

ANDRÉIA HOLLUNDER KLIPPEL

**USO DA TERRA E BALANÇO DE ÁGUA EM UNIDADES HIDROLÓGICAS  
EDAFOCLIMÁTICAS DISTINTAS NO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Meteorologia  
Agrícola, para obtenção do título de  
*Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS- BRASIL  
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

K65u  
2016 Klippel, Andréia Hollunder, 1992-  
    Uso da terra e balanço de água em unidades hidrológicas  
    edafoclimáticas distintas no Rio Grande do Sul / Andréia  
    Hollunder Klippel. – Viçosa, MG, 2016.  
    x, 39f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Aristides Ribeiro.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.35-39.

1. Uso do solo. 2. Bacias hidrográficas - Rio Grande do Sul.  
3. Satélites artificiais no sensoriamento remoto. 4. Sensoriamento  
Remoto - Imagens. 5. Evapotranspiração. I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola.  
Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola.  
II. Título.

CDD 22 ed. 631.47


ANDRÉIA HOLLUNDER KLIPPEL

**USO DA TERRA E BALANÇO DE ÁGUA EM UNIDADES HIDROLÓGICAS  
EDAFOCLIMÁTICAS DISTINTAS NO RIO GRANDE DO SUL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de julho de 2016.

  
Fábio da Silveira Castro

  
André Quintão de Almeida



---

Aristides Ribeiro  
(Orientador)

**Dedico:**

**Aos meus pais Deoclério Klippel e Tereza Hollunder.**

**À minhas irmãs, Valéria e Angélica.**

**Pelo constante incentivo  
recebido e pelo amor eterno que  
tenho por todos!**

**Muito obrigado!**

**“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes” (Marthin Luther King).**

***“Todas as vitórias ocultam uma abdicação” (Simone de Beauvoir).***

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a **DEUS**, causa primária de todas as coisas, por estar sempre comigo e nunca me deixar só. Agradeço pela tua infinita fidelidade e por permitir mais uma conquista em minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Aristides Ribeiro, pela orientação e aprendizado, pela amizade e confiança em mim depositada.

Ao programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade concedida.

Aos meus pais, Deoclério Klippel e Tereza Hollunder Klippel, que me ensinaram a viver com dignidade, que se doaram inteiros e renunciaram aos seus sonhos para que os meus fossem realizados, agradeço pelo amor, carinho e dedicação.

À minhas irmãs, Valéria e Angélica e ao meu irmão do coração Luciano, pelo grande apoio e incentivo em todos os aspectos.

Aos demais familiares, pelo incentivo.

Agradeço a todos os mestres, pelos ensinamentos ao longo de minha formação e aqueles que direto ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho e minha formação acadêmica.

A todos os meus amigos e amigas, mesmo que aqui não estejam citados, por me incentivarem. Muito obrigado pelo carinho, atenção, momentos de distração e por acreditarem em mim.

## **BIOGRAFIA**

ANDRÉIA HOLLUNDER KLIPPEL, filha de Tereza Hollunder Klippel e Deoclério Klippel, natural de Afonso Cláudio, Espírito Santo, nasceu no dia 02 de julho de 1992. Em fevereiro de 2014, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Espírito Santo, ES. Em seguida, deu continuidade aos estudos e pesquisas no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, MG.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
ABSTRACT .....	IX
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	5
2.1. <i>Área de estudo</i> .....	5
2.2. <i>Base de dados</i> .....	8
2.3. <i>Processamento das imagens de satélite</i> .....	9
2.4. <i>Estimativa da Evapotranspiração de cultivos (ETc)</i> :.....	15
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
4. CONCLUSÕES.....	34
5. REFERÊNCIAS .....	35

## RESUMO

KLIPPEL, Andréia Hollunder, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Uso da Terra e Balanço de Água em Unidades Hidrológicas Edafoclimáticas Distintas no Rio Grande do Sul.** Orientador: Aristides Ribeiro.

Objetivou-se discriminar o uso do solo em duas bacias, por meio da classificação de imagens de satélite, e a partir disso, gerar mapas da evapotranspiração. A área de estudo compreende as Bacias Hidrográficas do Rio Baixo Jacuí e Rio Santa Maria localizadas no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Foram adquiridas imagens do satélite LANDSAT 8 OLI para a elaboração dos mapas de uso da terra. Foram utilizadas seis classes de uso da terra, sendo elas: plantio florestal, mata nativa, corpo d'água, arroz, solo exposto e pastagem/cultivo agrícola. Foi realizada a classificação supervisionada pelo algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER) e a acurácia do classificador foi analisada por meio do índice kappa. A evapotranspiração potencial foi corrigida levando-se em consideração fatores de acordo com o uso do solo. Os mapas de classificação do uso do solo, apresentaram índice Kappa, de 0,84 e 0,91 para as Bacias de Baixo Jacuí e Santa Maria, respectivamente. A classe cultivo florestal para bacia de Baixo Jacuí apresentou cerca de 1179,41 km<sup>2</sup>, enquanto que na de Santa Maria esse valor foi 264,2 km<sup>2</sup>. A classe que apresentou maior área, nas duas bacias, foi agrícolas. A área classificada como mata nativa foi muito superior em Baixo Jacuí, se comparada à área, contendo a mesma classe, na bacia de Santa Maria. Em relação à classe Corpos d'água, a bacia de Santa Maria apresentou 287,67km<sup>2</sup> e Baixo Jacuí 257,5 km<sup>2</sup>. A área cultivada com arroz foi de 923,9 Km<sup>2</sup>, cerca de 5,33% da área total da na Bacia de Baixo Jacuí. Já na bacia de Santa Maria, esse valor foi de 369,03 km<sup>2</sup>. A distribuição espacial da evapotranspiração se modificou após a correção nas duas bacias, considerando os usos da terra. A classe corpo d'água apresentou um aumento, após a correção da evapotranspiração, por outro lado a classe de pastagem e cultivos agrícolas, foi a que teve maior redução nos valores da evapotranspiração, devido ao valor do kc ter sido

menor. As imagens de satélite escolhidas, juntamente com as amostras de treinamento selecionadas, proporcionaram um bom desempenho para o método de classificação empregado, ao conseguir distinguir as diferentes classes de uso do solo objetos de estudo deste trabalho.

## ABSTRACT

KLIPPEL, Andreia Hollunder, M.Sc., Federal University of Viçosa, July 2016.  
**Land Use and Water Balance in Distinct Edaphoclimatic Hydrologic Units in Rio Grande do Sul.** Adviser: Aristides Ribeiro.

It aimed to discriminate land use into two basins, through the satellite image classification, and from that, generate evapotranspiration maps. The study area comprises the Watershed river Baixo Jacuí and river Santa Maria in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Satellite images were acquired Landsat 8 OLI for the preparation of land use maps. We used six land use classes, which are: forest cultivation, native forest, body of water, rice, exposed soil and pasture / crop cultivation. The supervised classification by maximum likelihood algorithm (MAXVER) and accuracy of the classifier was analyzed by the kappa index was performed. The potential evapotranspiration was corrected taking into account factors according to the land use. The maps of land use classification, showed Kappa index of 0.84 and 0.91 for Basins Baixo Jacuí and Santa Maria, respectively. The forest cultivation class to Baixo Jacuí presented about 1179.41 km<sup>2</sup>, while in Santa Maria was 264.2 km<sup>2</sup>. The class with the highest area in the two basins, was pasture / agricultural crops. The area classified as native forest was much higher in Baixo Jacuí, compared to the area containing the same class, in the basin of Santa Maria. Regarding the body of water class, the basin of Santa Maria presented 287,67km<sup>2</sup> and Baixo Jacuí 257.5 km<sup>2</sup>. The area cultivated with rice was 923.9 Km<sup>2</sup>, about 5.33% of the total area of the Baixo Jacuí Basin. In the basin of Santa Maria, this number was 369, 03 km<sup>2</sup>. The spatial distribution of evapotranspiration changed after the correction in the two basins, considering land uses. The body of water class showed a greater increase after correction, on the other hand the class of pasture and crops, was the one that had the greatest reduction in the values of evapotranspiration due to the value of kc have been lower. The selected satellite images, along with the training samples selected, provided a good performance for the employee classification method, which proved very

satisfactory to be able to distinguish the different classes of land use objects of study of this work.

## 1. Introdução

Há uma crescente discussão em equilibrar a necessidade de crescimento econômico com a conservação do meio ambiente. São grandes os desafios em tornar sustentável o processo produtivo para atender o aumento da demanda por alimentos, madeira, energia, etc., exigida pelo crescimento populacional, e evitar problemas como escassez de água, redução da biodiversidade e a perda de serviços ecossistêmicos.

A fim de atender as demandas por produtos agrícolas é necessário incrementar a produção, o que ocasiona um aumento no consumo de água (HOWELL, 2001; CONCEIÇÃO et al., 2013). A água é um fator essencial para a produção agrícola, e sua disponibilidade e distribuição podem definir a viabilidade das atividades agropecuárias de uma região (FAGGION et al., 2009).

Apesar de ser um Estado em que a escassez hídrica não seja um problema constante, em áreas com forte demanda agrícola é observado conflito entre a utilização da água para abastecimento humano e irrigação (TUCCI et al., 2000). A agropecuária é altamente impactada pelas adversidades climáticas, como observado nos anos de 2005 e 2012, em que o PIB (Produto Interno Bruto) do Estado sofreu as maiores retrações registradas no século XXI, sendo este afetado pelo desempenho do campo e suas repercussões na indústria e nos serviços (FEIX e LEUSIN JÚNIOR, 2015).

O Rio Grande do Sul colabora com aproximadamente um décimo do Valor Adicionado Bruto (VAB) da agropecuária do Brasil (IBGE, 2014). Em 2012, a importância do Estado para a agropecuária nacional era inferior apenas para os estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso. Segundo as estatísticas do PIB Municipal, a agropecuária é a principal atividade econômica em 71 municípios gaúchos. A soja, o arroz, o milho e o trigo constituem as principais culturas agrícolas praticadas no RS, em termos de área plantada e quantidade produzida (FEIX e LEUSIN JÚNIOR, 2015).

Além disso, esse Estado tem se mostrado promissor à expansão da silvicultura. Atualmente, conta com 597.302 ha de florestas plantadas, em que, 52% são áreas plantadas com eucalipto, 31% com pinus e 17% com outras espécies florestais (IBÁ, 2015).

Assim como em outros Estados do Brasil, a indústria brasileira de árvores plantadas no RS, além de questões estruturais, convive com desafios específicos como, por exemplo, a legislação ambiental complexa e de difícil aplicabilidade e restrições para aquisição de terras por empresas brasileiras com maioria de capital estrangeiro (IBÁ, 2015). O consumo de água por plantios florestais de espécies exóticas também é um tema frequentemente discutido, devido aos possíveis impactos sobre os recursos hídricos na escala de microbacias (ANDRÉASSIAN, 2004; ALMEIDA e SOARES, 2003; VANCLAY, 2009; RIBEIRO et al., 2011).

Segundo Balbino (et al., 2011) na Região Sul do Brasil, a disponibilidade de áreas para novos projetos agropecuários tornou-se extremamente limitada. Assim, a produção agrícola, pecuária ou florestal e a preservação dos recursos naturais estão sob crescente pressão, necessitando de práticas que promovam o bom uso da terra.

As ações antrópicas são responsáveis por modificações consideráveis no ambiente de bacias hidrográficas, tendo em vista sua influência quantitativa e qualitativa direta sobre os processos hidrológicos (ANDRADE et al., 2013).

Uma das formas de se minimizar o efeito da exploração agrícola sobre o ambiente, e ainda assim contribuir para o aumento da produção, é a utilização do planejamento do uso da terra associado às características climáticas da região.

Diversas ferramentas podem ser empregadas no planejamento do setor agrícola, uma delas é a utilização sensoriamento remoto, que pode ser definido como o emprego de sensores e equipamentos para processamento de dados acoplados a aeronaves ou satélites, objetivando-se estudar

eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície da Terra, por meio do registro e da análise das interações entre as feições terrestres e a radiação eletromagnética (NOVO, 2008).

O sensoriamento remoto pode ser aplicado a estudos em escala global, onde é possível estimar com bons níveis de precisão a distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal e de áreas cobertas por gelo na Terra, bem como a temperatura da superfície dos oceanos, os efeitos da desertificação, entre outros (BOEGH et al., 2002).

As aplicações do sensoriamento remoto não se restringem apenas a estudos em escala global. Também são realizados estudos em escala regional, possibilitando realizar estimativas de produtividade, determinação de áreas atingidas por pragas e doenças, desempenho de cultivos em regiões irrigadas, como também a elaboração de mapas de usos da terra, entre outras diversas possíveis aplicações (PALLONE FILHO et al., 2003; VICTORIA et al., 2005; FARIA et al., 2005).

O mapeamento pode ser feito por interpretação visual ou por meio da classificação digital. Na interpretação visual, o fotointérprete, utilizando composição RGB, extrai feições de interesse da imagem. Na classificação digital, o mapeamento é feito através do reconhecimento de padrões e de objetos homogêneos, representados em um conjunto de pixels. O algoritmo responsável pela classificação digital é denominado “classificador”, e a classificação pode ser feita pixel a pixel ou por regiões/objetos (JENSEN, 2011).

Existem dois tipos principais de classificação de imagens: a classificação supervisionada e a não-supervisionada. Na primeira, os atributos espectrais de um dado pixel são comparados àqueles pertencentes a uma área de treinamento, determinada pelo usuário, com base no conhecimento da realidade terrestre. Na classificação não-supervisionada não há área de treinamento definida pelo usuário, logo, todo procedimento de reconhecimento dos padrões é feito automaticamente, por meio de uma

análise de todos os pixels que compõem a imagem e da identificação de agrupamentos (MENESES & ALMEIDA, 2012).

Sabendo-se a forma pela qual o solo está sendo utilizado, através dos mapas de uso de solo, é possível efetuar o planejamento e administração da ocupação ordenada e racional do meio físico, além de localizar e monitorar áreas de preservação ambiental. Por meio da interpretação das imagens de satélite, pode-se obter de forma rápida, quando comparada com avaliações visuais feitas em campo, um mapa temático atualizado e preciso das diferentes feições espaciais.

Outra ferramenta importante para a elaboração do planejamento agrícola é a estimativa da evapotranspiração (ETP), que pode ser definida como processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água e do solo e por transpiração das plantas (PEREIRA et al., 2002). A partir da estimativa da ETP, é possível empregá-la em diversas situações como, por exemplo, no dimensionamento de sistemas de irrigação, estimativa da perda de água em reservatórios, modelagens hidrológicas e climáticas, no cálculo do balanço hídrico, entre outros.

Segundo Silva et al., (2005) e Araújo et al., (2007) o conhecimento do consumo hídrico das culturas, obtido com base na estimativa da evapotranspiração, constitui-se numa informação valiosa no manejo da água, como por exemplo em áreas irrigadas, principalmente no momento em que ocorre forte conscientização popular do uso racional dos recursos hídricos.

A evapotranspiração das culturas (ETc) pode ser estimada a partir da evapotranspiração de referência (ETo) e do coeficiente de cultura (Kc) (PEREIRA et al., 2009). Dentre os vários métodos existentes na literatura para estimativa da ETo, a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) considera o método de Penman-Monteith (PMF) como método padrão para a estimativa desta variável (ALLEN et al., 1998). O Kc é obtido experimentalmente através da relação entre a ETc e a ETo, e representa a

integração dos efeitos de quatro características que distinguem a evapotranspiração da cultura e de referência: a altura da cultura, a resistência do dossel vegetativo, o albedo da superfície cultura-solo e a evaporação da água na superfície do solo (ALLEN et al., 2006).

Diante do exposto, esse estudo tem como objetivo discriminar o uso do solo em duas bacias, por meio da classificação de imagens de satélite, e a partir disso, gerar mapas da evapotranspiração.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende duas Bacias Hidrográficas (Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí e Bacia Hidrográfica de Santa Maria) localizadas no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1).

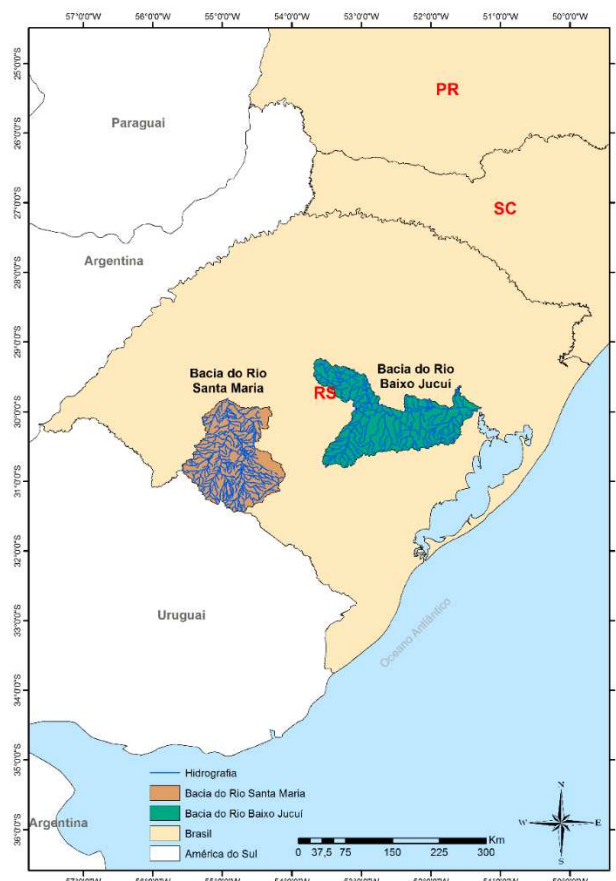


Figura 1. Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí e Bacia Hidrográfica de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

#### ✓ Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí

A Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí situa-se na porção centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 29°13' a 30°47' de latitude Sul e 51°16' a 53°35' de longitude Oeste (Figura 2). Abrange as Províncias Geomorfológicas Planalto Meridional, Depressão Central, Escudo Uruguaio-Sul-Rio-grandense e Planície Costeira (Interior). Possui área de 17.345,15 km<sup>2</sup>, abrangendo municípios como Charqueadas, Eldorado do Sul, Guaíba, Minas do Leão, Rio Pardo, Cachoeira do Sul, Caçapava do Sul, Agudo, Santa Cruz do Sul e Triunfo, com população estimada em 385.496 habitantes. Os principais cursos de água são os arroios Irapuã, Capané, Botucacaí, Capivari, do Conde, dos Ratos, dos Cachorros, Ibacurú e o Rio Jacuí. Os principais usos da água se destinam a irrigação, uso industrial e abastecimento humano. (FEPAM, 2016).

Segundo a classificação de Köppen, a Bacia Hidrográfica enquadra-se no grupo climático C, que identifica o clima subtropical úmido, com estações de verão e inverno bem definidas, precipitação bem distribuída ao longo do ano e inexistência de estação seca definida. Também são observados o subtipo climático Cf e as variações Cfa e Cfb (ALVARES et al., 2013).

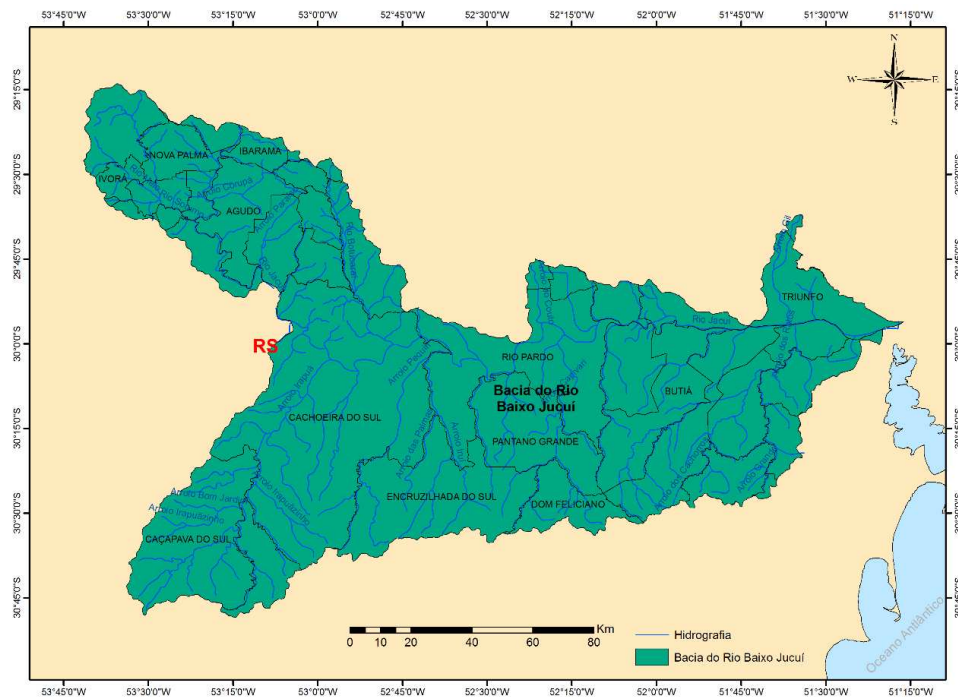


Figura 2. Localização da área de estudo: Baía Hidrográfica do Baixo Jacuí, Rio Grande do Sul.

#### ✓ Baía Hidrográfica de Santa Maria

Situa-se no sudoeste gaúcho, entre as coordenadas 29°47' e 31°36' de latitude Sul e 54°00' e 55°32' de longitude Oeste, abrangendo os municípios de Cacequi, São Gabriel, Rosário do Sul, Santana do Livramento, Lavras do Sul, Dom Pedrito e Bagé, drenando uma área de 15.720,96 km<sup>2</sup>, contando com uma população de 186.116 habitantes (Figura 3). Seus principais formadores são o rio Santa Maria-Chico, o arroio Taquarembó, arroio Santo Antônio, o rio Cacequi, o arroio Poncho Verde, o rio Ibicuí da Armada e o arroio Saicã. Com relação às atividades econômicas, o setor primário é a base desta bacia, com destaque para a orizicultura moderna mesclada à pecuária extensiva tradicional (FEPAM, 2016).

O clima da região segundo a classificação de Köppen é subtropical úmido, grupo climático C, com estações de verão e inverno bem definidas, precipitação bem distribuída ao longo do ano e inexistência de estação seca definida. Também são observados o subtipo climático Cf e a variação Cfa (ALVARES et al., 2013).

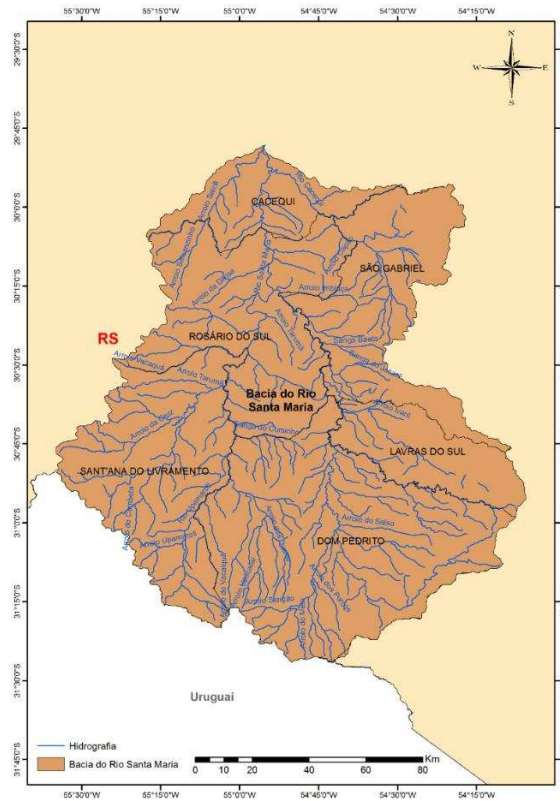


Figura 3. Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí, Rio Grande do Sul.

## 2.2. Base de dados

Para a elaboração dos mapas de uso da terra, nas duas bacias hidrográficas, foram adquiridas imagens do satélite LANDSAT 8 OLI (Operational Land Imager). Esse satélite opera a uma altitude de 705 km e faz a cobertura das imagens por praticamente todo o globo terrestre, com exceção dos polos. Apresenta resolução temporal de 16 dias, ou seja, levam 16 dias para o satélite passar pelo local novamente. Cada cena imageada pelo satélite possui aproximadamente 170 km no sentido norte-sul por 183 km de leste a oeste (USGS, 2016).

Para a Bacia Hidrográfica de Santa Maria foram utilizadas duas cenas, cujas órbitas/pontos são 223/81 e 223/82, adquiridas no dia 08/12/2015. Já para Baixo Jacuí, foram necessárias três cenas: 222/80, 222/81 e 221/81, sendo as duas primeiras adquiridas no dia 18/01/2016 e a última no dia 15/03/2016. O número de cenas necessárias para cobrir a área de estudo

varia de acordo com a tamanho, formato e posição da bacia hidrográfica em relação à posição da órbita de passagem do satélite.

O critério para seleção das imagens foi a combinação dos seguintes fatores: menor presença de nuvens, período de obtenção entre os meses de dezembro de 2015 a março de 2016 e datas de aquisição iguais ou mais próximas possíveis das cenas que compõem as bacias. Esse período de aquisição foi escolhido por facilitar a distinção de alguns cultivos produzidos na região, como, por exemplo, o arroz.

Das onze bandas fornecidas pelo sensor OLI-TIRS, conforme apresentadas na tabela 1, seis foram utilizadas para a realização desse estudo.

Tabela 1. Características das imagens obtidas pelas diferentes bandas do sensor OLI-TIRS.

Banda	Resolução espacial (m)	Resolução espectral ( $\mu\text{m}$ )
Band 1, Costal aerosol	30	0,43 – 0,45
Band 2, Blue*	30	0,450 – 0,515
Band 3, Green*	30	0,525 – 0,600
Band 4, Red*	30	0,630 – 0,680
Band 5, Near Infrared*	30	0,845 – 0,885
Band 6, SWIR1*	30	1,560 – 1,660
Band 7, SWIR2*	30	2,100 – 2,300
Band 8, Panchromatic	15	0,50 – 0,68
Band 9, Cirrus	30	1,36 – 1,38
Band 10, Thermal Infrared (TIRS) 1	100	10,60 – 11,19
Band 10, Thermal Infrared (TIRS) 2	100	11,50 – 12,51

Fonte: USGS (2016). \*Bandas utilizadas no trabalho.

### 2.3. Processamento das imagens de satélite

Foi realizada uma composição de bandas para unir as seis bandas das imagens, utilizadas para o estudo, em um único arquivo. Esse procedimento é feito para possibilitar as combinações coloridas RGB (R=Red (Vermelho), G=Green (Verde) e B=Blue (Azul)), de forma que evidencie as classes de interesse a serem classificadas nas imagens.

Posteriormente, essas imagens foram recortadas utilizando como referência o arquivo vetorial das bacias hidrográficas de Santa Maria e Baixo Jacuí.

A combinação de falsa cor utilizada foi a R(Banda 5), G(Banda 4) e B(Banda 3), o que possibilitou melhor distinção dos cultivos presentes nas duas bacias. Após a avaliação dessas imagens, foi determinado que seriam utilizadas seis classes de uso da terra, sendo elas: plantio florestal, mata nativa, corpo d'água, arroz, solo exposto e pastagem/cultivo agrícola. A classe arroz foi feita separadamente dos demais cultivos agrícolas por possuir maior demanda hídrica para completar seu ciclo. A classe pastagem foi agrupada com os cultivos agrícolas pela difícil distinção entre as duas classes na data de aquisição das imagens para a Bacia de Santa Maria, que foi em dezembro.

Com as classes definidas, a próxima etapa consistiu em coletar amostras de treinamento (Figuras 4 e 5).

A amostragem foi realizada, separadamente, em cada cena que compõe as bacias, criando-se polígonos sobre as áreas que representavam as classes de interesse, na imagem. O Google Earth foi utilizado como ferramenta de apoio, auxiliando na interpretação visual das classes de usos da terra, haja vista a melhor resolução espacial disponível em suas imagens.

Posteriormente, foram associados, a cada polígono, os valores dos pixels referentes à área de sobreposição do mesmo na imagem, gerando assim o arquivo de assinaturas do banco de amostras de treinamento, formado pelos pixels representantes de cada classe de interesse.

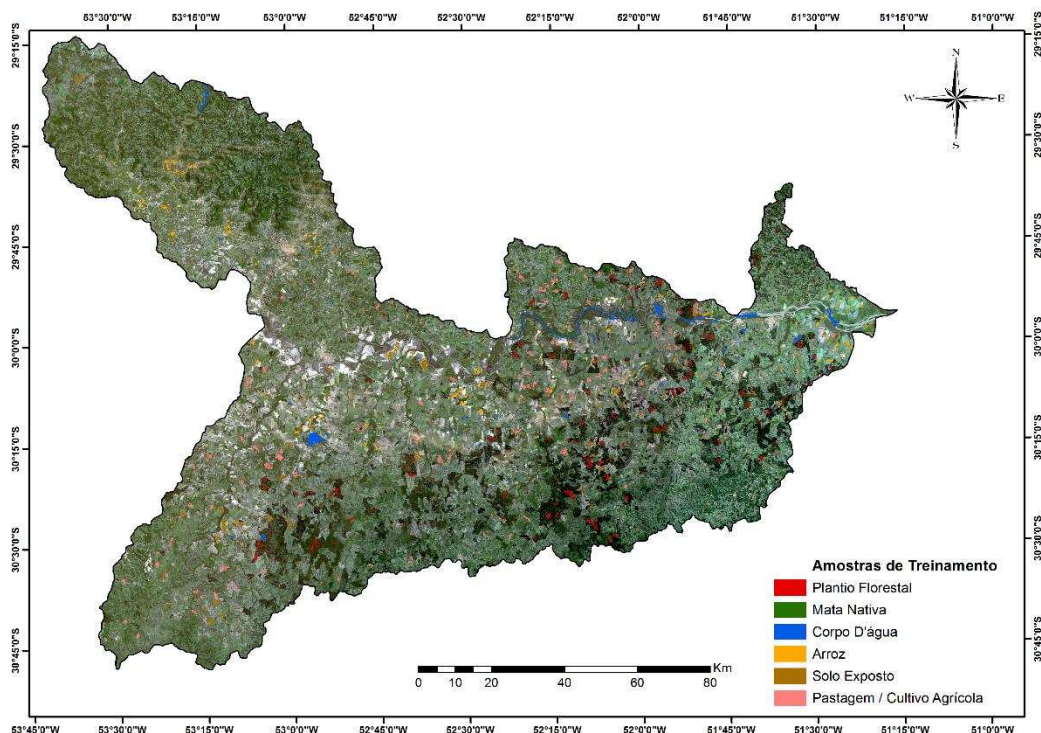


Figura 4 – Amostras de treinamento coletadas para a Bacia de Baixo Jacuí, Rio Grande do Sul.

O número de amostras variou, de acordo com a abrangência e a variabilidade da resposta espectral da classe de interesse. Para cada classe de uso da terra foram coletados, em média, 44.790 e 75.306 pixels, para as bacias de Santa Maria e Baixo Jacuí, respectivamente. Esses pixels formaram um conjunto de treinamento para o algoritmo de classificação.

Após a coleta das amostras de treinamento, foi realizada a classificação supervisionada pelo algoritmo de Máxima Verossimilhança (MAXVER) no software ArcGis 10.2, através da ferramenta “Maximum Likelihood Classification”. Esse classificador utiliza apenas a informação espectral de cada pixel para determinar regiões homogêneas, ou seja, a classificação é feita pixel a pixel.

Atribuiu-se o valor de 0,005 para a fração de rejeição. Esse atributo identifica a porção de células que permanecem não classificadas devido à menor probabilidade de atribuição correta. Existem 14 valores predefinidos para a fração de rejeição: 0,0, 0,005, 0,01, 0,025, 0,05, 0,1, 0,25, 0,5, 0,75, 0,9, 0,95, 0,975, 0,99, e 0,995. O valor zero significa que todos os pixels

serão classificados. Quanto mais distante de zero, maior será o número de pixels não classificados. O valor de 0,005 foi utilizado pelo fato de algumas feições presentes na imagem não terem sido consideradas no momento da coleta das amostras de treinamento, como por exemplo áreas urbanas e algumas áreas que não se encaixavam em nenhuma das classes escolhidas para a elaboração desse trabalho.

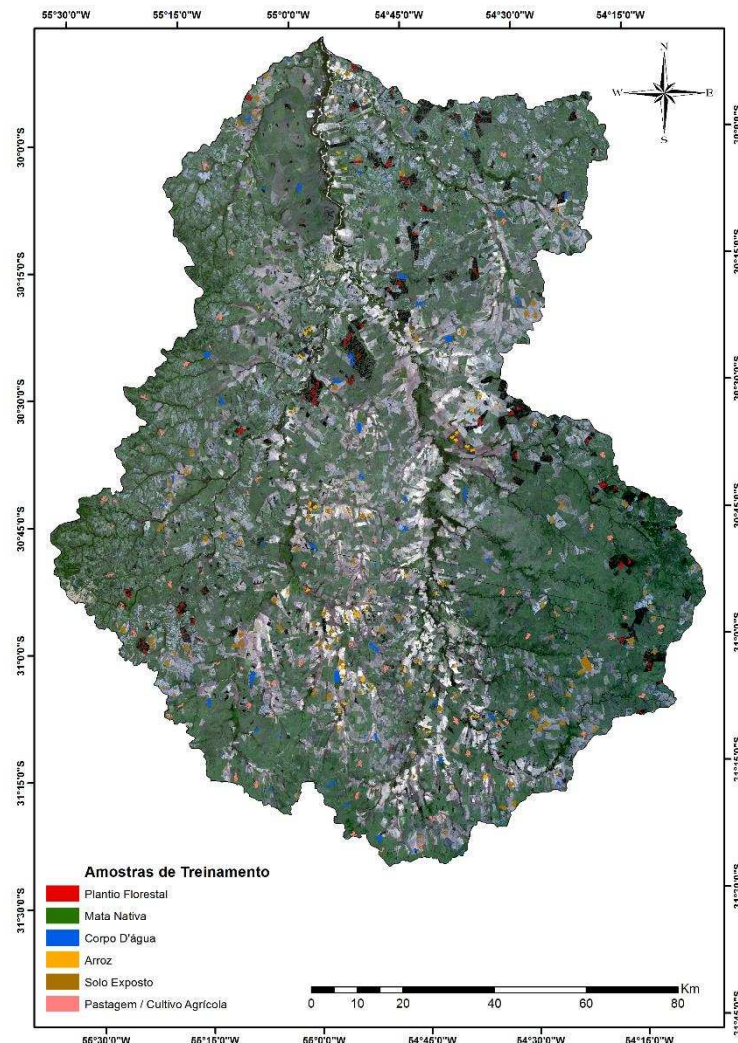


Figura 5 – Amostras de treinamento coletadas para a Bacia de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

As imagens no formato raster, geradas após a classificação, foram transformadas em polígonos. Posteriormente, os polígonos menores que 10000 m<sup>2</sup> passaram a pertencer à classe de maior abrangência, onde os mesmos se situavam. Esse procedimento se assemelha com uma filtragem na imagem classificada e foi realizado para que pequenos pontos dentro de

classes maiores fossem eliminados, deixando-as mais uniformes, com menos ruídos e, possivelmente, com menor erro agregado.

A acurácia das classificações foi avaliada através da matriz de confusão, proposta por Congalton (1991), na qual consiste numa matriz quadrada com número de linhas e colunas definidos, sendo expressa pelo número de unidades de amostra de referência (compreendida como verdadeiro) que foram atribuídas, ou não, à uma determinada unidade (classe), gerada pela classificação.

Para montar a matriz de confusão, foram coletadas amostras de referência, utilizando o Google Earth como forma de validação. Foram coletados 75 pontos, de forma aleatória, para cada classe, totalizando 525 pontos de referência para cada Bacia Hidrográfica (Figuras 6 e 7).

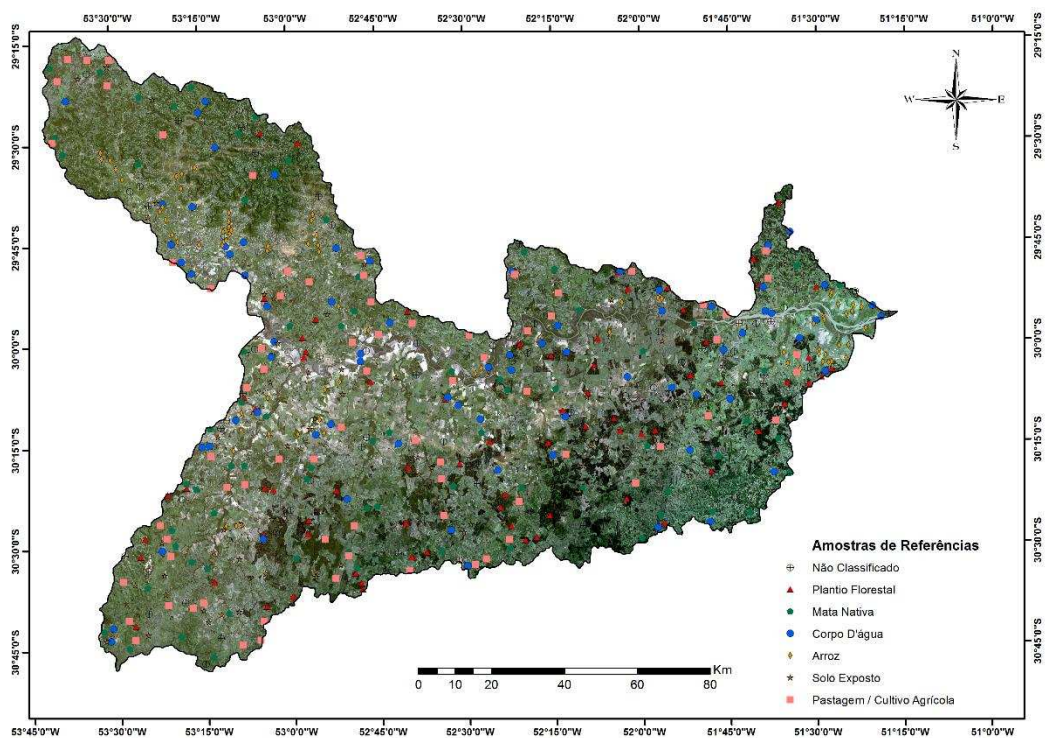


Figura 6 – Amostras de referência para a Bacia de Baixo Jacuí, Rio Grande do Sul.

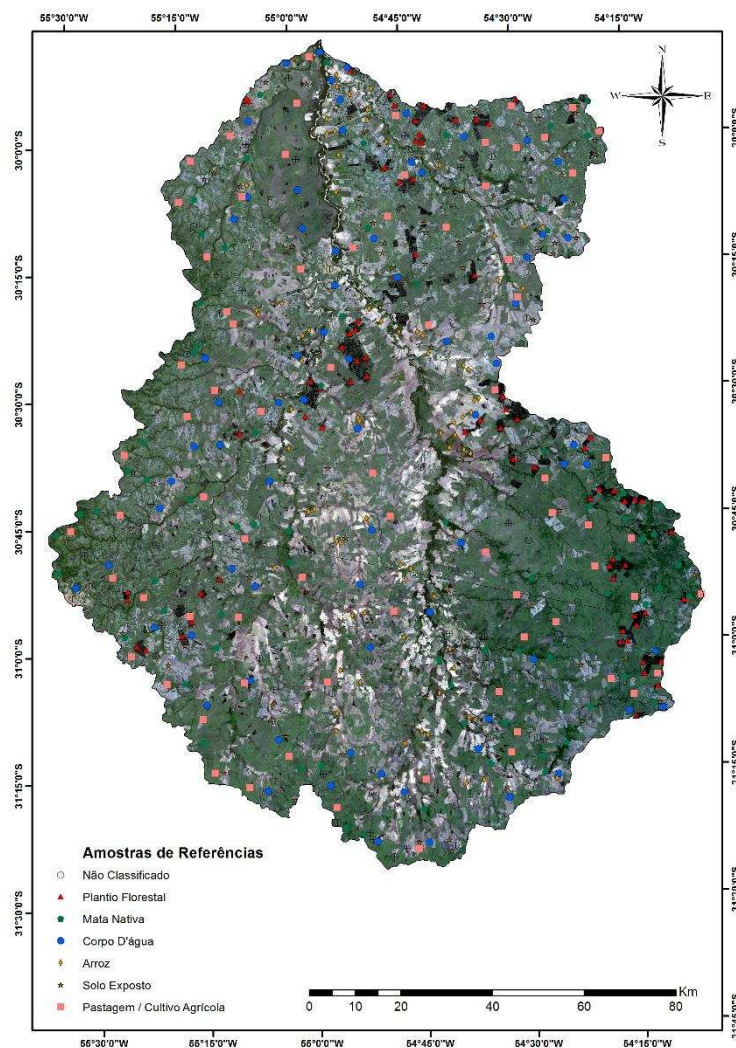


Figura 7 - Amostras de referência para a Bacia de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

A partir da matriz de confusão, calculou-se o índice Kappa, que se baseia na subtração do acerto real pelo acerto ao acaso (COHEN, 1960). Esse índice é determinado pela seguinte equação:

$$k = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c}$$

Em que: K = Coeficiente Kappa;  $P_0$  = proporção de unidades corretamente classificadas; e  $P_c$  = proporção esperada de acerto ao acaso.

As relações para  $P_0$  e  $P_c$  podem ser explicitadas:

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{N}$$

$$P_c = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+n_i}}{N}, \text{ onde:}$$

Em que:  $N$  = número total de pixels contemplados pela matriz de erros;  $n$  = elemento da matriz de erros;  $M$  = número de categorias informacionais presentes na matriz de erros;  $n_{ii}$  = elementos da diagonal principal;  $n_{i+}$  = total da linha para uma dada categoria informacional, e  $n_{+i}$  = total da coluna para esta mesma categoria informacional.

Para análise de eficiência da classificação, tomou-se como base a associação de valores de Kappa à qualidade da classificação segundo Landis & Koch (1977), conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Qualidade da classificação associada aos valores do índice Kappa.

Valor de Kappa	Qualidade da Classificação
<0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977)

#### 2.4. Estimativa da Evapotranspiração de cultivos (ET<sub>c</sub>):

Os dados climáticos (temperatura média do ar, precipitação total anual e evapotranspiração potencial), segundo a metodologia proposta por Xavier et al., (2015), foram obtidos em < <https://utexas.app.box.com/Xavier-et-al-IJOC-DATA>>. Esses dados foram gerados a partir de uma série histórica, compreendendo os anos de 1980 a 2013, e estão dispostos numa grade de resolução 0,25° x 0,25°.

Após a aquisição, os dados climáticos foram espacializados utilizando o software ArcGis 10.2 e em seguida foram interpolados, utilizando

o método da krigagen, de acordo com Castro et al., (2010), passando para uma grade de 1 km de resolução espacial, permitindo, assim, a elaboração da caracterização digital das variáveis de interesse.

A partir da interpolação dos dados de evapotranspiração potencial (ET<sub>o</sub>) anual, foram gerados uma grade de pontos de 1 Km de resolução espacial, com a finalidade de extrair os valores da ET<sub>o</sub> e da classe do uso da terra correspondente para cada ponto. Essas informações foram exportadas para uma planilha do Excel, onde foi realizada a associação de um fator de correção para cada classe de uso.

O fator utilizado para a correção da ET<sub>o</sub>, nas classes que contém vegetação, foi o coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>). Para a classe “Pastagem/cultivo agrícola”, foi feita uma média dos valores de K<sub>c</sub> recomendados para pastagem e para os principais cultivos agrícolas das regiões do estudo, sendo eles: soja, trigo milho e feijão.

Para estimar a evaporação dos corpos d’água, considerou-se os valores obtidos pelo método do Tanque Classe A (ECA). Sabendo-se que: ET<sub>o</sub> = k<sub>p</sub>\*ECA, logo, ECA = ET<sub>o</sub>/k<sub>p</sub>.

O coeficiente de tanque (k<sub>p</sub>) é um fator de correção, seu valor é sempre menor que 1 e é dado em função da velocidade do vento, da umidade relativa do ar e do tamanho da bordadura, vegetada ou não, circunvizinha ao tanque (DOORENBOS & KASSAM, 1994). De acordo com Sentelhas et al., (1999), quando não se tem o conhecimento desses fatores, adota-se 0,72 para o k<sub>p</sub>, pois é o valor que proporciona menores erros para condições de clima úmido. Posteriormente, aplicou-se um fator de correção (F<sub>t</sub>), já que a evaporação do tanque classe A é maior, por apresentar menor volume e estar mais exposto à radiação solar. Oliveira (2009) estipulou a relação entre a evaporação que ocorre em um lago (E<sub>L</sub>) e aquela que ocorre no tanque, sendo a seguinte (média anual):

$$E_L = 0,83 * ECA = 0,83 * (ET_o / k_p)$$

Para as áreas não classificadas e as que foram classificadas como solo exposto, atribuiu-se o valor 1, como indicado na tabela 3.

Após a correção da ETo, que foi feita mediante a multiplicação dessa variável pelo seu fator de correção, efetuou-se a espacialização desses pontos utilizando o software ArcGis 10.2 a fim de gerar o mapa da Evapotranspiração total anual corrigida, para cada uma das Bacias Hidrográficas.

Tabela 3: Fatores de correção da evapotranspiração de referência utilizados para classe de uso da terra.

Classe	Fator de correção	Valor
Plantio Florestal*	Kc	1,04
Mata Nativa**	kc	1
Corpo D'água	Ft/kp	1,15
Arroz***	Kc	1
Solo exposto	-	1
Pastagem/cultivo agrícola***	Kc	0,78
Não classificado	-	1

Fonte: \*FACCO (2004); \*\*ALMEIDA (2012); \*\*\* ALLEN et al., (1998).

### 3. Resultados e discussão

Analisando a temperatura do ar (Tabela 4 e Figura 13), observa-se valores semelhantes para as duas bacias hidrográficas. As menores médias de temperatura do ar são observadas no mês de julho e as maiores em janeiro.

As Bacias Hidrográficas do Rio Baixo Jacuí e do Rio Santa Maria apresentam chuvas bem distribuídas ao longo do ano (Tabela 5 e Figura 14). Há uma variação nos valores de precipitações mensais mínimas, máximas e médias (Tabela 5) ao se comparar as duas bacias Hidrográficas. Contudo, os valores de precipitação total anual são superiores para a Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí (Figuras 15 e 16).

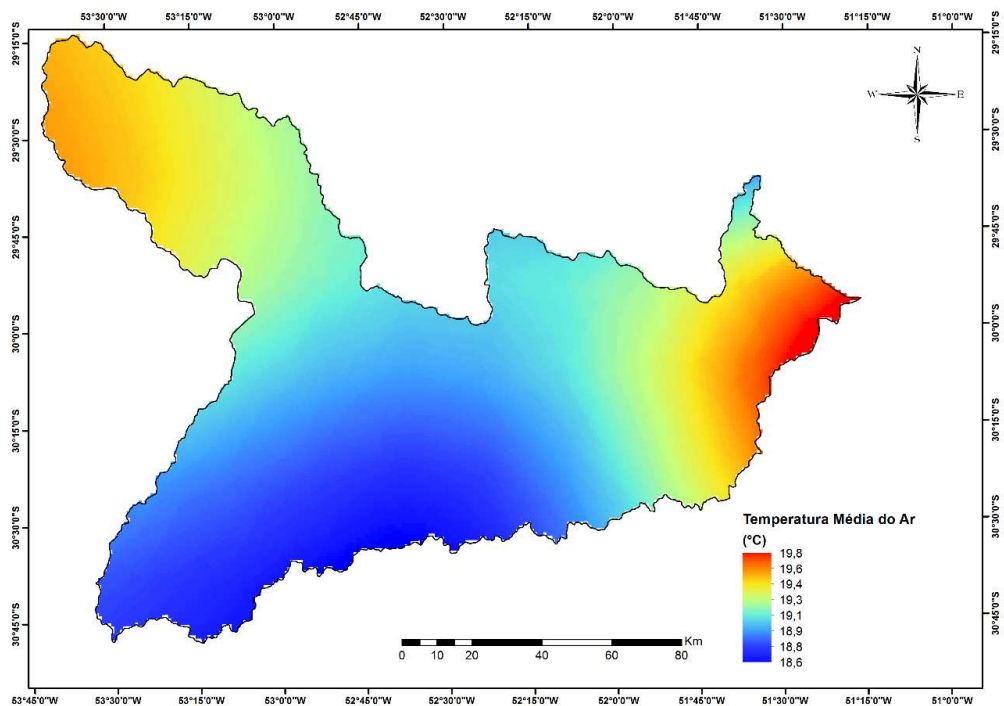


Figura 11. Mapa de espacialização da temperatura média do ar média anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí-RS.

Os maiores valores de evapotranspiração potencial total são observados na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, quando comparados aqueles da Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí (Figuras 17 e 18). No entanto, nota-se para as duas BH um aumento da evapotranspiração potencial nas áreas mais distantes do litoral.

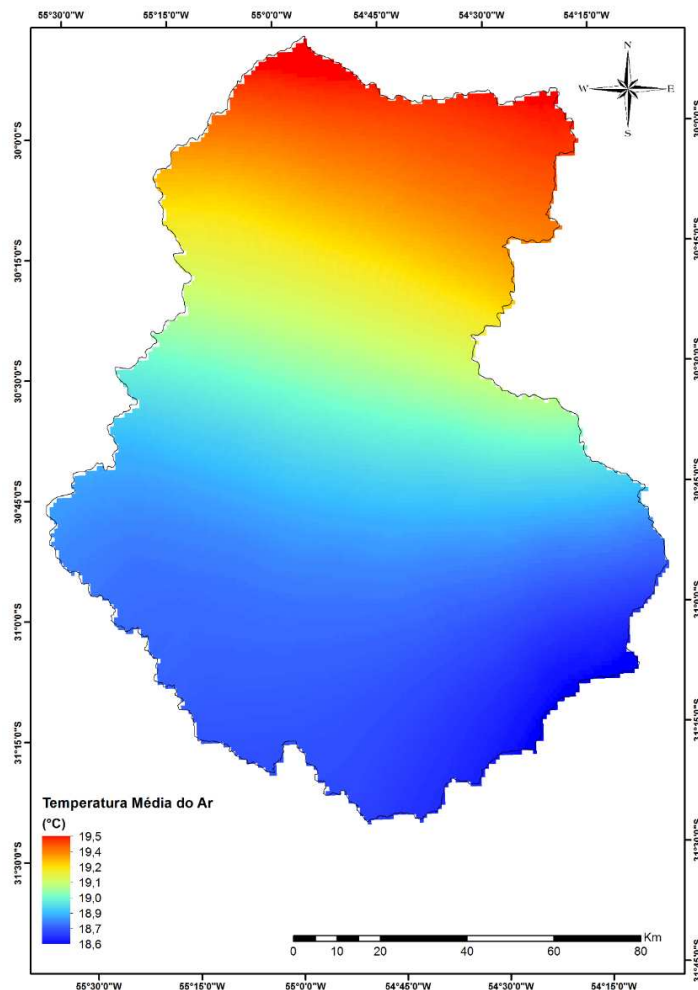


Figura 12. Mapa de espacialização da temperatura média do ar média anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS.

Tabela 4. Temperaturas média, máxima e mínima mensal do ar para as bacias hidrográficas dos Rios Baixo Jacuí e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Mês	Baixo Jacuí				Santa Maria			
	Mín.	Máx.	Méd.	Desv. Pad.	Mín.	Máx.	Méd.	Desv.Pad.
Jan	23,64	24,98	24,15	0,27	24,07	24,9	24,46	0,22
Fev	23,4	24,66	23,81	0,26	23,49	24,2	23,79	0,2
Mar	22,44	23,61	22,8	0,24	22,41	23,15	22,7	0,22
Abr	19,43	20,62	19,79	0,25	19,32	20,07	19,61	0,21
Mai	16,1	17,28	16,48	0,26	15,9	16,65	16,14	0,22
Jun	13,66	15,04	14,17	0,32	13,41	14,35	13,7	0,27
Jul	13,07	14,51	13,59	0,34	12,94	13,81	13,22	0,25
Ago	14,74	16,12	15,3	0,35	14,72	15,67	15,03	0,28
Set	15,62	17,14	16,2	0,36	15,66	16,67	16,02	0,28
Out	18,31	19,62	18,88	0,35	18,38	19,49	18,78	0,31
Nov	20,47	21,79	21,03	0,35	20,61	21,68	21,04	0,3
Dez	22,58	23,84	23,09	0,32	22,87	23,84	23,3	0,27

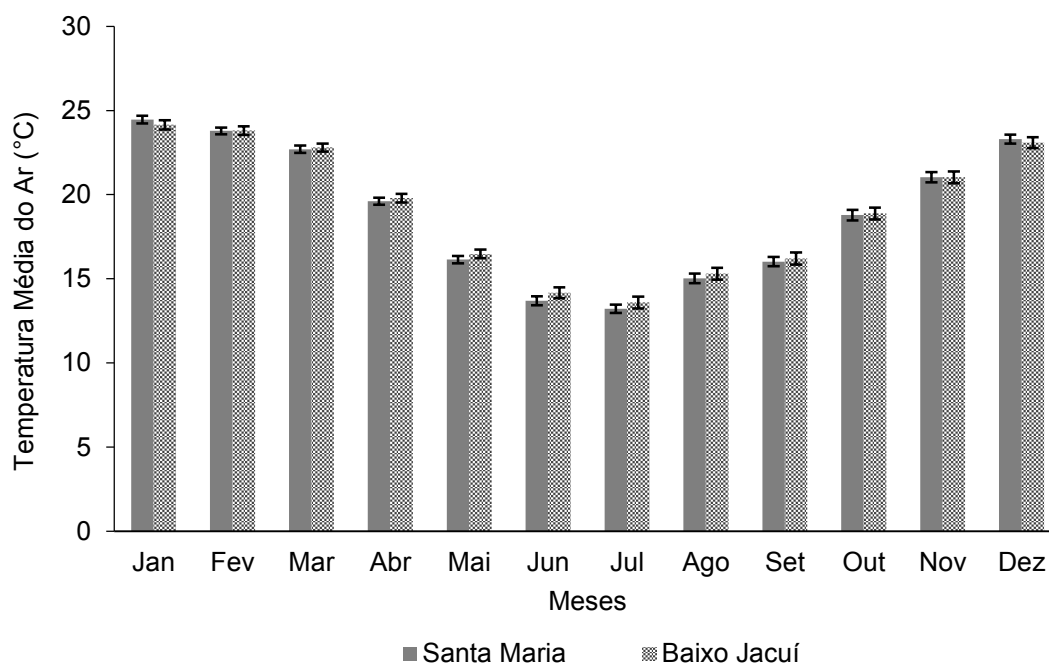


Figura 13. Médias da temperatura do ar ao longo dos meses do ano, para as bacias hidrográficas dos Rios Baixo Jacuí e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Tabela 5. Precipitação média, máxima e mínima mensal para as bacias hidrográficas dos Rios Baixo Jacuí e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Meses	Baixo Jacuí				Santa Maria			
	Mín.	Máx.	Méd.	Desv. Pad.	Mín.	Máx.	Méd.	Desv.Pad.
Jan	109	155,18	128,4	13,03	111,8	130,65	119	4,15
Fev	112,5	146,56	132,7	9,39	133,1	153,03	139,1	4,3
Mar	95,01	134,19	110	10,98	108,6	132,45	117,5	5,98
Abr	108,8	167,29	138,2	16,53	154,2	177,45	163,6	6,47
Mai	103,5	145,96	125,5	10,17	123	135,09	127,9	2,64
Jun	126,8	149,16	138,1	5,82	107,6	130,53	115,9	4,08
Jul	141	172,71	155,3	6,19	97,52	142,24	115,8	9,4
Ago	106,7	133,7	119,5	5,77	80,87	106,23	88,62	4,66
Set	147	177,02	159,2	8,4	115,5	157,29	132,2	11,04
Out	134,3	192,75	156,1	13,74	135,3	170,61	147	8,92
Nov	116,7	149,47	129	9,12	121,1	148,24	130,7	6,95
Dez	103,7	131,58	114,8	7,39	101,5	114,79	107,6	3,21

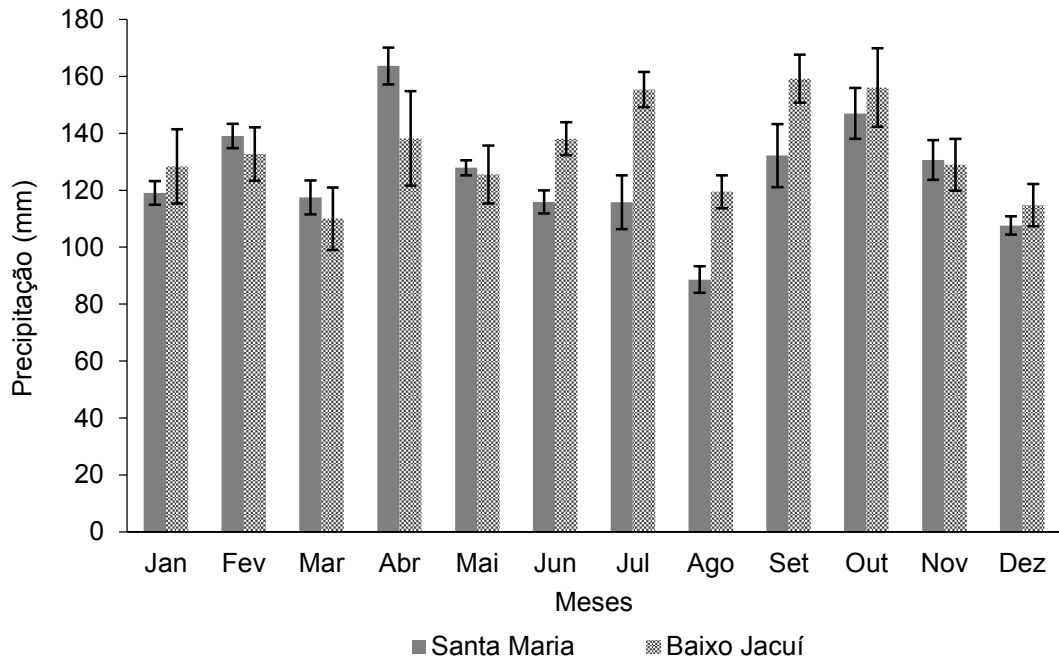


Figura 14. Médias da precipitação ao longo dos meses do ano, para as bacias hidrográficas dos Rios Baixo Jacuí e Santa Maria, Rio Grande do Sul.

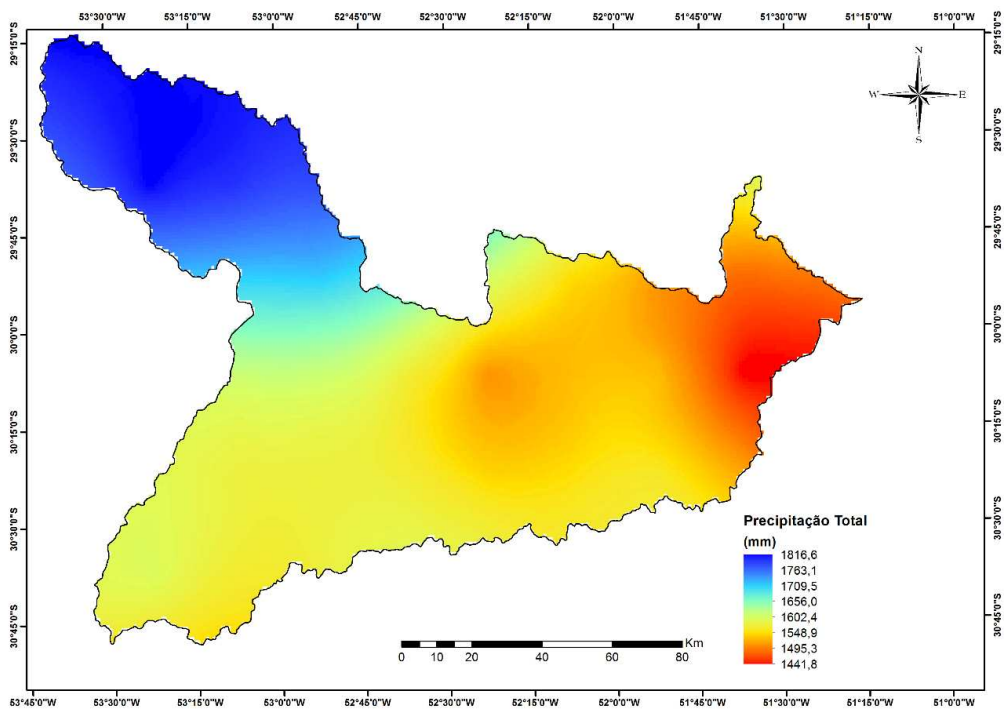


Figura 15. Mapa de espacialização da precipitação total anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí-RS.

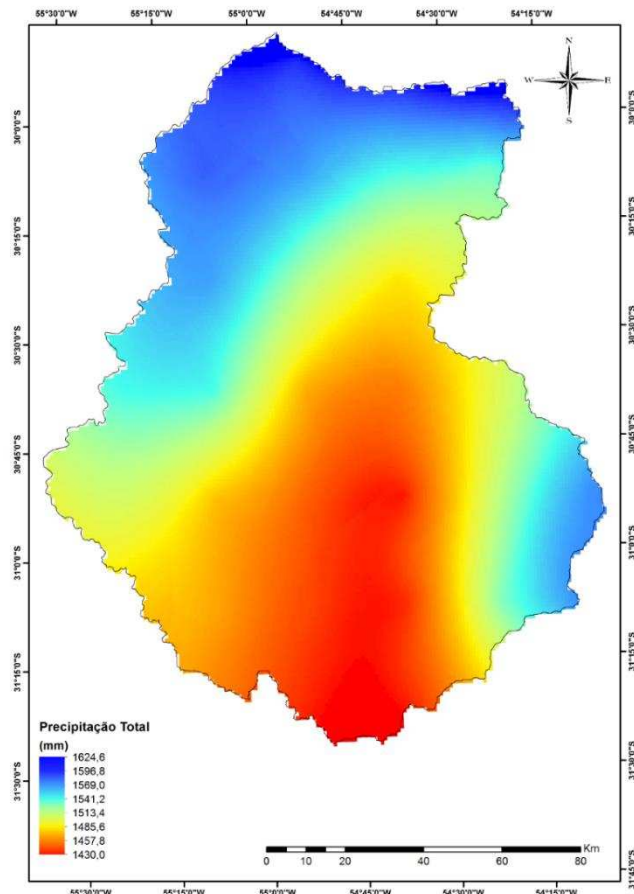


Figura 16. Mapa de espacialização da precipitação total anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS.

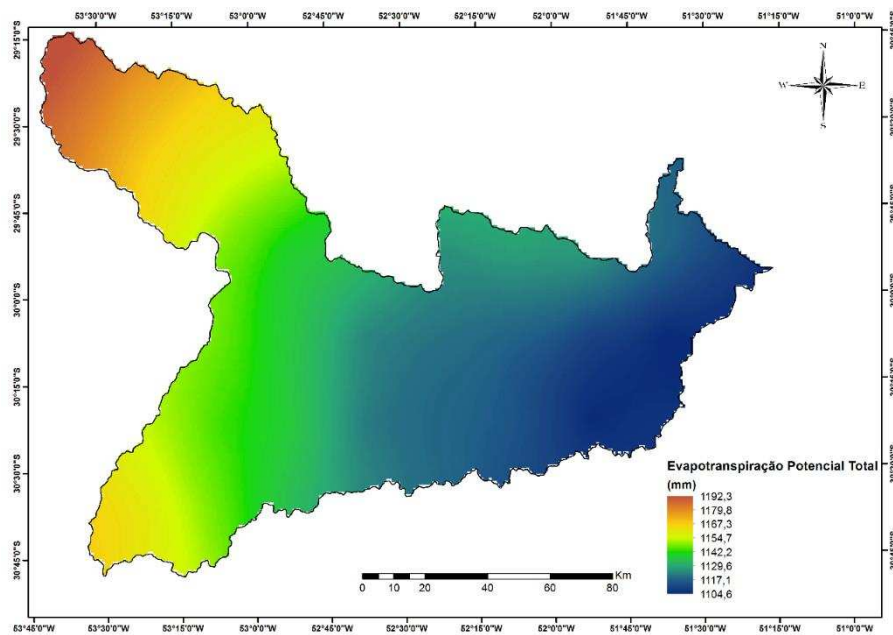


Figura 17. Mapa de espacialização da evapotranspiração total anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí-RS.

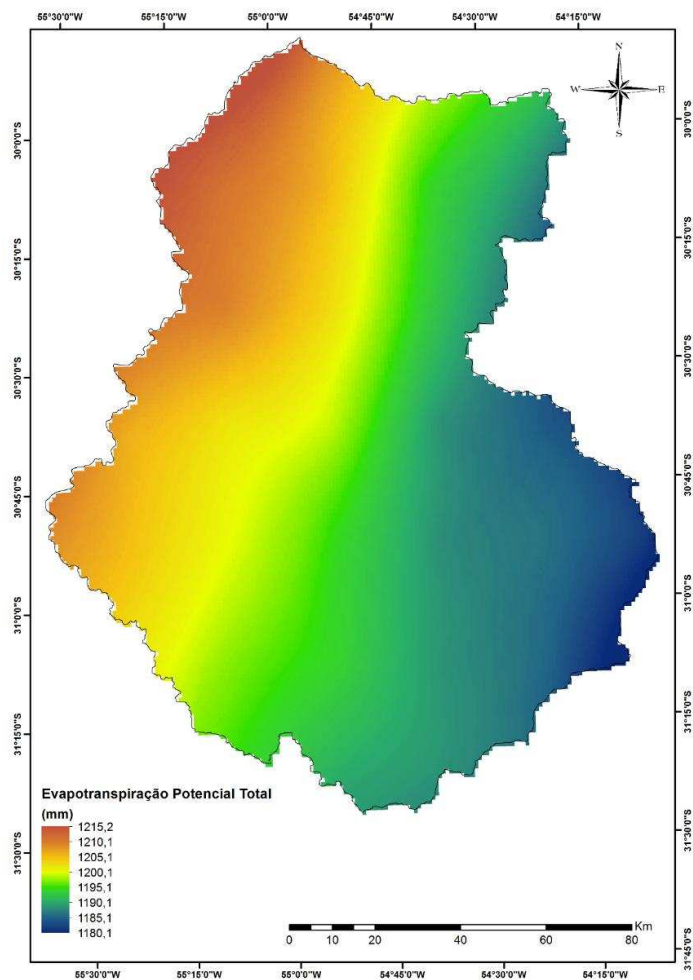


Figura 18. Mapa de espacialização da evapotranspiração total anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS.

Como resultado da classificação supervisionada, gerada pelo algoritmo de máxima verossimilhança, originaram-se os mapas de uso do solo, os quais são essenciais para poder compreender a organização do espaço ocupado e suas relações com o ambiente. A espacialização do uso do solo nas Bacias Hidrográficas de Baixo Jacuí e Santa Maria podem ser visualizadas nas figuras 19 e 20, respectivamente.

Os mapas de classificação do uso do solo, para as duas bacias em questão, apresentaram resultados excelentes com relação ao índice Kappa, com valores de 0,84 e 0,91 para as Bacias de Baixo Jacuí e Santa Maria, respectivamente.

Pode-se verificar de acordo com a matriz de confusão, gerada a partir das amostras de referência (Tabelas 6 e 7), que existe um excelente grau de acurácia nos dados classificados, onde cada uso teve maiores valores em suas respectivas classes. No entanto, para a Bacia de Baixo Jacuí (Tabela 6), as áreas não classificadas acabaram sendo confundidas com áreas de solo exposto, mostrando que houve confusão por parte do classificador.

Tabela 6 – Matriz de confusão para a Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí-RS.

Classes/Classificado	Plantio Florestal	Mata Nativa	Corpo D'água	Arroz	Solo Exposto	Pastagem / Cultivos Agrícolas	Não Classificado
Plantio Florestal	70	0	0	0	0	0	0
Mata Nativa	3	74	0	0	0	0	1
Corpo D'água	0	0	67	0	0	0	0
Arroz	2	1	0	72	0	0	3
Solo Exposto	0	0	0	0	67	0	27
Pastagem / Cultivo Agrícola	0	0	0	1	1	73	12
Não Classificado	0	0	8	2	7	2	32

Tabela 7 – Matriz de confusão para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS.

Classes/Classificado	Plantio Florestal	Mata Nativa	Corpo D'água	Arroz	Solo Exposto	Pastagem / Cultivos Agrícolas	Não Classificado
Plantio Florestal	75	0	0	0	0	0	0
Mata Nativa	0	75	0	0	0	0	0
Corpo D'água	0	0	71	0	0	0	0
Arroz	0	0	2	74	0	0	6
Solo Exposto	0	0	0	0	71	0	5
Pastagem / Cultivo Agrícola	0	0	0	0	0	67	10
Não Classificado	0	0	2	1	4	8	54

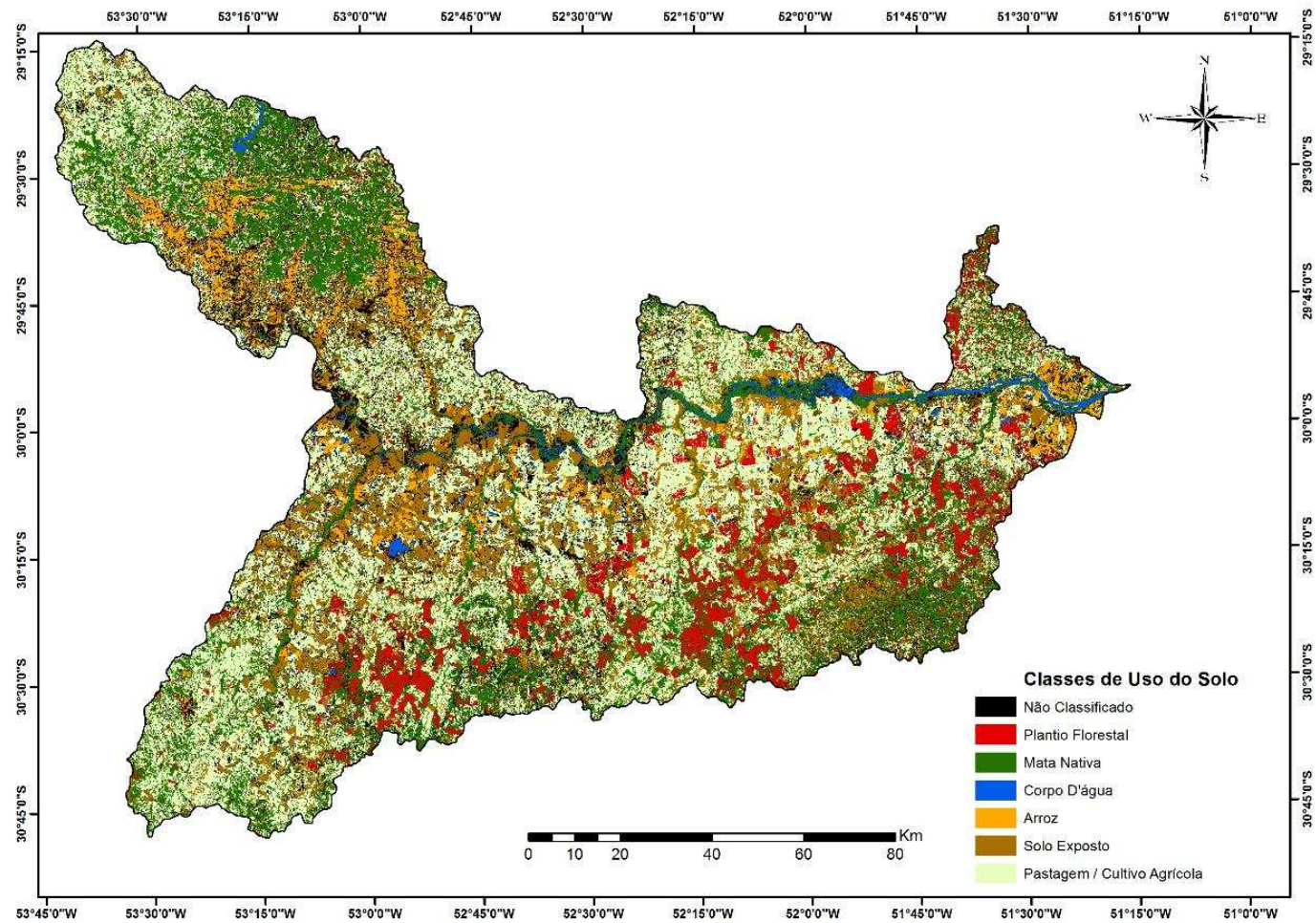


Figura 19 - Mapa da classificação de uso do solo para a Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí-RS.

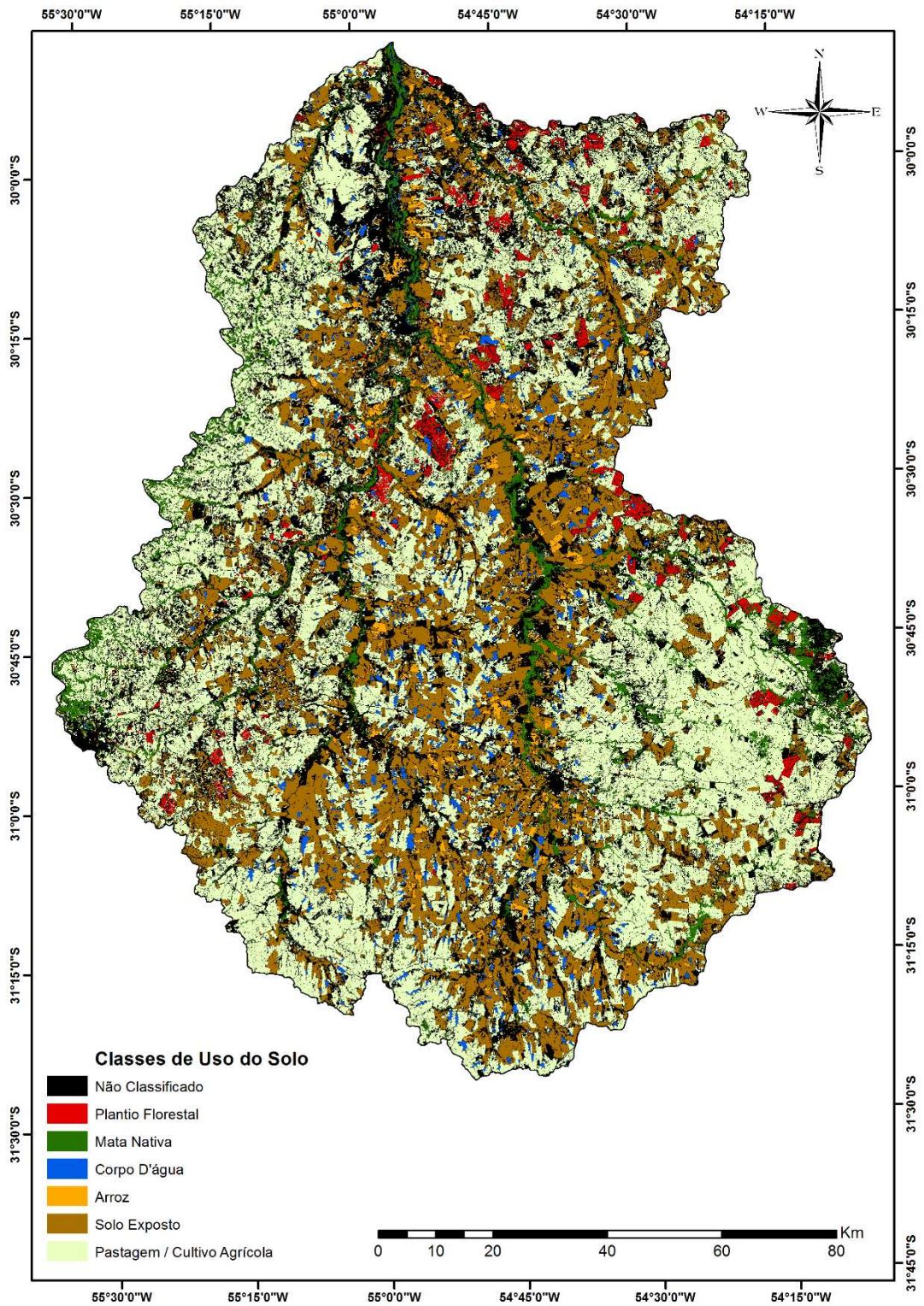


Figura 20 – Mapa da classificação do uso do solo para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS.

A classificação supervisionada, por meio das imagens do satélite Landsat 8, produziu seis classes representativas do uso do solo, de acordo com as amostras de referência, sendo elas: Plantio Florestal, Mata Nativa, Corpo D'água, Arroz, Solo Exposto e Pastagem/Cultivo agrícola.

Além dessas seis classes, anteriormente citadas, também foi gerada uma classe chamada "Não Classificado". Nela são representadas as áreas que não foram classificadas pelo algoritmo, pois apresentavam menor probabilidade de pertencer a quaisquer uma das classes escolhidas para amostras de treinamento, como, por exemplo, áreas urbanas, banhados e áreas de difícil distinção das feições.

Optou-se por não criar uma classe para a área urbana, por se tratar de um uso muito diversificado no que se diz respeito às repostas espectrais e seus intervalos muito próximos, minimizando assim os erros na classificação. Rodrigues (2015) observou que houve conflito gerado pelo classificador entre a classe área urbana e classes de pastagem e solo exposto, o que diminuiu a precisão da classificação.

Após a etapa da classificação, calculou-se as áreas correspondentes à cada classe de uso do solo para as duas bacias hidrográficas, conforme apresentado nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8. Áreas correspondentes à classificação do uso do solo para a Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí-RS.

Classes	Area_Km <sup>2</sup>	%
Não Classificado	2297,55	13,3
Plantio Florestal	1179,41	6,8
Mata Nativa	3506,29	20,2
Corpo D'água	257,5	1,48
Arroz	923,9	5,33
Solo Exposto	3012,01	17,4
Pastagem / Cultivo Agrícola	6168,49	35,6
Total	17345,15	100

Tabela 9. Áreas correspondentes à classificação do uso do solo para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS.

Classes	Area_Km <sup>2</sup>	%
Não Classificado	4508,82	28,7
Plantio Florestal	264,2	1,68
Mata Nativa	684,84	4,36
Corpo D'água	287,67	1,83
Arroz	369,03	2,35
Solo Exposto	3386,09	21,5
Pastagem / Cultivo Agrícola	6220,31	39,6
Total	15720,96	100

Por meio das Tabelas 8 e 9 nota-se que a classe que apresentou maior área, nas duas bacias, foi Pastagem/Cultivos agrícolas. Isso se deve ao fato de que foram agrupadas feições de grande expressão na região.

A classe cultivo florestal representa áreas cultivadas com espécies florestais, sendo a maior parte eucalipto. A bacia de Baixo Jacuí apresentou cerca de 1179,41 km<sup>2</sup> dessa classe, enquanto que na de Santa Maria esse valor foi 264,2 km<sup>2</sup>.

A área classificada como mata nativa foi muito superior em Baixo Jacuí, se comparada à área, contendo a mesma classe, na bacia de Santa Maria, como pode-se observar nas Tabelas 8 e 9. Percebe-se, por meio da classificação (Figuras 19 e 20) que as áreas de relevo acidentado são mais preservadas em Baixo Jacuí do que em Santa Maria. É importante salientar que, nas duas bacias de estudo, as áreas de mata ciliar são bem preservadas.

Em relação à classe Corpos d'água, a bacia de Santa Maria apresentou maior área em relação a Baixo Jacuí, cerca de 287,67km<sup>2</sup> da primeira contra 257,5 km<sup>2</sup> para a segunda. Isso ocorreu pois é possível observar na Figura 20 que a bacia hidrográfica de Santa Maria possui várias áreas contendo reservatórios, regionalmente chamados de açudes, destinados ao suprimento de água para a irrigação.

Ainda sobre as áreas geradas pela classificação supervisionada, nota-se que, na Bacia de Baixo Jacuí, a área cultivada com arroz foi de

923,9 Km<sup>2</sup>, cerca de 5,33% da área total da bacia. Já na bacia de Santa Maria, esse valor foi de 369, 03 km<sup>2</sup>. Porém, comparando-se as áreas classificadas como arroz, nessa bacia, com as imagens do Google Earth, percebe-se que essa classe foi subestimada. Isso ocorreu devido a data de aquisição das cenas que sobrepõem a bacia de Santa Maria, que foi em dezembro, período em que o arroz está se estabelecendo, portanto, a resposta espectral foi a mesma do solo exposto. Fato esse que corroborou para uma área considerável contendo a classe solo exposto nessa bacia, cerca de 21,5% da área total. Em Baixo Jacuí, devido ao período de aquisição das cenas (Janeiro e Março), a porcentagem de solo exposto foi menor.

Nas Figuras 21 e 22 são apresentados os mapas da Evapotranspiração corrigida para as bacias de Baixo Jacuí e Santa Maria, respectivamente. Nota-se que, nas duas bacias, a distribuição espacial da evapotranspiração se modificou após a correção, considerando os usos da terra. Tanto em Baixo Jacuí, como em Santa Maria, os maiores valores são encontrados nas áreas classificadas como corpos d'água, acompanhando a hidrografia das bacias.

Nas tabelas 11, 12, 13 e 14 são apresentados os valores mínimos, médios, máximos e o desvio padrão da evapotranspiração potencial e corrigida, para as duas bacias desse estudo. Nota-se que o maior aumento, após a correção, foi na classe corpo d'água, contrastando com a classe de pastagem e cultivos agrícolas, que foi a que teve maior redução nos valores da evapotranspiração, devido ao valor do  $k_c$  ter sido menor. Os valores da evapotranspiração corrigida para as classes não classificado, mata nativa, arroz e solo exposto permaneceram os mesmos da evapotranspiração de referência, pois o fator de correção para essas classes foi igual a 1.

O  $k_c$  do plantio florestal foi considerado como o do eucalipto, 1,04 segundo Facco (2004), pois a maioria dessas áreas das áreas identificadas como pertencentes a essa classe são cultivadas com eucalipto.

Esse valor é próximo do valor de  $k_c$  que foi utilizado para mata nativa, portanto, os valores da evapotranspiração corrigida foram semelhantes entre essas duas classes. Segundo Almeida e Soares (2003), ao comparar áreas ocupadas com eucalipto e o bioma natural em região de Mata Atlântica, afirmam que o regime hídrico sob plantações de eucalipto não difere significativamente do regime hídrico em áreas de Mata Atlântica.

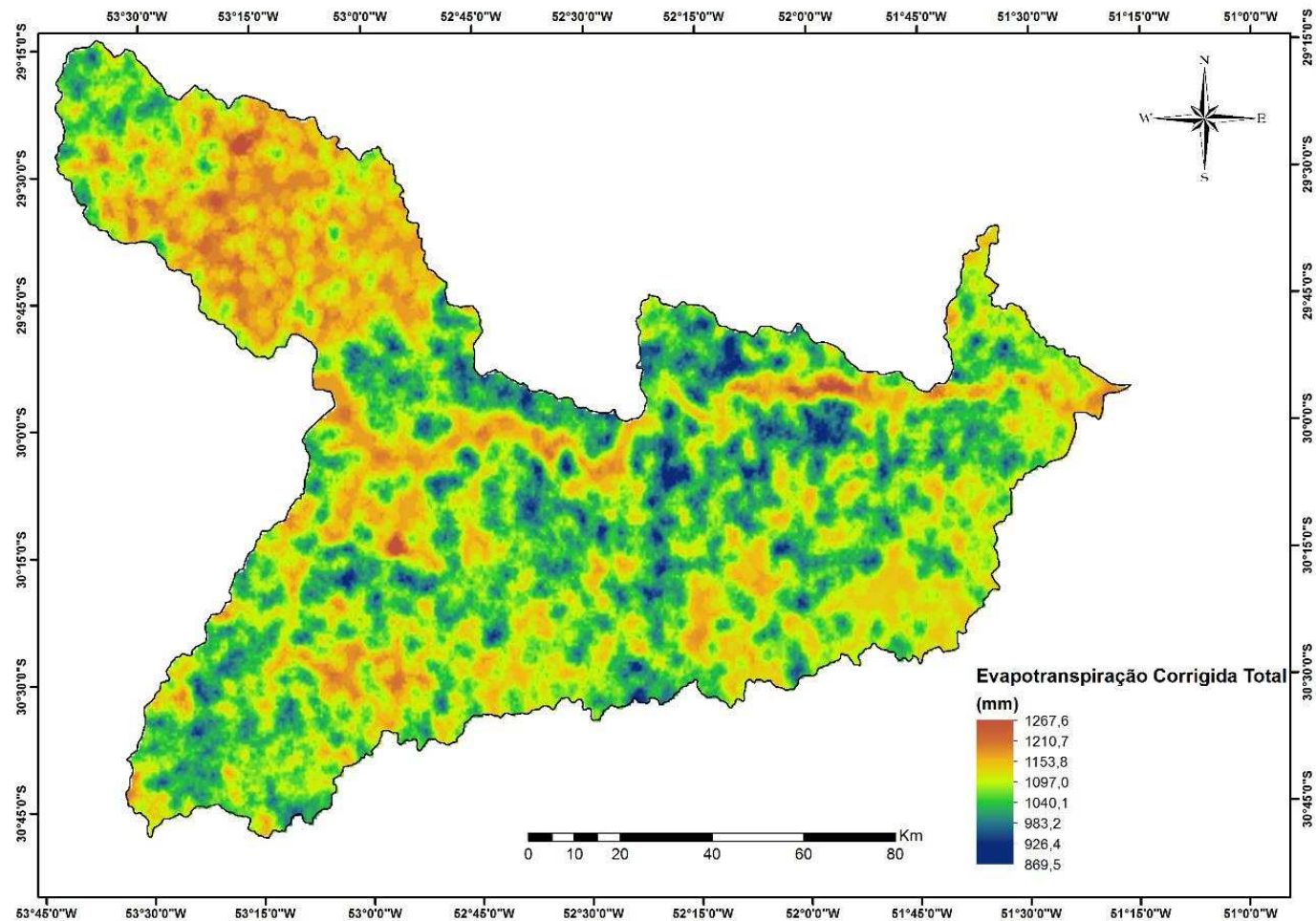


Figura 21 – Mapa de espacialização da evapotranspiração corrigida total anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí-RS.

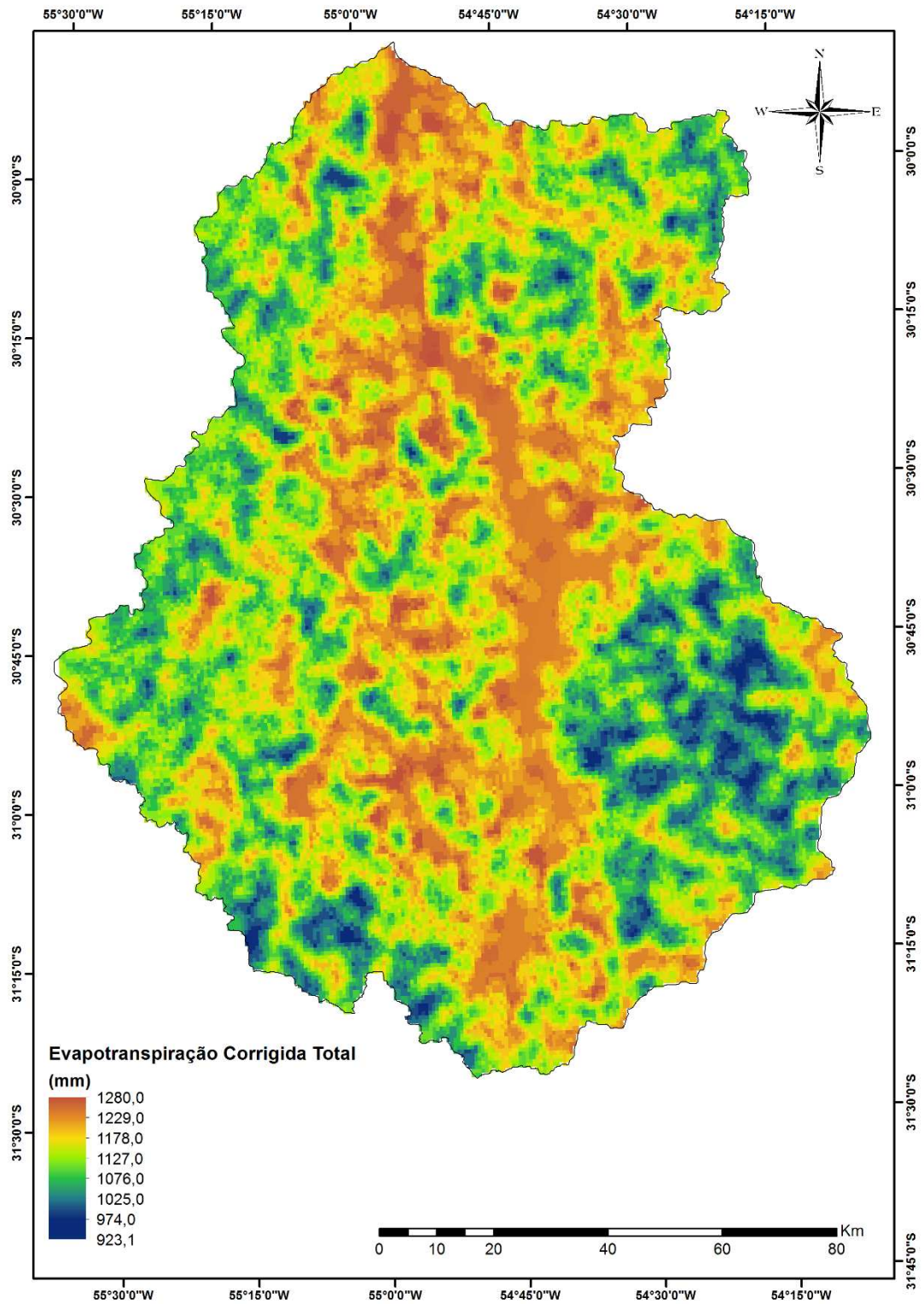


Figura 22 – Mapa de espacialização da evapotranspiração corrigida total anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.

Tabela 10 - Evapotranspiração potencial média, máxima e mínima anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí-RS.

ETP				
Classes	Máx. de eto_ano	Média de eto_ano	Mín. de eto_ano	Desv. Pad de eto_ano
Não Classificado	1192,31	1134,47	1104,65	21,18
Plantio Florestal	1177,68	1119,38	1104,61	13,11
Mata Nativa	1191,61	1134,59	1104,63	23,51
Corpo D'água	1189,9	1126,91	1105,59	16,9
Arroz	1191,49	1141,15	1104,65	20,95
Solo Exposto	1192,02	1128,41	1104,61	17,65
Pastagem / Cultivo Agrícola	1192,38	1133,19	1104,63	21,56

Tabela 11 - Evapotranspiração corrigida média, máxima e mínima anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Baixo Jacuí-RS.

ETC				
Classes	Máx. de etc_ano	Média de etc_ano	Mín. de etc_ano	Desv. Pad de etc_ano
Não Classificado	1192,31	1134,47	1104,65	21,18
Plantio Florestal	1187,31	1072,67	906,40	47,26
Mata Nativa	1191,61	1134,59	1104,63	23,51
Corpo D'água	1267,61	1104,44	907,00	68,05
Arroz	1191,49	1141,15	1104,65	20,95
Solo Exposto	1192,02	1128,41	1104,61	17,65
Pastagem / Cultivo Agrícola	1240,88	1024,67	869,54	53,41

Tabela 12 – Evapotranspiração potencial média, máxima e mínima anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS.

ETP				
Classes	Máx. de eto_ano	Média de eto_ano	Mín. de eto_ano	Desv. Pad de eto_ano
Não Classificado	1214,94	1197,45	1180,25	8,39
Plantio Florestal	1214,57	1196,31	1181,64	8,28
Mata Nativa	1214,38	1196,72	1181,59	9,9
Corpo D'água	1213,79	1196,47	1186,5	6,58
Arroz	1213,88	1198,07	1182,95	7,5
Solo Exposto	1215,17	1195,75	1180,13	7,07
Pastagem / Cultivo Agrícola	1215,2	1196,57	1180,58	8,77

Tabela 13 - Evapotranspiração corrigida média, máxima e mínima anual para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-RS.

ETC				
Classes	Máx. de etc ano	Média de etc ano	Mín. de etc ano	Desv. Pad de etc ano
Não Classificado	1214,94	1197,45	1180,25	8,39
Plantio Florestal	1241,86	1129,34	924,48	56,97
Mata Nativa	1214,38	1196,72	1181,59	9,90
Corpo D'água	1265,43	1129,62	948,50	58,11
Arroz	1213,88	1198,07	1182,95	7,50
Solo Exposto	1215,17	1195,75	1180,13	7,07
Pastagem / Cultivo Agrícola	1280,00	1056,52	923,11	60,99

#### 4. Conclusões

Pôde-se concluir que as imagens do satélite Landsat 8 mostraram-se apropriadas para a identificação e mapeamento das classes de uso do solo, nas duas bacias de estudo.

A classificação supervisionada por meio do algoritmo de máxima verossimilhança, no software Arcgis 10.2, apresentou índices Kappa de 0,84 e 0,91 para as Bacias Hidrográficas de Baixo Jacuí e Santa Maria, respectivamente, indicando excelente grau de acurácia do método de classificação empregado.

A classe de uso do solo representada pelos cultivos agrícolas e pastagem foi a que apresentou maior área, nas duas bacias de estudo.

Geralmente os mapas de evapotranspiração de cultivo são criados considerando-se que a área total esteja cultivada com determinada cultura, destoando da realidade do local. Por meio desse estudo, os valores da evapotranspiração calculados de acordo com o uso do solo, se aproximam mais da realidade.

## 5. Referências

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 300p.1998.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración Del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO, Roma, 298p., 2006.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus Grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. Revista Árvore, Viçosa, v.27, n.2, p.159-170, 2003.

ALMEIDA, A. Q. Dinâmica hídrica em microbacias cultivadas com eucalipto e pastagem no leste de Minas Gerais, Minas Gerais. 2012. 77 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2012.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, [S.l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANDRADE, M. A.; MELLO, C. R. de; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v.17, n.1, p.69–76, 2013.

ANDRÉASSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. Journal of Hydrology, v. 291, p. 1- 27, 2004.

ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A. A.; SANTOS, A, E. dos. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) para Boa Vista, RR. Caatinga, Mossoró, v.20, n.4, p.84-88, 2007.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. (Ed.). Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.

BOEGH, E., SOEGAARD, H., THOMSEN, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. *Remote Sensing of Environment* 79, 2002. 329-343.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECILIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.8, p.871-880, 2010.

COHEN, J. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Measurement*. Vol XX, No 1, p. 37-46, 1960.

CONCEIÇÃO, G.; VIANNA, L. F. de N.; BACIC, I. L. Z.; KOBIYAMA, M.; BELLI FILHO, P. Análise Espacial do Balanço Hídrico no Meio Rural de Santa Catarina. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18, n.4, p. 89-100, 2013.

CONGALTON, R. A Review of Assessing the Accuracy of Classification Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment, USA*, No 37, p. 35-36, 1991.

DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H., *Efeito da água no rendimento das culturas*. Estudos FAO- Irrigação e Drenagem, n.33, 306 p, 1994. (Traduzido por Gheyi, H.R. et al.-UFPB).

FACCO, A. G. Modelagem e simulação geoespacial da variação dos componentes do balanço hídrico para plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado na bacia do rio doce, Minas Gerais. 2004. 89 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2004.

FAGGION, F.; OLIVEIRA, C. A. S.; CHRISTOFIDIS, D. Uso eficiente da água: uma contribuição para o desenvolvimento sustentável da agropecuária, Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia, Guarapuava, v.2, n.1, p.187-190, jan./abr. 2009.

FARIA, R. T., CARAMORI, P. H., ADAMI, M., DEPPE, F. Uso de geoprocessamento para simular e avaliar a produtividade regional de soja no Paraná. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. 2005.

FEIX, R. D.; LEUSIN JÚNIOR, S. Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul — 2015. Porto Alegre: FEE, 2015.

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental (2016). Qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí. Disponível em <[http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade\\_jacui/jacui.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp)>. Acesso em 17 maio de 2016.

HOWELL, T. A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. Agronomy Journal, Madison, v. 93, p. 281-289, 2001.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório 2015. Ano base 2014. Brasília, 2015.

IBGE. Produção da pecuária municipal 2013: Brasil. Rio de Janeiro, 2014.

JENSEN, J. R.. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coord.) et al., São José dos Campos: Parêntese, 2011.

LANDIS, R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, v.33, n.1, p.159-174, Mar. 1977.

MENESES, P.R. ALMEIDA, T.D.E. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília, DF: CNPQ; 2012. Disponível em <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em 02 de Abril de 2016.

NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. 3 ed.. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

OLIVEIRA, G. X. S. Relações entre medidas de evapotranspiração de superfícies de água livre por evaporímetros e estimativas por métodos meteorológicos em duas regiões do estado de São Paulo. 2009. 102 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP, 2009.

PALLONE FILHO, W. J., ZULLO JUNIOR, J., ASSAD, E. D., PINTO, H. S., ROCHA, J. V., LAMPARELLI, R. A. C. 2003. Monitoramento de Estiagem Durante o Verão de Regiões Tropicais Utilizando Imagens AVHRR/NOAA-14. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Brasil.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, L. S.; PAREDES, P.; EHOLPANKULOV, E. D.; INCHENKOVA, O. P.; TEODORO, P. R.; HORST, M.G. Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 05, p. 732-735, 2009.

RIBEIRO, C.A.D. et al., Delimitação de microrregiões agroclimáticas e suas relações com o potencial produtivo da cultura do eucalipto. *Floresta*, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 779 - 786, 2011.

RODRIGUES, M. T. Comportamento de sistemas de informações geográficas por meio de classificação supervisionada em diferentes bacias hidrográficas. 2015. 94p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

SENTELHAS, P. C.; COELHO FILHO, M. A.; VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. R.; FOLEGATTI, M. V. Coeficiente do tanque classe A (kp) para a estimativa diária da evapotranspiração de referência. In: Cong. Bras. De Agrometeorologia, 11, Florianópolis, 1999.

SILVA, V. de P. R. da, BELO FILHO, A. F.; SILVA, B. B. da; CAMPOS, J. H. B. da C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.4 , p.547-553, 2005.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRA NETTO, O. de M. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “visão mundial da água”. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5, n. 3, p. 31-43, 2000.

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano (2016). Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8. Disponível em <<http://landsat.usgs.gov>>. Acesso em 20 abril 2016.

VANCLAY, J. Managing water use from forest plantations. *Forest Ecology and Management*, v. 257, p. 385 – 389, 2009.

VICTORIA, D. C., BALLESTER, M. V. R., PEREIRA, A. R. 2005. Balanço hídrico da bacia do Ji-Paraná (RO) por modelo hidrológico simples, espacialmente distribuído. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology*. 2015.