento de esgotos, o manejo inadequado do solo, o uso indiscriminado de produtos químicos na agricultura, são apenas algumas consequências do mau uso da terra, causando alterações na qualidade da água (SARTOR, 2008).

O homem além de desperdiçar e contaminar a água altera também os agentes que compõe o ciclo hidrológico, como por exemplo, o solo, a chuva, a vegetação, entre outros (BARROS e AMIN, 2009). Segundo Drew (2010), a interferência no ciclo hidrológico vem tornando-se assustadora, visto que são poucos os sistemas de drenagem no mundo totalmente natural. Fato, que o avanço das tecnologias facilita cada vez mais a intromissão da ação humana, prejudicando o armazenamento e a transferência do ciclo hidrológico, causando desequilíbrio ambiental.

A deterioração da água é proveniente de vários fatores, podendo ser classificados em fontes pontuais e difusas. As fontes pontuais se caracterizam, essencialmente, pelos efluentes

domésticos e industriais, e as fontes difusas são caracterizadas pelos resíduos provindos principalmente da agricultura (fertilizantes, herbicidas, inseticidas, entre outros). Isto pode ser intensificado devido à interferência antrópica no ambiente como a irrigação, a compactação do solo, a mecanização, o desflorestamento (inclusive de mata ciliar), a ausência de práticas conservacionistas do solo que provocam processos erosivos, além da interferência das características naturais da própria bacia hidrográfica (geologia, geomorfologia, a declividade, a pedologia, as características da drenagem, o regime de chuvas entre outros) (PRADO e NOVO, 2005).

O principal meio pelo qual os poluentes atingem um curso d'água, de maneira difusa, é o escoamento superficial, e por isso, identificar e quantificar esses poluentes não é tarefa fácil, pois faz-se necessário o conhecimento do comportamento destas substâncias no meio ambiente e dos fatores naturais e antrópicos que interferem no transporte e disposição desses poluentes na água (PRADO, 2004). O escoamento proveniente de diferentes tipos de uso da terra pode ser enriquecido com diversos tipos de contaminantes, por exemplo, o escoamento de terras agrícolas pode ser enriquecido com nutrientes e sedimentos (TONG e CHEN, 2002).

Segundo Hermes e Silva (2004), a qualidade da água é considerada indicadora da qualidade ambiental de um ecossistema, uma região ou bacia hidrográfica. Nesse sentido, Breunig (2006) ressalta, que estudos de lagos, rios e áreas alagáveis apresentam uma importância cada vez maior para a sociedade, sendo a poluição um dos principais problemas a ser enfrentado. Segundo Novo (2007), a qualidade e quantidade de água disponível é objeto de preocupação de políticos, de agências ambientais e do público em geral, pois os recursos hídricos tem um valor estratégico para o desenvolvimento econômico e social das nações, para a sustentação da biodiversidade, e para a saúde humana.

Nesse sentido, cabe ressaltar a importância do uso de sensoriamento remoto para o conhecimento da superfície terrestre. Segundo Alberti (2015) é uma tecnologia cujas características facilitam consideravelmente o estudo do espaço transformado pelas atividades antrópicas, bem como o levantamento de recursos naturais e o monitoramento ambiental, possibilitando o diagnóstico rápido das áreas degradadas.

#### 2.4 CARACTERÍSTICAS DO SENSOR TM/LANDSAT 5

A aquisição das imagens dos sensores da série Landsat iniciou em 1972, sendo uma das mais utilizadas em estudos ambientais, uma vez que permitem uma visão sinóptica e repetitiva da superfície terrestre.

Ao longo da operação dos satélites da série Landsat e seus sensores, ocorreram modificações de prioridades em termos de parâmetros, tais como resolução espacial, faixas espectrais, resoluções radiométricas (NOVO, 2008). Nesse sentido, cabe destacar o satélite *Land Remote Sensing Satellite - 5* (Landsat), sensor *Thematic Mapper* (TM) adotado neste estudo.

O sensor TM instalado a bordo do satélite Landsat opera em sete faixas espectrais, com resolução espacial de 30 metros nas bandas do visível e infravermelho próximo e médio, e 120 metros na banda do infravermelho termal. O período de revisita é de 16 dias, com resolução radiométrica de 256 níveis de cinza, e possui uma área imageada de 185 km x 185 km por cena (NOVO, 2008). A Tabela 2 mostra algumas características do sensor TM.

Tabela 2 – Características do sensor TM/Landsat-5

Características	Landsat 5/TM	
	Banda	Comprimento de onda (nm)
Bandas espectrais	1	450 – 520
	2	520 – 600
	3	630 – 690
	4	760 – 900
	5	1550 – 1750
	6	10400 – 1250
	7	2080 – 2350
Altitude	705 km	
Horário de passagem pelo Equador	9:45	

Fonte: adaptado de Novo (2008).

É de fundamental importância o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem nesse comportamento, para que se possam extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto. A Tabela 3 resume a aplicação teórica de cada uma das bandas do sensor TM de acordo com Novo (2008).

Tabela 3 – Principais aplicações das bandas do sensor TM

<b>TM</b>	<b>Aplicação</b>
Banda 1	Diferenciação solo/vegetação em virtude da absorção de pigmentos das plantas nessa região do espectro.
Banda 2	Permite diferenciar o vigor da vegetação pela maior sensibilidade a reflectância do verde.
Banda 3	Diferenciação de espécies de plantas em função da presença de pigmentos da clorofila. Também permite discriminar solo exposto e vegetação.
Banda 4	Permite avaliar a biomassa da cobertura vegetal, e também mapear corpos d'água devido ao contraste entre a alta reflectância da vegetação no infravermelho e a alta absorção dessa faixa pelos corpos d'água.
Banda 5	Permite detectar a umidade da cobertura vegetal, pois essa região do espectro é sensível a presença de água no tecido foliar.
Banda 6	Permite avaliar diferenças de temperatura entre alvos da superfície.
Banda 7	Útil para a identificação de áreas sujeitas as alterações hidrotermais.

Fonte: Novo (2008).

## 2.5 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

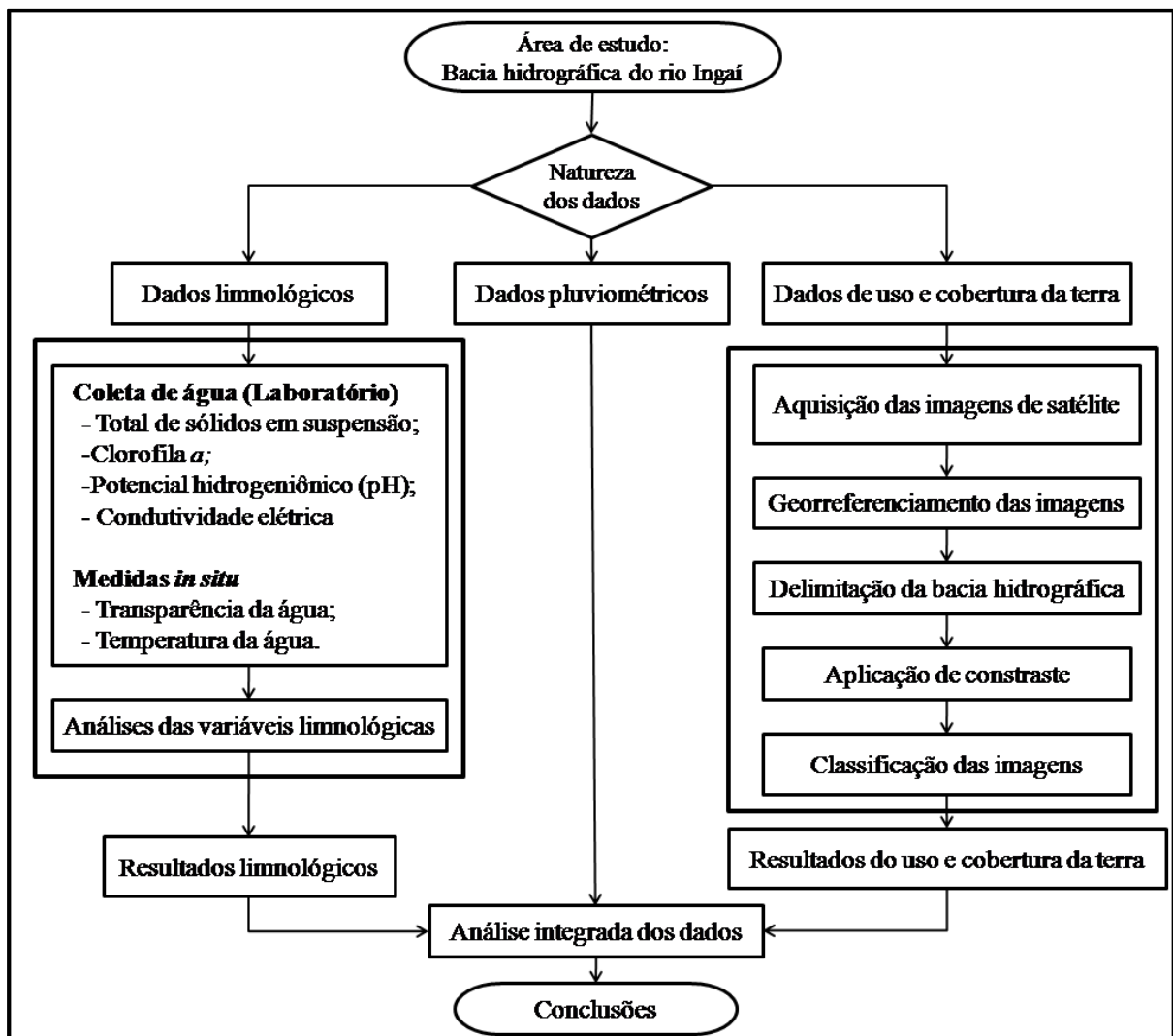
A precipitação pluviométrica é um fenômeno meteorológico aleatório tanto na ocorrência como na intensidade. Constitui-se no principal elemento de entrada do balanço hídrico de uma região (BURIOL, ESTEFANEL e CHAGAS, 2004). O volume de precipitação pluviométrica, sua distribuição temporal e as intensidades de chuvas individuais são algumas das características que afetam direta ou indiretamente a população, a economia e o meio ambiente (BRITTO, 2004).

A obtenção de dados pluviométricos em uma determinada região é de fundamental importância para estudos referente a dados limnológicos, uma vez que interferem na propriedade de corpos d'água. Nesse sentido, considerou-se como uma importante variável para estudos envolvendo a qualidade da água dos corpos d'água interiores.

### 3 METODOLOGIA

O estudo teve como base a elaboração e análises de mapas de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Ingaí, análises de dados limnológicos em duas datas distintas e dados de precipitação pluviométrica. Na Figura 1, é apresentado o fluxograma com as principais etapas para o desenvolvimento da pesquisa, cujo detalhes serão mostrados nos tópicos a seguir.

Figura 1 - Principais etapas realizadas para o desenvolvimento da pesquisa.



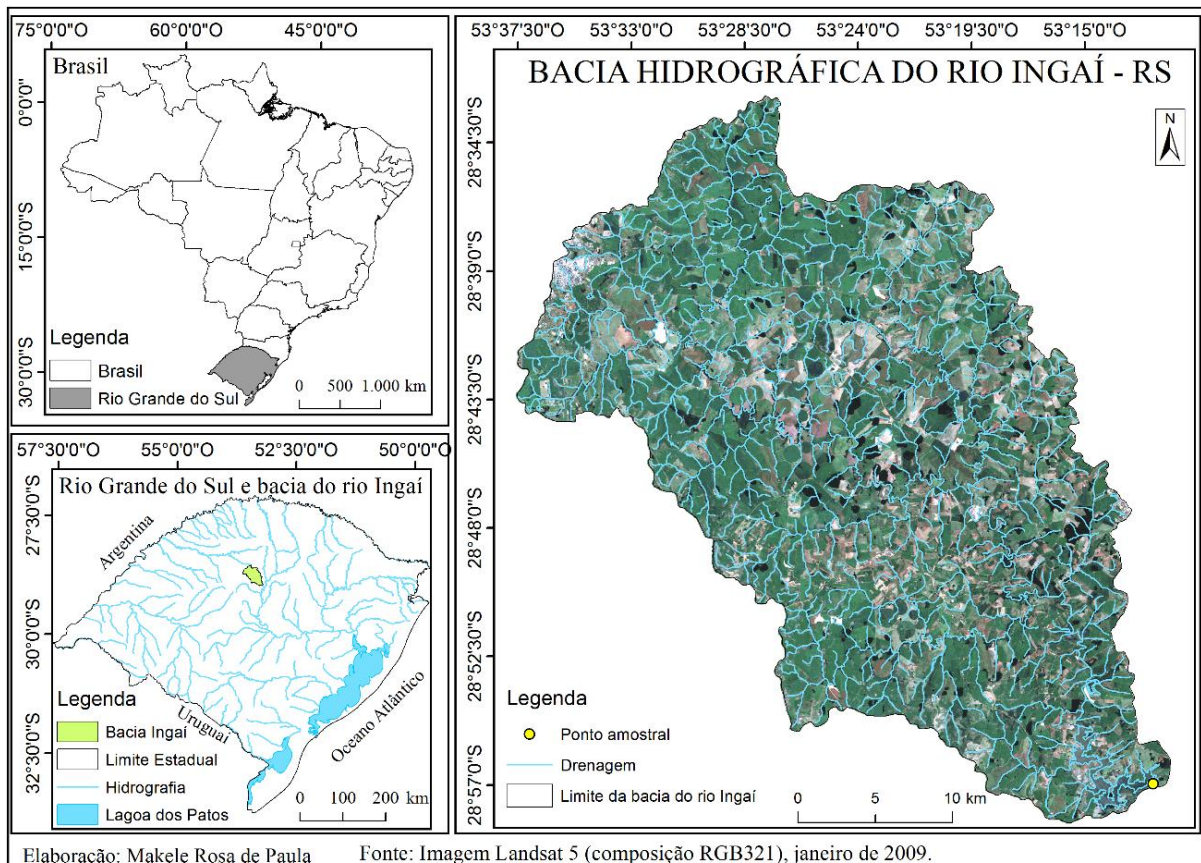
Fonte: Próprio autor.



### 3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDOS

A bacia hidrográfica do rio Ingaí faz parte da região hidrográfica do Alto Jacuí, na porção Centro-Norte do Estado do Rio Grande do Sul, no Sul do Brasil (Figura 2). Possui uma área de aproximadamente 1.044,39 km<sup>2</sup> (de acordo com a delimitação realizada neste estudo), abrangendo parte das cidades de Cruz Alta e Fortaleza dos Valos, e o município de Boa Vista do Incra.

Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do rio Ingaí.



Fonte: Imagem Landsat 5.

O rio Ingaí nasce no município de Cruz Alta, é afluente da margem esquerda do reservatório Passo Real, sendo um dos principais afluentes afetados pela construção deste reservatório, com alagamento da vegetação marginal, áreas agrícolas e residenciais (WACHHOLZ, 2011).

O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho e Nitossolo Háptico (IBGE, 2001). A vegetação natural local caracteriza-se pela presença de Estepe (Gramíneo-Lenhosa e

Floresta Estacional Decidual (Floresta Caducifólia)). Atualmente foram substituídas, em sua maioria, por atividades agrárias (IBGE, 2004).

De acordo com a classificação de Köppen o clima é do tipo subtropical úmido (Cfa). Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), os climas do Sul do Brasil são controlados por massas de ar tropicais e polares, com distribuição pluviométrica anual entre 1250 a 2000 mm, associada às baixas temperaturas do inverno, devido à posição geográfica da área, relevo e atuação dos sistemas atmosféricos intertropicais e polares.

A bacia hidrográfica do Alto Jacuí enquadra-se nos sistemas ambientais naturais fortemente transformados pelas práticas econômicas, apresentando-se como áreas cujas coberturas vegetais naturais foram quase totalmente transformadas em campos de pastagens cultivadas, campos de agricultura e silvicultura (ROSS, 2006).

### 3.2 MAPAS DE USO E COBERTURA DA TERRA

Utilizou-se o *software* Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 4.3.3) (CÂMARA et al., 1996) para a realização dos mapas de uso e cobertura da terra com uso de imagens do sensor Thematic Mapper/Landsat 5 (órbita/ponto: 223/80) para as datas: 21/01/2009 e 20/10/2009, disponibilizadas pela *United States Geological Survey* (USGS). Buscaram-se as imagens mais próximas às duas datas da coleta dos dados limnológicos, considerando os períodos: vegetativo e de preparo de solo, e ausência da cobertura de nuvens.

As imagens foram georreferenciadas usando como referência a imagem do sensor *Operational Land Imager* (OLI) a bordo do satélite Landsat 8, de abril de 2015, que recobre a área de estudo. Após os georreferenciamentos das imagens, delimitou-se a bacia utilizando curvas de nível e rede de drenagem, considerando os divisores de água.

Aplicou-se a técnica de ampliação linear de contraste nas diferentes composições de bandas: RGB321, RGB543 e RGB432, visando melhorar a qualidade visual e destacar as feições de interesse na imagem de satélite em função de cada composição gerada, de modo a facilitar a coleta de amostras de treinamento na etapa de classificação digital de imagens. Adotou-se o classificador Máxima Verossimilhança (MaxVer), com limiar de aceitação de 100 %. O classificador MaxVer, de acordo com o INPE (2008), considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos.

Os mapeamentos foram realizados com base em seis classes temáticas (Tabela 4) considerando a área de estudo. As áreas urbanas foram interpretadas visualmente e delimitadas por edição vetorial, sendo inseridas a partir da edição matricial.

Tabela 4 – Caracterização das classes temáticas de uso e cobertura da terra definidas para a área de estudo.

<b>Classe</b>	<b>Caracterização</b>
Floresta	Áreas de cobertura vegetal natural e áreas de florestamento.
Água	Compreende a rede de drenagem, braço do reservatório Passo Real e açudes.
Agricultura	Áreas destinadas ao cultivo agrícola.
Solo exposto	Áreas preparadas para o plantio e ausência de vegetação.
Área urbana	Áreas urbanizadas.
Campo	Áreas com gramíneas.

Fonte: Classes definidas pelo próprio autor considerando a área de estudo.

Após a definição das classes temáticas, foram escolhidas as amostras de treinamento representativas de cada uma dessas classes de interesse a fim de treinar o algoritmo de classificação supervisionada por pixel (MaxVer). Posteriormente, realizou-se a edição matricial por meio de análise visual no intuito de corrigir pixels classificados erroneamente pelo classificador. Os layouts dos mapas foram realizados no *software* ArcGis 10.1 (ESRI Inc., 2013).

### 3.3 TRABALHO DE CAMPO E AQUISIÇÃO DE DADOS LIMNOLÓGICOS

As atividades de campo foram realizadas nos dias 07 de fevereiro de 2009 e 21 de outubro de 2009, na foz do rio Ingaí. No ponto de coleta foram feitas, na sub-superfície da água, as medidas dos seguintes parâmetros limnológicos: transparência (DS) e temperatura da água (Temp.). As variáveis limnológicas obtidas a partir de análises das amostras coletadas em campo foram: total de sólidos em suspensão (TSS), clorofila *a* (Chl *a*), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE).

#### 3.3.1 Total de sólidos em suspensão

A determinação dos valores de total de sólidos em suspensão (TSS) foi realizada a partir do método de filtragem conforme apresentado em *American Public Health Association* (APHA) (2005). Foram coletadas amostras de água em recipientes com capacidade de 1 litro e

conservadas em caixa de isopor com gelo até o laboratório de Sedimentologia da Universidade Federal de Santa Maria – RS para a realização das análises.

Os filtros de celulose (Marca Millipore – HAWG047S0) com poros de 0,45 µm permaneceram por 24 horas em estufa a uma temperatura de 50°C para a perda de umidade. Os filtros foram pesados em balança analítica da marca Mettler Toledo – modelo AG 245 com acurácia 0,0001g, para obtenção do peso inicial. Em seguida, filtrou-se 350 ml de cada amostra de água utilizando o equipamento Bomba a Vácuo. Os filtros foram novamente acondicionados na estufa à 50°C por 24 horas para sua secagem e obtenção do peso final em uma segunda pesagem. A partir da obtenção desses valores, determinou-se o TSS para cada amostra utilizando a Equação 1.

$$TSS \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{Pf(mg) - Pi(mg)}{V(L)} * 1000 \quad \text{Eq (1)}$$

Onde:

TSS: Total de Sólidos em Suspensão (mg/L); Pf: peso final do filtro (g); Pi: peso inicial do filtro (g); V: volume de água para filtração (ml); 1000: fator de conversão para miligramas.

### 3.3.2 Clorofila *a*

Após a coleta da água, as amostras foram mantidas resfriadas numa caixa de isopor até a chegada ao laboratório. Os procedimentos de filtragem e extração de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*) foram realizados em ambiente com pouca iluminação. Foram filtrados 300 ml de água utilizando filtros de fibra de vidro de 47 mm de diâmetro. Em seguida os filtros foram colocados sobre um papel absorvente para retirar a umidade, acondicionados em papel alumínio e congelados, para posterior extração dos pigmentos.

Para extração dos pigmentos, os filtros filtrados foram mergulhados em 10 ml de metanol, deixando em recipiente fechado sob refrigeração com temperatura de 4°C por 24 horas. Posteriormente, calibrou-se o Espectrofotômetro com a solução de metanol e realizou-se a medida de absorbância da Chl *a*, segundo o método proposto por Mackinney (1941) que ocorre em 663 nm e em 750 nm. Para a leitura no Espectrofotômetro (Bel 1105 modelo SF325NM com faixa de operação entre 325 a 1000 nm) foram retirados os frascos com os filtros da refrigeração, retirou-se o sobrenadante com uma pipeta e colocaram-se as amostras nas cubetas do espectrofotômetro. Para o cálculo da concentração de clorofila em µg/L é levado em consideração as medições do espectrofotômetro, o volume de pigmentos extraídos e o volume filtrado, conforme apresentado na Equação 2.

$$\text{Chl } a \left( \frac{\mu\text{g}}{\text{L}} \right) = \frac{\text{Abs}(663-750) \times 12,63 \times V_{\text{met}}(\text{ml}) \times 1000}{V(\text{ml})} \quad \text{Eq (2)}$$

Onde:

Chl *a*: clorofila *a*; Abs: medida de absorvância; 12,63: constante;  $V_{\text{met}}$ : Volume de metanol (10 ml); 1000: constante;  $V$ : volume da amostra filtrada (300 ml).

### 3.3.3 Transparência da água

Nos dias das atividades de campo, algumas condições foram observadas ao realizar as medidas *in situ*, tais como: céu claro, realização da medida na sombra, seleção de um local de mínima agitação e observação vertical do disco de acordo com a CETESB (2009).

Considerando esses fatores, realizou-se a medida da transparência da água com o uso do disco de Secchi (DS), com diâmetro de 25 cm, que possui uma corda graduada fixada no mesmo, em que é observada a profundidade de seu desaparecimento. Nesse sentido, quanto menor for o valor da transparência da água, menor será a profundidade do Disco de Secchi, devido a maior dispersão da luz, e vice-versa (CETESB, 2009).

### 3.3.4 Temperatura da água; Potencial Hidrogeniônico e Condutividade elétrica

Os dados da temperatura da água de sub-superfície foram obtidos no momento da coleta utilizando um termômetro digital portátil modelo TE-400. Para a determinação do pH utilizou-se o aparelho peagâmetro digital portátil pH<sub>Teh</sub> PH100, calibrados com soluções padrão pH 4 e pH 7. A condutividade elétrica foi determinada utilizando o condutivímetro ORION 815, calibrado com solução padrão 1413  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

## 3.4 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Os dados de precipitação pluviométrica foram obtidos na Agência Nacional das Águas (ANA) oriundos da estação climatológica de Cruz Alta – RS (S -28° 37' 28"/ O -53° 36' 42"). O responsável e operador é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados coletados compreendem 30 dias anteriores às datas do levantamento de campo, para complementar as análises realizadas. Os dados de precipitação foram inseridos no Microsoft Office Excel, no qual foram gerados gráficos.

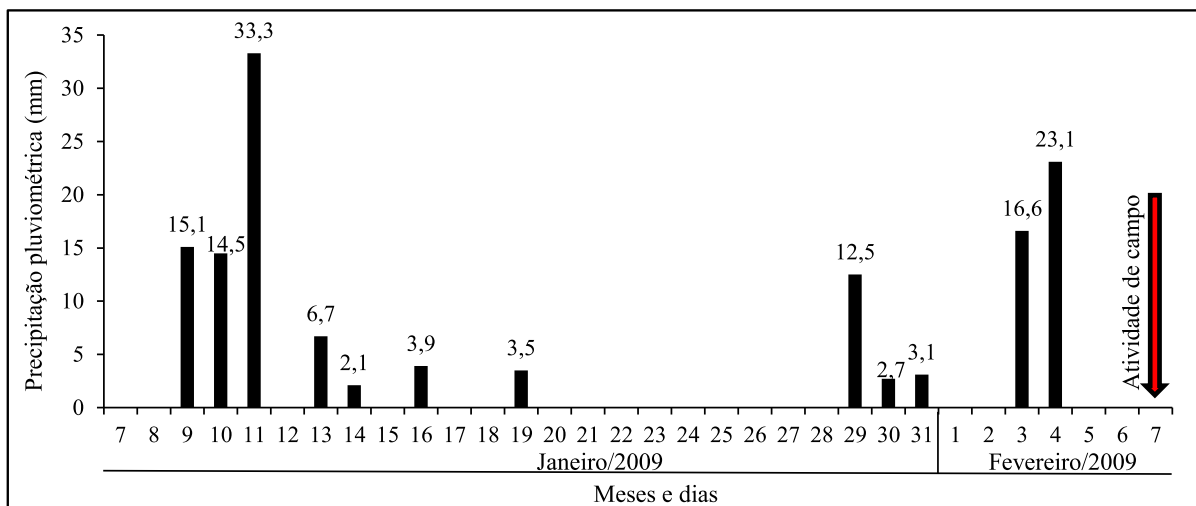
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de imagens de satélite de períodos distintos do processo de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Ingaí e dados de precipitação pluviométrica, possibilitaram obter informações da organização ocupacional da mesma, bem como analisar as possíveis influências na qualidade da água deste rio.

### 4.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

A Figura 3 apresenta os valores de precipitação pluviométrica diária em 30 dias anteriores a primeira atividade de campo (07/02/2009). As ocorrências de chuva próxima da atividade de campo foram nos dias 3 e 4 de fevereiro de 2009, registrando 16,6 mm e 23,1 mm respectivamente, totalizando 39,7 mm, ou seja, 3 dias antes da coleta de campo. Podendo contribuir nas alterações das propriedades das variáveis limnológicas.

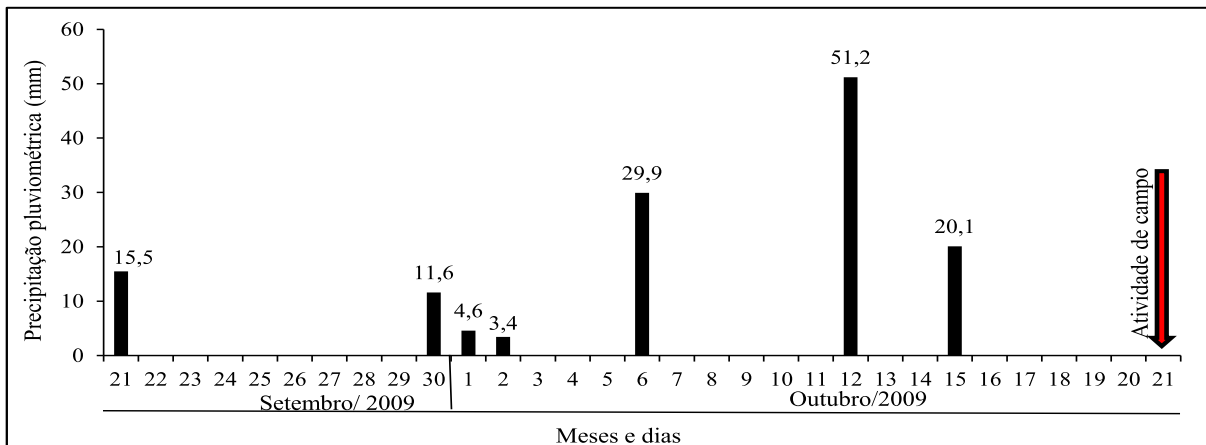
Figura 3 – Dados de precipitação pluviométrica diária em 30 dias anteriores a coleta de campo realizada no dia 07 de fevereiro de 2009.



Fonte: INMET (2015).

A segunda atividade de campo foi realizada no dia 21 de outubro de 2009, período de entressafra nesta região, ou seja, extensas áreas com solo exposto (preparo do solo para plantio). Na Figura 4, observa-se que foi registrado 20,1 mm de chuva no dia 15 de outubro e 51,2 mm no dia 12 de outubro de 2009, ou seja, 6 e 9 dias anteriores a atividade de campo, respectivamente, o que pode ter influenciado o resultado de algumas variáveis limnológicas.

Figura 4 – Dados de precipitação pluviométrica diária em 30 dias anteriores a coleta de campo realizada no dia 21 de outubro de 2009.



Fonte: INMET (2015).

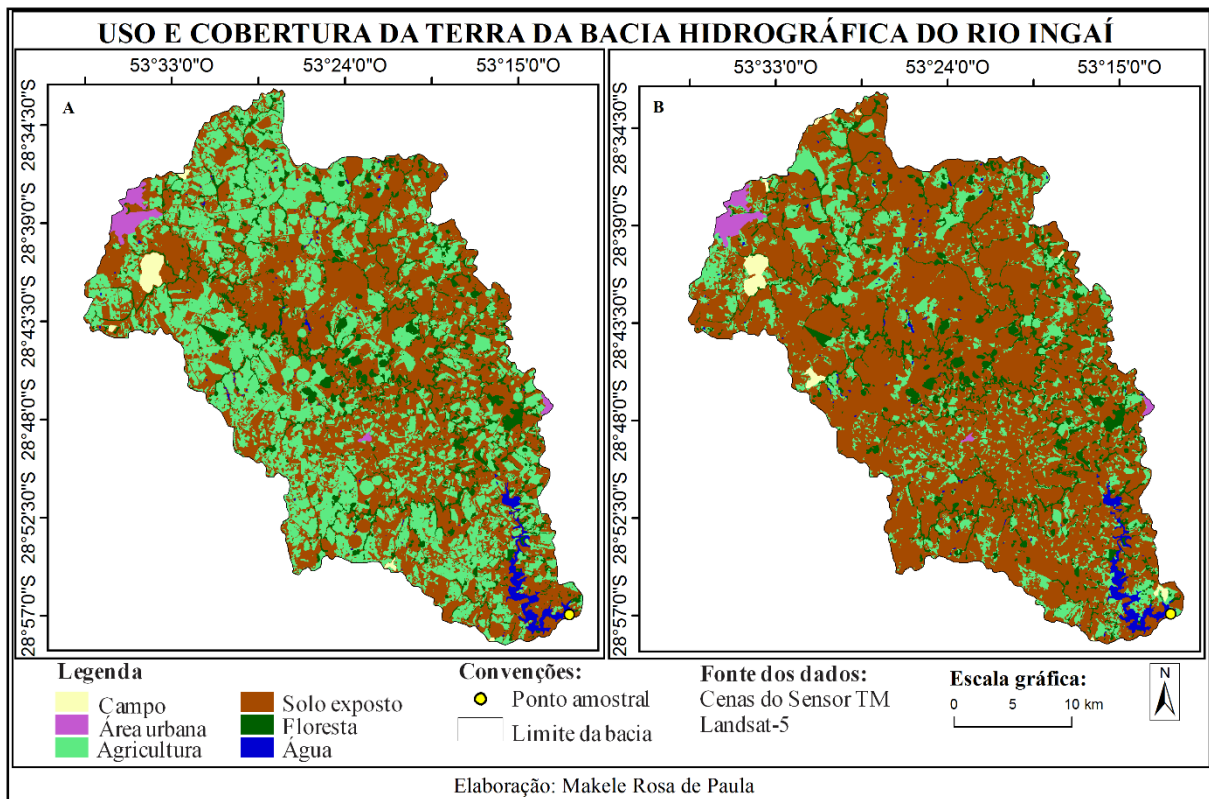
#### 4.2 USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INGAÍ – RS

As imagens do satélite Landsat5/TM constituíram-se em importantes fontes de dados espaciais para a elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Ingaí. De acordo com a classificação das imagens de satélite pode-se determinar os diferentes usos da terra na bacia hidrográfica em estudo. Observa-se a abrangência de extensas áreas das classes de solo exposto e de agricultura nas duas datas analisadas (Figura 5). Nota-se pivôs centrais de irrigação para o campo em janeiro com desenvolvimento vegetativo e para o campo em outubro em fase de preparo do solo para plantio.

A floresta desempenha um papel fundamental na redução dos poluentes nitrogênio e fósforo, além de possuir um papel importante de controle na regulação da qualidade da água (HUANG et al., 2013). Mesmo assim, observa-se que a classe floresta da bacia hidrográfica do rio Ingaí para ambos os períodos (Figura 5), restringe-se principalmente no entorno da rede de drenagem, devido a evolução do uso e ocupação da terra.

Segundo Wachholz (2011), as características das áreas com culturas anuais da bacia hidrográfica do rio Ingaí apresentadas para o dia 20 de outubro de 2009 são: (1) soja, em preparo do solo e início do plantio; (2) trigo, em fase de colheita; (3) milho, preparo do solo, plantio e desenvolvimento vegetativo; e (4) fumo, em fase de desenvolvimento vegetativo. Com essa sucessão de fases envolvidas, o autor concluiu que neste período, as áreas agrícolas estão ocupadas por culturas anuais (fase de colheita do trigo) e solo exposto (fase de plantio, porém vulnerável a perda de solos).

Figura 5 – Mapas de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Ingaí: (A) em 21 de janeiro e (B) 20 de outubro de 2009.



Fonte: Cenas do sensor TM/Landsat 5.

Na Tabela 5 são apresentados o cálculo de áreas e porcentagem das classes temáticas para os dois períodos estudados.

Quanto às alterações no uso e cobertura da terra na área de estudo, para os dois períodos analisados, o cálculo de áreas indicou maior área ocupada por solo exposto, seguido pela classe agricultura. Porém, cabe ressaltar que no mês de janeiro, 38% da bacia foi ocupada por agricultura, enquanto que no mês de outubro apenas 17% para esta mesma classe temática. Quanto a área de solo exposto, no mês de janeiro foi de 50 % da bacia, passando a representar 71% da área para o mês de outubro por ser um período de entressafra.

A redução da classe floresta implica no carreamento de materiais para o corpo d'água, principalmente no período chuvoso, contribuindo significativamente com o aumento da concentração de sólidos e nutrientes na água. Mesmo assim, a classe floresta ocupa apenas 9% da bacia hidrográfica do rio Ingaí para ambos os períodos.

Esta baixa porcentagem da classe floresta indica uma substituição de vegetação nativa para atividades agrícolas. De acordo com Kramer e Pereira Filho (2011), o relevo colinoso suave da bacia hidrográfica do rio Ingaí propicia o desenvolvimento, em larga escala, da



agricultura. Huang et al. (2013) ressaltam, que a vegetação pode proteger o solo dos pingos de chuva e tende a retardar o movimento de escoamento, permitindo que a água de superfície excessiva se infiltre no solo.

A classe campo para as datas analisadas apresentaram 1% da área da bacia hidrográfica. Segundo Wachholz (2011), algumas áreas de campo na bacia hidrográfica do Alto Jacuí são utilizadas durante o inverno para pecuária e que no verão são substituídas por algum tipo de cultura anual, o que explica a baixa abrangência de áreas ocupadas por campo na área de estudo.

Tabela 5 – Áreas das classes de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Ingaí – RS para as datas 21 de janeiro e 20 de outubro de 2009.

<b>Datas</b> <b>Classes</b>	<b>21 de janeiro de 2009</b>		<b>20 de outubro de 2009</b>	
	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Água	13,33	1	13,90	1
Floresta	96,30	9	96,56	9
Solo exposto	518,11	50	739,01	71
Agricultura	401,76	38	177,90	17
Área urbana	9,83	1	9,83	1
Campo	6,52	1	8,61	1
Total	1045,8	100	1045,8	100

Fonte: Cena do sensor TM/Landsat-5.

Como esperado, a classe água, floresta e área urbana, apresentaram o mesmo percentual nas duas datas, correspondendo a 1%, 9% e 1%, respectivamente. A classe água representa os açudes, rios e o braço do reservatório Passo Real.

A conversão do uso da terra com vegetação em área urbana agrava a erosão do solo e, como consequência, aumenta a quantidade de fósforo no escoamento (HUANG et al., 2013), atingindo assim os corpos d'águas. Nesse sentido, cabe destacar as áreas urbanas presentes na bacia, as quais compreendem parte das cidades de Cruz Alta (a noroeste da bacia) e Fortaleza dos Valos (a leste), e a cidade de Boa Vista do Incra (próximo a região central da bacia).

### 4.3 VARIÁVEIS LIMNOLÓGICAS

Considerando os dados limnológicos obtidos *in situ*, os dados de chuva e as mudanças associadas às diferentes práticas do uso e cobertura da terra, realizaram-se as análises e integração dos dados.

O valor obtido de condutividade elétrica para o primeiro campo (07/02/2009) foi de 58,9  $\mu\text{s}/\text{cm}$  e para o segundo campo (21/10/2009) de 27,5  $\mu\text{s}/\text{cm}$  (Tabela 6). Estes valores de condutividade elétrica comparados aos estudos realizados por Gonçalves, Rocha e Ferreira (2011), na bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, são considerados baixos, pois os mesmos autores encontraram valores de condutividade elétrica de até 852  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , concluindo que, esses valores podem ter sido influenciados, além da geologia e pedologia, pelo uso da terra para finalidade agrícola.

O valor de condutividade elétrica para o primeiro campo (58,9  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ), período de desenvolvimento vegetativo (agricultura), coincidiu quando a temperatura foi mais alta (27,2 °C). CETESB (2009) afirma que, a condutividade elétrica depende das concentrações iônicas e da temperatura. Segundo Mosca (2003), essa variável limnológica pode ser alterada em decorrência da entrada de fertilizantes e defensivos agrícolas que acabam aumentando as concentrações iônicas nos corpos d'água. Tong e Chen (2002) afirmaram que o uso agrícola foi fortemente relacionado à condutividade elétrica.

Tabela 6 - Dados das variáveis limnológicas no ponto de coleta localizado na foz do rio Ingaí.

Variáveis limnológicas	Campo dia 07/02/2009	Campo dia 21/10/2009
Cor	Verde marrom	Verde
Disco de Sechhi (m)	1,45	0,38
Temperatura (°C)	27,2	23,9
pH	7,0	7,35
Chl <i>a</i> ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )	9,26	439,52
TSS ( $\text{mg}/\text{l}$ )	3,0	42,00
CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	58,9	27,5

Fonte: Atividade de campo.

O total de sólidos em suspensão para o primeiro campo (07/02/2009) foi inferior ao segundo campo (21/10/2009) (Tabela 6), o que provavelmente se deve as menores áreas de

solo exposto nesse período, comparado ao segundo campo, embora tenham ocorrido precipitações pluviométricas 3 dias antes da coleta desse dado limnológico. De acordo com Kramer (2009), em fevereiro a terra encontra-se coberta, principalmente, pelo cultivo da soja e do milho, evitando a exposição e lixiviação do solo.

A concentração do total de sólidos em suspensão para o segundo campo foi de 42 mg/l (Tabela 6) coincidindo com a maior área de solo exposto (71% da bacia) (Tabela 5), ocorrência de precipitação pluviométrica 6 dias anteriores a coleta de campo (20,1 mm) (Figura 4) e baixa transparência da água (0,38 m) (Tabela 6). Uma vez que o solo desprovido de cobertura vegetal facilita o transporte de sedimentos para o rio durante os eventos de chuva. Kramer e Pereira Filho (2011) ressaltam que, os solos desprovidos de vegetação, seja de áreas florestais ou agrícolas, proporcionam o desenvolvimento do processo de erosão que reflete nos corpos d'águas como o aumento na concentração de sólidos em suspensão.

Sabe-se que as concentrações de sólidos em suspensão e clorofila *a* são inversamente proporcional à transparência da água, ou seja, a transparência da água diminui à medida que a concentração de sólidos em suspensão e clorofila *a* aumenta. Na Tabela 6, observa-se que as menores concentrações de sólidos em suspensão (3,0 mg/l) e clorofila *a* (9,26 µg/l) ocorreram no primeiro campo, o qual apresentou uma maior transparência da água (1,45 m) comparado com o segundo campo que obteve valores de TSS de 42 mg/l e clorofila *a* de 439,52 µg/l obtendo menor transparência (0,38 m).

A alta concentração de clorofila *a* (439,52 µg/l), no mês de outubro, deve-se ao aumento de nutrientes na água. Tundisi et al. (2008) ressaltam que, a aplicação de fertilizantes e pesticidas no solo aumenta a vulnerabilidade dos corpos d'água, aumentando os custos do tratamento das águas. Segundo CETESB (2014), o enriquecimento de nutrientes na água, principalmente por nitrogênio e fósforo, causa a eutrofização que é um indicador do crescimento de algas e cianobactérias.

Estudos realizados por Wachholz (2011) durante uma série temporal do reservatório Passo Real em 2009, permitiram verificar que as médias de clorofila *a* para os meses de fevereiro a julho (meses menos chuvosos) foram baixas, caracterizando o ambiente do reservatório como mesotrófico e para os meses de agosto a março de 2010 (meses chuvosos) as concentrações de clorofila *a* foram altas, caracterizando o ambiente do reservatório de eutrófico a hipereutrófico.

Desta maneira, os dados de concentração de clorofila *a* obtidos no presente estudo, permitiram classificar o campo realizado no mês de fevereiro como mesotrófico e para o campo realizado em outubro como hipereutrófico, de acordo com a classificação de estado

trófico proposta por Carlson (1977) modificado por Lamparelli (2004) (Tabela 1). Estudos realizados por Pereira Filho et al. (2011) no reservatório Passo Real, ressaltam que as águas do rio Ingaí ao atingir o reservatório Passo Real, localizado próximo ao dique, podem apresentar maior período de residência, podendo ser considerada a zona de transição que proporciona condições favoráveis a altos valores de clorofila.

O pH quase não houve variação para as duas datas estudadas. Na Tabela 6 observa-se, que para o campo 07/02 apresentou valor 7 (neutro) e no dia 21/10 foi de 7,35 (alcalina). Estes resultados são considerados satisfatórios, pois estão dentro dos limites de padrões de qualidade das águas segundo a resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), que é de 6 a 9.

A temperatura da água varia, principalmente, em função do período do ano, visto que a primeira atividade a campo foi realizada no período de verão (07/02/2009), onde ocorrem as maiores temperaturas, obtendo assim temperatura de 27,2°C, enquanto que no segundo campo (21/10/2009) registrou 23,9°C, período de primavera (Tabela 6). A ocorrência de maior temperatura para o campo realizado em fevereiro coincidiu com a maior transparência da água (1,45 m). Segundo Sartor (2008), a temperatura da água é diretamente proporcional a transparência da água e inversamente proporcional a concentração de TSS, isto é, quanto maior a temperatura maior a transparência da água e, portanto, menor a concentração de TSS.

A cor da água está associada à presença de material em suspensão na água como argilas, detritos orgânicos, que impedem a passagem da luz, sendo largamente utilizada para inferir-se sobre a perda de solos (LEONARDO, 2003). Nesse sentido, realizou-se uma análise visual da água do rio Ingaí, observando coloração verde-marrom para o campo em fevereiro, o qual pode estar relacionado a presença de sólidos em suspensão e clorofila, e coloração verde para o campo em outubro, devido à alta concentração de clorofila *a* na água.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação integrada dos sistemas aquático e terrestre, permitiu concluir que a alteração das propriedades da água do rio Ingaí possui forte relação com as alterações no uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica, provenientes principalmente de fontes difusas, devido à extensa área destinada a agricultura, áreas de solo exposto, aliados a ocorrência de precipitação pluviométrica.

Os índices pluviométricos em relação ao uso e cobertura da terra influenciaram no resultado das variáveis limnológicas em maior ou menor aporte de sedimentos e nutrientes carregado para o leito do rio. As diferenças mais expressivas ocorreram nas concentrações do total de sólidos em suspensão e de clorofila *a*.

No mês de outubro apresentou maior área de solo exposto, tendo como consequência uma maior concentração de sólidos em suspensão, uma baixa transparência da água e menor temperatura, em relação ao mês de janeiro que apresenta uma menor exposição de terra coincidindo com uma maior transparência e maior temperatura da água. De modo geral, no período em que ocorreu maior área de solo exposto associado a ocorrência de precipitação pluviométrica, a influência do ambiente terrestre sobre o ambiente aquático foi maior devido a facilidade de escoamento superficial contribuindo assim para uma elevada carga de sedimentos e nutrientes para o corpo d'água.

Analisando exclusivamente a variável clorofila *a* como indicadora do estado trófico encontrou-se no ponto de coleta do rio Ingaí ambiente mesotrófico para o mês de fevereiro e hipereutrófico para o mês de outubro, conforme CETESB (2010). Constatou-se que os valores de pH estão de acordo com a resolução CONAMA 357/05, ficando entre os valores 6 e 9.

O uso de sensoriamento remoto permitiu identificar características importantes que ocorreram na bacia hidrográfica do rio Ingaí, em que as atividades antrópicas têm tido efeitos significativos sobre a qualidade da água.

Este estudo fornece informação sobre os fatores que afetam a qualidade da água do rio Ingaí e contribui para uma melhor concepção sobre o mesmo para a realização de uma gestão eficaz.

## REFERÊNCIAS

AHEARN, D. S.; SHEIBLEY, R. W.; DAHLGREN, R. A.; ANDERSON, M.; JOHNSON, J.; TATE, K. W. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. **Journal of Hydrology**, p. 234–247, 2005.

ALBERTI, E. A. **Influência do uso da terra em variáveis limnológicas no rio Soturno, Rio Grande do Sul-Brasil**. 2015. 100 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portal da qualidade das águas**. Brasília, s/d. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>> Acesso em: 31 mar. 2016.

APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Waster water**. 21 ed. Springfield: Byrd Prepress, 2005.

BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto da dinâmica de circulação da água do sistema planície de Curuai/Rio Amazonas**. 2005. 281 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Escassez de água: geopolítica e valoração hídrica. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 8., 2009, Cuiabá/MT. **Anais...** Cuiabá/MT: ECOECO, 2009. Disponível em: <<http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/VIII/GT2-45-22-20090513230719.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2015.

BRAGA, C. Z. F. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da concentração de clorofila a, transparência e profundidade da água na Lagoa de Araruama, RJ**. 1998. 220 p. Tese (Doutorado em Geociências) Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 1998.

BRAMLEY, R. G. V.; ROTH, C. H. Land-Use Effects on Water Quality in an Intensively Managed Catchment in the Australian Humid Tropics. **Marine and Freshwater Research**, v. 53, p. 931–940.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de março de 2005. **Conselho nacional do meio ambiente - CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 21 de out. 2015.

BREUNIG, F. M. **Características limnológicas e espectral do reservatório de água da CORSAN, Itaara/Júlio de Castilhos, RS**. 2006. 132 p. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

BRITTO, F. P. **“Distribuição espaço-temporal da precipitação pluvial no Estado Do Rio Grande Do Sul”**. 2004. 76 p. Dissertação (Mestrado em geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004.

BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; CHAGAS, A. C. de. **Distribuição geográfica da precipitação pluviométrica no Estado do Rio Grande do Sul.** [S.l.]. p. 133- 145, 2004.

CAMARA, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M.; Garrido, J. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling.** Computers and Graphics, 1996. v.20 n.3, p.395-403, 1996.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology Oceanography**, v . 22. p. 361-80, 1977.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** São Paulo: CETESB, 2009. 44 p. (série relatórios). Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>> Acesso em: 21 de out. 2015.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico.** São Paulo: CETESB, p. 14, 2014.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Classificação do Estado Trófico para reservatórios segundo Índice de Carlson Modificado – Reservatórios.** São Paulo: CETESB, 2010. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/04.pdf>>. Acesso em: 21.out.2015.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente.** 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

ESRI - **ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE.** ArcGIS for the desktop, versão 10.1, USA, 2013.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

FERREIRA, A. B.; PEREIRA FILHO, W.; ROSA, R. Análise comparativa de variáveis limnológicas em três sub-bacias hidrográficas na região central do Rio Grande do Sul-Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 13, n. 41, p. 15-28, 2012. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16484/9206>>. Acesso em: 10 de set. 2015.

GONÇALVES, F.; ROCHA, P. C.; FERREIRA, C. C. Uso e ocupação da terra e suas influências em parâmetros químicos e físicos da água da bacia hidrográfica do rio Santo Anastácio, Oeste Paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba/PR. **Anais...** Curitiba/PR: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011, p. 1248 - 1255.

HERMES, L. C. e SILVA, A. S. **Avaliação da Qualidade das Águas.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

- HUANG, J.; ZHAN, J.; YAN, H.; WU, F.; DENG, X. Evaluation of the Impacts of Land Use on Water Quality: A Case Study in The Chaohu Lake Basin. **The Scientific World Journal**. p. 1-7, 2013.
- IBGE. **Mapa de Vegetação 2004**. IBGE: Rio de Janeiro, 2004. Disponível em <[ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/mapas\\_murais/vegetacao.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/vegetacao.pdf)>. Acesso em 12 jun. 2015.
- IBGE. **Mapa de Solos do Brasil**. IBGE: Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas\\_tematicos/mapas\\_murais/solos.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/solos.pdf)>. Acesso em 12 jun. 2015.
- INMET INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acesso em: 25 de jun. 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) - Manuais: tutorial de geoprocessamento SPRING. 2008.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.
- KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. **Recursos Hídricos e Saneamento**. Curitiba- PR: Organic Trading, 2008. 160 p.
- KRAMER, G. **Avaliação espaço-temporal das avaliações entre ecossistemas terrestre e aquático: estudo de caso da bacia da UHE Passo Real da região sul do Brasil**. 2009. 90 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.
- KRAMER, G.; PEREIRA FILHO, W. Avaliação espaço-temporal das relações entre ecossistemas terrestre e aquático: estudo de caso da bacia da UHE Passo Real da região sul do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba/PR. **Anais...** Curitiba/PR: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011, p. 4185 - 4193.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. São Paulo: USP/ Departamento de Ecologia. 2004. 237 p. Tese (Doutorado em Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.
- LATRUBESSE, E. M., STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Tropical rivers. **Geomorphology**, v. 70, 2005, p. 187–206.
- LATRUBESSE, E. Amazon lakes. In: L. Bengtsson; R. Herschy; R. Fairbridge (Orgs.), **Lakes and reservoirs**. Springer Verlag, p. 13–26, 2012.
- LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos. **Revista Entre Lugar**, n. 6, p. 65-84, 2012.



- LEONARDO, H. C. L. **Indicadores de qualidade de solo e água para a avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo Cue, região Oeste do Estado do Paraná.** 2003. 131 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2003.
- LIU, Y.; BRALTS, V. F.; ENGEL, B. A. Evaluating the Effectiveness of Management Practices on Hydrology and Water Quality at Watershed Scale with a Rainfall-Runoff Model. **Science of the Total Environment**, v. 511, p. 298–308, 2015.
- LONDE, L. R. et al. Avanços no estudo do comportamento espectral do fitoplâncton e identificação remota de algas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 389-396.
- MACKINNEY, G. Absorption of light by chlorophyll solutions. **The Journal of Biological Chemistry**. v. 140, p. 315 – 322, Mar 1941.
- MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.
- MISERENDINO, M. L.; CAS AUX, R.; ARCHANGELSKY, M.; PRINZIO, C. Y. di, BRAND, C.; KUTSCHKER, A. M. Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams. **Science of the Total Environment**. p. 612-624, 2011.
- MOSCA, A. A. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas.** 2003, 120 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2003.
- NOVO, E. M. L. de M. Monitoramento de quantidade de qualidade da água e sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo/SP. **Anais...** São Paulo/SP: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007. p. 1-20.
- NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.
- PAN, X. et al. Remote sensing of picophytoplankton distribution in the northern South China. **Sea Remote Sensing of Environment**. v. 128, p. 162– 175, 2013.
- PAULA, M. R. de. **Explorando a cor dos corpos hídricos com dados do projeto “Brasil das Águas” para o ensino de geografia.** 2013. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, GO, 2013.
- PAULA, M. R. **Relações entre variáveis limnológicas e reflectância do reservatório Passo Real – RS.** 2015. 84 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.
- PEREIRA FILHO, W.; et al. Relação entre clorofila *a* com perfil espectral e imagem de satélite no reservatório Passo Real – RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba/PR, **Anais...** Curitiba/PR: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011, p. 5433 – 5440.

PINTO, L. V. A.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 197-206, 2004.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. 2004, 197 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. de M. Aplicação de geotecnologias na modelagem do potencial poluidor das sub-bacias de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP relacionado à qualidade da água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia/GO. **Anais...** Goiânia/GO: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 3253 – 3260.

REIS, J. T. **Influência do uso e ocupação da terra no ecossistema aquático da sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena, em Santa Maria – RS**. 2006. 110 p. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

ROSA, R. et al. Elaboração de uma base cartográfica e criação de um banco de dados georreferenciados da bacia do Rio Araguari – MG. In: LIMA, S. C.; SANTOS, R. J. (Org.) **Gestão ambiental da bacia do Rio Araguari: rumo ao desenvolvimento sustentável**. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Brasília: p. 69 – 87.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed., Uberlândia: Ed. EDUFU.2009.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 208 p.

SANTOS, F. C dos. **Influência dos constituintes opticamente ativos na reflectância espectral da água do reservatório passo real, RS**. 2012. 89 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.

SANTOS, F. C dos. **Relação entre transparência da água obtida *in situ* e a reflectância da imagem Landsat 5 TM do reservatório Passo Real**. 2014. 38 p. Monografia (Especialização em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

SARTOR, S. C. de B. **Avaliação temporal de variáveis limnológicas do reservatório Rodolfo Costa e Silva - RS, e o uso da terra na área de captação**. 2008. 94 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

SILVA, A. P. S.; DIAS, H. C. T.; BASTOS, R. K. X.; SILVA E. Qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.33, p.1063-1069, 2009.

TYLER, A. N.; SVAB, E.; PRESTON, T.; PRESING, M.; KOVACS, W. A. Remote sensing of

the water quality of shallow lakes: A mixture modelling approach to quantifying phytoplankton in water characterized by high-suspended sediment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, p. 1521–1537, 2006.

TONG, S. T. Y.; CHEN, W. Modeling the relationship between land use and surface water quality. **Journal of Environmental Management**, n. 66, p. 377-393, 2002.

TUNDISI, J. G. & TUNDUSI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

TUNDISI, J. G.; BRAGA, B.; REBOUÇAS, A. da C. Os recursos hídricos e o futuro: síntese. In: REBOUÇAS. **Águas Doces no Brasil**. 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006, p. 739-748.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; PARESCHI, D. C.; LUZIA, A. P.; HAELING, P. H. V.; FROLLINI, E. H. A bacia hidrográfica do Tietê/Jacaré: estudo de caso em pesquisa e gerenciamento. **Estudos avançados**, p. 159-172, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; v. 1. 3. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005.

WACHHOLZ, F. **Influência das bacias hidrográficas e características espaço-temporal de variáveis limnológicas em reservatórios no Rio Grande do Sul**. 2011. 191 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2011.