



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**



## **ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM**

Gustavo Rodrigues Toniolo

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pela  
Dr<sup>a</sup>. Tania Maria Sausen.

INPE  
Santa Maria  
2011



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



## **ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Gustavo Rodrigues Toniolo (UFSM, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [gustavotoniolo1@gmail.com](mailto:gustavotoniolo1@gmail.com)

Dr<sup>a</sup>. Tania Maria Sausen (CRS/ INPE-MCT, Orientadora)  
E-mail: [tania.sausen@crs.inpe.br](mailto:tania.sausen@crs.inpe.br)

### **COLABORADORES**

Dra. María Silvia Pardi Lacruz (CRECTEALC/INPE)

Julho de 2011

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar as alterações do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Vacacai-Vacacaí Mirim, de acordo com as mudanças de uso e cobertura da terra para os anos de 1990 e 2009. Esta bacia está localizada no Centro Ocidente do estado do Rio Grande do Sul. Para isso, utilizando técnicas de Geoprocessamento, aplicou-se o modelo *curve number* desenvolvido pela *Soil Conservation Service* (SCS), que se fundamenta na análise das características físicas da bacia, tais como tipo de cobertura superficial e os grupos hidrológicos segundo os tipos de solos. O trabalho busca desta maneira uma modelagem do escoamento superficial em uma bacia predominantemente rural e carente de dados hidrológicos, contribuindo assim para o auxílio ao planejamento e gerenciamento desta. Neste sentido, o procedimento metodológico se desenvolveu por meio de uma caracterização física da bacia do Vacacai-Vacacaí Mirim, buscando identificar e estudar suas diferentes peculiaridades referentes à litologia e uso e cobertura, que serviram de subsídio para a elaboração dos mapas propostos de uso e cobertura do solo e do potencial de escoamento superficial, ambos para os anos analisados. Após se obter as imagens *TM/Landsat 5* correspondentes à área em estudo, utilizando o *software* SPRING foi estruturado um banco de dados, onde foram realizados os registros e processamento destas imagens. Assim, as imagens *TM/Landsat 5* foram segmentadas utilizando um algoritmo de crescimento de regiões e classificadas por regiões baseada na distância de Bhattacharya, o que permitiu identificar e discriminar as diferentes classes de uso e cobertura existentes na área em estudo, com a finalidade de elaborar os mapas de uso e cobertura do solo para as duas datas analisadas. Para a obtenção do mapa de grupos hidrológicos de solos foi usado um mapa de tipos de solos já existente, e posteriormente reclassificados cada tipo de solo, de acordo com as suas características hidrológicas. A partir da integração dos mapas de uso e cobertura do solo de cada ano analisado e do mapa de grupos hidrológicos se obteve um mapa para 1990 e outro para 2009, onde cada combinação possível resulta em um valor que corresponde ao seu potencial de escoamento superficial ou *curve number*. Sendo assim, com cruzamento destas informações, realizado na linguagem Legal do SPRING, identificaram-se as características do escoamento superficial para os dois anos. A metodologia proposta mostrou-se eficiente possibilitando a análise do escoamento superficial da bacia para cada ano analisado.



## **RUNOFF ANALISYS FOR THE VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM RIVER BASIN**

### **ABSTRACT**

This study aims to analyze the changes of the runoff at the Vacacai-Vacacaí Mirim river basin, based on the land use/land cover changes for 1990 and 2009. This river basin is located in the Western Center of Rio Grande do Sul state in Brazil. It was applied the curve number model developed by *Soil Conservation Service* (SCS), using geoprocessing techniques. This model is based on the analysis of the physical characteristics of the basin, such as surface coverage type and the hydrological groups according to the soil types. This study seeks to model the surface runoff in a rural basin and with lack of hydrological data in order to support the planning and management of the study area. The methodological procedure consisted in the physical characterization of the Vacacai-Vacacaí Mirim river basin, to identify and study its different characteristics related to lithology and land use/land cover, as a subsidy to the surface runoff maps in both two analyzed years. After obtaining the *TM Landsat 5* images, it was structured a geographical database, using the *SPRING* software. The images were registered, segmented using an algorithm of regions growing and classified using an supervised method based on regions and the Bhattacharya distance. These procedures permitted identify, discriminate and map the land use/land cover classes in the study area for the two years in analysis. To get the soil hydrologic groups map it was used an existing soil map, and later each soil type was reclassified, according to its hydrological characteristics. From the integration of land use and land cover map, for each analyzed year, and the hydrological group map, it was possible to get a map for 1990 and other one for 2009, where every possible combination results in a value which correspond to its potential runoff or curve number. Crossing these information, using the *Legal Language* in *SPRING* software, it was possible to identify the runoff characteristic for the two analyzed years. The proposed methodology was efficient and allowed the analysis of the runoff in the Vacacai-Vacacai Mirim river basin for each analyzed year.



## SUMÁRIO

**Pág.**

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	Apresentação.....	13
1.2	Caracterização Física da Paisagem da Área de Estudo.....	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>19</b>
2.1	Escoamento superficial .....	19
2.2	Modelagem de escoamento superficial através do <i>Curve Number</i> .....	20
<b>3</b>	<b>MATERIAS E MÉTODO .....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>30</b>
4.1	Análise do Uso e Cobertura da Terra.....	30
4.2	Mapa de Grupos Hidrológicos de Solo.....	35
4.3	Análise do Escoamento Superficial .....	40
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Localização geográfica da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul.....	15
2 - Municípios que compõem a bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim.....	16
3 – Tipos de Solos presentes na bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim. ....	18
4 - Delimitação da bacia hidrográfica e as cenas das imagens <i>TM/Landsat 5</i> . ....	25
5 - Fragmentos de mosaico de imagens <i>TM/Landsat 5</i> de 1990, composição 5(R), 4(G), 3(B) sem realce de contraste (1), com realce (2) e equalizado (3). ....	27
6 - Segmentação de um fragmento do mosaico de imagens <i>TM/Landsat 5</i> , 1990. ....	28
7 - Classificação supervisionada de um setor da área em estudo da imagem de 1990...	28
8 - Mosaico de imagens <i>TM/Landsat 5</i> , anos 1990 e 2009. ....	30
9 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1990.....	33
10 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2009.....	34
11 - Mapa de Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia Hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim.....	39
12 - Mapa de Potencial de Escoamento Superficial - Ano de 1990.....	43
13 - Mapa de Potencial de Escoamento Superficial - Ano de 2009.....	44



## LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Características dos Grupos Hidrológicos de Solo (GHS). .....	21
2 - Valores de <i>CN</i> para as áreas agrícolas. ....	22
3 - Datas de cada cena das imagens obtidas para os dois períodos. ....	25
4 - Medida de classes da classificação do mosaico de imagens de 1990. ....	31
5 - Medida de classes da classificação do mosaico de imagens de 2009. ....	32
6 - Reclassificação dos solos. ....	36
7 - Medida das classes de Grupos Hidrológicos de Solos (GHS). ....	38
8 - Valores de <i>CN</i> associados às classes de uso e cobertura da terra. ....	40
9 - Intervalo de classes dos valores de <i>Curve Number</i> . ....	41
10 - Medida de Classes do Mapa Potencial de Escoamento Superficial para 1990. ....	41
11 - Medida de Classes do Mapa de Potencial de Escoamento Superficial para 2009. .	42



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação

Alterações no uso e cobertura da terra tem resultado em severas mudanças nas características do escoamento superficial tanto em áreas urbanas como rurais. Em áreas rurais as atividades agropecuárias mostram-se como grandes responsáveis pela retirada da cobertura vegetal e pela geração dessas mudanças, em virtude de sua rápida expansão e tamanho das áreas que ocupa.

Neste sentido, municípios que tem sua renda provinda principalmente das atividades agropecuárias mostram a importância de um estudo de mudanças do uso e cobertura da terra, para períodos de longo prazo e as conseqüências que as mesmas podem acarretar na biodiversidade, nos solos e no ciclo hidrológico.

Segundo Maeda (2008), dentro do ciclo hidrológico, uma das faces que é mais afetada pelas mudanças da cobertura da terra é o escoamento superficial. A cobertura vegetal é um importante agente retardador do escoamento superficial, facilitando a infiltração. Sem essa proteção o solo fica mais vulnerável a compactação (impermeabilização) e conseqüentemente ao aumento da taxa de escoamento superficial. Uma vez alterado o comportamento do escoamento superficial, este será responsável pelo aumento dos riscos a degradação dos solos, assoreamentos, alagamentos e destruição de obras humanas.

Diante desta realidade, alguns modelos hidrológicos de precipitação-vazão têm sido desenvolvidos para simular e analisar o escoamento superficial e prever os impactos das modificações do uso e cobertura da terra. Entre estes modelos, destaca-se o elaborado pelo *Soil Conservation Service* (SCS, 1972), que permite a partir do parâmetro *curve number*, identificar as características referentes ao potencial de escoamento superficial nas diferentes superfícies. O *Curve Number* é um parâmetro muito conhecido e

amplamente utilizado em hidrologia podendo seus estudos auxiliar no planejamento e gerenciamento de uma bacia hidrográfica (RUHOFF, 2007).

O principal objetivo desta pesquisa é analisar as alterações do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim de acordo com as mudanças de uso e cobertura da terra utilizando imagens de satélite de dois recortes temporais distintos: 1990 e 2009. Para isso, utilizando técnicas de geoprocessamento, aplicou-se o modelo hidrológico *Curve Number* elaborado pelo *Soil Conservation Service* (SCS, 1972).

Os objetivos específicos são:

- Identificar as características físicas da paisagem que envolve a bacia do Vacacaí-Vacacaí-Mirim;
- Elaborar mapas de uso e cobertura da terra para os dois anos em estudo;
- Elaborar mapas de potencial de escoamento superficial para cada ano considerado;
- Analisar as alterações no escoamento superficial de acordo com as mudanças do uso e cobertura da terra.

## **1.2 Caracterização Física da Paisagem da Área de Estudo**

A bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim (Figura 1) situa-se na porção Centro Ocidente do estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 53° 0' 30" e 54° 36' 40" de longitude Oeste e 29° 26' 20" e 30° 48' 40" de latitude Sul, e possui uma área de 11.195 km<sup>2</sup>. Abrange as regiões fisiográficas da Depressão Central e Campanha.

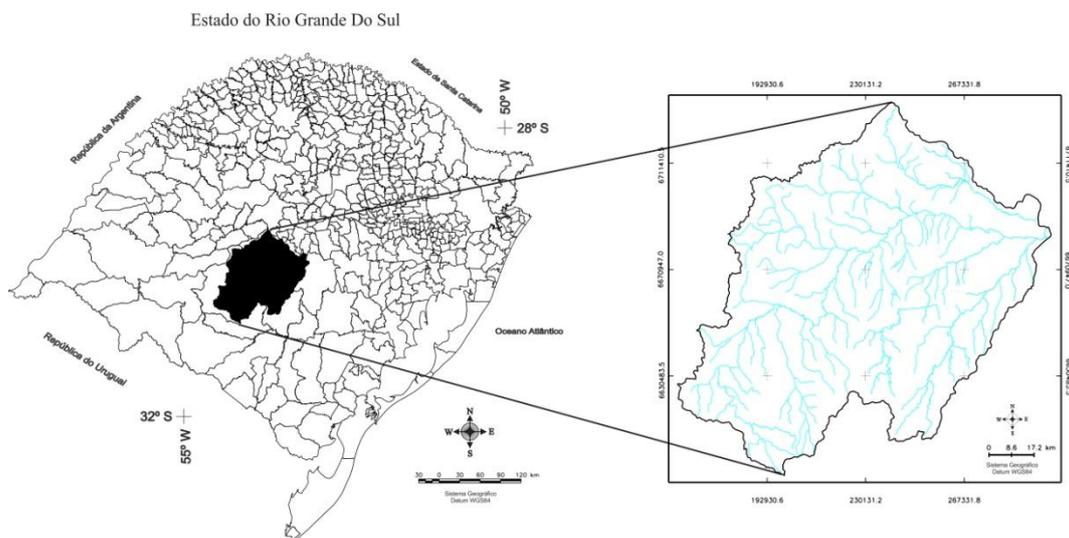


Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo no estado do Rio Grande do Sul.

A área de estudo abrange parte de 14 municípios do estado do Rio Grande do Sul, conforme mostra a Figura 2, sendo eles: Julio de Castilhos, Itaara, Silveira Martins, São João do Polesine, Santa Maria, Restinga Seca, Dilermando de Aguiar, Formigueiro, São Sepé, Cachoeira do Sul, São Gabriel, Vila Nova do Sul, Caçapava do Sul e Santa Margarida do Sul; sendo que São Sepé, Santa Maria e São Gabriel são os municípios que concentram maior área dentro da bacia.

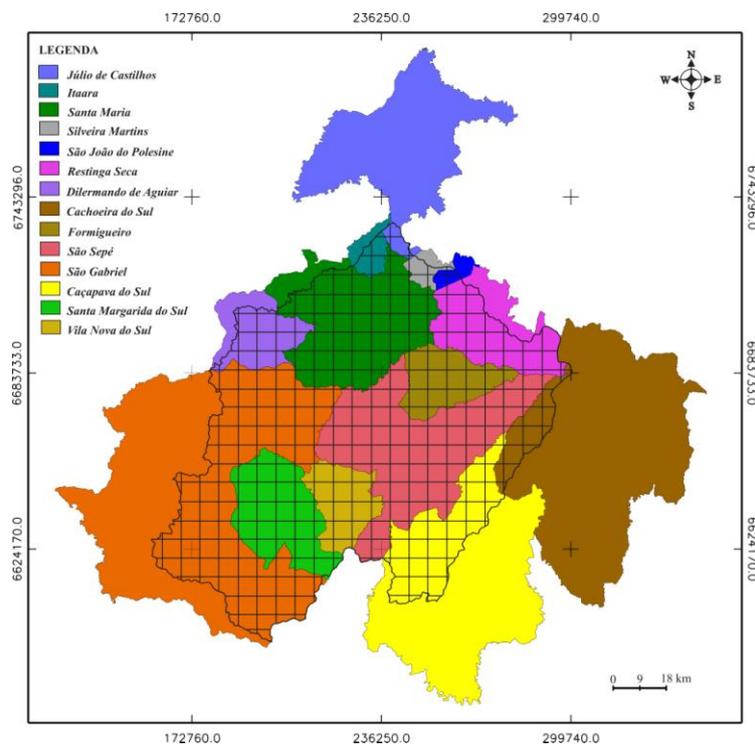


Figura 2 - Municípios que compõem a bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim

Esses municípios têm sua renda provinda principalmente da atividade agropecuária. Na região que compõe a campanha há predominância do latifúndio, pois são onde os solos são mais frágeis necessitando maior área para produção. Entra nesse contexto São Gabriel, município que juntamente com Cachoeira do Sul, Rosário do Sul e São Sepé são os maiores produtores de arroz da área da bacia. Ainda na parte oeste, onde há presença de campos, destaca-se um numeroso rebanho de bovinos e ovinos. (Atlas Socioeconômica do Rio Grande do Sul, 2008).

A bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim é composta pelos Rios Vacacaí, Vacacaí Mirim, dos Corvos, São Sepé e os Arroios Arenal e Acangupa. A vegetação característica dessa bacia é composta por savana, estepe, floresta estacional decidual, submontana ao norte e aluvial nas planícies dos rios, e áreas de tensão ecológica, sendo que, na margem sul, campanha, há ocorrência de estepe ou formações campestres, ao norte do Rio Jacuí são mais encontradas as espécies do tipo florestal (FORTES, 1956).

O clima é subtropical úmido, constituído por invernos com temperaturas bastante rigorosas, com a ocorrência de geadas, com mínima absoluta que pode chegar a 0°C, e verões quentes, com temperaturas superiores a 30°C. Segundo o sistema de classificação de Köppen o clima é subtropical Cfa, ou seja, com estações bem definidas e precipitação média anual superior a 1.600 mm, ocorrendo todos os meses do ano. Apesar de as chuvas serem bem distribuídas durante o ano, eventos de estiagem são recorrentes e freqüentes em toda a região, e principalmente na porção da Campanha (Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2008).

Quanto à geomorfologia, na depressão central o relevo é suave ondulado a ondulado com altitudes que variam aproximadamente de 40 a 200 metros, ultrapassando 300 metros no rebordo do planalto, ao norte da bacia. Há ainda a ocorrência de planícies aluviais e coxilhas sedimentares. Na porção que compreende a Campanha do estado, as altitudes médias são de 100 metros com o predomínio de campos em coxilhas de baixo declívio na região de São Gabriel (REINERT *et al.*, 2007).

A área compreendida pela bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim agrega os mais diversos tipos de solos. Na porção do Rio Vacacaí que vai de São Gabriel até Santa Maria são encontrados solos hidromórficos (planossolos háplicos) de terras baixas, localizados em áreas de latifúndios próximas às várzeas, onde, eventualmente, são usados com a cultura do arroz irrigado (EMBRAPA, 2005).

Conforme a classificação do IBGE (2003) (Figura 3) há ainda a ocorrência de argissolo vermelho, argissolo bruno-acinzentado e luvisolo, distribuídos em toda área da bacia; neossolo litólico ocorrendo em relevos mais acidentados, argissolo vermelho-amarelo, na porção sul da bacia; e chernossolos.

## MAPA DE SOLOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM - RS

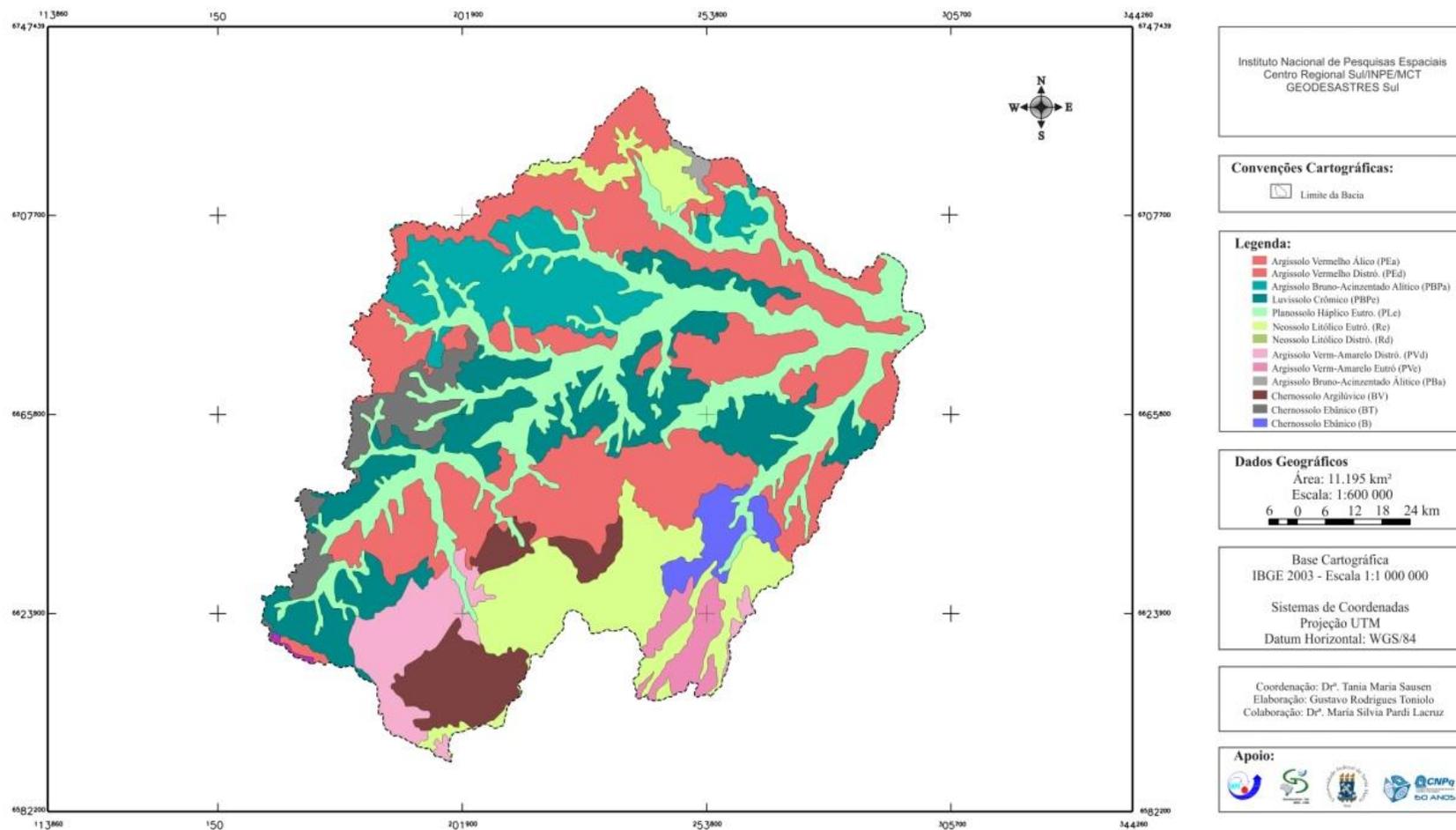


Figura 3 – Tipos de Solos presentes na bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 escoamento superficial**

O escoamento superficial é uma das parcelas do ciclo hidrológico mais importante, sendo utilizado como indicativo da adequabilidade do sistema de manejo de uma bacia hidrográfica. Ele ocorre após o início de um evento de chuva, e se efetiva quando a camada superior do solo, a vegetação e as depressões não têm mais capacidade de interceptar a água da mesma, resultando o seu escoamento. Sendo assim, o escoamento refletirá as características da precipitação e principalmente de sua intensidade (TUCCI, 1993).

Ao se analisar o escoamento superficial deve-se levar em conta os fatores que intervêm no mesmo, e que poderá ou não retardar o deslocamento da água na superfície, tal como a permeabilidade do solo, que influi diretamente na capacidade de infiltração, pois quanto mais permeável for o solo, mais água o mesmo pode captar, diminuindo assim o escoamento em excesso. Outro fator é o grau de manejo do solo, ou seja, o emprego de técnicas inadequadas de manejo pelo homem, que pode resultar em sérias conseqüências no meio físico natural da bacia e para a cultura instalada (CARVALHO; SILVA, 2006).

A magnitude do escoamento superficial ainda está associada aos processos de ocupação da terra que podem ser urbanos ou rurais, e o tipo de prática agrícola, sendo assim, em áreas agrícolas o tipo de cultivo é de fundamental relevância para se analisar o comportamento do escoamento superficial (POMPÊO, 2008).

## 2.2 Modelagem de escoamento superficial através do *Curve Number*

Segundo Tucci (1998), um modelo é a representação de algum objeto ou sistema, de uma forma simplificada, com o objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas. Os modelos de precipitação-vazão, neste sentido, irão representar os dois processos físicos naturais que fazem parte do ciclo hidrológico: a precipitação e a vazão.

O modelo *Curve Number* apresentado pelo Soil Conservation Service (SCS, 1975) é um modelo empírico muito divulgado no mundo todo devido ao reduzido número de parâmetros e relação entre os parâmetros e características físicas da bacia. Foi desenvolvido na década de 1950 e é muito utilizado em hidrologia para estimar o escoamento direto ou infiltração do excesso de precipitação. Este modelo pode servir de ajuda a programas de planejamento e gerenciamento de bacias que visam à conservação dos solos, projetos de obras hidráulicas e a prevenção de problemas em que a sociedade é alvo, como inundações (SCS, 1972; Mack, 1995; Johnson e Miller, 1997; Pullar e Springer, 2000; Tucci, 2000).

O *Curve Number* (CN) se fundamenta desta forma no conceito de que a lâmina de escoamento superficial produzida em um determinado evento é uma função da altura total da lâmina precipitada e de um parâmetro, denominado *Curva Número* ou *Número de Deflúvio*, que representa as perdas por infiltração no solo, a interceptação vegetal e condições de umidade antecedente. Os valores de *Curve Number* são adimensionais podendo variar de 0 a 100, onde os valores perto de 0 irão denotar uma superfície incapaz de gerar escoamento superficial e os próximos de 100 denotarão uma superfície com alto potencial gerador de escoamento superficial (MAGALHÃES, 2005).

A equação para o cálculo do volume de escoamento superficial definido pelo modelo *Curve Number* é dado pela equação 1, onde  $P_e$  corresponde ao escoamento superficial (mm),  $P$  representa a precipitação (mm),  $S$  a retenção potencial do solo (mm). Na equação 2 tem-se o valor de retenção ( $S$ ) em função ao parâmetro CN, que foi classificado de acordo com o tipo e uso do solo (TIBÚRCIO; CASTRO, 2007).

$$\text{Equação 1: } P_e = \frac{(P - 0,2.S)^2}{P + 0,8.S} :$$

$$\text{Equação 2: } S(\text{mm}) = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN}\right) - 1000$$

Sendo assim, os valores de *CN* variam conforme as condições de uso e cobertura da terra (Tabela 2), e os tipos de solos que são reagrupados, conforme sua textura e comportamento hidrológico, em 4 grupos de acordo com a *SCS* (Tabela 1), a seguir:

Tabela 1 - Características dos Grupos Hidrológicos de Solo (GHS).

<b>GHS</b>	<b>Descrição do Solo</b>	<b>Condutividade Hidráulica (mm/h)</b>
<b>A</b>	Solos com baixo potencial de escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos com pouco silte e argila e solos muito arenosos.	8-12
<b>B</b>	Solos arenosos menos profundos que A. Com permeabilidade superior a média; moderado a baixo potencial de escoamento superficial.	4-8
<b>C</b>	Solos pouco profundos contendo percentagem significativa de argila. Moderado a alto potencial de escoamento superficial e capacidade de infiltração abaixo da média.	1-4
<b>D</b>	Solos contendo argilas expansivas 2:1 e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.	0-1

Fonte: adaptada de Tucci (1998).

Tabela 2 - Valores de *CN* para as áreas agrícolas.

<b>Uso do Solo</b>	<b>Superfície</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Terrenos Cultivados	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações Regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	73	79	82
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantação de cereais	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantação de legumes ou campos cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
Pastagens	Boas	39	61	74	80
	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras Estradas de terra	Normais	59	74	82	86
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Tucci (1998).

O modelo *Curve Number* leva em conta, ainda, a condição média de umidade antecedente no solo. A *SCS* distingue três condições de umidade antecedente do solo, onde a condição II é a mais usada nos diferentes tipos de tabelas (como no exemplo da Tabela 2):

Condição I – solos secos – as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassam 15 mm.

Condição II – situação média na época das cheias – as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 15 e 40 mm.

Condição III – solo úmido (próximo da saturação) – as chuvas nos últimos 5 dias foram superiores a 40 mm e as condições meteorológicas forma desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

### 3 MATERIAS E MÉTODO

Tendo em vista os resultados satisfatórios trazidos pelo trabalho de Alves (2010), onde se realizou a modelagem do escoamento superficial na área urbana de Santa Maria – RS, esta nova proposta tem o intuito de se ampliar a escala, e trabalhar com uma bacia hidrográfica, onde as condições de uso e cobertura da terra são de caráter predominantemente rural.

Para a realização da pesquisa em um primeiro momento houve a necessidade de obter materiais bibliográficos que subsidiassem os temas da mesma, como: escoamento superficial, e modelos hidrológicos de precipitação-vazão. Ainda nesta fase, identificaram-se as características do meio físico-natural da bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim.

No segundo passo foi realizado a seleção e *downloads* das imagens de satélite a serem utilizadas no mapeamento temático da área de estudo. Dessa forma foram selecionados as imagens referentes ao sensor *TM* (Thematic Mapper) do satélite *Landsat 5*, disponíveis no catálogo de imagens no site do INPE: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>.

A área abrange três cenas do satélite correspondendo às seguintes órbitas e pontos: 222/81, 223/80 e 223/81 (Figura 4). Para a seleção das imagens de cada ano em análise, buscou-se que as cenas correspondessem à mesma época do ano e que apresentassem a menor cobertura de nuvens. Assim foram selecionadas imagens de 1990 e 2009 entre os meses de junho a agosto, sendo que a data de passagem das cenas de 1990 variaram em 9 dias e a do ano 2009 variaram em 25 dias.

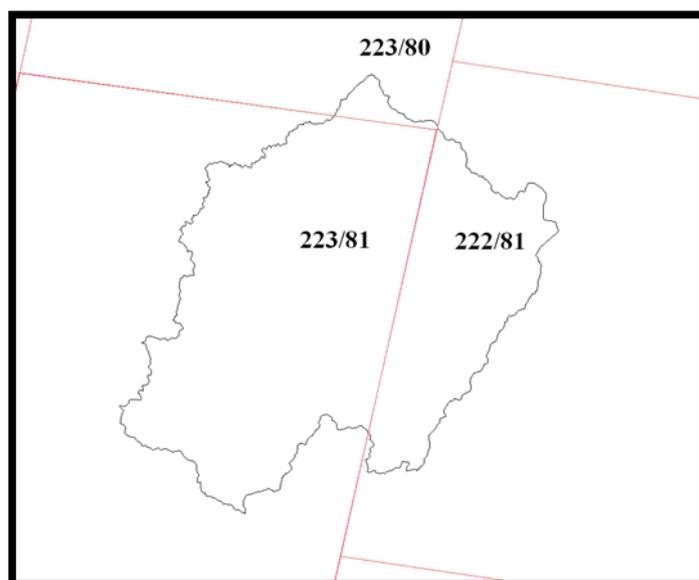


Figura 4 - Delimitação da bacia hidrográfica e as cenas das imagens *TM/Landsat 5*.

Tabela 3 - Datas de cada cena das imagens obtidas para os dois períodos.

1990		2009	
<i>Data</i>	<i>Órbita/ponto</i>	<i>Data</i>	<i>Órbita/ponto</i>
06/08	222/81	25/07	222/81
28/07	223/81	30/06	223/81
28/07	223/80	30/06	223/80

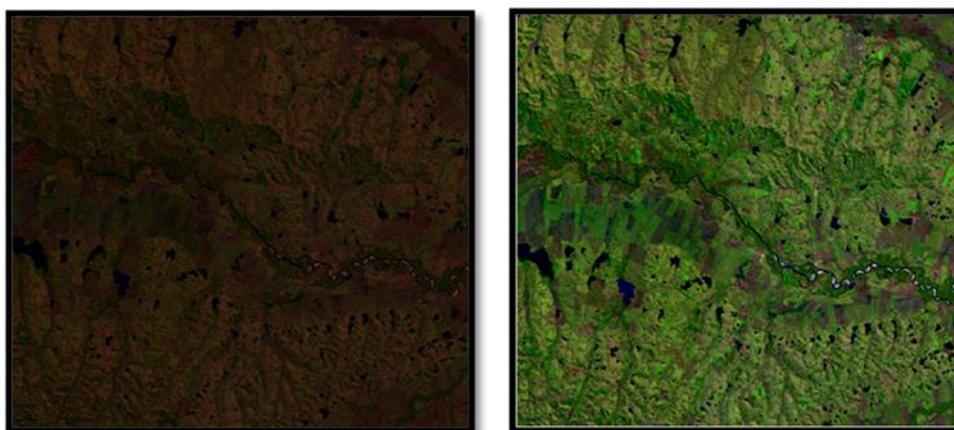
Após a seleção e o *download* de todas as imagens especificadas anteriormente, partiu-se para a montagem do banco de dados. Para isso utilizou-se o *software* SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) versões 4.3.3 e 5.1.7, programa desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do INPE.

No SPRING foi definido um projeto, onde foram inseridas as coordenadas geográficas que envolvem a área da bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim. Com o banco de dados estruturado iniciou-se a fase do registro das cenas, que implicou na importação e georreferenciamento das imagens *TM/Landsat 5*. Para isso, foi necessário utilizar imagens georreferenciadas como base; estas imagens *TM/Landsat* ortorretificadas estão disponíveis no endereço <<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>>.

As imagens ortorretificadas importadas tiveram as suas três cenas mosaicadas, seguindo da importação de cada uma das imagens *Landsat* de 1990 e 2009, registrando-as individualmente na tela através de pontos de controle.

Antes de dar prosseguimento ao processamento das imagens *Landsat*, foram importadas algumas informações já existentes, relevantes para o alcance satisfatório dos objetivos. Estas informações referem-se aos limites geográficos da bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim, disponibilizada para *download* em formato *shapefile* pela Secretaria de Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (SEMA) no endereço <<http://www.sema.rs.gov.br/>>; e uma base cartográfica dos tipos de solos do Rio Grande do Sul de 2003, em formato digital, em escala 1:1.000.000, obtida no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponível no endereço <<http://www.ibge.gov.br>>.

Devido a períodos de captura diferenciados, as imagens de satélite apresentaram variações em seu contraste (Figura 5(2)). Para se amenizar tal diferença exigiu-se, numa fase de pré-processamento, a equalização das imagens e o realce de contraste, no SPRING 5.1.7, ambas as técnicas com o objetivo de melhorar a qualidade das imagens sob critério do olho humano.



(1) - Mosaico de imagens sem contraste.

(2) - Com contraste.

(3) - Imagem equalizada.



Figura 5 - Fragmentos de mosaico de imagens *TM/Landsat 5* de 1990, composição 5(R), 4(G), 3(B) sem realce de contraste (1), com realce (2) e equalizado (3).

A continuidade do processamento dos mosaicos de imagens *TM/Landsat 5* se deu no SPRING 4.3.3, devido a um problema de origem desconhecida na versão 5.1.7 que impossibilitou a segmentação com limiares de similaridade e área nos valores 10 e 20, respectivamente. O método de agrupamento de dados utilizado para realizar a segmentação foi o de crescimento de regiões, onde somente as regiões adjacentes, espacialmente, podem ser agrupadas. Estas segmentações (Figura 6) foram utilizadas para as classificações do uso e cobertura da terra para os mosaicos de imagens dos dois anos. O método de classificação utilizado foi supervisionado, por regiões, baseado na distância Bhattacharya.

A partir da definição das amostras de treinamento e teste foram discriminadas nove classes de uso e cobertura, conforme as características da área de estudo (Figura 7): campo e pastagem, floresta, mata ciliar, área agrícola, solo exposto, água, área urbana, areia e sombra. Sendo que, a classe areia refere-se às coberturas arenosas em planícies aluviais do rio Vacacaí e a classe sombra às áreas de relevo acidentado com vertentes com orientação pouco iluminadas pelo sol durante a captura da imagem pelo sensor.

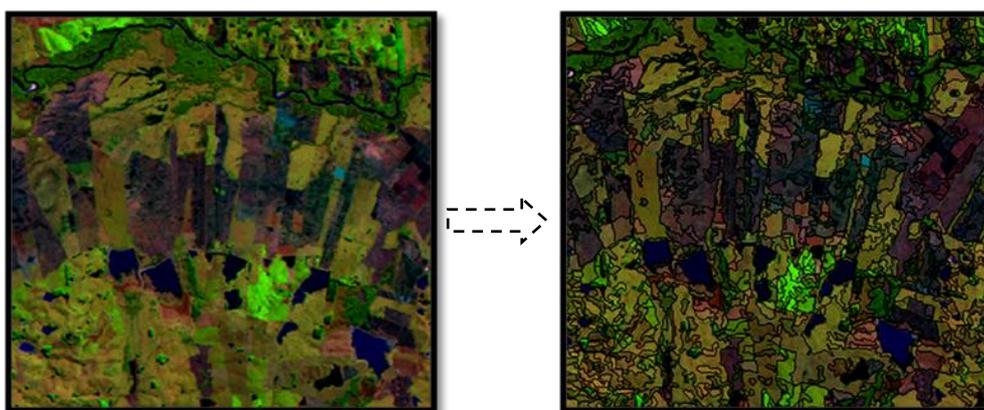


Figura 6 - Segmentação de um fragmento do mosaico de imagens *TM/Landsat 5*, 1990.

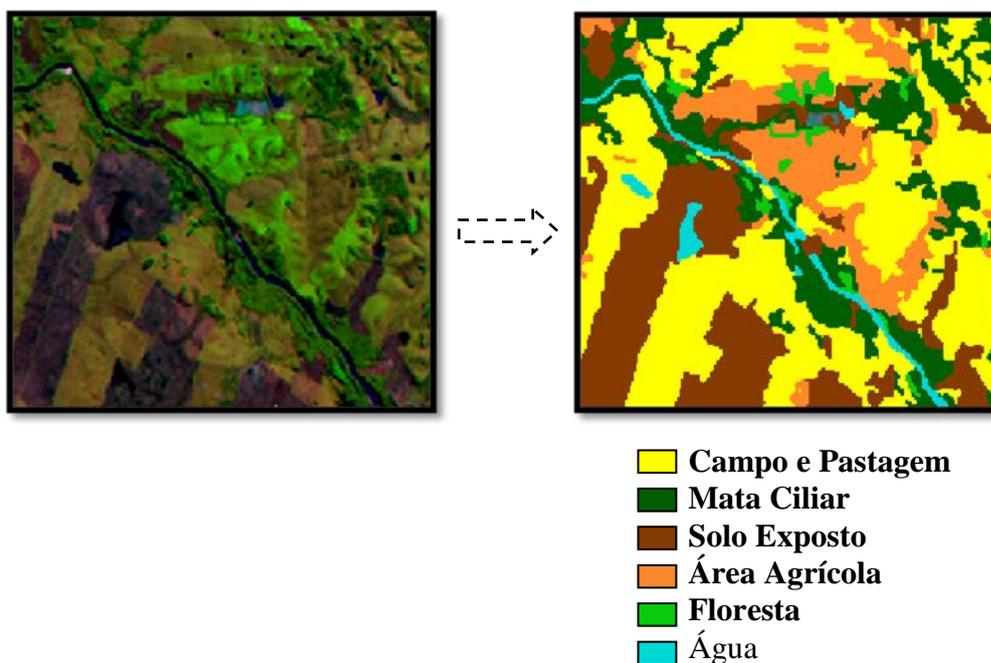


Figura 7 - Classificação supervisionada de um setor da área em estudo da imagem de 1990.

Através do mapa dos solos do Rio Grande do Sul digitalizado e de referências bibliográficas, os solos foram analisados e reagrupados, segundo suas características texturais, em grupos hidrológicos de solos, visando a elaboração do mapa de grupos hidrológicos de solos da bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim.

Por fim, para se obter o mapa de potencial de escoamento para os anos de 1990 e 2009, foi necessário realizar o cruzamento dos mapas de uso e ocupação e de grupos hidrológicos de solo. Tal procedimento foi realizado utilizando um programa em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do SPRING versão 4.3.3. O mapa de potencial de escoamento superficial representa os valores de *curve number* de acordo com as características das diferentes superfícies de solos e uso e cobertura.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise do Uso e Cobertura da Terra

Para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra para os anos de 1990 e 2009, no SPRING, foram classificados de forma independente os mosaicos de imagens *TM/Landsat 5* (Figura 8).

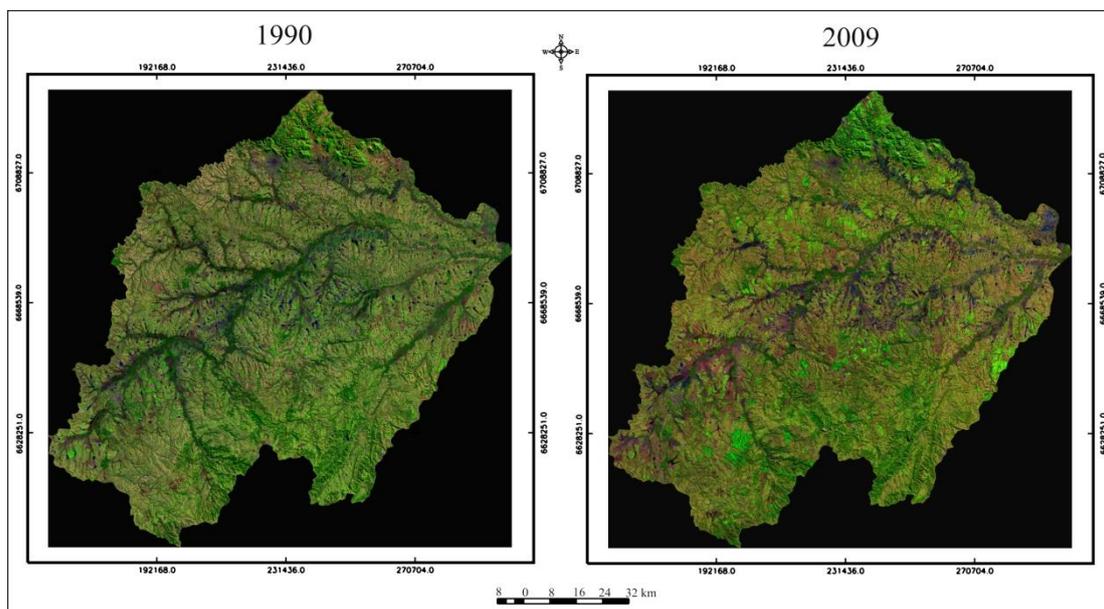


Figura 8 - Mosaico de imagens *TM/Landsat 5*, anos 1990 e 2009.

No processo de classificação de uso e cobertura da terra foram discriminadas nove classes, sendo elas: campo e pastagem, floresta, mata ciliar, área agropecuária, solo exposto, área urbana, água, areia e sombra. De acordo com os resultados obtidos pode-se notar, para as duas datas, que a área da bacia (Figura 9 e 10) é coberta em sua maioria por campos e pastagens, classe que recobre 47,09% da imagem de 1990 e 46,23% da imagem de 2009. Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os valores obtidos no processo de classificação para todas as nove classes.

As áreas florestais representam um total de 2.474,35 km<sup>2</sup> na bacia, sendo que foram divididas de acordo com suas características espectrais, em mata ciliar e florestas. Essa discriminação numa análise visual mostrou-se eficiente, apesar de espectralmente serem

muito parecidas o que provocou uma confusão entre estas duas classes durante o processo de classificação.

Em ambos os mapas (Figura 9 e 10) as áreas florestais se mantiveram preservadas, as quais estão distribuídas na porção norte e ao sudeste da bacia. Pode-se observar ainda, na Figura 10, que as mudanças relativas à expansão da cobertura florestal ao sul da bacia, podem estar associadas ao abandono de áreas agrícolas e de pecuária no período.

Já as matas ciliares ao longo das planícies aluviais dos principais rios, apresentaram um pequeno decréscimo no período de 19 anos. Ao mesmo tempo em que se observa um acréscimo e substituição das mesmas por solo exposto, relacionados principalmente a terrenos preparados para plantios e/ou ligados a práticas de manejo agrícola inadequadas. Deve-se levar ainda em consideração que os solos expostos substituíram as áreas agrícolas, visto que as mesmas diminuíram como se observa no mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2009 (Figura 10).

Tabela 4 - Medida de classes da classificação do mosaico de imagens de 1990.

<b>Classe de Uso e Cobertura da Terra</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Proporção (%)</b>
<b>Campo e Pastagem</b>	5.272,40	527.240,79	47,10
<b>Mata Ciliar</b>	1.986,13	198.613,17	17,74
<b>Solo Exposto</b>	1.573,08	157.308,48	14,05
<b>Área Agrícola</b>	1.469,95	146.995,92	13,13
<b>Floresta</b>	488,22	48.822,66	4,36
<b>Água</b>	224,48	22.448,43	2,01
<b>Sombra</b>	111,52	11.152,89	1,00
<b>Área Urbana</b>	66,72	6.672,06	0,60
<b>Areia</b>	2,71	271,26	0,02
<b>Total</b>	<b>11.195,21</b>	<b>1.119.525,66</b>	<b>100,00</b>

Tabela 5 - Medida de classes da classificação do mosaico de imagens de 2009.

<b>Classe de Uso e Cobertura da Terra</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Proporção (%)</b>
<b>Campo e Pastagem</b>	5.176,16	517.616,10	46,23
<b>Solo Exposto</b>	2.164,01	216.401,67	19,33
<b>Mata Ciliar</b>	1.747,96	174.796,92	15,61
<b>Área Agrícola</b>	1.273,65	127.365,48	11,38
<b>Floresta</b>	500,06	50.006,79	4,47
<b>Água</b>	177,63	17.763,75	1,59
<b>Sombra</b>	85,79	8.579,61	0,77
<b>Área Urbana</b>	67,76	6.776,73	0,61
<b>Areia</b>	3,00	300,15	0,03
<b>Total</b>	<b>11.196,02</b>	<b>1.119.607,20</b>	<b>100,00</b>

A classe referente às áreas urbanas não foram consideradas durante o processo de classificação, devido à confusão intensa da mesma com a classe de solo exposto. A classe de área urbana foi somente considerada no processo de edição matricial. Observa-se nos mapas que as maiores representações desta classe se fazem nos municípios de Santa Maria, São Gabriel e São Sepé.

Existe também uma considerável diminuição da classe água no período, ao todo 4.685 ha, podendo estar associado ao aumento da demanda de água para o cultivo arroz irrigado e soja, que se expandiram principalmente em São Gabriel, e que coincidem com a época de menor disponibilidade de água na região.

Quanto aos erros referentes à classificação foram corrigidos na edição matricial e tomando como base a interpretação visual das imagens.

# MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM - RS ANO DE 1990

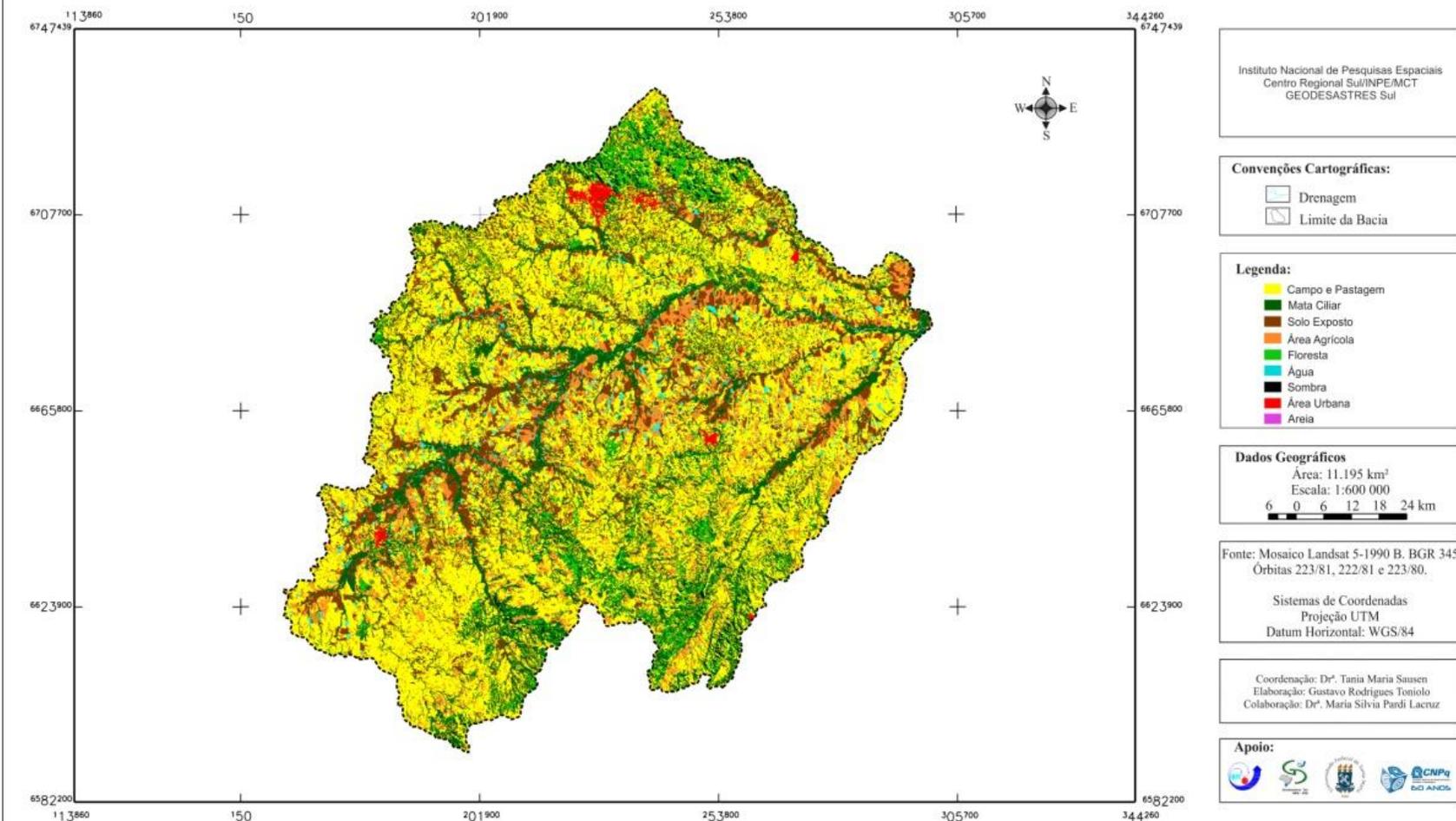


Figura 9 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 1990.

# MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM - RS ANO DE 2009

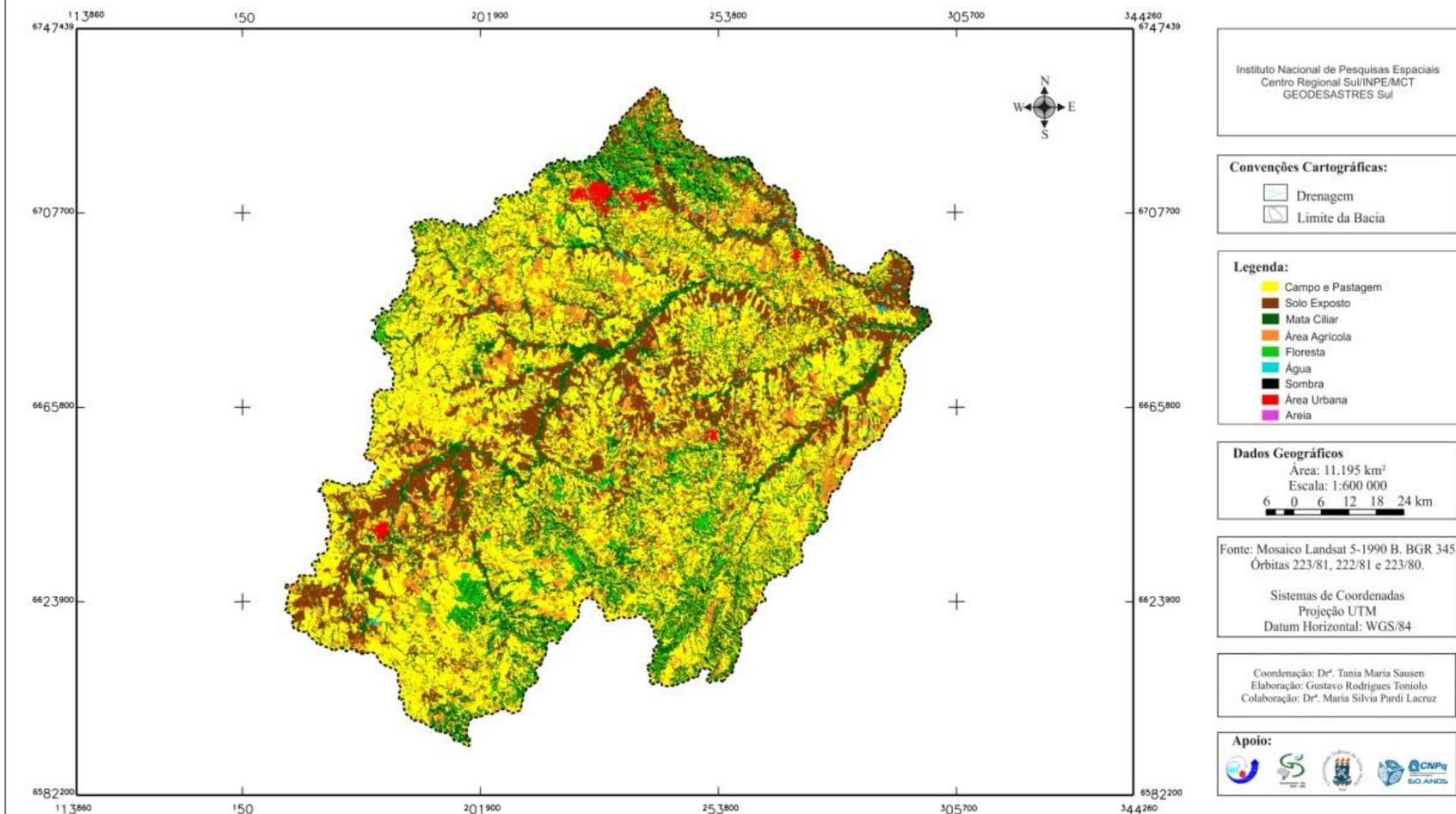


Figura 10 - Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2009.

## 4.2 Mapa de Grupos Hidrológicos de Solo

A partir do mapa de solos do Rio Grande do Sul do IBGE digitalizado, georreferenciado e delimitado para bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim, foi possível a reclassificação dos solos segundo os Grupos Hidrológicos de Solos (GHS) distinguidos por Tucci (1998) (Tabela 1), onde são consideradas suas características físicas texturais (Tabela 6). Sendo assim, os solos da bacia foram enquadrados em três grupos hidrológicos de solos: B, C e D. Sendo que não foram constatados solos com características que se enquadrassem no grupo hidrológico A.

Para realizar a classificação consideraram-se as informações das características dos solos, obtidas na literatura. Dessa forma considerou-se que, no grupo hidrológico B, se enquadrariam os solos com moderado a baixo potencial de escoamento superficial e permeabilidade superior a média. Dentre esses solos destacam-se os argissolos vermelhos e argissolos vermelho-amarelo, considerados solos com baixa atividade de argila e bem drenados. Na área de estudo esses solos podem ser encontrados de forma abundante, onde predominantemente é associado a campos e pastagens.

Ao grupo hidrológico C foram associados solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, como argissolos bruno-acinzentado e chernossolos. Os chernossolos ebânicos conforme sua textura muito argilosa e caráter litólico foram associados ao grupo hidrológico D.

Os planossolos háplicos foram agregados ao grupo hidrológico D. Observa-se que os mesmos são encontrados em sua maioria nas margens dos rios e lagoas e sob floresta estacional decidual aluvial, onde se observou o cultivo de arroz irrigado. Juntamente foram agregados a este grupo os neossolos litólicos, solos mal drenados e de baixa fertilidade, encontrados na porção ondulada e fortemente ondulada de Caçapava do Sul. E por último, a esse grupo foram associados os luvisolos, solos contendo argilas expansivas 2:1.

Tabela 6 - Reclassificação dos solos.

<b>Classe de solo</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Grupo Hidrológico</b>
Argissolo bruno-acinzentado alítico Ta, textura média/argilosa e arenosa/argilosa, A moderado e proeminente, relevo suave ondulado e plano.	PBPa1	C
Argissolo bruno-acinzentado alítico Ta, textura média/argilosa, A moderado relevo suave ondulado a ondulado.	PBPa2	C
Argissolo bruno-acinzentado alítico Ta, textura média/argilosa, A moderado e proeminente, relevo suave ondulado e plano.	PBPa3	C
Luvissolo crômico planossólico eutrófico Ta, textura média/argilosa e média, A moderado e proeminente, relevo suave ondulado a ondulado.	PBPe1	D
Luvissolo crômico planossólico eutrófico Ta, textura média/argilosa e média, A moderado, relevo suave ondulado e plano.	PBPe2	D
luvissolo crômico planossólico eutrófico Ta, textura média/argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.	PBPe3	D
Luvissolo crômico planossólico eutrófico Ta, textura média/argilosa, A moderado, relevo plano suave ondulado.	PBPe4	D
Planossolo háplico eutrófico Ta, textura média e argilosa, A moderado, relevo plano.	PLe2	D
Argissolo bruno-acinzentado alítico Ta, textura argilosa/muito argilosa fase pedregosa e não pedregosa, A moderado, relevo ondulado e forte ondulado.	PBa1	C
Argissolo vermelho álico e distrófico Tb cascalhento, textura média/argilosa, A moderado e proeminente, relevo suave ondulado	PEa4	B
Argissolo vermelho álico e distrófico Tb abruptico e não abruptico, textura arenosa/argilosa e média/argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.	PEa5	B
Argissolo vermelho álico e distrófico Tb abruptico e não abruptico, textura arenosa/argilosa e média/argilosa, relevo suave ondulado.	PEa8	B
Argissolo vermelho álico e distrófico Tb abruptico e não abruptico, textura média/argilosa, relevo suave ondulado.	PEa9	B
Argissolo vermelho álico e distrófico Tb abruptico, textura arenosa/argilosa, relevo ondulado e forte ondulado.	PEa11	B
Argissolo vermelho distrófico Tb, textura média/argilosa, A proeminente e moderado, relevo suave ondulado a ondulado.	PEd1	B
Argissolo vermelho distrófico Tb, textura média/argilosa, A proeminente e moderado, relevo ondulado.	PEd2	B
Argissolo vermelho distrófico e Argissolo Verm.-Amar. Tb plintico, textura média/argilosa, A proeminente e moderado, relevo suave ondulado.	PEd3	B

(continua)

Tabela 6 - Continuação

<b>Classe de solo</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Grupo Hidrológico</b>
Argissolo vermelho-amarelo distrófico e álico Tb cascalhento, textura média/argilosa, A proeminente, relevo suave ondulado e ondulado.	PVd8	B
Argissolo vermelho-amarelo distrófico e eutrófico Tb, textura média cascalhenta/argilosa cascalhenta e média cascalhenta/argilosa, A proeminente e moderado, relevo ondulado e forte ondulado.	PVd14	B
Argissolo vermelho-amarelo Eutrófico Ta, Solos Litólicos eutrófico, textura média cascalhenta substrato arenítico, A moderado, relevo ondulado e forte ondulado.	PVe4	C
Chernossolo argilúvico, textura argilosa, relevo plano.	BV1	C
Chernossolo argilúvico, textura média/argilosa e argilosa, relevo suave ondulado e ondulado.	BV2	C
Chernossolo ebânico textura argilosa/muito argilosa e Solos Litólicos eutróficos, relevo ondulado.	B	D
Chernossolo ebânico Ta, textura argilosa e média/argilosa, A moderado, relevo suave ondulado.	BT8	C
Neossolo litólico distrófico, textura média, A proeminente, relevo ondulado e forte ondulado e afloramentos de rocha.	Rd3	D
Neossolo litólico distrófico, textura média cascalhenta, A moderado, relevo ondulado e forte ondulado afloramentos de rocha.	Rd4	D
Neossolo litólico distrófico, textura média/argilosa e média cascalhenta, A proeminente, relevo suave ondulado.	Rd5	D
Neossolo litólico distrófico, textura média/argilosa cascalhenta, A moderado, relevo ondulado e forte ondulado e afloramentos de rocha.	Rd7	D
Neossolo litólico eutrófico, textura média cascalhenta, A moderado, relevo ondulado e forte ondulado.	Re18	D
Neossolo litólico distrófico, textura média cascalhenta e média fase pedregosa substrato basalto, A chernozêmico, relevo forte ondulado.	Re20	D

A partir da reclassificação dos solos apresentados na Tabela 6, gerou-se como produto final o mapa temático dos grupos hidrológicos de solos da bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim, ilustrado na Figura 11. A partir da Tabela 7 pode-se verificar a predominância do grupo hidrológico D na bacia, devido principalmente a abundância de solos mal drenados e de textura argilosa, como os planossolos e luvisolos, e de

neossolos litólicos. Em menor escala se observa solos do tipo B e por último, solos do tipo C.

Tabela 7 - Medida das classes de Grupos Hidrológicos de Solos (GHS).

<b>GHS</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Proporção (%)</b>
B	3.757,10	33,56
C	2.113,38	18,88
D	5.324,52	47,56
<b>Total</b>	<b>11.195,00</b>	<b>100,00</b>

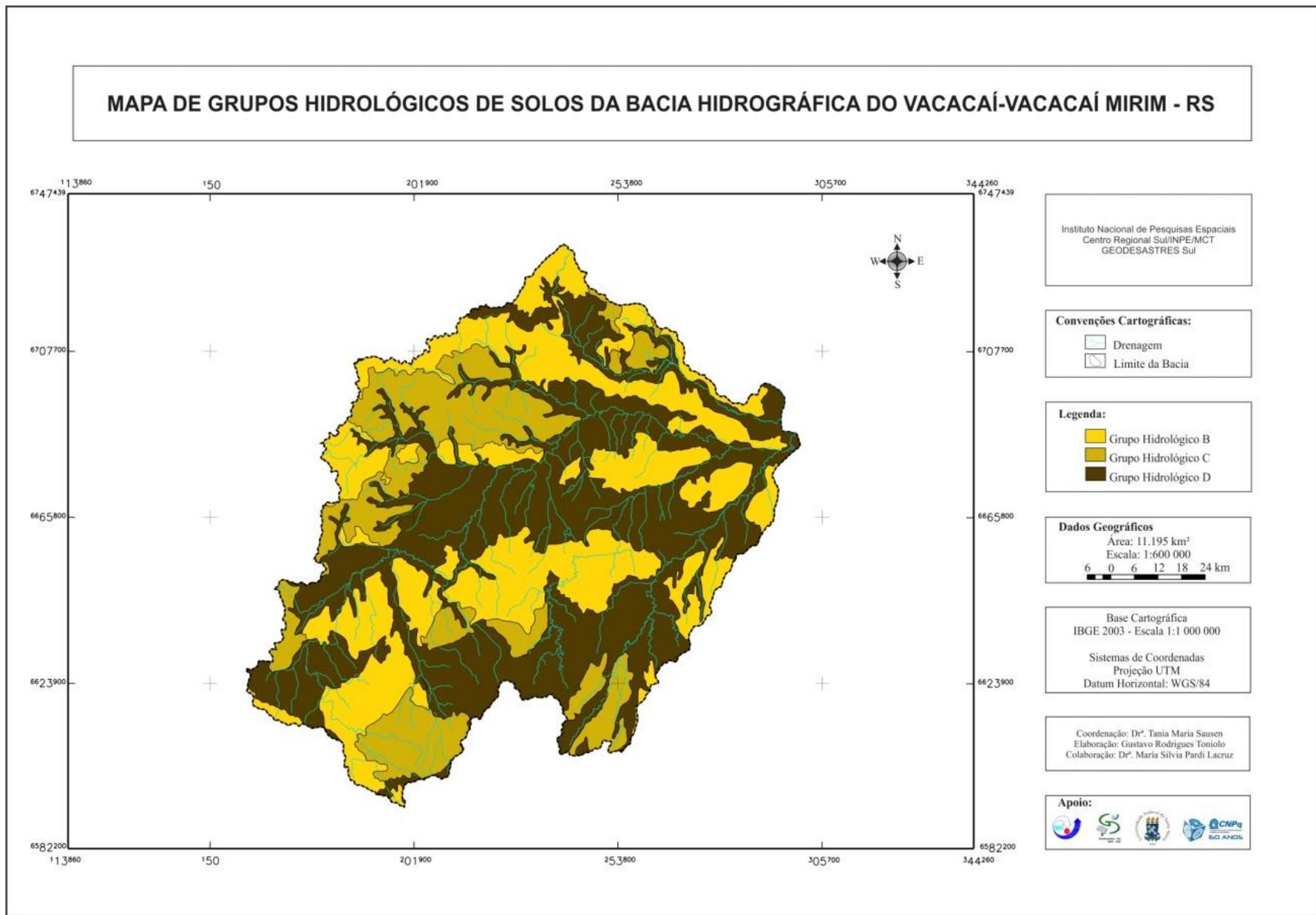


Figura 11 - Mapa de Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia Hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim.

### 4.3 Análise do Escoamento Superficial

A partir da integração do mapa de grupos hidrológicos de solos com os mapas de uso e cobertura da terra de 1990 e 2009 resultou no mapa de potencial de escoamento superficial para os dois anos.

Para o cruzamento de cada classe de uso e cobertura da terra com uma de grupo hidrológico se obteve um valor de *Curve Number (CN)*. Assim, de acordo com os dados tabelados, os campos e pastagens em grupo hidrológico do tipo B representam o limite inferior, valor igual a 59, entretanto quando associado ao grupo hidrológico D esse valor sobe para 83. No geral, os valores de *Curve Number* mais altos na Tabela 8 estão relacionados aos solos expostos que estão ligados a qualquer grupo hidrológico apresentado, sendo que o limite superior para o mesmo é 90 quando associado ao grupo hidrológico D.

Tabela 8 - Valores de *CN* associados às classes de uso e cobertura da terra.

Classe de Uso e Cobertura da Terra	Grupo Hidrológico de Solo		
	B	C	D
Campos e Pastagens	59	75	83
Áreas Agrícolas (Plantações Regulares)	76	84	88
Solo Exposto	80	88	90
Florestas (em condições normais)	60	70	76
Mata Ciliar (Floresta Estacional Aluvial)	68	78	84
Áreas Urbanas	75	83	87

As variações nos usos e cobertura da terra e nos tipos de solos implicaram em diferentes potências de geração de escoamento superficial, uma vez que os valores de *CN* estão diretamente associados aos mesmos. Dessa forma, a partir dos valores de *Curve Number* descritos estabeleceu-se cinco classes de acordo com os seguintes intervalos, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 - Intervalo de classes dos valores de *Curve Number*.

Classes	GHS	Classe de Uso e Cobertura da Terra
[59 – 65]	B	Floresta
		Campo/Pastagem
[66 – 71]	B	Mata Ciliar
	C	Floresta
[72 – 78]	B	Área Agrícola
		Área Urbana
	C	Mata Ciliar
		Campo/Pastagem
D	Floresta	
[79 – 85]	B	Solo Exposto
	C	Área Agrícola
		Área Urbana
	D	Mata Ciliar
Campo/Pastagem		
[86 – 90]	C	Solo Exposto
	D	Área Agrícola
		Solo Exposto
		Área Urbana

A partir da análise da medida de classes, nas Tabelas 10 e 11, observa-se que as áreas com valores de *Curve Number* no intervalo de 79-85 são predominantes, representando quase 40% em relação à área total da bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim (figura 12 e 13).

Tabela 10 - Medida de Classes do Mapa Potencial de Escoamento Superficial para 1990.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Proporção (%)
[59-65]	2.179,10	217.956,23	19,47
[66-71]	636,5	63.570,10	5,68
[72-78]	1.684,88	168.477,16	15,05
[79-85]	4.320,96	432.016,42	38,59
[86-90]	2.035,62	203.551,24	18,18
Não Considerado	338,14	33.954,48	3,03
<b>Total</b>	<b>11.195,20</b>	<b>1.119.525,60</b>	<b>100,00</b>

Tabela 11 - Medida de Classes do Mapa de Potencial de Escoamento Superficial para 2009.

<b>Classes</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Proporção (%)</b>
[59-65]	2.052,99	205.260,30	18,34
[66-71]	635,6	63.521,19	5,67
[72-78]	1.684,07	168.368,40	15,04
[79-85]	4.283,60	428.321,88	38,27
[86-90]	2.272,05	227.166,66	20,29
<b>Não Considerado</b>	266,88	26.688,96	2,38
<b>Total</b>	<b>11.195,19</b>	<b>1.119.327,39</b>	<b>100,00</b>

A Tabela 11 mostra ainda que a classe 86-90 foi a que mais sofreu alterações quantitativas. As alterações podem ser notadas principalmente no município de São Gabriel, que sofreu considerável acréscimo nas áreas agrícolas e de solos expostos no período de 19 anos.

Observam-se nas Figuras 12 e 13 as mudanças relativas ao aumento considerável dos valores de *CN* acima de 85, principalmente nas áreas agrícolas e de solos expostos concentradas nas planícies aluviais. Sabe-se que somente os valores de *CN* acima de 50 geram escoamento superficial e que quanto maior esse número, maior será o escoamento resultante da chuva, portanto nota-se que a maioria das áreas na bacia são potencias de escoamento superficial.

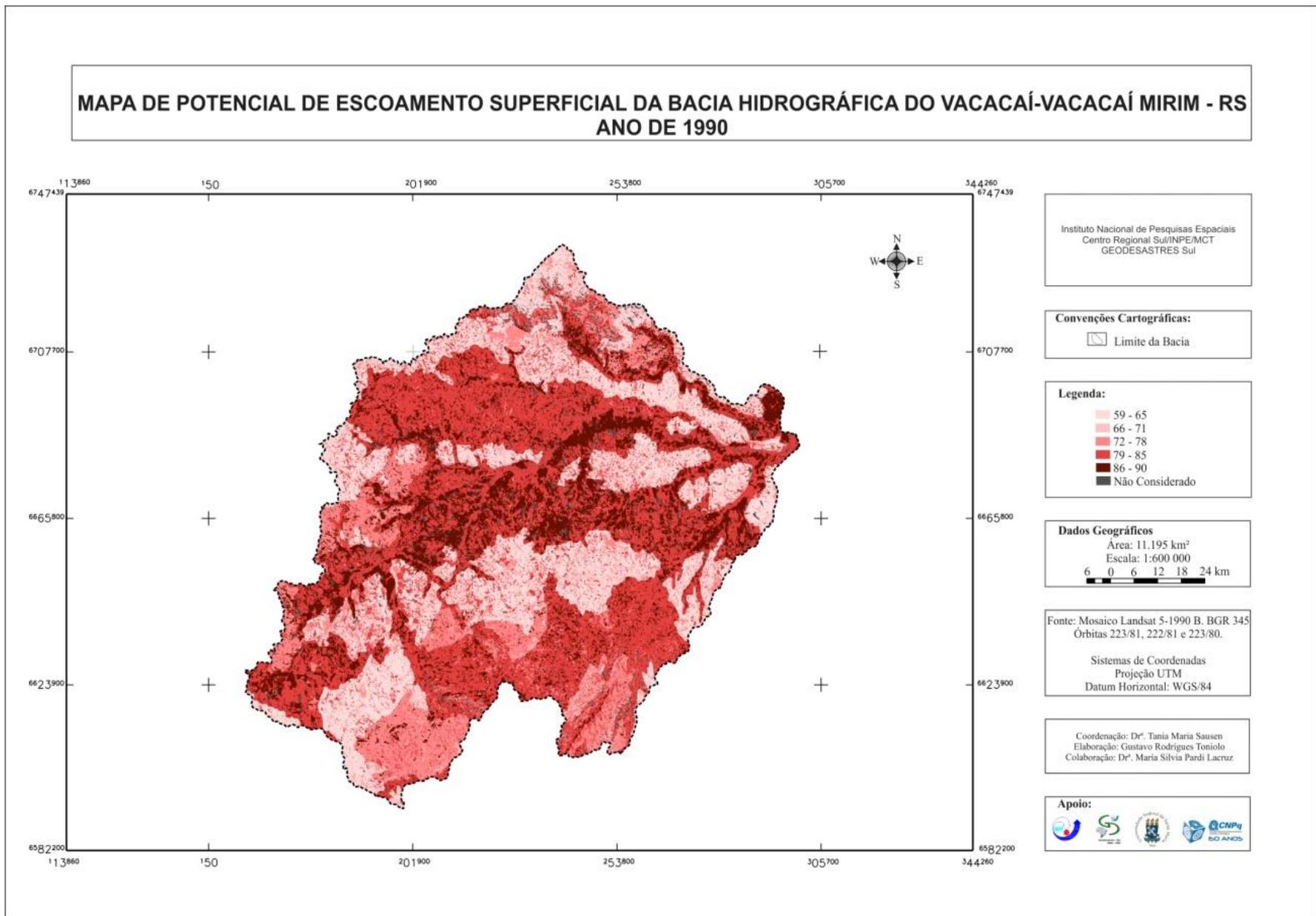


Figura 12 - Mapa de Potencial de escoamento Superficial - Ano de 1990.

# MAPA DE POTENCIAL DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM - RS ANO DE 2009

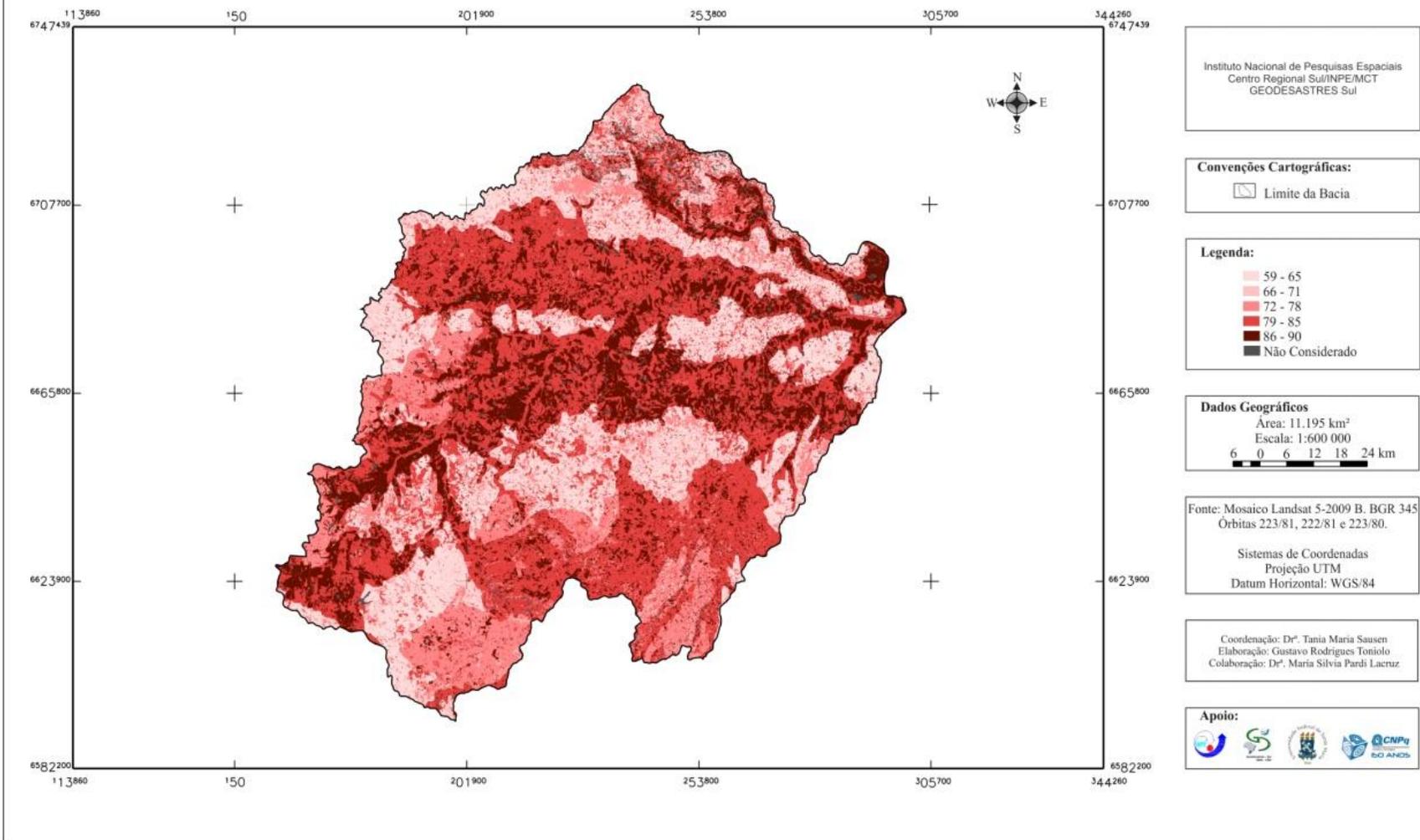


Figura 13 - Mapa de Potencial de escoamento Superficial - Ano de 2009.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste trabalho foi, por meio da aplicação do modelo hidrológico de precipitação vazão *Curve Number*, analisar as alterações do escoamento superficial na bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim de acordo com as mudanças no uso e cobertura da terra para um período de 19 anos, compreendidos entre 1990 e 2009. Os resultados obtidos nessa pesquisa através da implementação de tal modelo e com o auxílio de técnicas de geoprocessamento demonstram o alcance satisfatório dos objetivos propostos.

Ressalta importância do *software* SPRING para o desenvolvimento da pesquisa e na análise integrada das informações e elementos presentes na bacia em diferentes épocas, através da utilização de imagens de satélite e de um banco de dados de informações geográficas georreferenciadas.

A análise comparativa dos mapas temáticos elaborados nesta pesquisa: mapas de uso e cobertura da terra, mapa de grupos hidrológicos de solos e, a partir do cruzamento das informações de ambos, tornaram-se possível identificar e quantificar as áreas potenciais geradoras de escoamento superficial, e dessa forma, apontar as alterações no comportamento do escoamento superficial.

A importância desse estudo está na sistematização e análise das informações geográficas da Bacia do Vacacaí-Vacacaí Mirim e suas representações em materiais cartográficos, que contribuirão no planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas que carecem de dados hidrológicos e estão propensas as mudanças no uso e cobertura da terra.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, D. B.; SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. Modelagem dinâmica do escoamento superficial na área urbana de Santa Maria - RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 5671-5678. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A39PJE>>. Acesso em: 13 mar. 2011.
- ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL. 2011. Disponível em: <<http://www.scp.rs.gov.br/atlas>>. Acesso em: 03 jun. 2011.
- CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista. **Apostila de Hidrologia**. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2011.
- DERNA. Mapa Exploratório de Solos do Rio grande do Sul. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.
- EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, Versão Eletrônica ISSN 1806-9207 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrrigadoBrasil/index.htm>>. Acesso em: 27 de jun. 2011.
- FORTES, Amy Borges. Aspectos Fisiográficos, Demográficos e Econômicos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Globo, 1956. 76 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Catálogo TM Lansat 5**. São José dos Campos, 2004. Catálogo. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br>>. Acesso em 15 de out. 2010.
- MAEDA, Eduardo Eiji. **Influência das Mudanças do Uso e Cobertura da Terra no Escoamento Superficial e Produção de Sedimentos na Região da Bacia do Alto Rio Xingu**. 2008. 102p. (INPE-15234-TDI/1321) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.06.17.10/doc/publicacao.pdf>> Acesso em: 4 de jun. 2011.
- MAGALHÃES, Luis P. C. de. **Modelo integrado para simulação de Sistemas Hídricos**. 2005. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <[http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/rh/2005/Teses/MAGALHAES\\_LP\\_05\\_t\\_M\\_int.pdf](http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/rh/2005/Teses/MAGALHAES_LP_05_t_M_int.pdf)>. Acesso em: 21 de maio 2011.

POMPÊO, Cesar A. **O Método Curve Number**. 2008. Disponível em: <<http://mailman.ufsc.br/pipermail/ens-5164/attachments/20080610/9da98799/attachment-0001.pdf>>. Acesso em: 9 de jul. 2011.

REINERT, Dalvan José ... [et al.]. **Principais Solos da Depressão Central e Campanha do Rio Grande do Sul: Guia de Excursão**. Santa Maria: Departamento de Solos. UFSM, 2007.

RUHOFF, A. L. Modelagem dinâmica de escoamento superficial na Bacia do Arroio Grande, RS. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, 21-26 abril de 2007, INPE.

SCS – Soil Conservation Service. **National Engineering Handbook**, USDA, 1972.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E GESTÃO DO RIO GRANDE DO SUL (SEPLAG-RS). **Mapa de tipo de solos do RS**. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/atlas.asp?menu=511>>. Acesso em janeiro de 2011.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA-RS). **Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre, 2011. Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=56&cod\\_conteudo=6120](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=56&cod_conteudo=6120)>. Acesso em janeiro de 2011.

TIBÚRCIO, E. C.; CASTRO, M. A. H. Uso de sistemas de informação geográfica para a determinação do curve number em regiões hidrológicas. **Anais... I Simpósio de Recursos Hídricos Norte Centro-Oeste**. Cuiabá, 27-29 de junho de 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1993.

\_\_\_\_\_. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1998.