

Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO –
FLORIANÓPOLIS - SC**

Vicente Bauer Neto

FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007

Universidade Federal de Santa Catarina
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DA LAGOA DA CONCEIÇÃO –
FLORIANÓPOLIS - SC**

Vicente Bauer Neto

**Trabalho apresentado à Universidade
Federal de Santa Catarina para
Conclusão de Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental**

Orientador

Eng^o Fábio Bertini Godoy

Co-orientador

Prof. Dr. Davide Franco

FLORIANÓPOLIS, (SC)

NOVEMBRO/2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA
DA LAGOA DA CONCEIÇÃO – FLORIANÓPOLIS - SC

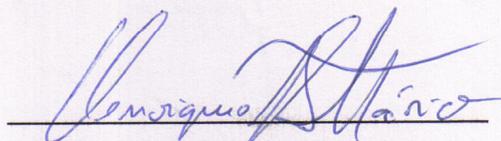
VICENTE BAUER NETO

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental-TCC II

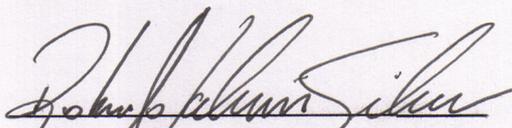
BANCA EXAMINADORA:



Engº Fábio Bertini Godoy
(Orientador)



MSc. Henrique F. de S. Mário
(Membro da banca)



MSc. Roberto Valmir da Silva
(Membro da banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)
NOVEMBRO/2007

AGRADECIMENTOS

A meus pais Lisa e Luiz, pelo exemplo de perseverança e determinação.

A Marilucia da Silva, minha companheira de todas as horas, pelo apoio, incentivo, compreensão e amor.

A minha irmã e amiga Maria Fernanda que esteve presente nas horas que necessitei de apoio e suporte.

Esta dissertação só foi possível pela contribuição de Fábio Bertini Godoy, pela orientação e confiança demonstrada desde os primeiros momentos, e a Davide Franco co-orientador e pesquisador incansável.

Ao amigo Armando Cardoso Ribas e Stevens Spagnollo, pelo apoio, incentivo e valiosas contribuições ao longo do trabalho.

A Dirceu Antônio Oldra e Fátima pelo apoio e contribuição para o fechamento do trabalho.

A Equipe da empresa Sócio Ambiental que com seu acervo técnico e forma de trabalho proporcionaram meu crescimento pessoal e profissional.

A todos aqueles que, apesar de não citados, colaboraram direta ou indiretamente, para a realização de mais uma importante etapa em minha vida, meus agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VI
RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo Geral	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Ciclo hidrológico	5
3.2. Geomorfologia	5
3.2.1. Bacia hidrográfica e sub-bacias	6
3.2.2. Sistema de drenagem e suas Classificação conforme o escoamento global e padrão de drenagem dos rios	8
3.2.3. Classificação dos rios conforme a constância	10
3.2.4. Estuários	10
3.3. Parâmetros de caracterização física	12
3.3.1. Parâmetros Físicos	12
3.3.2. Parâmetros Relacionais	14
3.3.3. Noções cartográficas	24
3.4. Sistema de Informações Geográficas (SIG).	26
3.4.1. Geocodificação	27
3.4.2. SPRING	29
3.4.3. Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1. Materiais	35
4.1.1. Equipamentos envolvidos no trabalho	35
4.1.2. Sistema envolvido no trabalho	35
4.1.3. Material Cartográfico	35
4.2. Metodologia de trabalho	35
4.2.1. Área de estudo	35
4.2.2. Banco de Dados e Projeto	36
4.2.3. Rede de drenagem	37
4.2.4. Mapa Hipsométrico	38
4.2.5. Bacia e sub-bacias hidrográficas	38
4.2.6. Hidrografia	39
4.2.7. Análise de parâmetros e índices	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Ciclo hidrológico e seus elementos	5
Figura 3.2 – Esquema gráfico de uma bacia hidrográfica	8
Figura 3.3 – Representação dos diversos critérios utilizados para determinar o comprimento da bacia de drenagem	13
Figura 3.4 – Exemplo para interpretação do K_f	15
Figura 3.5 – Curva hipsométrica	18
Figura 3.6 – Exemplos de aplicação de hierarquia fluvial nas bacias hidrográficas conforme Horton (A), Straler (B).	19
Figura 3.7 – Índice de nomenclatura das folhas cartográficas do IBGE para o Brasil com as zonas de projeção UTM.	26
Figura 4.1 – Fluxograma esquemático do estudo	34
Figura 4.2 – Localização da área de estudo	36
Figura 5.1 – Limites das sub-bacias Perenes e sub-bacias Intermitentes e a hidrografia hierarquizada.	43
Figura 5.2 – Curva hipsométrica da Bacia da Lagoa da Conceição	44
Figura 5.3 – Carta hipsométrica da bacia da Lagoa da Conceição	45
Figura 5.4 – Sub-bacias agrupadas por faixa de área de drenagem	47
Figura 5.5 – Mapa temático da Declividade (S) das sub-bacias	50
Figura 5.6 – Tempo de concentração das sub-bacias	53
Figura 5.7 – Fator de forma (K_f) das sub-bacias	54
Figura 5.8 – Coeficiente de Compacidade (K_c) das sub-bacias	55
Figura 5.9 – Índice de circularidade (I_c) das sub-bacias	56
Figura 5.10 – Tempo de concentração (t_c) das sub-bacias	57
Figura 5.11 – Padrão de drenagem das sub-bacias Perenes e sub-bacias Intermitentes	59
Figura 5.12 – Rede de drenagem da bacia hidrográfica gerada com a ferramenta SPRING	60
Figura 5.13 – Densidade de drenagem das sub-bacias Perenes.	62
Figura 5.14 – Sinuosidade do rio principal de cada sub-bacia Perene	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Categorias Adicionadas e seu modelo	37
Tabela 4.2 – Fórmulas de parâmetros morfométricos para a caracterização da bacia e sub-bacias Perenes da Lagoa da Conceição	41
Tabela 4.3 – Fórmulas de parâmetros morfométricos para a caracterização das sub-bacias Intermitentes da Lagoa da Conceição	41
Tabela 5.1 – Áreas contribuintes da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com diferentes geometrias adotadas	44
Tabela 5.2 – Características da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição	46
Tabela 5.3 – Localização e porcentagem das áreas com declividade maior que 20%	48
Tabela 5.4 – Proporção de sub-bacias por faixa de declividade	48

Tabela 5.5 – Declividade e área das sub-bacias, as maiores áreas estão em destaque.	49
Tabela 5.6 – Forma das sub-bacias conforme Kf e sua proporção por área.....	51
Tabela 5.7 – Tendência a enchente das bacias classificadas por forma estimada por Kf.....	52
Tabela 5.8 – – Tendência a enchente das bacias estimada por Kc.....	52
Tabela 5.9 – Tempo de concentração por área.....	53
Tabela 5.10 – Densidade de drenagem classificada por eficiência de drenagem	61
Tabela 5.11 – Densidade dos rios das sub-bacias Perenes.....	61
Tabela 5.12 – Média dos parâmetros de densidade de canais de 1ª e 2ª ordem e Rb das sub-bacias Perenes.	61
Tabela 5.13 – Características da laguna	64

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 – Mapa índice temático de uso e cobertura do solo da Lagoa da Conceição. (GODOY, 2007)

Anexo 2 – Mapa temático de uso e cobertura do solo da Lagoa da Conceição – Região Norte (GODOY, 2007).

Anexo 3 – Mapa temático de uso e cobertura do solo da Lagoa da Conceição – Região Central (GODOY, 2007).

Anexo 4 – Mapa temático de uso e cobertura do solo da Lagoa da Conceição – Região Sul (GODOY, 2007).

Anexo 5 – Carta imagem realizada a partir de fotografias aéreas de 2004 (GODOY, 2007).

RESUMO

O estudo da geomorfologia da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição tem grande influência na determinação do ciclo hidrológico do local e em seu sistema estuarino. Este trabalho apresenta a delimitação e identificação das características físicas, hidrográficas, hipsométricas e geração da rede de drenagem da bacia de captação da Lagoa da Conceição. O estudo foi realizado com o auxílio da ferramenta SPRING de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para obtenção dos parâmetros dividiu-se a área de captação em sub-bacias, o que possibilitou a determinação das características da área de drenagem que geram aporte ao corpo lagunar.

PALAVRAS-CHAVE: SIG, bacia hidrográfica, Lagoa da Conceição, SPRING, Geomorfologia.

ABSTRACT

The study of Geomorfology the watershed of Lagoa da Conceição has great influence in determining the hydrological cycle of the place and the estuarion system. This work seeks to identify the physical, hydrological, hipsometric and generation of drainage network of the catchment basin of Lagoa da Conceição. The study was conducted with the aid of the tool SPRING of Geographic Information System (GIS). To obtain the parameters divided up the catchment area in sub-basins, which allowed the determination of the characteristics of the area drainage that generate contribution to the estuary.

KEY WORDS: SIG, Lagoa da Conceição, watershed, SPRING, Geomorfology.

1. INTRODUÇÃO

A geomorfologia tem um caráter integrador entre as ciências ambientais, pois estuda vários aspectos da superfície e busca compreender a evolução espaço-temporal do relevo terrestre. As características geomorfológicas de uma bacia têm grande importância para seu comportamento hidrológico, tais como o funcionamento dos processos que controlam o movimento das águas e os impactos de mudança do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água. Trabalhos nesta linha têm sido realizados com frequência, motivados pela grande necessidade de informações sobre os mananciais.

A bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição situada a 27°34'S e 48°27'O, é classificada como laguna, pertence à região do município de Florianópolis no estado de Santa Catarina e abrange uma área total de 78,14 Km². Possui forma alargada no sentido norte-sul e está disposta paralelamente à linha de costa oceânica. Tem grande importância por constituir um recurso natural de usos múltiplos, destacando-se as atividades pesqueiras e turísticas. A laguna é um tipo geomorfológico de sistema estuarino, segundo Miranda (2002) o termo estuário tem várias definições, sendo que usualmente a definição utilizada por engenheiros, oceanógrafos, geógrafos e ecologistas é:

“região interior de um ambiente costeiro, onde ocorre o encontro das águas fluviais com a do mar transportada pelas correntes de maré, estendendo-se rio acima até o limite da influência da maré”(p.34)

Para representar a informação espacial e temporal de bacias hidrográficas de maneira rápida são utilizadas técnicas de sensoriamento remoto, juntamente com um sistema de informação geográfica. Para este tipo de estudo existem diversas ferramentas que possibilitam a caracterização física de bacias hidrográficas. Foi utilizado neste trabalho o software de geoprocessamento SPRING, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que tem como propósito geral realizar análises espaciais, com funções variadas e entre elas a de modelagem de terreno, consulta de dados geográficos e álgebra de mapas.

A finalidade deste trabalho é delimitar e determinar as características físicas, hidrográficas e hipsométricas da bacia de captação da Lagoa da Conceição com o auxílio da ferramenta de Sistema de Informação Geográfica SPRING 4.3.3.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com o auxílio do sistema SPRING.

2.2. Objetivos Específicos

a) Traçar o divisor topográfico da bacia da Lagoa da Conceição e dividi-la em sub-bacias que possibilitem um estudo detalhado das diferentes regiões que dão aporte ao corpo lagunar;

b) Estimar os parâmetros físicos da bacia da Lagoa da Conceição e de suas sub-bacias;

c) Realizar a análise dos parâmetros físicos da bacia da Lagoa da Conceição e suas sub-bacias;

d) Elaborar e analisar a rede de drenagem da bacia da Lagoa da Conceição e de suas sub-bacias;

e) Caracterização do corpo lagunar;

e) Elaborar mapas temáticos para espacializar os dados obtidos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Ciclo hidrológico

Ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, este é impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. O ciclo hidrológico pode ser considerado aberto quando analisado regionalmente e suas relações ultrapassam os limites do local de estudo. Vários fatores contribuem para gerar as diversas manifestações do ciclo hidrológico, entre eles: a desuniformidade com que a energia solar atinge os diversos locais, o diferente comportamento térmico dos continentes em relação aos oceanos, a quantidade de vapor de água, a variabilidade espacial de solos e as coberturas vegetais (TUCCI, 2001). A figura 3.1 representa o ciclo hidrológico e seus elementos.



Figura 3.1 – Ciclo hidrológico e seus elementos

Fonte: USGS, (2007)

3.2. Geomorfologia

Geomorfologia é a ciência que estuda diferentes aspectos da superfície da Terra, procurando compreender a evolução espaço temporal das formas de relevo,

analisando quantitativamente estas características e sua associação com fatores que o condicionam. O relevo então é a expressão espacial de uma superfície, compondo as diferentes configurações da paisagem morfológica. Suas alterações estão associadas com diversos agentes na qual a drenagem fluvial possui função relevante na geomorfologia já que constitui um dos processos de esculturação de maior atividade na forma da paisagem terrestre. Esses agentes transformadores são fatores potenciais de degradação física. A declividade do terreno exerce maior ou menor influência na infiltração e velocidade de escoamento superficial da água da chuva, refletindo nos processos erosivos. Já a rede de drenagem influenciada pela declividade e pelo substrato rochoso reflete o potencial de degradação dos recursos naturais renováveis. Se a infiltração está dificultada, maior será a esculturação dos canais. (BELTRAME, 1994; CHRISTOFOLETTI, 1980; QUEIROZ NETO, 2003; GUERRA, 2003; TUCCI, 2001)

A geomorfologia irá afetar a ecologia, e retratar diversos aspectos como erosão, transporte e acumulação de nutrientes, tempo médio de residência da água, exposição das águas à radiação solar, capacidade assimiladora do ambiente aquático, condições de balneabilidade, entre outros que podem ser verificados realizando-se outras relações entre diversos parâmetros. Os diversos processos naturais como erosão, lixiviação, formação dos solos, deslizamento, modificação do regime hidrológico e cobertura vegetal, entre outros, ocorrem mesmo sem a ação do homem, porém com atividades antrópicas modificando o ambiente, seus efeitos podem ser acelerados e intensificados e com isso gerar resultados catastróficos. Neste sentido a geomorfologia possibilita com sua visão sobre diversos aspectos da superfície terrestre a integração entre diversas ciências ambientais contribuindo para a redução de impactos e melhoria da gestão ambiental. (CHRISTOFOLETTI, 1980; GUERRA, 2003, VON SPERLING; 1999).

3.2.1. Bacia hidrográfica e sub-bacias

A bacia é o elemento fundamental de análise do ciclo hidrológico. Sua definição é a área geográfica coletora de água de chuva, que escoando pela superfície do solo, atinge a seção considerada. Compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes, definidas pelas divisórias geográficas e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem superficialmente para uma saída

comum ou um ponto terminal na zona hipsométrica mais baixa, o exutório. A bacia de drenagem tem papel relevante no desenvolvimento do relevo uma vez que os cursos de água são importantes modeladores de paisagem drenando a água, material sólido e dissolvido. Suas características e fatores naturais podem então iniciar os desequilíbrios, porém podem ser extremamente aceleradas devido a ações antrópicas, então as propriedades da bacia poderão contribuir para a erosão potencial das encostas e para os desequilíbrios ambientais nas bacias hidrográficas, ocasionando em mudanças no interior da mesma (TUCCI, 2001; PINTO, 1976; JIMÉNEZ, 2005 apud CANJINA, 2006; GUERRA, 2003). Segundo Miranda (2002) o efeito da descarga fluvial advindo da bacia de contribuição é um componente da circulação estuarina que limitado pela geomorfologia da bacia produz a distribuição de salinidade que é característica de cada estuário.

As bacias hidrográficas quando subdivididas são chamadas de sub-bacias. Lima (2007) considera o conceito de sub-bacias ainda um tanto vago, pois não há um limite espacial bem definido para a sua caracterização e critérios para decidir no momento de sua definição, o critério pode ser político ou hidrológico. O critério hidrológico classifica em grandes ou pequenas, não só com base em sua superfície total, mas nos efeitos de fatores dominantes na geração do escoamento. Defini-se sub-bacias como sendo aquelas que possuem uma área muito pequena, e que a sensibilidade a chuvas de alta intensidade e às diferenças de uso do solo não seja suprimida pelas características da rede de drenagem. Do ponto de vista de programas e políticas de manejo e uso do solo esses limites são eminentemente político e administrativo. Meliane (2003) em seu trabalho de caracterização geomorfológica da bacia dos rios Jeribucassu e Burundanga, Itacaré, ao analisar a morfometria das bacias reconheceu sub-bacias na costa litorânea adjacente, fez então a classificação desta região em sub-bacias adjacentes, elas incluíam várias microbacias com ou sem vertentes visíveis na escala 1:25.000. A Figura 3.2 apresenta o esquema gráfico de uma bacia hidrográfica.

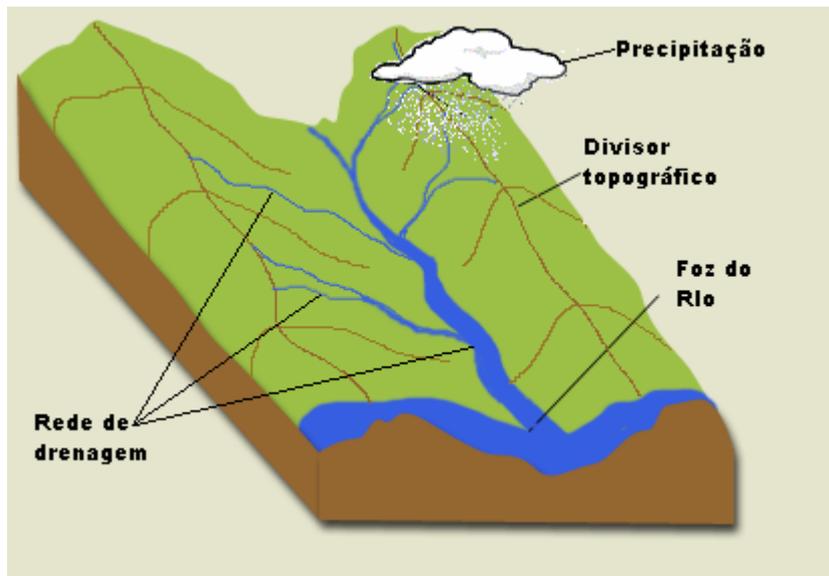


Figura 3.2 – Esquema gráfico de uma bacia hidrográfica
Fonte: adaptado de Black Warrior Riverkeeper Inc, (2007).

3.2.2. Sistema de drenagem e suas Classificação conforme o escoamento global e padrão de drenagem dos rios

Segundo Christofolletti (1980) as bacias de drenagem podem ser classificadas conforme o escoamento que nela ocorre. São elas:

a) Exorreicas: o escoamento fluvial deve ser de modo contínuo até o mar ou oceanos, essas bacias devem desembocar diretamente no nível marinho;

b) Endorreicas: o escoamento das águas se faz internamente e não possuem drenagem direta para o mar, desembocando em lagos, dissipando-se nas areias do deserto ou perdendo-se nas depressões cárnicas.

c) Arreicas: a estruturação da drenagem é difícil de ser interpretada ou quando não há nenhuma estruturação, como nas áreas desérticas onde a precipitação é negligenciável e a atividade dunária é intensa, obscurecendo as linhas e os padrões de drenagem;

d) Criptorreicas: quando a drenagem é feita de forma subterrânea como em áreas cárnicas,

Conforme Guerra (2003) as bacias possuem padrões de drenagem e estes se referem à disposição espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em função do clima, geologia, atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de

declividade e pela evolução geomorfológica da região. Conforme Christofolletti (1980) a drenagem pode ter vários padrões, selecionaram-se os tipos básicos de padrões de drenagem geométricos e sem sentido genético geológico, restringindo-se ao tipo de possíveis formações na região da Bacia da Lagoa da Conceição:

a) drenagem dendrítica ou arborescente: sua forma é semelhante a uma árvore. Os cursos dos rios distribuem-se em todas as direções sobre a superfície do terreno e ao se juntarem formam ângulos agudos de graduação variada. A existência de ângulos retos no padrão dendrítico é atribuída normalmente a fenômenos tectônicos. A drenagem dendrítica possui ainda subdivisões:

- Pinadas: se entende por tributários paralelos, unindo-se ao rio principal em ângulos agudos;
- Subparalelo: é definido quando na confluência entre os tributários e o rio principal os ângulos formados são muito pequenos, fazendo ambas as categorias como simples paralelas;
- Anastomosada: é característica de áreas de inundação, suas bifurcações e confluências dos seus rios são aleatórias.

b) drenagem paralela: a drenagem é realizada em forma quase paralela, com canais paralelos uns aos outros. Este padrão é encontrado em áreas onde há presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existem controles estruturais que criem um arranjo com espaçamento regular, quase paralelo, do escoamento das águas. É comum em áreas de falhas paralelas ou regiões com lineamentos topográficos paralelos, tais como nas topografias com declividade acentuadas.

Seus padrões subsidiários são:

- Subparalelo: os canais assemelham-se à disposição geral da drenagem, mas sem regularidade da configuração paralela;
- Colinear: a disposição fluvial dos cursos é paralela e alternadamente superficial e subterrânea, é encontrado em áreas de rios intermitentes fluindo sobre materiais porosos e o lineamento é aproximadamente retilíneo.

c) drenagens desarranjadas ou irregulares: quando a drenagem é desorganizada por meio da erosão ou bloqueio, ou resultam do levantamento ou entulhamento de áreas recentes, onde a drenagem ainda não teve tempo para se organizar. Alguns exemplos podem ser observados onde há entulhamentos de lagos e de áreas litorâneas.

3.2.3. Classificação dos rios conforme a constância

Segundo Vilella e Mattos (1975) e Lima (1996) com relação aos rios em um sistema de drenagem é comum a classificação dos cursos d'água com relação a constância de escoamento:

a) perenes: o lençol subterrâneo alimenta continuamente garantindo fluxo o ano todo, ou pelo menos em 90% do ano, é um canal bem definido;

b) intermitentes: de modo geral, só há fluxo durante a estação chuvosa (50% do período ou menos), o que os mantém é a subida do lençol freático nas estações das chuvas. Durante a estiagem secam, pois o lençol freático encontra-se abaixo do nível do leito do rio;

c) efêmero: só há fluxo durante ou imediatamente após as chuvas ou períodos chuvosos; os canais não são bem definidos e normalmente são de pequeno porte.

3.2.4. Estuários

Conforme Miranda (2002) e Von Sperling (1999) estuário é um ecossistema de transição entre o oceano e o continente, tem alta vulnerabilidade e complexidade, em condições naturais são biologicamente mais produtivos do que rios e oceanos próximos. Sofre a descarga de água doce na parte interna e entrada de água do mar, além de ter sedimentos em suspensão. Os sistemas estuarinos podem ser classificados em diversas tipologias geomorfológicas, o ambiente de estudo deste trabalho se enquadra como um lago costeiro, também denominado de laguna, podendo ou não possuir ligação direta com mar, o que descaracteriza a sua condição de lago, porém, também sofrem processos geomorfológicos comumente atribuídos a lagos. Em sua formação a laguna pode se originada por diferentes processos geológicos, sendo o transporte de sedimentos por correntes marinhas um dos principais. Este processo pode ser observado na Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim no Rio Grande do Sul e no Litoral do Rio de Janeiro como é o caso das lagoas de Araruama e Saquarema. Os sedimentos marinhos podem ocasionar o fechamento de enseadas isolando-a do mar. Estes mesmos sedimentos podem produzir o fechamento de desembocaduras de rios, formando espelhos d'água doce junto a orlas costeiras, como é caso do Lago Mundáu na cidade de Maceió no estado de Alagoas. Os rios também podem transportar sedimentos, provocar o isolamento do mar ou do rio e formar o sistema lacustre,

como ocorre na Lagoa Juparanã no Estado do Espírito Santo e as várias lagoas próximas ao município de Campos no estado do Rio de Janeiro. Outro processo de gênese de lago costeiro é através do fechamento de um estuário por recifes de corais, sua formação se dá nas proximidades da linha do Equador, onde as temperaturas elevadas promovem o ambiente propício para os recifes de corais. A concentração de cloretos destas lagoas varia conforme a distância que estas estão do oceano.

A comunicação com o mar nos ambientes lagunares pode ser natural ou artificial. Os artificiais são construídos pelo homem, normalmente possuem a forma de canais. Esta prática pode promover a atividade pesqueira e de navegação, regulando o nível d'água e a troca de substâncias entre o ambiente de água doce e o ambiente salino, porém pode ser prejudicial aos organismos aquáticos sem mecanismo de regulação da pressão osmótica. (MIRANDA, 2002; VON SPERLING, 1999)

Segundo Von Sperling (1999) as lagunas são ambientes transitórios, vários fatores contribuem para o seu desaparecimento, porém a velocidade deste é muito variável, podendo ser de anos a milhões de anos. O clima, o assoreamento, eutrofização, sedimentação e alterações hidrológicas são fatores preponderantes no processo de redução de volume. O clima pode ser afetado na medida com que a evaporação for quantitativamente maior que precipitação. Já o processo de assoreamento decorre do aporte de material mineral como a areia, silte e argila na entrada de seus tributários, podendo gradativamente alcançar toda a extensão do lago, para minimizar os efeitos deste fenômeno devesse ter um sistema de gerenciamento eficiente das regiões pertencentes à bacia de contribuição, pois o mau uso e atividades inadequadas podem acelerar o assoreamento. A eutrofização com sua abundância de nutrientes provenientes de esgotos domésticos e/ou industriais fornece condições para o surgimento de uma maior quantidade de vegetais aquáticos que além de causar desequilíbrios no balanço de oxigênio, diminui o volume dos lagos devido à precipitação. Outro fator é a sedimentação química ou bioquímica, que ocorre quando compostos químicos como o ferro na presença de oxigênio devido a reações de oxi-redução tendem a precipitar o carbonato de cálcio (CaCO_3) insolúvel em águas com baixos valores de CO_2 , além de precipitarem são agentes floculadores. Por último, alterações hidrológicas na bacia de captação, desvios no curso natural dos rios, impermeabilização das zonas de recarga e retirada de água

para outras finalidades podem diminuir a vazão ou mesmo causar a eliminação de afluentes que efetuam a recarga do ambiente.

3.3. Parâmetros de caracterização física

A bacia pode ser caracterizada conforme uma série de parâmetros, que serão explicados no decorrer do trabalho. Segundo Christofolletti (1980) a análise de bacias hidrográficas inicia-se com um caráter mais objetivo a partir de 1945 com a publicação do trabalho do engenheiro hidráulico Robert E. Horton procurando estabelecer leis de desenvolvimento dos rios e suas bacias. As características morfométricas da bacia hidrográfica podem ser definidas: Como areal quando estudam relação com a área e lineares, quando estudam as características dos rios. É importante reconhecer que nenhum desses parâmetros sozinho deve ser entendido como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia hidrográfica e sua magnitude temporal.

3.3.1. Parâmetros Físicos

Área da bacia ou área de drenagem (A)

É toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal. A área de drenagem deve estar inclusa entre seus divisores topográficos. Um grupo de bacias hidrográficas, quando ligadas pelos diversos divisores topográficos, forma uma rede onde cada unidade drena água, material sólido e dissolvido para um ponto ou saída em comum, seja ela um rio, lago, reservatório ou oceano (CHRISTOFOLETTI, 1980; GUERRA, 2003 VILELLA E MATTOS, 1975). Segundo Tucci (2001) a área da bacia é fundamental para definir a sua potencialidade hídrica e tem grande importância na sua resposta hidrológica. Segundo Borsato e Martoni (2004) se desconsiderarmos os outros fatores, quanto maior a área, menos pronunciados serão os picos de enchentes, pois maior será o tempo para que toda a bacia contribua de uma só vez.

Comprimento da bacia (L)

Segundo Christofolletti (1980) existem várias definições acarretando em vários valores do dado obtido:

a) distância medida em linha reta entre a foz e determinado ponto do perímetro, que assinala equidistância no comprimento do perímetro entre a foz e ele. O ponto mencionado representa, então, a metade da distância correspondente ao comprimento total do perímetro;

b) maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro;

c) distância medida, em linha reta, entre a foz e o mais alto ponto situado ao longo do perímetro;

d) distância medida em linha reta acompanhando paralelamente o rio principal.

Essas diferenças podem ser observadas na figura 3.3

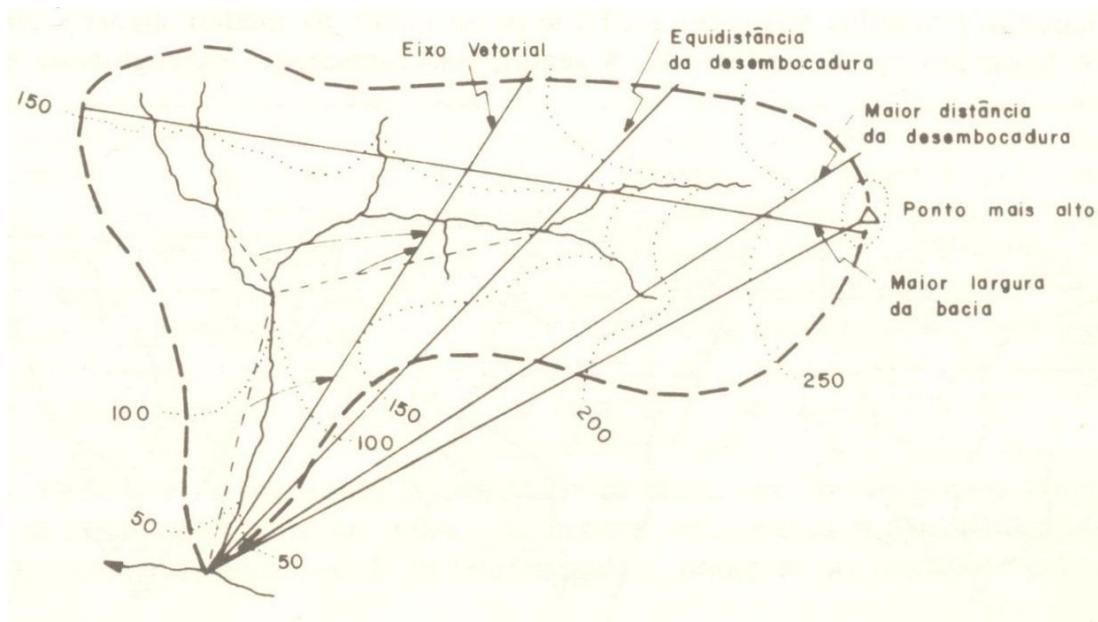


Figura 3.3 – Representação dos diversos critérios utilizados para determinar o comprimento da bacia de drenagem

Fonte: Christofolletti (1980)

Comprimento do rio principal

De acordo com Christofolletti (1980) é a distância que se estende ao longo do curso de água desde a desembocadura até determinada nascente. O problema reside em se definir qual é o rio principal, podendo-se utilizar os seguintes critérios:

a) aplicar critérios estabelecidos por Horton, pois o canal de ordem mais elevada corresponde ao rio principal;

b) em cada bifurcação, a partir da desembocadura, optar pelo ligamento de maior magnitude (critério pela magnitude);

c) em cada confluência, a partir da desembocadura, seguir o canal fluvial montante situado em posição altimétrica mais baixa até atingir a nascente do segmento de primeira ordem, localizada em posição altimétrica mais baixa, no conjunto da bacia;

d) no critério de Shreve, o curso de água mais longo, da desembocadura da bacia até uma determinada nascente, sendo medido como a soma dos comprimentos dos seus ligamentos.

Segundo Christofolletti (1980) há certa subjetividade inerente ao critério proposto por Horton, assim o uso da magnitude é critério prático em vista do funcionamento hidrológico da bacia. O terceiro critério exige determinação precisa das cotas altimétricas e oferece vantagens para a análise das características topográficas. O quarto critério, o do curso de água mais longo, também é prático e se interrelaciona com a análise dos aspectos morfométricos e topológicos das redes de drenagem. Os resultados obtidos através dos diversos critérios levam a pequenas diferenças quando são tratados em grandes bacias e com formas tradicionais, mas que podem ser significativas para as pequenas bacias.

3.3.2. Parâmetros Relacionais

Coefficiente de Forma (Kf)

Horton em 1932 propôs o fator de forma (Kf), que é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (conforme equação 3.2). Esta relação indica a tendência da bacia para enchentes. Se o fator de forma for pequeno, isto indica que a bacia é alongada e a precipitação dificilmente ocorrerá simultaneamente em toda a

bacia, o contrário ocorrerá se o fator de forma for um valor alto, isso indicará que a forma da bacia tende a um círculo e a ocorrência de chuvas intensas pode cobrir toda a sua extensão no mesmo instante, como pode ser observado na figura 3.4 (VILELLA E MATTOS, 1975; LIMA, 1996).

Para obter o comprimento da bacia (L) mede-se o curso d'água mais longo, seguindo o mesmo desde a desembocadura até a cabeceira mais distante na bacia. A largura média calcula-se dividindo a área pelo comprimento da bacia e então se determina Kf pela seguinte fórmula:

$$\bar{L} = \frac{A}{L}$$

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (3.2)$$

Onde:

A = área da bacia (Km²);

L = comprimento do curso d'água mais longo (Km).

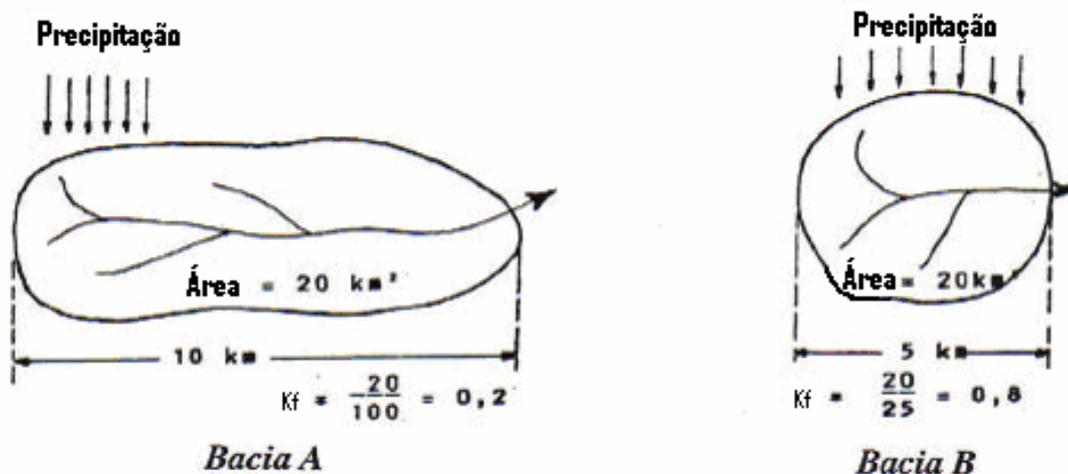


Figura 3.4 – Exemplo para interpretação do Kf

Fonte: Lima (1996)

Coefficiente de Compacidade (Kc)

Conforme Villela e Mattos (1975) o coeficiente de compacidade (Kc) ou índice de Gravelius é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à área da bacia. Segundo Villela e Mattos (1975) quanto mais próximo de 1,00 estiver o Kc, menor será o tempo de concentração e conseqüentemente maior tendência a enchentes terá esta bacia. Este índice tem grande importância quando analisado em conjunto com outros parâmetros de forma, é determinado conforme equação 3.3.

$$Kc = \frac{P}{2\pi.r} = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3.3)$$

onde:

P = perímetro da bacia (Km);

A = área da bacia (Km²)

Tempo de Concentração (tc)

O tempo de concentração (tc) é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir na seção de estudo. Corresponde ao tempo que uma partícula de água que caia no ponto mais distante de uma determinada seção considerada de uma bacia, leva para atingir esta seção (PINTO, 1976; NEA, 2002). Conforme Tucci (2001) e Kobiyama (2006) existem dezenas de fórmulas para estimar o tc, cada uma com um desempenho melhor para o caso para o qual foram elaboradas. Nas bacias rurais a rugosidade da superfície e a intensidade da chuva tendem a ser menos influentes do que nos canais para definir tc, pois o tempo que o escoamento ocorre sobre a superfície é bem menor do que no canal natural. A fórmula de Kirpich mostrada na equação 3.5 foi elaborada a partir de bacias rurais de pequeno porte, com áreas de no máximo 0,5 Km² e declividades em torno de 3 a 10%. A fórmula reflete os escoamentos da água nos canais e o escoamento em superfícies, pois apesar de ter

seus parâmetros refletindo os canais na fórmula, a equação 3.5 foi elaborada a partir de pequenas bacias. Se o comprimento do talvegue for maior que 10 Km, a fórmula parece subestimar o valor de t_c . A declividade do talvegue é dada pela equação 3.4. As bacias urbanizadas apresentam características diferenciadas das bacias rurais. Para bacias urbanizadas pode ser utilizada a equação de Carter para tempo de concentração, podendo ser observada na equação 3.6

$$S = \frac{H}{L} \quad (3.4)$$

onde:

H = desnível da bacia (Km);

L = comprimento do talvegue (Km).

$$t_c = 3,989 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad (3.5)$$

$$t_c = 5,862 \cdot L^{0,6} \cdot S^{-0,3} \quad (3.6)$$

A declividade controla grande parte da velocidade de escoamento superficial, portanto também influencia na capacidade de infiltração e tempo de chegada no exutório. A declividade é definida como a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Se for traçado um plano tangente a uma superfície num determinado ponto, a declividade em P corresponderá a inclinação deste plano em relação ao plano horizontal. Chuvas concentradas, juntamente com fortes declividades e zonas de desmatamentos podem gerar áreas com potencial de erosão e de movimento de massa, fornecendo aporte de sedimentos aos leitos fluviais, como também pode ter efeitos mais catastróficos como deslizamentos. (INPE, 2007; VILELLA E MATTOS, 1975).

Curva Hipsométrica

É a linha que representa o cálculo de área das faixas altimétricas, representando o relevo médio da bacia. É possível visualizar de forma gráfica a variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar, onde no eixo das ordenadas estão colocadas as altitudes e na abscissa a área (normalmente em porcentagem) conforme figura 3.5. A unidade geométrica de referência para geração desta curva consiste de um sólido limitado lateralmente pela projeção vertical do perímetro da bacia, e no topo e base por planos paralelos passando através do cume e da desembocadura, respectivamente. A importância deste parâmetro está na visualização das áreas de drenagem em porcentagem e o valor correspondente ao volume rochoso (volume de rochas que constituem a região) existente no local. (CHRISTOFOLETTI, 1980; VILELLA E MATTOS, 1975; FERREIRA, 2007).

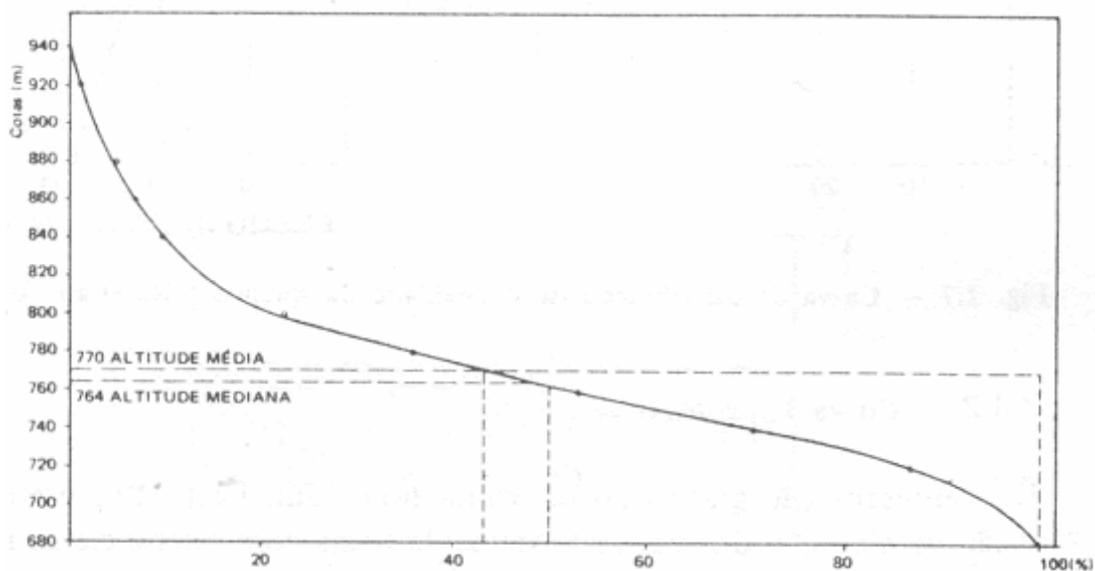


Figura 3.5 – Curva hipsométrica

Fonte: Villela e Mattos (1975)

Hierarquia Fluvial

Conforme Christofolletti (1980) a hierarquia fluvial é a classificação de determinado curso de água ou da área drenada por este curso no conjunto total da bacia hidrográfica a que pertence. Assim é possível compreender melhor a dinâmica

dentro da bacia, tornando mais objetivo os estudos morfométricos (análise linear, areal e hipsométrica) sobre bacias hidrográficas. Em 1945 o engenheiro hidráulico Robert E. Horton elaborou de modo mais preciso os critérios iniciais de ordenação dos cursos de água (figura 3.6A). Onde os canais de primeira ordem são as correntes formadoras (canais sem tributários). Quando dois canais de primeira ordem se unem formam um segmento de segunda ordem, e assim por diante, então quando dois rios de ordem n se unem, formam um rio de ordem $n+1$. Em 1952, Arthur N. Strahler propõem outro critério, devido à classificação de Horton ter inerente ao seu método, algumas decisões subjetivas. Strahler então elimina o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão (figura 3.6B). Os critérios de Strahler são mais amplamente utilizados, pois descreve e relaciona de forma objetiva as leis da composição da drenagem. Desta maneira podem-se quantificar os rios de pequeno porte que contribuem para a Laguna da Lagoa da Conceição. (CHRISTOFOLETTI, 1980; VILELLA E MATTOS, 1975).

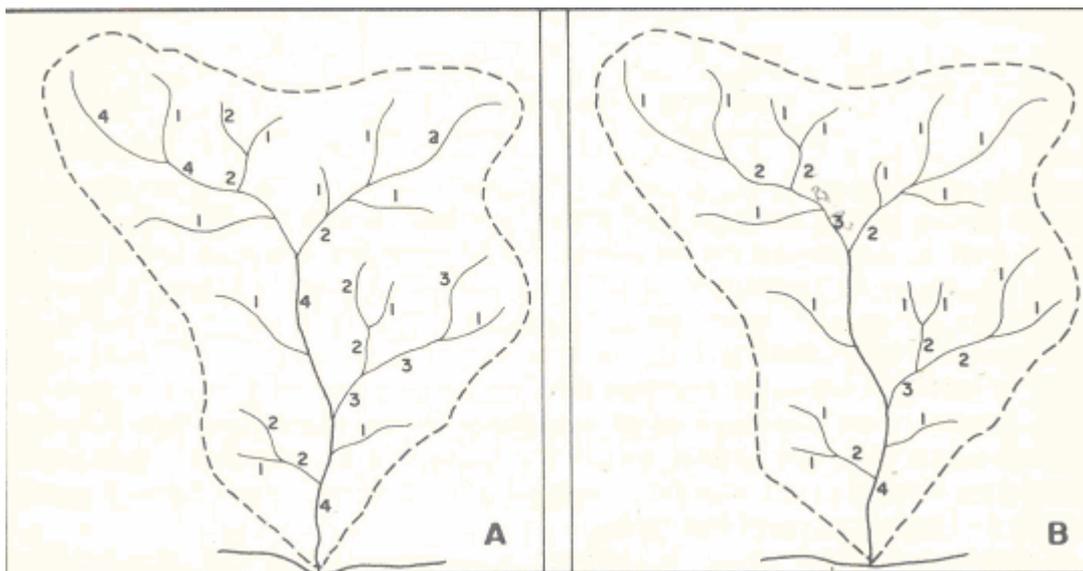


Figura 3.6 – Exemplos de aplicação de hierarquia fluvial nas bacias hidrográficas conforme Horton (A), Straler (B).

Fonte: Christofolletti (1980)

Sinuosidade do curso d'água

De acordo com Villella e Mattos (1975), Borsato e Martoni (2004) e Christofolletti (1980) o índice de sinuosidade é a relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento de um talvegue. Determina-se a sinuosidade do curso

d'agua, que é o fator controlador da velocidade do escoamento em uma bacia hidrográfica, sendo obtido pela equação 3.7. Quanto maior for o valor da sinuosidade, maior a dificuldade encontrada pelo canal em seu caminho à foz, portanto menor será a velocidade de escoamento. Quanto mais próximo de 1 for o valor de Sin menor será sinuosidade e assim favorecerá a velocidade de escoamento. Para canais com índice Sin até 1,50 são considerados do tipo meândricos (sinuoso), abaixo deste valor passam a serem considerados canais retos:

$$Sin = \frac{L}{L_t} \quad (3.7)$$

onde:

Sin = sinuosidade do curso d'água;

L = comprimento do rio principal;

L_t = comprimento do talvegue da bacia.

Densidade dos rios e dos segmentos de rios

De acordo com Christofolletti (1980) é a relação entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica, o coeficiente é definido pela equação 3.8. Serve para comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão. A densidade de segmentos de canais é a relação entre a quantidade de segmentos existentes em uma área por unidade de área. O índice é obtido utilizando primeiramente a classificação hierárquica Strahler, e somando-se o total de segmentos de cada ordem, assim é possível saber a densidade de cada ordem de rio dentro da bacia hidrográfica. A fórmula é expressa pela equação 3.9.

$$Dr = \frac{N}{A} \quad (3.8)$$

onde:

D_r = densidade de rios;

N = é o número total de rios ou cursos de água;

A = área da bacia considerada (Km^2).

$$F_s = \frac{\sum ni}{A} \quad (3.9)$$

F_s = Densidade de ordem n ;

n = é o número total de rios ou cursos de água de determinada ordem;

A = área da bacia considerada (Km^2).

Relação de bifurcação

Segundo Alcântra (2005) e Christofolletti (1980) a relação entre número de segmentos total de certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior é chamada de relação de bifurcação, ela indica o grau de bifurcações entre os segmentos da bacia fornecendo uma idéia da segmentação dos rios fluviais. Os canais pluviais não devem entrar no índice. A relação é obtida pela equação 3.10

$$R_b = \frac{N_n}{N_{n+1}} \quad (3.10)$$

onde:

N = número de segmentos de determinada ordem $u+1$;

N = número de segmentos da ordem imediatamente superior.

.

Densidade de drenagem

Christofolletti (1980) e Villela e Mattos (1975) apresentam a densidade da drenagem como um parâmetro que correlaciona o comprimento total dos canais de

escoamento com a área da bacia hidrográfica, sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes. Sendo definida pela equação 3.11:

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (3.11)$$

onde:

Dd = densidade da drenagem;

L_t = comprimento total dos canais (Km);

A = área da bacia (Km²).

Características de lagoas costeiras

A área do espelho d'água representa a superfície total, sofrendo variações em virtude das oscilações do nível d'água. Além de fornecer dados para o cálculo de outros parâmetros a área fornece a superfície do espelho d'água exposta a radiação solar, podendo ser relacionada à área disponível para a realização de fotossíntese pelos vegetais aquáticos e fenômenos como a precipitação e evaporação. Quanto maior a área maior a precipitação, maior a carga afluyente de compostos químicos em forma particulada ou dissolvida. Em espelhos d'água rasos há uma maior evaporação, volatilização de gases e precipitação de sais, o que provoca uma maior concentração da salinidade (VON SPERLING,1999).

Os parâmetros aqui tratados têm intenção de descrever algumas características morfométricas do corpo lagunar. Segundo Von Sperling (1999), o comprimento máximo é a linha que une dois pontos da margem mais afastados entre si, sem cruzar terras, mas podendo atravessar ilhas ou cabos. Já o comprimento máximo efetivo ou fetch é a linha que une dois pontos da margem mais afastados entre si, sem cruzar terras, sem interrupções. Tem grande importância no estudo hidrodinâmico do corpo d'água. Quanto maior for seu fetch maior será o efeito do vento na superfície, menor a possibilidade de sedimentação e menor o acúmulo de nutrientes no corpo d'água. A largura máxima é o maior comprimento perpendicular

à linha do comprimento máximo, podendo cruzar ilhas. A largura média pode ser obtida através da equação 3.1.

$$B = \frac{A}{L_{\max}} \quad (3.1)$$

onde:

A = área do lago (m);

L_{max} = comprimento máximo do lago (m).

Desenvolvimento do perímetro ou da margem (Dp)

Esse parâmetro relaciona o perímetro do lago (P) à circunferência de um círculo que possua a mesma área do lago (A). O índice calculado pela equação 3.12 mostra que quando este valor se aproxima de 1, mais próximo do formato de uma circunferência o lago se encontra, e valores altos indicam que as margens do corpo d'água são extremamente irregulares. Regiões com alto grau de reentrâncias nas margens tendem a uma melhor absorção das cargas poluidoras, pois nestas regiões as comunidades aquáticas são bem desenvolvidas e diversificadas. Nestas regiões ocorrem também processos de retenção mecânica ou física das partículas suspensas devido à presença de vegetação, além de processos biológicos como assimilação de matéria orgânica, metais pesados e desnitrificação. Se o ambiente possui vegetação em suas margens, o processo de erosão e de variação térmica (através do sombreamento) também diminui e isso possibilita maior resistência a eutrofização. Destaca-se que o resultado também pode ser inverso, pois nestas reentrâncias ou baías formadas o tempo de residência das águas é maior, com isso tem uma maior radiação solar, acúmulo de nutrientes, sedimentação e ambientes rasos, gerando condições adequadas para a decomposição de matéria orgânica e proliferação de algas. No entanto as condições positivas de assimilação de nutrientes normalmente prevalecem o que permite dizer que lagos com maior Dp possuem maior resistência a impactos provenientes de esgotos e outros pulsos poluidores

$$D_p = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3.12)$$

onde:

P = perímetro do lago (Km);

A = área do lago (Km²).

Fator de envolvimento (F)

Segundo Von Spenling (1999), é a razão entre a área da bacia hidrográfica do lago e a área do próprio lago, conforme equação 3.13. Se a área bacia hidrográfica for muito maior que a do lago então F será um valor grande. Valores inferiores a 3 são característicos de lagos vulcânicos ou rios encaixados em vales íngremes, já represas tem altos valores podendo chegar na casa dos milhares. Quanto maior o valor de F maior será a possibilidade de carregamento de material sólido, de nutrientes e contaminantes que possibilitaram o assoreamento e eutrofização. Também pode se considerar que maior a possibilidade de outros usos da água e da área em sua bacia hidrográfica como a agricultura e urbanização. Os valores mais comuns para lagos naturais são na ordem das dezenas. Já para represas este parâmetro pode chegar aos milhares. As lagoas costeiras no Brasil apresentaram menores valores de F do que os lagos de água doce

$$F = \frac{A_b}{A_e} \quad (3.13)$$

onde:

A_b = área da bacia (Km²);

A_e = área do espelho de água (Km).

3.3.3. Noções cartográficas

Para uma melhor compreensão do estudo e da ferramenta utilizada faz-se necessário a compreensão de conceitos básicos de cartografia. Faz então uma breve introdução nesta seção sobre estes conceitos.

Escala é a relação entre as dimensões dos elementos representados em um mapa e as dimensões correspondentes sobre a superfície da Terra. Por exemplo, um mapa 1:10.000 indica que uma unidade no mapa representa 10.000 unidades da superfície terrestre. Sua importância é grande por fornecer precisão topográfica e características métricas aos dados e fenômenos geográficos. Todos os mapas são representações aproximadas da superfície terrestre, e para localizar suas feições cada ponto nesta superfície pode ser localizado através de sistemas de coordenadas. Existem diversos sistemas de projeção cartográfica e a elaboração de um mapa consiste primeiramente na escolha de um sistema de projeção que melhor o represente, sendo que deve ser escolhido o mais adequado pela superfície adotada e pelo grau de deformação. O mais antigo sistema de projeção é o sistema de coordenadas geográficas, cada ponto da superfície terrestre é localizado na interseção de um meridiano com um paralelo medido em graus, minutos e segundos. Os meridianos são chamados de longitude e variam de 0° a 180° graus sendo o meridiano de Greenwich o inicial, e os paralelos chamados de latitude e variam de 0° a 90° (Norte) e 0° a -90° (Sul) limitados pela linha do equador. Não é o mais conveniente para representar áreas e distâncias, pois considera desvios angulares a partir do centro da Terra. O Sistema de coordenadas UTM é o mais utilizado em mapas digitais, pois nele os ângulos não se alteram, preservando a forma das representações, além disto, por ser um sistema métrico há uma maior facilidade de interpretação das medidas, suas coordenadas são expressas em metros. Sua projeção é a de uma superfície de um cilindro transversal, divide a Terra em 60 fusos ou zonas de 6° de longitude (conforme figura 3.7), porém deve-se atentar para escolher a zona correta, pois o elipsóide de referência varia em função da região da superfície terrestre, (INPE, 2007; ROSA E BRITO, 1996; PAREDES, 1994).

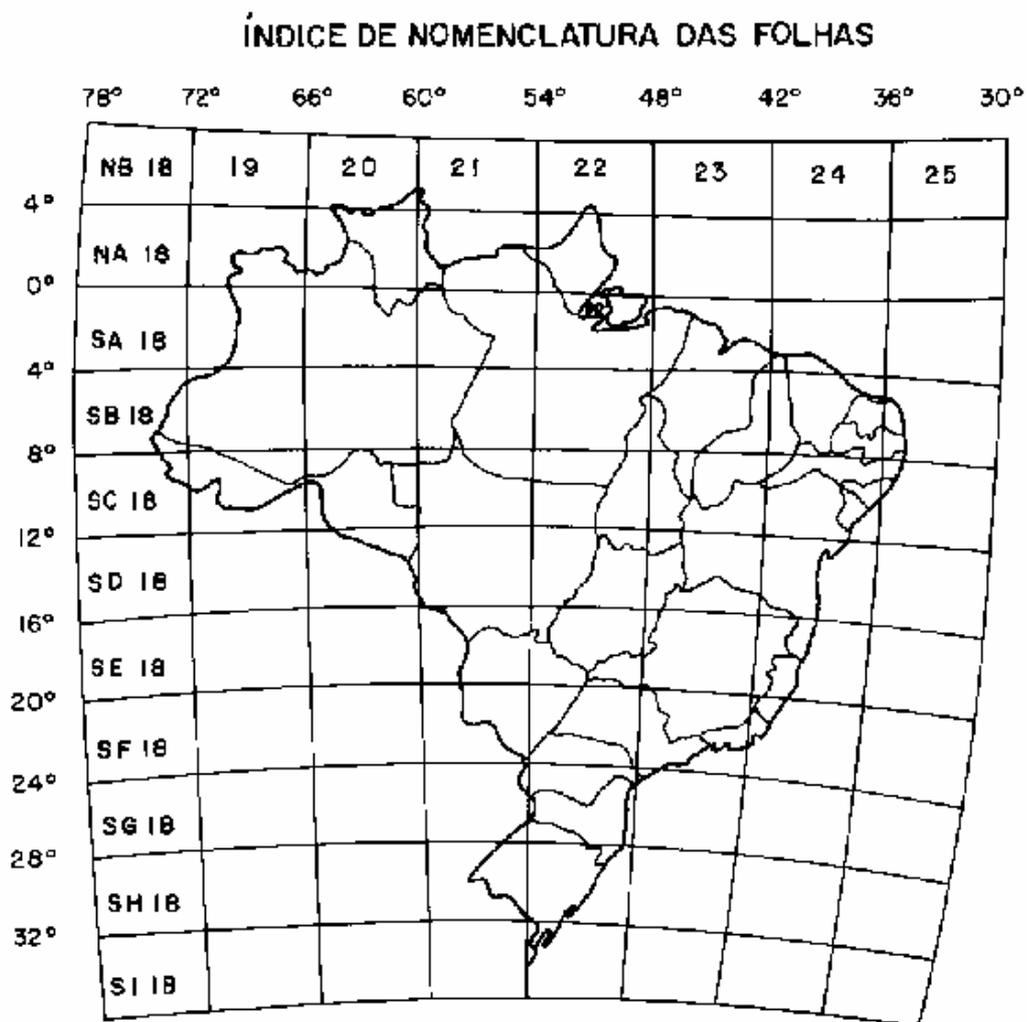


Figura 3.7 – Índice de nomenclatura das folhas cartográficas do IBGE para o Brasil com as zonas de projeção UTM.

Fonte: INPE (2007)

3.4. Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Segundo Druck (2004) é o termo aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e armazenam a geometria e os atributos dos dados que estão localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica, ou seja, georeferenciados. Segundo Rosa e Brito (1996) SIG pode ser definido como um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre. O sistema é um arranjo de entidades (elementos) relacionadas ou ligadas,

que sua forma compreende uma unidade ou um todo organizado. Estas entidades são as unidades básicas para coleta dos dados. Os componentes básicos de um SIG são: hardware e sistema operacional, programas computacionais (software de aplicações SIG) e aspectos institucionais do SIG, ou seja, um contexto organizado com pessoas qualificadas. Já Paredes (1994) divide o SIG em: usuário, sistema, banco de dados e mundo real (representado de forma numérica ou graficamente, armazenado de forma analógica ou digital, ou de forma agregadas como mapas ou desagregadas como os Planos de Informações). Paredes (1994) discrimina nos componentes do SIG o usuário, pois este se torna parte do SIG cada vez que as análises se tornam mais complexas, como é o caso de análises espaciais e de modelagem, para isso o operador deve ter experiência em seleção das ferramentas e uso do aplicativo SIG, além do contexto que esta sendo trabalhado, para que não torne apenas um acionador de botões resultando em produtos que não condizem com a realidade.

Conforme Rosa e Brito (1996), Paredes (1994) e INPE (2007) com um SIG é possível abordar os mais diversos temas como, gerenciamento de infra-estrutura, exploração de óleo e gás, segurança e saúde pública, gerenciamento de informação em tempo real, gerenciamento de recursos minerais, transporte e apoio logístico, análise e monitoramento ambiental, entre outros. Pode ainda retratar e apoiar decisões gerenciais, pois conforme são utilizadas as entidades as suas relações geraram resposta como reflexo das variáveis e informações abrangidas. Portanto o emprego do SIG em hidrologia se torna muito interessante visto que a ferramenta se torna semelhante a uma calculadora de análises estatística, podendo ser estudadas as características físicas de uma bacia hidrográfica, exemplo disto é o trabalho de Borsato e Martoni (2004), onde foram estudadas as características físicas de bacias hidrográficas urbanas com rios que causam grande impacto à população e também sofrem ação antrópica. Os resultados obtidos permitiram uma visão geral das características de relevo e da rede de drenagem destas bacias.

3.4.1. Geocodificação

Para Paredes (1994) é a conversão de informações de localização geográfica para uma codificação digital determinando o tipo, a escala e a precisão dos produtos gerados. A codificação servirá para especificar cada entidade dos mapas e reunir as informações de uma determinada área de modo a montá-los como um todo, em forma

de mapas ou outro contexto cartográfico. Conforme Rosa e Brito (1996), Paredes (1994) e Duarte (1999) o mapa registra ou armazena informações topográficas, logo a primeira etapa em um SIG é criar um mapa-base digital. Estas bases digitais podem ser representações do tipo vetorial ou matricial (Raster). Os dados matriciais são formados por um conjunto de células chamadas pixel ou quadrículas, podendo ser representadas em grades numéricas ou matrizes. É organizada em linhas e colunas espaçadas regularmente ou não formando as quadrículas, isto implica em perda de informação do espaço estudado, onde vários elementos daquele espaço são generalizados por uma célula. Uma forma de representação matricial que foi utilizada no presente trabalho é o modelo numérico de terreno (MNT). Segundo INPE (2007) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real, que em geral é contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. De acordo com TUCCI (2001) MNT seria um arquivo digital representativo da variação real contínua do relevo de um terreno, onde o MNT mais simples constitui-se de uma grade digital de células quadradas onde em cada nó é definida uma altitude.

Conforme Paredes (1994) e Rosa e Brito (1996) os dados vetoriais são registros de informações espaciais com representações geométricas, baseadas em elementos pontos, localizadas em um sistema de coordenadas plano. Diferentemente do modelo matricial os objetos podem ter uma localização arbitrária, além disso, assume-se que as coordenadas dos pontos são matematicamente exatas e o espaço contínuo, dando maior precisão. As entidades são elementos ou objetos tomados como unidades básicas para a coleta de dados, os dados geográficos se relacionam com os atributos, estes por sua vez abastecem com significado e características as entidades, como as classes de um rio ou a altura de uma curva de nível (ROSA e BRITO, 1996; PAREDES, 1994; DUARTE, 1999; INPE, 2007).

Segundo os mesmos autores, as informações contidas em um mapa são representadas como componentes geométricos, podendo ser do tipo ponto, linha, área, sendo definidos como:

a) Ponto: é utilizado para representar um objeto do mapa que tem dimensões muito pequenas para a escala trabalhada ou pode ser apenas um ponto sem área, como nas elevações de montanhas e marca de posição. O nó é um ponto especial e

pode representar uma união topológica, um ponto final ou uma localização geométrica específica.

b) Linha: são formadas por um conjunto de pontos interligados, sendo que estes pontos são um conjunto de coordenadas ordenadas. Representam objetos estreitos sem área na escala adotada, como rios e estradas ou entidades sem espessura, como as de nível, porém se está adquire um determinado valor (coordenada z) como é o caso da curva de nível passa a ser chamada de isolinha.

c) Áreas: representam áreas homogêneas, como uma laguna, quadras, um município ou uma área com determinada cobertura vegetal, são objetos bidimensionais e geometricamente representados por polígonos. O pixel, usado nas representações do tipo matricial, é um conjunto bidimensional com determinada tamanho que representa a unidade mínima de uma imagem.

3.4.2. SPRING

É um projeto do INPE/DPI de desenvolvimento de um software gratuito de geoprocessamento de propósito geral, com funções que vão desde processamento de imagens, modelagem de terreno, álgebra de mapas até consulta a banco de dados geográficos. Sua aplicabilidade pode ser na análise de eventos, geoestatística linear, análise de áreas, entre outros. Seus objetivos como programa computacional são construir um sistema de informações geográficas para aplicações em agricultura, gestão ambiental, geografia, geologia, planejamento urbano e regional. Tornar-se amplamente acessível para a comunidade brasileira por ser uma ferramenta SIG de rápida aprendizagem; fornecer um ambiente unificado de geoprocessamento e sensoriamento remoto para aplicações urbanas e ambientais (DRUCK, 2004; INPE, 2007).

3.4.3. Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição

Geografia geral

Segundo Muehe e Caruso (1999) a Lagoa da Conceição localiza-se na porção centro-leste da Ilha de Florianópolis, à latitude 27°34' S e longitude 48°27' W. Constitui uma laguna com área total aproximada de 19,2 km², extensão de 13,5 km no sentido norte-sul, e largura variável entre 0,15 e 2,5 km e volume d'água aproximado de 49.106m³. Conforme Menezes (1998) apud Feitosa (2000), e Caruso

Jr (1989) a laguna é envolvida a oeste por uma linha de morros de relevo com altitudes de 400 a 500m na forma de cristas contínuas, alongadas na direção norte-sul. Formam encostas altas e íngremes cobertas de vegetação primária e cujos solos, quando desnudos, são extremamente suscetíveis à erosão. Na base, encontram-se praias pouco desenvolvidas formadas por material imaturo, mal selecionado, transportado por uma série de pequenos córregos que descem das encostas. Ao leste, a laguna é delimitada em sua maior parte por feixes de restinga que a separa do mar e também por costões rochosos (morro da Praia Mole), com altitude aproximada de 200m, também alongado em direção norte-sul. Esse maciço sofreu grande ação antrópica e por isso tem menor cobertura vegetal em relação à porção oeste da bacia hidrográfica. Ao sul, estende-se a maior área de dunas de Santa Catarina.

Ocupação do solo

No estudo realizado por Godoy (2007a) a cobertura do solo da bacia em 2004 apresentou a seguinte distribuição espacial: 55,4% de cobertura com vegetação arbórea; 17,9% de área urbana; 11,9% de área com vegetação suprimida; 13,7% de dunas e praias e 1,1% de área não classificada. Posteriormente Odresky (2007) verificou as alterações na cobertura do solo entre os anos de 1998 e 2004, onde, a área urbana teve um incremento de aproximadamente 14,0%, enquanto as áreas vegetadas decresceram 2,4%, as regiões de dunas diminuíram 4,5%, e a área definida como de água reduziram em 0,5%.

Evolução geomorfológica

Segundo Caruso Jr. (1987), a Laguna tem origem relacionada às variações relativas do nível do mar durante o Quaternário. O desenvolvimento de ilhas-barreira associadas às ilhas graníticas costeiras, isolaram do oceano este corpo de água. O autor ainda sugere duas hipóteses para a atual gênese da Lagoa da Conceição, na primeira suposição a laguna teve início há aproximadamente 120.000 anos, no pleistoceno, a partir de um máximo transgressivo, com a sedimentação de uma barreira que hoje é denominada de cordão interno. A outra teoria é que o cordão interno teria sido formado por um evento transgressivo holocênico, há aproximadamente 5.100 anos A.P. (antes do presente).

O segundo estágio deu-se após o máximo transgressivo, considerando-se ambas as hipóteses, como uma fase regressiva ocasionando a formação de terraços

marinhos na parte leste da área, ligada às ilhas graníticas. Este material sedimentar, ainda nesta fase, sofreu uma remobilização eólica, determinando a formação de dunas. A partir deste estágio a formação do sistema lagunar começou a se caracterizar, decorrente do isolamento de um corpo d'água com a drenagem tomando um sentido leste, evidenciado por paleocanais.

Na terceira fase, transgressiva holocênica, datada de aproximadamente 3.600 anos, houve uma remobilização dos antigos cordões, formando um complexo de ilhas-barreira denominadas de cordão externo. Nesta fase ocorreu um aumento no isolamento do corpo d'água, formando áreas alongadas entre as ilhas-barreira e o cordão interno.

A partir de 2.500 anos, quarto estágio, passa a ocorrer movimentos no nível do mar em pequena escala, denotando a configuração da atual planície costeira adjacente à laguna, conhecida popularmente como Lagoa da Conceição. Com relação aos depósitos arenosos que margeiam todo o corpo lagunar a leste, são constituídos em boa parte de sua extensão por cordões duplos com depressão intra-cordões associados, apresentando inúmeras outras feições, características de desenvolvimento de ilhas-barreira. Algumas elevações do cristalino, as paleoilhas, serviram de "âncora" na formação dos cordões, durante a evolução geomorfológica da área.

O sistema Estuarino

Segundo Porto Filho (1993), em seu estudo da morfometria do sistema estuarino, pode-se dividir o corpo lagunar em 2 compartimentos principais. Um compoendo a maior parte deste sistema, indo da foz do Rio João Gualberto, ao Norte, até a região estrangulada ao Sul, limitada pela ponte da lagoa na avenida das Rendeiras, junto a área urbanizada. O segundo compartimento inicia da ponte da lagoa, em direção ao sul abrangendo o restante da laguna. Estes compartimentos compõem-se de 5 porções do corpo lagunar, com características próprias: o Extremo Norte; a porção Norte; a porção Centro-Norte; a porção Centro-Sul e a porção Sul.

A laguna é um ambiente dinâmico por possuir circulação constante, devido principalmente aos ventos, com certas restrições parciais locais do sistema, devido à profundidade e ao relevo de fundo.

Segundo Souza Sierra et al (1999), na Laguna podem ser identificados três subsistemas:

a) Subsistema Sul: Constituído por um corpo semi-fechado com profundidade de até 5,5m, limitado na borda a leste por campos de dunas, ao sul por Maciços Cristalinos que continuam por parte da margem oeste, a qual também apresenta áreas ocupadas por campos. Este subsistema recebe aporte de água da bacia hidrográfica através de pequenos córregos e comunica-se com o Subsistema Central por um estreito canal de 3m profundidade.

b) Subsistema Central: Ocupa a maior extensão da Lagoa e possui um canal intra-lagunar, na qual são registradas as máximas profundidades e que se estende adjacente e paralelo a sua margem oeste, que é constituída por maciços cristalinos vegetados que drenam uma série de pequenos córregos. À sudeste também encontramos Maciços Cristalinos e a noroeste campos de dunas fixas, florestadas com pinheiros. Este corpo d'água se comunica com o Subsistema Norte através de um canal intra-lagunar, que corre paralelo a margem oeste da Lagoa.

O subsistema Central se comunica com o mar por um canal natural retificado por meio de molhes de rochas, de 2 Km de comprimento, 0,15km de largura e área transversal de $\approx 40 \text{ m}^2$.

c) Subsistema Norte: Constitui a parte mais rasa da Lagoa e está limitado a oeste e noroeste por maciços cristalinos cobertos de mata nativa. e a leste por dunas fixas e florestadas com pinheiros. Recebe água do maior tributário da Lagoa, o Rio Jordão Gualberto.

Geomorfologia e sedimentologia

Em estudo realizado por Porto filho (1991), a laguna apresentou uma distribuição granulométrica dos sedimentos seguindo o padrão clássico de distribuição para lagoas costeiras. Com suas margens prevalecendo a areia, e nas áreas mais fundas e protegidas o predomínio de silte e argila.

As maiores concentrações de matéria orgânica se encontram associadas à fração pelítica dos sedimentos. Os rios, córregos, marismas e as descargas dos efluentes urbanos, são importantes fontes geradoras de matéria alóctona detrital, sendo que as áreas mais ricas em conteúdo orgânico, localizam-se próximas as zonas

urbanizadas. Os valores de carbono orgânico e matéria orgânica encontrados nos sedimentos de certas áreas da laguna indicam que as mesmas podem ser zonas potenciais de alimentação e abrigo para vários organismos aquáticos, principalmente bentônicos.

No estudo determinou-se o valor nutritivo dos sedimentos de fundo e as áreas com melhor potencial alimentar para a biota da lagoa, obtendo indícios de que o processo de eutrofização natural do sistema encontra-se acelerado, devido ao despejo de efluentes orgânicos e a má ocupação de seus entornos.

Segundo Fonseca (2005), em estudo realizado sobre as características físico-química das águas superficiais da laguna, a drenagem urbana e pluvial influenciou nas características da água do corpo lagunar, principalmente em relação aos nutrientes dissolvidos silicato e aos nitrogenados. O processo físico de diluição pela água do mar foi significativo para as diferenças das concentrações de silicato e de nitrato entre as regiões com maior e menor influência da drenagem urbana. Já o fósforo foi retirado da forma dissolvida através da dinâmica biogeoquímica, não apresentando diferenças significativas entre as estações de amostrais. O material particulado em suspensão e os pigmentos fitoplanctônicos, não apresentaram alterações provocadas pela drenagem urbana na laguna.

Nas regiões de maior influência urbana, as drenagens pluvial e fluvial influenciaram de forma significativa, apresentando água menos salinas quando comparada a outra região estudada e sem influência urbana direta. Indicando então que o aporte de água doce das regiões urbanizadas tem grande importância e é pequeno o efeito da diluição com a água marinha atuante no sistema. Por outro lado, a proximidade com o canal de acesso ao mar aberto da região, com menor influência da drenagem urbana, favoreceu a renovação da água e a maior salinidade encontrada.

O efeito da drenagem pôde ser considerado pontual na água de superfície da laguna, sendo que o processo físico de diluição pela água do mar foi significativo para as diferenças das concentrações de silicato e de nitrato entre as áreas com maior e menor influência da drenagem urbana. (FONSECA , 2005)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Serão aqui apresentados os materiais, a descrição metodológica utilizada e a forma com que foi estruturado o trabalho. A figura 5.1 apresenta o fluxograma esquemático do estudo realizado.

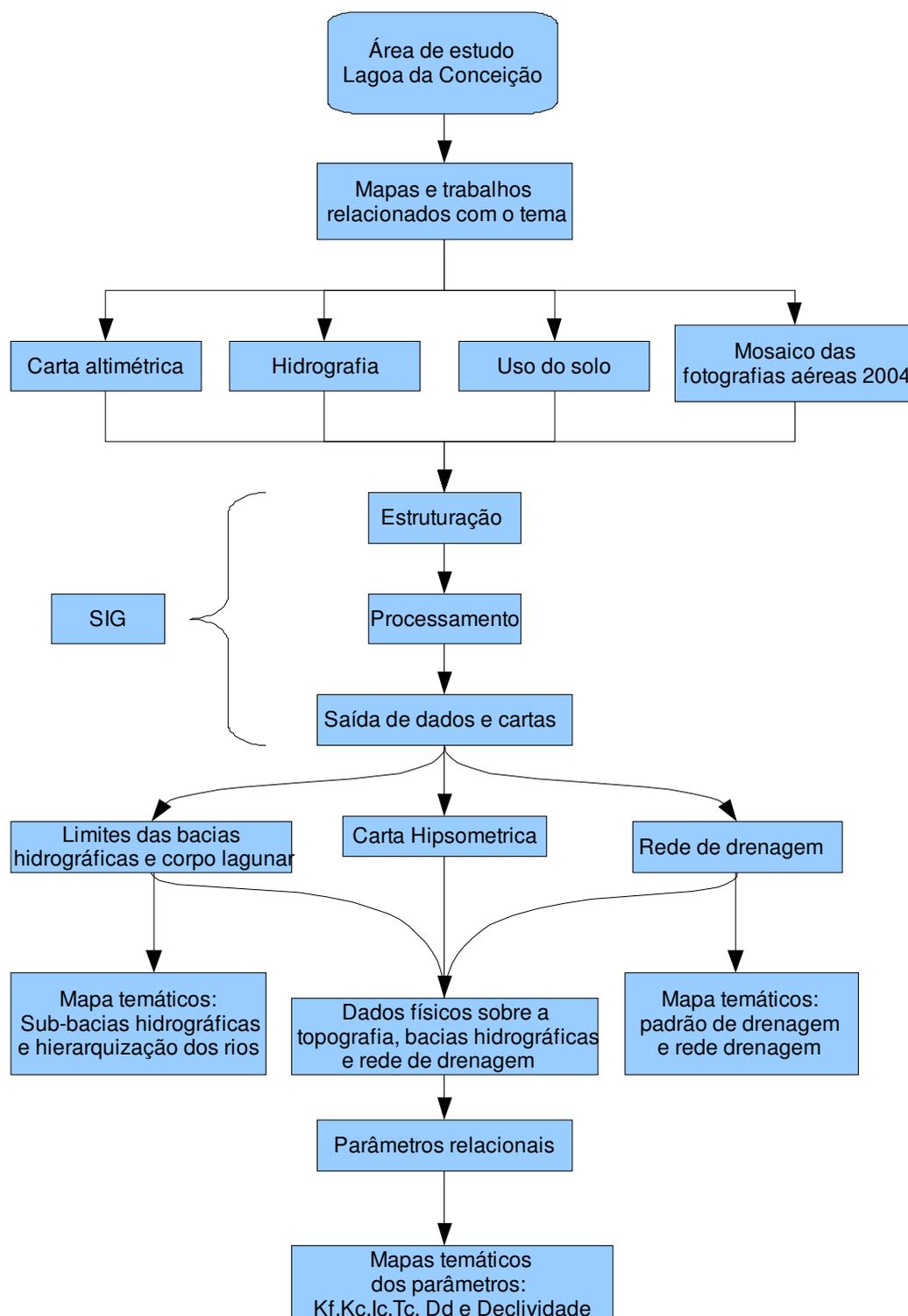


Figura 4.1 – Fluxograma esquemático do estudo

4.1. Materiais

4.1.1. Equipamentos envolvidos no trabalho

Notebook Aspire3624NWXMi, com processador intel Celeron M 380, 1,6Ghz, Hd 60Gb.

Monitor 19" Samsung

4.1.2. Sistema envolvido no trabalho

a) SPRING 4.3.3

4.1.3. Material Cartográfico

a) Base digital planialtimétrica, com curvas de nível eqüidistantes em 10 metros; escala 1:10.000, (IPUF, 1979).

b) Base digital da hidrografia de Florianópolis, escala 1:10.000, (IPUF, 1979);

c) Mosaico de aerofotografias referentes ao ano de 2004, em escala original de 1:8000, Godoy (2007a).

d) Mapa de uso e ocupação de solo referente ao ano de 2004, Godoy (2007a)

e) Batimetria 1:2000 , IPUF (2001).

4.2. Metodologia de trabalho

4.2.1. Área de estudo

A área de estudo da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição está localizada no município de Florianópolis, estado de Santa Catarina, Brasil (Figura 4.2). Encontrada entre as coordenadas UTM X1=746750 L, Y1 =6939000 S, X2= 757550 L e Y2=6960702 S, Zona 22 Sul, compreendendo apenas a área de drenagem que converge o escoamento fluvial em direção ao estuário e a área de escoamento disperso sem um divisor topográfico que as limitassem de escoar para a corpo lagunar.

Possui uma área total de 78,14 Km² com formato alongado no sentido norte-sul. É limitada a oeste por linhas de morro com altitudes de 400 a 496 metros na forma de cristas contínuas e a leste por feixes de restinga e costões rochosos separando-a do mar.

A Lagoa da Conceição na verdade é um sistema estuarino que possui um grande espelho d'água, em relação a sua área de captação, que é ligado ao mar por um canal natural retificado por meio de molhes de rochas, de 2 Km de comprimento.

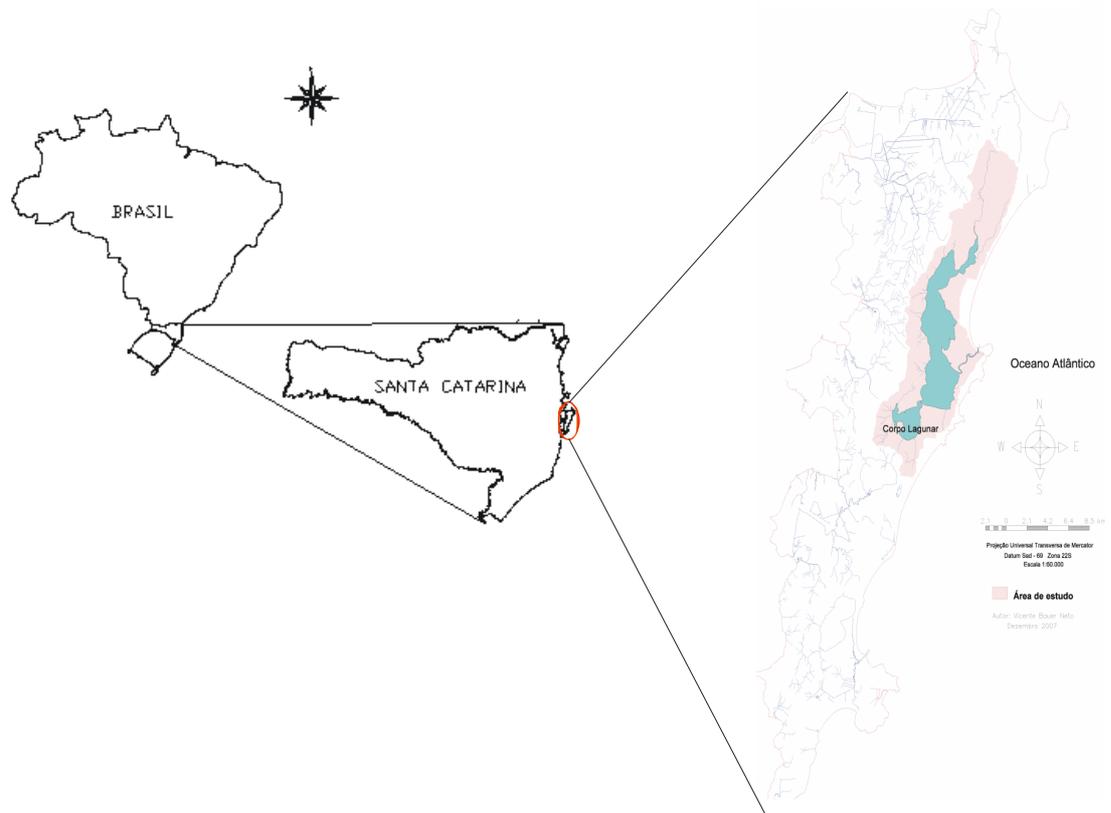


Figura 4.2 – Localização da área de estudo

4.2.2. Banco de Dados e Projeto

O desenvolvimento do trabalho iniciou-se com a utilização de um banco de dados geográficos (BDG) da Lagoa da Conceição, elaborado pelo laboratório de Hidráulica marítima (LaHiMar) através de diversos trabalhos: Lino (2005), Koefender (2005), Godoy (2007a) e Odreski (2007) baseados no Software SPRING 4.3.3. Foi então elaborado um novo projeto chamado “lagoa geomorfologia”, dentro deste BDG com as seguintes características cartográficas:

- a) Projeção cartográfica UTM (Universal Transversal de Mercator), que incorpora os dois sistemas de coordenadas geográficas e planas.
- b) Datum SAD 69 (South América Datum 1969)
- c) Zona 22 Sul longitude Oeste 51° 0” 0.00”

Com o projeto definido, foram adicionadas ao BDG as categorias de representação das bases digitais, mostradas na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Categorias Adicionadas e seu modelo

Categoria	Modelo
Rede de drenagem	MNT e Temática
Hipsometria	MNT e Temática
Bacia hidrográfica	Temática
Laguna	Temática

No sistema SPRING os Planos de informação (PI) são limitados pelo seu retângulo envolvente que são os limites geográficos do PI. Para gerar os PI desejados foi necessário ajustar o retângulo envolvente para a uma área que envolvesse apenas a área da bacia hidrográfica da lagoa da conceição. Este passo é importante, pois fará a diferença no processamento dos cálculos efetuados com o programa SPRING como é o exemplo da geração das grades MNT. Utilizar uma área envolvente muito grande pode estender o tempo de processamento de poucos minutos para dias. Foram então importadas as bases digitais para o novo projeto através da ferramenta mosaico, para os PI correspondentes. Com isso as informações não pertencentes ao retângulo envolvente foram eliminadas.

4.2.3. Rede de drenagem

A rede de drenagem é uma representação cartográfica que mostra as prováveis vertentes fluviais da área. É realizada com base nos algoritmos de processos hidrológicos do sistema SPRING. A rede de drenagem é o resultado da “grade fluxos acumulados”, sendo que só é representado o pixel que tiver valor maior ou igual ao valor de limiar fornecido.

A primeira etapa consiste em gerar uma grade retangular com base na altimetria. A resolução da grade foi de 20x20 metros, foram escolhidas resoluções diferentes ao trabalhar na geração da rede de drenagem e na hipsometria, motivado pelo maior tempo de processamento da grade de processos hidrológicos. Depois de gerada a grade retangular, utilizou-se a ferramenta de processo hidrológico para gerar a grade de fluxo e grade de fluxo acumulado. A partir da opção rede de drenagem, com o valor limiar e com a grade de fluxo acumulado foi gerada a grade de rede de drenagem.

4.2.4. Mapa Hipsométrico

Para geração do mapa hipsométrico foi utilizado a altimetria que foi interpolada pelo método vizinho mais próximo, gerando uma grade retangular, com resolução 10x10 metros. Utilizando-se a ferramenta “fatiamento”, criou-se um PI temático, com intervalos de 10 em 10 metros e 50 em 50 metros. O fatiamento em intervalos de 10 em 10 metros foi utilizado como base para curva hipsométrica. Com a ferramenta “medida de classe” exportaram-se os relatórios com as faixas altimétricas definidas anteriormente. Com o PI ainda foi gerado uma imagem hipsométrica de 50 x 50 metros para melhor visualização, nele foi representado as medidas de elevação da superfície em relação ao nível do mar.

4.2.5. Bacia e sub-bacias hidrográficas

Para definir a bacia de captação da Lagoa da Conceição e suas sub-bacias foram utilizados como referência a base digital planialtimétrica, rede de drenagem gerada no SPRING, rede de drenagem gerada por Godoy (2007b), o mapa de uso do solo e mosaico de aerofotos do ano 2004, respectivamente nesta seqüência de importância. A rede de drenagem elaborada no software ArcGis foi utilizada por facilitar a visualização, já que a mesma é em formato vetorial, podendo sobrepor com o mosaico de aerofotos de 2004. As regiões onde não havia canais fluviais perenes foram delimitadas utilizando preferencialmente a altimetria e rede de drenagem, agrupando conforme o mesmo padrão de escoamento, pois tratavam-se de regiões com grande potencial gerador de canais intermitentes ou efêmeros dependendo da variação da intensidade da chuva. Para este trabalho foram nomeadas as sub-bacias em Intermitentes e Perenes. As sub-bacias intermitentes não possuem canais perceptíveis na escala 1:10.000 e as sub-bacias Perenes são aquelas onde foi possível

visualizar as vertentes de escoamento nesta escala. As sub-bacias perenes foram numeradas de 1 a 24 e as sub-bacias intermitentes numeradas de 25 a 61. O comprimento da bacia e das sub-bacias foi medido pelo critério da magnitude que defini como comprimento a maior distância medida, em linha reta, entre a foz e determinado ponto situado ao longo do perímetro. Para as sub-bacias adjacentes, por terem exutória em forma de seção, o comprimento foi medido a partir do centro geométrico da linha exutória. Esta definição foi escolhida por representar melhor o escoamento para a maioria das sub-bacias que tinham um formato achatado com seções exutórias alargadas. As medidas de área e comprimentos foram obtidas através da ferramenta “medida de classes” e “operações métricas” gerando seus respectivos relatórios.

4.2.6. Hidrografia

Para definir os padrões de drenagem foram utilizados os conceitos citados no item 3.2.2. Os rios foram classificados conforme o método de Strahler, sendo que a classificação através do software foi feita individualmente. Foi criado um PI no sistema SPRING para classificar o tipo de drenagem das sub-bacias. Para o rio principal foi utilizado o critério citado na seção 3.3.1 “Comprimento do rio principal” item b. Nas sub-bacias intermitentes não foram feitas estas medições por não possuírem canais visíveis na escala trabalhada. A Bacia da Lagoa da Conceição é um caso particular, seu canal principal é um ambiente lagunar, com suas características de ambiente de estuário com correntes de circulação diversas, influência do vento, regime lântico, entre outras variáveis que a diferenciam dos regimes fluviais. Para efeito de caracterização da bacia hidrográfica e da rede de drenagem, o corpo lagunar foi considerada como um rio caudaloso para gerar os parâmetros físicos. Deste modo adotou-se para o traçado do rio principal, seguir a maior cota batimétrica, podendo representar melhor a topografia da região do que o centro geométrico da lagoa, visto que os trechos de maior profundidade da lagoa estão perto de sua margem oeste. Utilizou-se então a batimetria em isolinhas para geração de uma grade retangular pelo método vizinho mais próximo, e desta, uma imagem, que juntamente com as isolinhas serviram para digitalizar o trajeto mais profundo tendo à montante a sub-bacia Perene 01 e à jusante a desembocadura do canal da barra da lagoa terminando no mar.

A medição do espelho d'água foi realizada através da digitalização sobre o limite da lagoa. A laguna foi considerada como um corpo de água único. Além dos parâmetros físicos mencionados na seção 3.3.2 “Características de lagoas costeiras”, também foi medida a distância entre os dois pontos mais afastados. As medidas foram obtidas através da ferramenta “operações métricas”.

4.2.7. Análise de parâmetros e índices

Após a coleta das informações realizada com auxílio do sistema SPRING, foram montadas as planilhas eletrônicas com os índices e parâmetros morfométricos mostrados na Tabela 4.2, que podem ser encontrados em Alcântara (2004), Lindner (2007), Christofolletti (1980) e Villela e Mattos (1975). Como as regiões de drenagem possuem características distintas quanto à constância dos canais fluviais, as bacias que não apresentaram canais perenes foram agrupadas e foram estimados apenas os parâmetros mostrados na Tabela 4.3. Para as bacias que apresentaram rios perenes foram utilizadas as fórmulas da Tabela 4.2. O tempo de concentração (T_c) foi calculado de forma diferente, para bacias rurais ou vegetadas e urbanas. Para diferenciar os dois tipos de ocupação, utilizou-se o mapa de uso e ocupação do solo de 2004 (Godoy 2007), identificando visualmente as bacias que possuíam mais de 40% de sua área ocupada urbanamente e as classificando como urbanas.

Tabela 4.2 – Fórmulas de parâmetros morfométricos para a caracterização da bacia e sub-bacias Perenes da Lagoa da Conceição

Parâmetro	Fórmula	Unidade	Parâmetro	Fórmula	Unidade
Amplitude altimétrica da bacia	$H_{máx} - H_{mín}$	Km	Coefficiente de compacidade	$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	-
Densidade dos rios	$D_r = \frac{N}{A}$	Km ⁻²	Coefficiente de forma	$K_f = \frac{A}{L^2}$	-
Densidade de canais de 1ª ordem	$F_S = \frac{\sum ni}{A}$	Km ⁻²	Índice de circularidade	$I_c = \frac{A}{Ac}$	-
Densidade de canais de 2ª ordem	$F_S = \frac{\sum ni}{A}$	Km ⁻²	Sinuosidade do rio principal	$Sin = \frac{L}{L_t}$	-
Relação de bifurcação	$R_b = \frac{N_n}{N_{n+1}}$	-	Declividade do Talvegue	$S = \frac{H}{L}$	-
Densidade de drenagem	$D_d = \frac{L_t}{A}$	Km/Km ²	Tempo de concentração (Kirpich)	$t_c = 3,989 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$	min
			Tempo de concentração (Carter)	$t_c = 5,862 \cdot L^{0,6} \cdot S^{-0,3}$	min

Tabela 4.3 – Fórmulas de parâmetros morfométricos para a caracterização das sub-bacias Intermitentes da Lagoa da Conceição

Parâmetro	Fórmula	Unidade
Amplitude altimétrica da bacia	$H_{máx} - H_{mín}$	Km
Declividade do Talvegue	$S = \frac{H}{L}$	-
Tc (Kirpich)	$t_c = 3,989 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$	min
Tc (Carter)	$t_c = 5,862 \cdot L^{0,6} \cdot S^{-0,3}$	min
Kc	$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	-
Kf	$K_f = \frac{A}{L^2}$	-
Ic	$I_c = \frac{A}{Ac}$	-

As variáveis de todas as fórmulas referentes a Tabela 4.2 e Tabela 4.3 podem ser consultadas no Item 3.3 para melhor compreensão dos vários parâmetros obtidos

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das bases cartográficas digitais com as curvas de nível, hidrografia, rede de drenagem e uso do solo foram traçados os limites da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição e suas sub-bacias. Com uma área de drenagem, incluindo o corpo lagunar de 78,14 Km² a bacia capta a precipitação e converge o escoamento superficial para sua exutória, que é o Canal da Barra da Lagoa. As regiões da faixa litorânea compreendidas pela praia da Barra da Lagoa, dunas da Joaquina e Moçambique foram desconsideradas na bacia de captação das águas de drenagem, pois o divisor topográfico destas localidades apesar de ser pouco detalhado e por ser um trecho de dunas com rede de drenagem desordenada, sua topografia indica que as vertentes fluviais tendem para o mar. A área de captação encontrada foi de 78,14 Km², menor que a de outros trabalhos existentes, a diferença entre as áreas pode ser observada na Tabela 5.1. Observou-se que o escoamento superficial da bacia de captação da Lagoa da Conceição apresenta escoamento fluvial global do tipo exorreico. Para o estudo foram selecionadas as sub-bacias que contribuem para o estuário, estas apresentam características de escoamento global endorreico para o corpo lagunar ou escoamento global do tipo arreico e sem um divisor topográfico que as limitassem de escoar para o corpo lagunar, desta maneira poder-se-ia ter um quadro geral das bacias que contribuam para o espelho d'água. Essas sub-bacias foram separadas em dois grupos principais, as sub-bacias Perenes e as sub-bacias Intermitentes. As sub-bacias Perenes, foram assim chamadas por apresentarem rios perenes visualizados na hidrografia com escala 1:10.000. Foram nomeadas de sub-bacias Intermitentes as bacias que não continham um canal visível com base cartográfica mencionada, considerando que sua drenagem possua canais intermitentes ou efêmeros. A figura 5.1 ilustra a delimitação da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição e de suas sub-bacias divididas em sub-bacias Intermitentes e sub-bacias Perenes com a sua hidrografia hierarquizada conforme Straler.

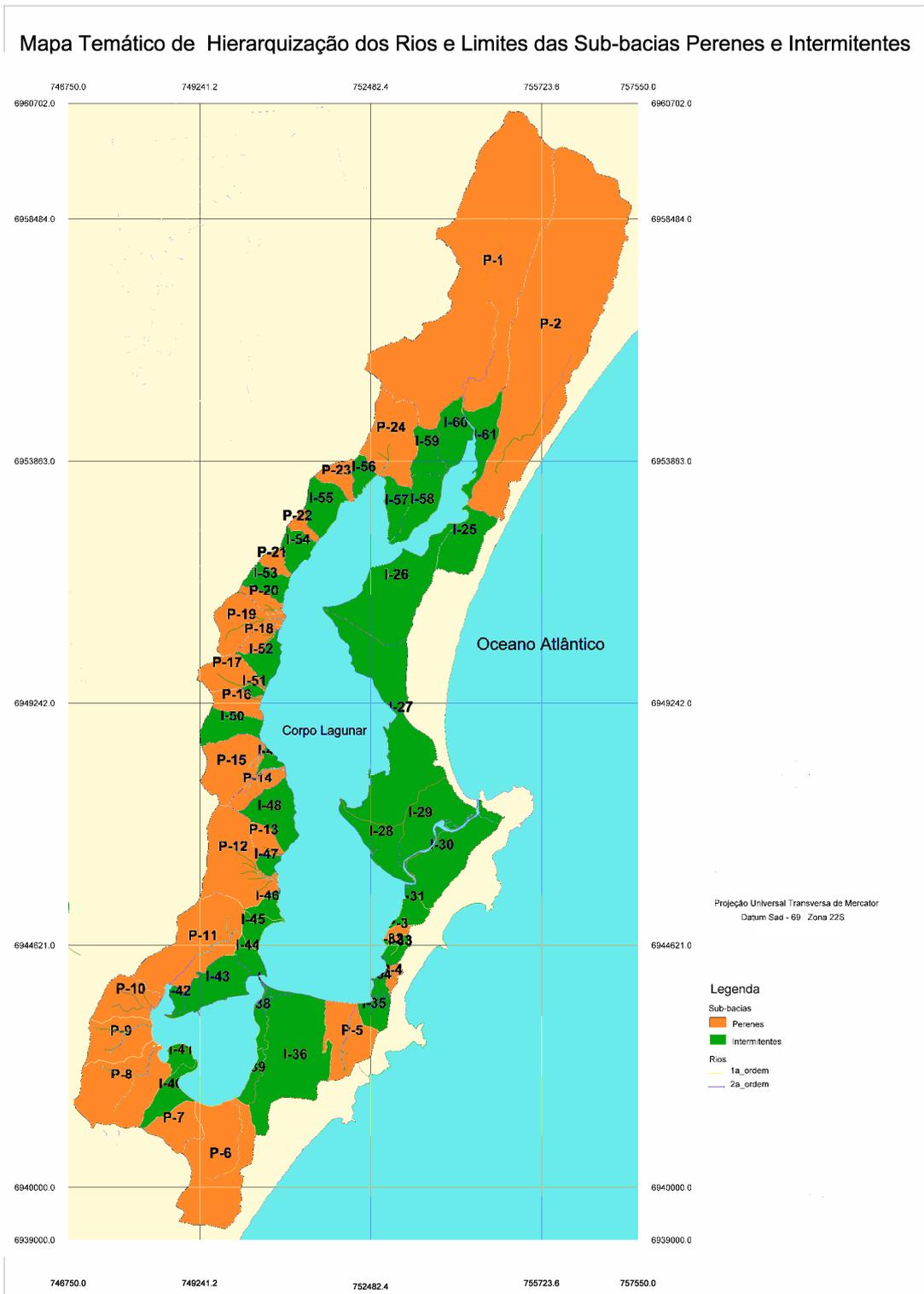


Figura 5.1 – Limites das sub-bacias Perenes e sub-bacias Intermitentes e a hidrografia hierarquizada.

Tabela 5.1 – Áreas contribuintes da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com diferentes geometrias adotadas

Fonte	Drenagem terrestre	Área de contribuição da bacia hidrográfica Godoy (2007a)	Área da contribuição da Bacia Hidrográfica	EPAGRI/ CIRAM (2006)	HAUFF (1996)	IPUF (2006)
Área (Km ²)	57,36	82,30	78,14	86,35	90,70	91,56

Com a curva hipsométrica da área terrestre representada na figura 5.2, pode-se observar que a Bacia da Lagoa da Conceição tem características peculiares, onde mais de 60% de sua área está concentrada na faixa entre 0 e 10 metros de altitude, isto se deve as grandes áreas de baixa altitude, da porção norte e leste da bacia, que englobam os distritos administrativos do São João do Rio Vermelho e Barra da Lagoa. Nas encostas dos morros, localizadas em suas porções regionais sul e oeste da bacia hidrográfica encontramos suas cotas máximas, representando as maiores cotas topográficas na curva hipsométrica. Na figura 5.3 observa-se a carta hipsométrica da bacia da Lagoa da Conceição.

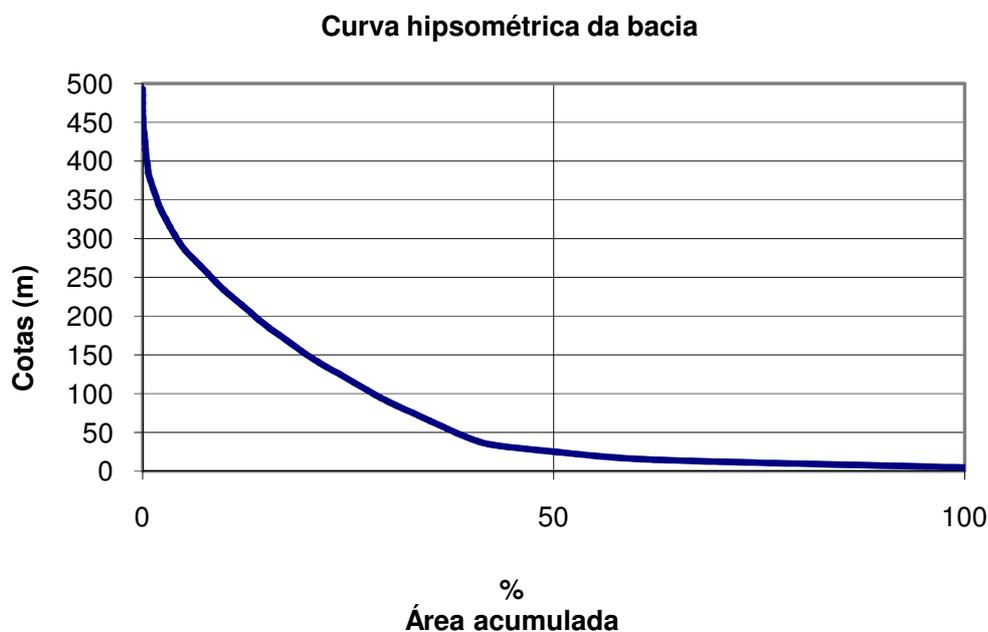


Figura 5.2 – Curva hipsométrica da Bacia da Lagoa da Conceição

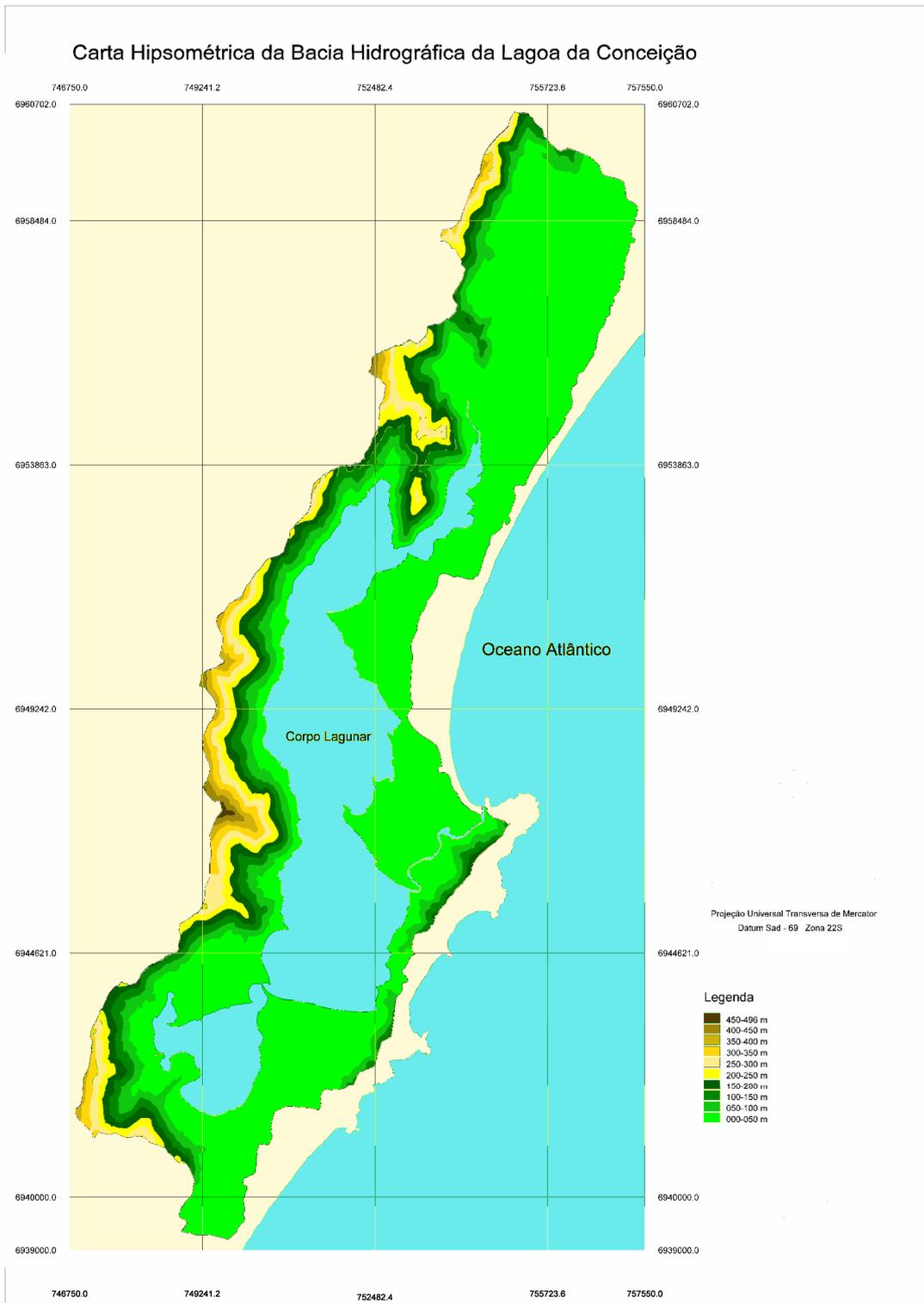


Figura 5.3 –Carta hipsométrica da bacia da Lagoa da Conceição

Na determinação da hierarquização fluvial da bacia da Lagoa da Conceição (Figura 5.1) foi classificada o corpo lagunar e canal da Barra da Lagoa como de 3ª ordem, estes considerados como um único trecho de canal e seu traçado respeitando o fundo batimétrico do corpo lagunar. Os canais fluviais em relação à bacia hidrográfica apresentaram uma densidade de drenagem pobre, com $Dd = 0,83$ Km/Km² e $Dr = 0,82$ rio/Km². A bacia possui forma geométrica com aspecto não compacto indicando baixa propensão a enchentes como indicado por $Kc = 1,91$. O valor de $Ic = 0,27$ distancia a bacia do formato de um círculo, sendo que um círculo possui o $Ic = 1,00$. O $Kf = 0,44$ sugere uma bacia estreita, devido à bacia hidrográfica apresentar sua extensão maior no sentido norte e sul. A declividade de talvegue da bacia é baixa, sendo justificado por possuir grandes áreas de baixa altitude nas porções regionais do norte e leste da bacia de captação, além da porção do espelho d'água do estuário. A Tabela 5.2 resume as características estimadas.

Tabela 5.2 – Características da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição

Característica	Bacia da Lagoa da Conceição	Unidade
Área de drenagem	78,14	Km ²
Perímetro	60,15	Km
Comprimento da bacia	13,37	Km
Comprimento do rio principal	27,85	Km
Amplitude altimétrica da bacia	0,496	Km
Comprimento total dos canais	64,14	Km
Número de canais classe 1	50	Unid
Número de canais classe 2	14	Unid
Número de canais classe 3	1	Unid
Soma	65	Unid
Kc	1,91	-
Kf	0,44	-
Ic	0,27	-
Densidade de drenagem	0,82	Km/Km ²
Densidade dos rios	0,83	rio/Km ⁻²
Declividade do Talvegue	0,037	-

A área terrestre drenada da bacia hidrográfica possui 57,36 Km², sendo que as sub-bacias 1 e 2 localizadas na porção norte à montante da bacia hidrográfica e situadas no distrito de São João do Rio Vermelho respondem por 31,4 % da área drenada, tendo grande importância como área de captação de água das chuvas. Do total de 61 sub-bacias, 47 delas tem área menor que 1 Km² e estas juntas respondem 30,3% da área drenada, sendo significativas para a descarga fluvial no estuário quando observadas em conjunto. A figura 5.4 mostra todas as sub-bacias agrupadas por intervalo de área.

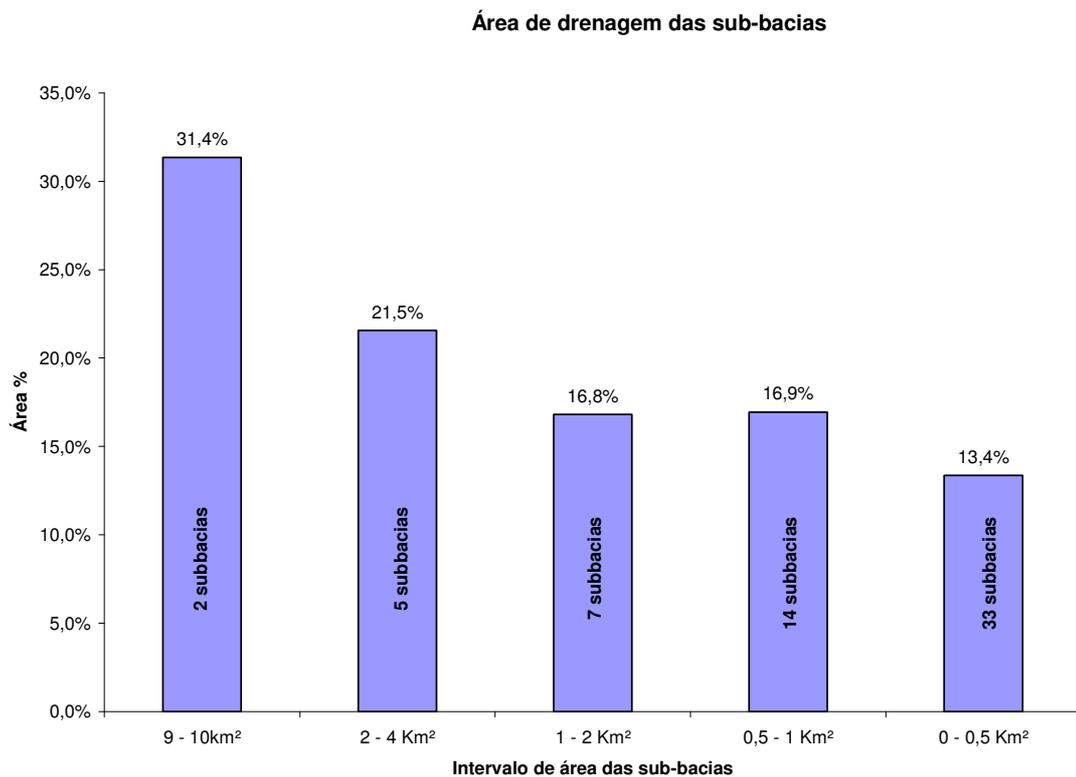


Figura 5.4 – Sub-bacias agrupadas por faixa de área de drenagem

Na Tabela 5.3 e na Figura 5.5 pode-se ver que as sub-bacias situadas na parte oeste da bacia hidrográfica correspondem a 78,7% da área com declividade acima de 20%. Os outros 21,3% pertencem às regiões inseridas nas parcelas sul e leste. Estas sub-bacias íngremes representam 36,6% da área de drenagem terrestre, indicando que o escoamento superficial tem declividade acentuada, portanto tende a uma maior velocidade, menor tempo de escoamento e canais fluviais com menor sinuosidade. As sub-bacias com as menores declividades constituem a maior área de drenagem, porém através da Tabela 5.5 pode-se notar que estas bacias de drenagem são pouco numerosas em relação às bacias mais íngremes, logo possuindo as maiores áreas individualmente. As sub-bacias apresentaram diversas faixas de declividade, não apresentando uma declividade predominante, conforme pode ser observado na Tabela 5.4.

Tabela 5.3 – Localização e porcentagem das áreas com declividade maior que 20%

Localização	% de área
Parcela oeste da bacia	78,7%
Parcela sul e leste	21,3%

Tabela 5.4 – Proporção de sub-bacias por faixa de declividade

S	Área de drenagem (Km ²)	%
0-8%	21,63	37,7%
8-20%	14,70	25,6%
20- 63%	21,02	36,6%

Tabela 5.5 – Declividade e área das sub-bacias, as maiores áreas estão em destaque.

Sub-bacias	S	Área (Km ²)	Sub-bacias	S	Área (Km ²)
43	0,634	0,834	30	0,275	1,411
57	0,536	0,404	10	0,274	0,762
58	0,523	0,588	51	0,267	0,062
13	0,461	0,260	35	0,252	0,314
60	0,449	0,613	34	0,241	0,103
52	0,442	0,379	23	0,228	1,337
16	0,424	0,392	49	0,221	0,115
20	0,423	0,221	3	0,221	0,108
53	0,422	0,357	8	0,204	1,897
55	0,413	0,566	37	0,180	0,045
22	0,413	0,146	11	0,179	2,069
48	0,409	0,767	38	0,153	0,212
23	0,402	0,317	41	0,131	0,202
18	0,397	0,241	33	0,130	0,126
45	0,388	0,251	<u>1</u>	<u>0,103</u>	<u>9,398</u>
47	0,373	0,137	42	0,089	0,115
14	0,368	0,376	6	0,084	2,537
21	0,368	0,181	44	0,078	0,256
54	0,365	0,345	4	0,074	0,111
12	0,364	1,760	39	0,065	0,196
56	0,362	0,228	5	0,060	1,025
50	0,360	0,538	40	0,034	0,461
15	0,355	1,093	36	0,025	2,541
46	0,351	0,211	61	0,025	0,601
17	0,335	0,582	<u>2</u>	<u>0,022</u>	<u>8,585</u>
59	0,330	0,439	27	0,013	3,106
31	0,325	0,294	29	0,011	1,116
32	0,322	0,060	25	0,008	0,807
19	0,320	0,829	26	0,007	2,104
7	0,302	0,617	28	0,003	0,723
9	0,278	0,881			

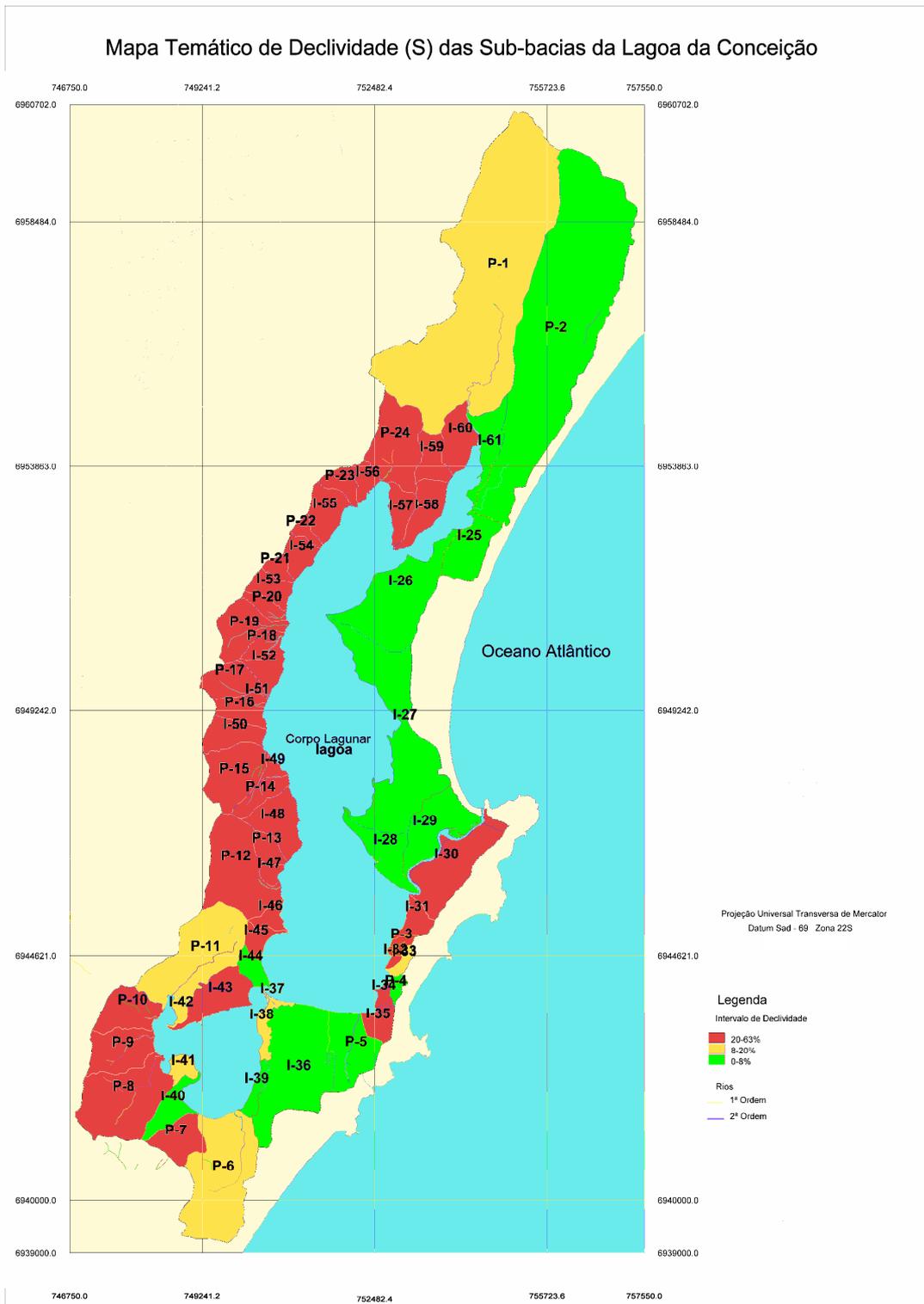


Figura 5.5 – Mapa temático da Declividade (S) das sub-bacias

As sub-bacias apresentaram variações em suas formas, com os valores de Kf variando entre formas achatadas, circulares e estreitas, conforme Tabela 5.6 e Figura 5.7. Nas bacias classificadas com tendência de contorno circulares a propensão a enchente foi reiterada na comparação com Ic. As bacias achatadas (com 50,8% da

área total das sub-bacias) são todas com baixa tendência a picos de cheia, e as bacias estreitas possuem 77,6% de sua área com baixa propensão a enchente, estas comparações podem ser vista com maiores detalhes na Tabela 5.7. O coeficiente de compacidade oscilou de 1,15 a 2,27, porém predomina a baixa propensão a picos de cheia elevados, com 63,2% da área de drenagem com esta característica. Apenas 14,5% da área de drenagem terrestre apresentam tendência a enchente reiterando os resultados dos índices Kf e Ic anteriormente citados. A Tabela 5.8 mostra a divisão das áreas por faixa de propensão a enchente conforme Kc e a Figura 5.8 espacializa as sub-bacias conforme a tendência a enchente segundo Kc. Para a estimativa do tempo de concentração as bacias classificadas como urbanas foram: as sub-bacias Perenes 2, 3, 6, 11 e sub-bacias Intermitentes 29, 30, 33, 35, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 47, 49 e 61. Para as bacias urbanas utilizou-se a equação 3.6 para obtenção de tc, nas demais sub-bacias o tc foi estimado pela equação 3.5. O tempo de escoamento das bacias oscilou entre 1,90 a 59,3 minutos, predominando o tempo menor que 10 minutos nas 45 das 61 sub-bacias conforme figura 5.6, estas são responsáveis por 34,9 % da área de drenagem (ver Tabela 5.9). Portanto na maioria das sub-bacias o tempo de concentração é relativamente curto em relação ao maior tc encontrado (ver figura 5.9), isso se deve ao fato de que a maioria das bacias possuem forma achatada e grande declividade, o que proporciona alta uma velocidade de escoamento.

Tabela 5.6 – Forma das sub-bacias conforme Kf e sua proporção por área

Forma da bacia	Intervalo de Kf	Área (Km²)	%
Tendência a achatada	1,50-6,64	29,12	50,8%
Tendência a circular	0,50-1,50	19,68	34,3%
Tendência a estreita	0,06-0,50	8,554	14,9%
		57,35	100,0%

Tabela 5.7 – Tendência a enchente das bacias classificadas por forma estimada por Kf

Bacias achatadas			
Tendência a enchente	Intervalo de lc	Área (Km ²)	%
Alta	0,60-0,75	0	0
Média	0,50-0,60	0	0
Baixa	0,19-0,50	8,55	100,0%

Bacias circulares			
Tendência a enchente	Intervalo de lc	Área (Km ²)	%
Alta	0,60-0,75	3,40	18,6%
Média	0,50-0,60	10,19	55,8%
Baixa	0,19-0,50	4,68	25,6%
		18,27	100,00%

Bacias Estreitas			
Tendência a enchente	Intervalo de lc	Área (Km ²)	%
Alta	0,60-0,75	1,97	6,8%
Média	0,50-0,60	4,56	15,7%
Baixa	0,19-0,50	22,60	77,6%
		29,12	100,0%

Tabela 5.8 – – Tendência a enchente das bacias estimada por Kc

Propensão a enchente	Intervalo de Kc	Área Km ²	%
Baixa	1,40 - 2,27	36,23	63,2%
Média	1,30 - 140	12,78	22,3%
Alta	1,0 - 1,3	8,33	14,5%
		57,35	100,0%

Tabela 5.9 – Tempo de concentração por área

Intervalo de Tc (min)	Área (Km ²)	%
30-59	22,63	39,4%
20-30	5,09	8,9%
10-20	9,62	16,8%
05-10	14,19	24,7%
0-05	5,82	10,2%
	57,35	100,0%

Tempo de concentração (tc)

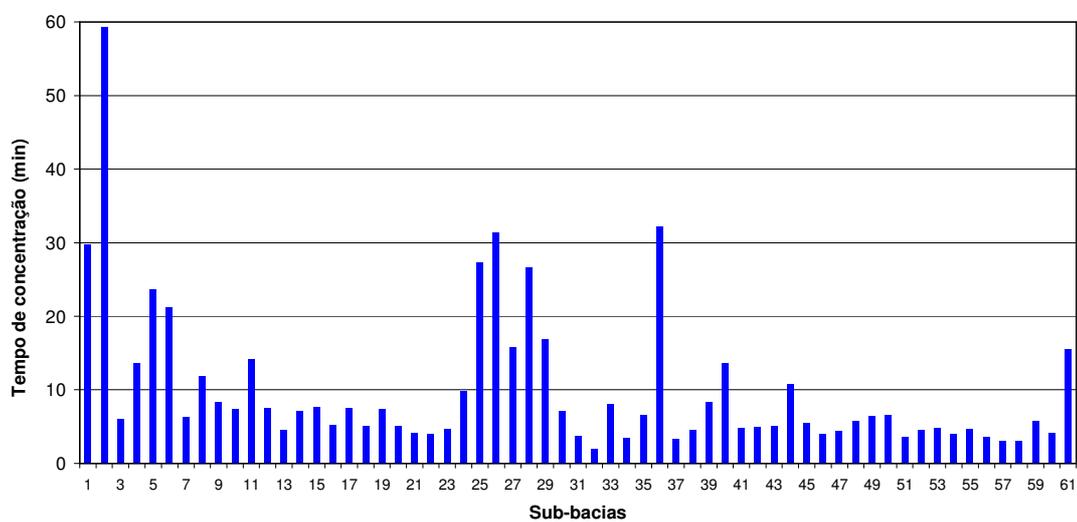


Figura 5.6 – Tempo de concentração das sub-bacias

Mapa Temático do Fator de Forma (Kf) das Sub-bacias da Lagoa da Conceição

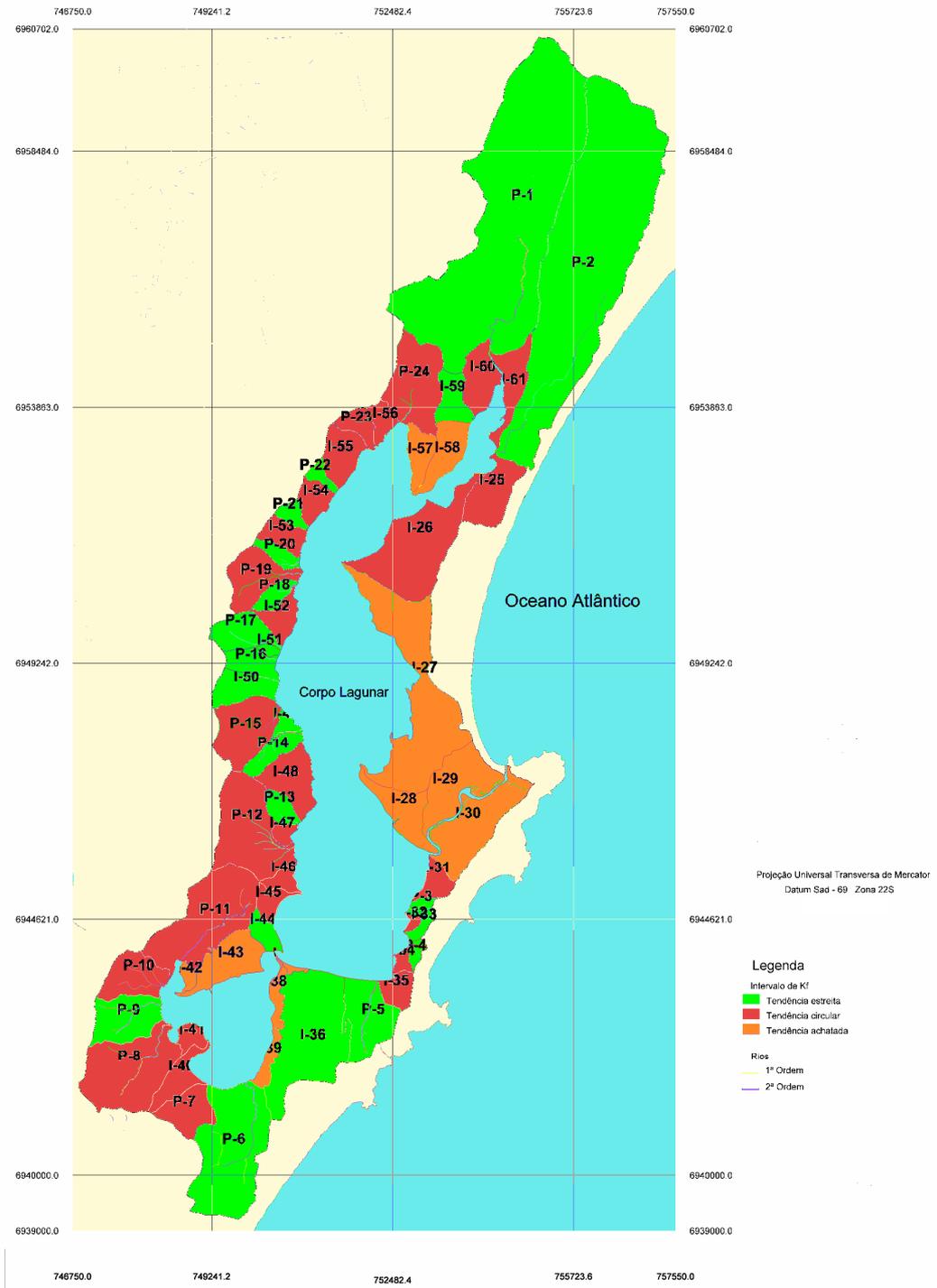


Figura 5.7 – Fator de forma (Kf) das sub-bacias

Mapa Temático do Coeficiente de Compacidade das Sub-bacias da Lagoa da Conceição

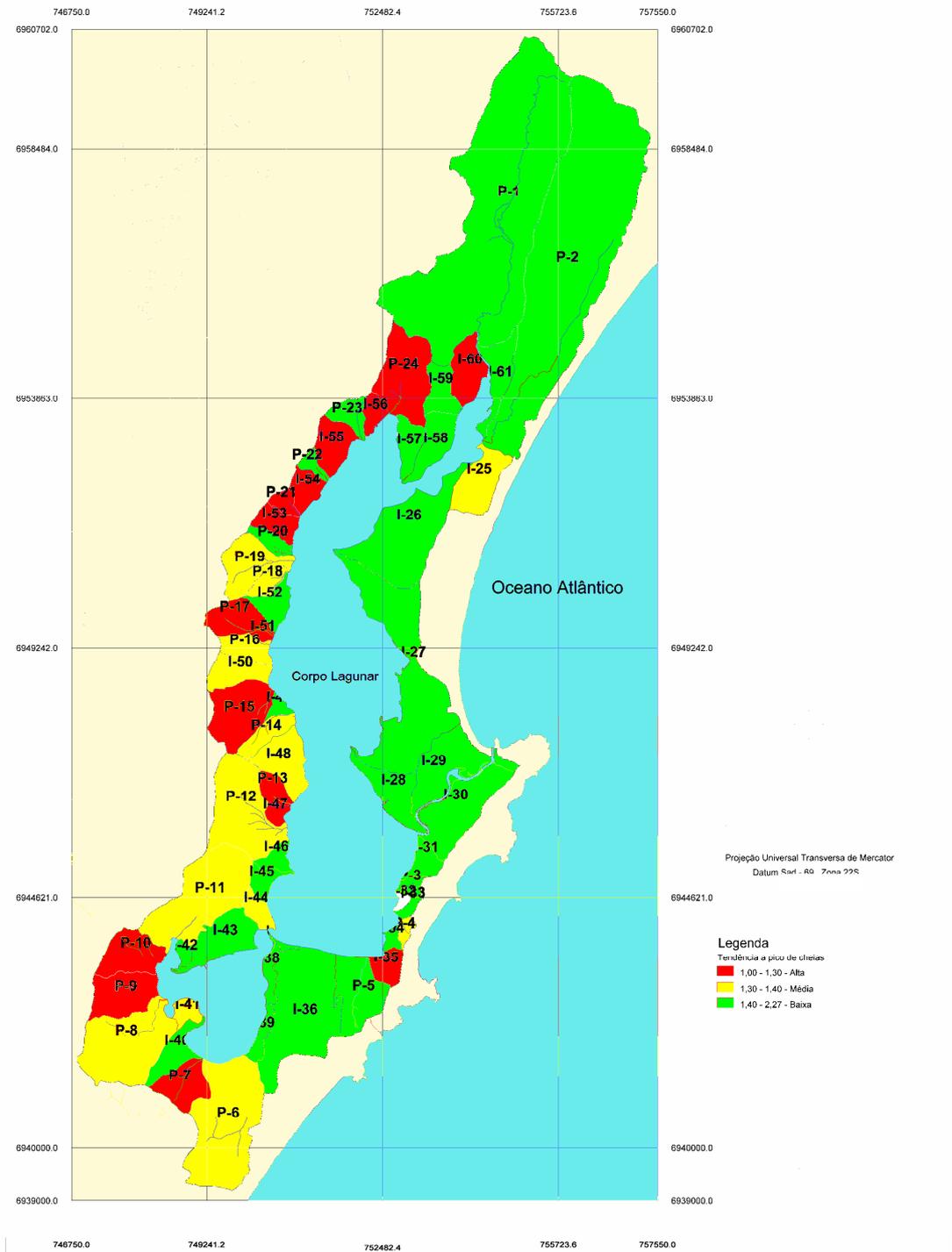


Figura 5.8 – Coeficiente de Compacidade (Kc) das sub-bacias

Mapa Temático do Índice de Circularidade das Sub-bacias da Lagoa da Conceição

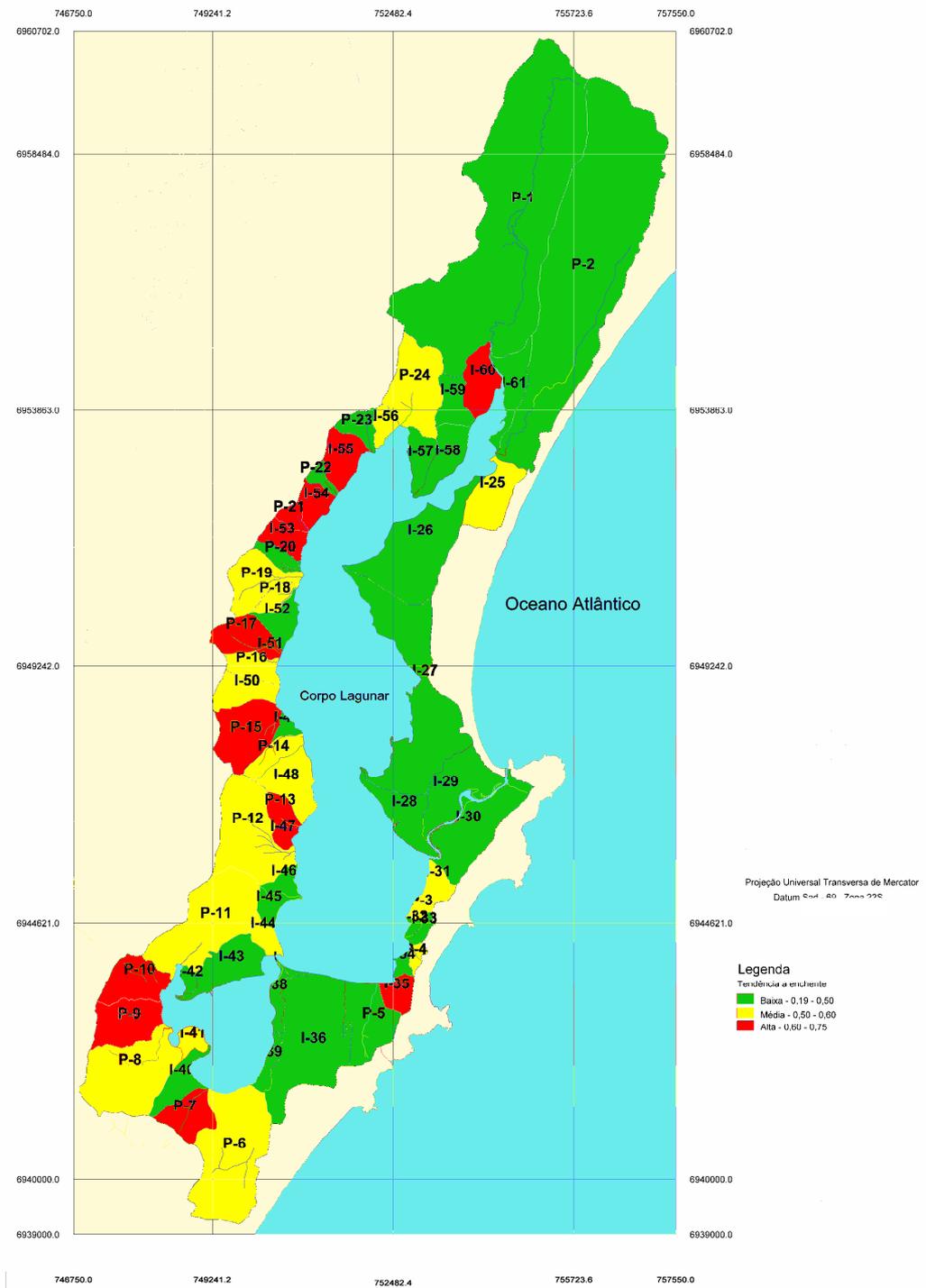


Figura 5.9 – Índice de circularidade (Ic) das sub-bacias

Mapa Temático do Tempo de Concentração (tc) das Sub-bacias da Lagoa da Conceição

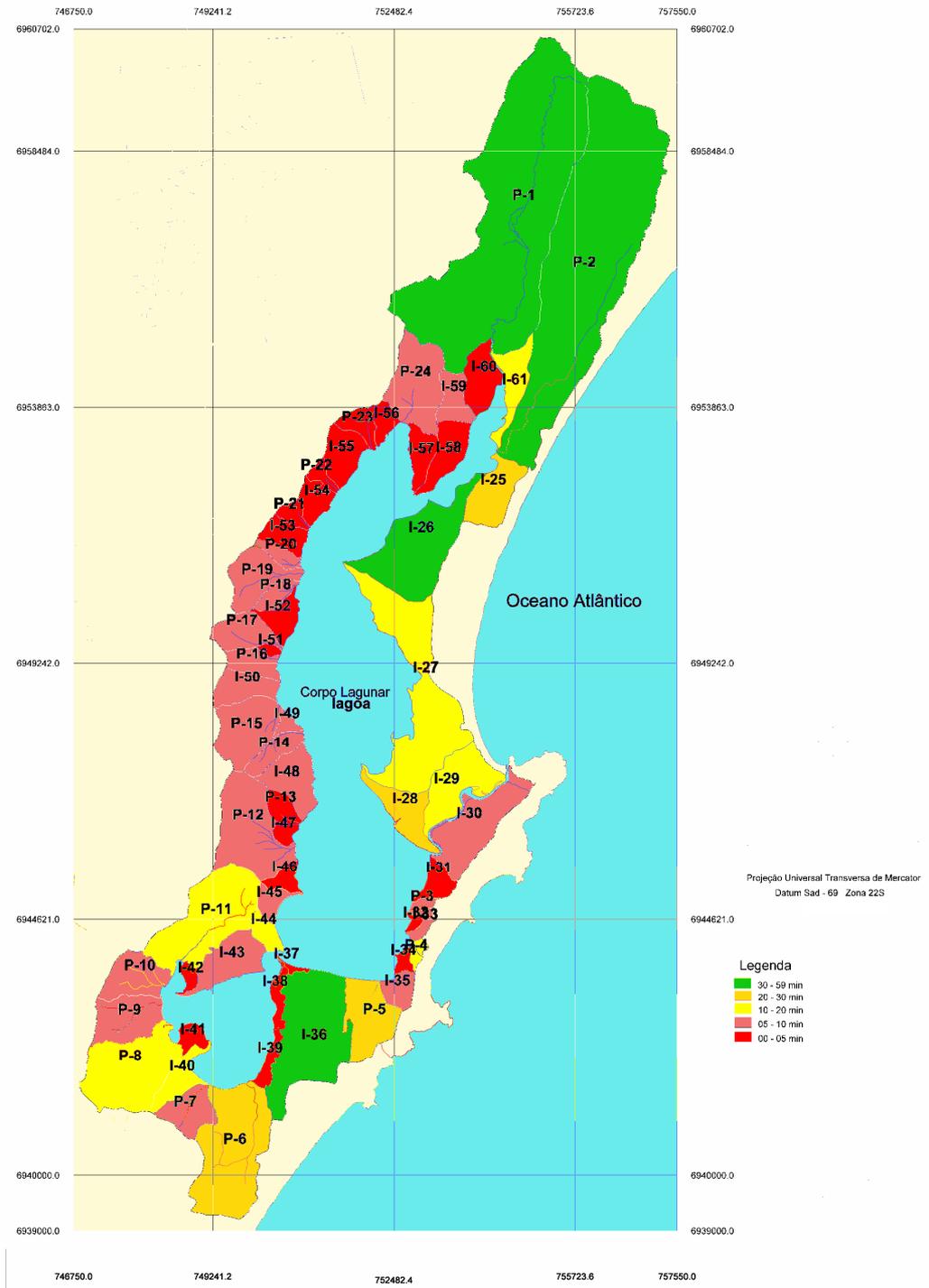


Figura 5.10 – Tempo de concentração (tc) das sub-bacias

O padrão de drenagem das sub-bacias variou entre dendrítica, paralelo e irregular. A região oeste da bacia apresenta padrão paralelo devido ao maciço cristalino, enquanto que nas regiões norte e sudoeste, sua drenagem foi classificada como escoamento do tipo dendrítico. As sub-bacias localizadas nas proximidades da Av. das Rendeiras (ao sul) e em algumas sub-bacias localizadas a leste o padrão de drenagem foi classificado como irregular. Esta é uma categorização preliminar não podendo ser considerada definitiva, pois como as curvas de nível estavam em intervalos de 10 em 10 metros, em regiões de baixa altitude e pouca declividade a geração da rede de drenagem com a ferramenta SPRING ficou prejudicada pela falta de informações. Os padrões de drenagem e rede de drenagem gerada podem ser observados na Figura 5.10 e Figura 5.11 respectivamente.

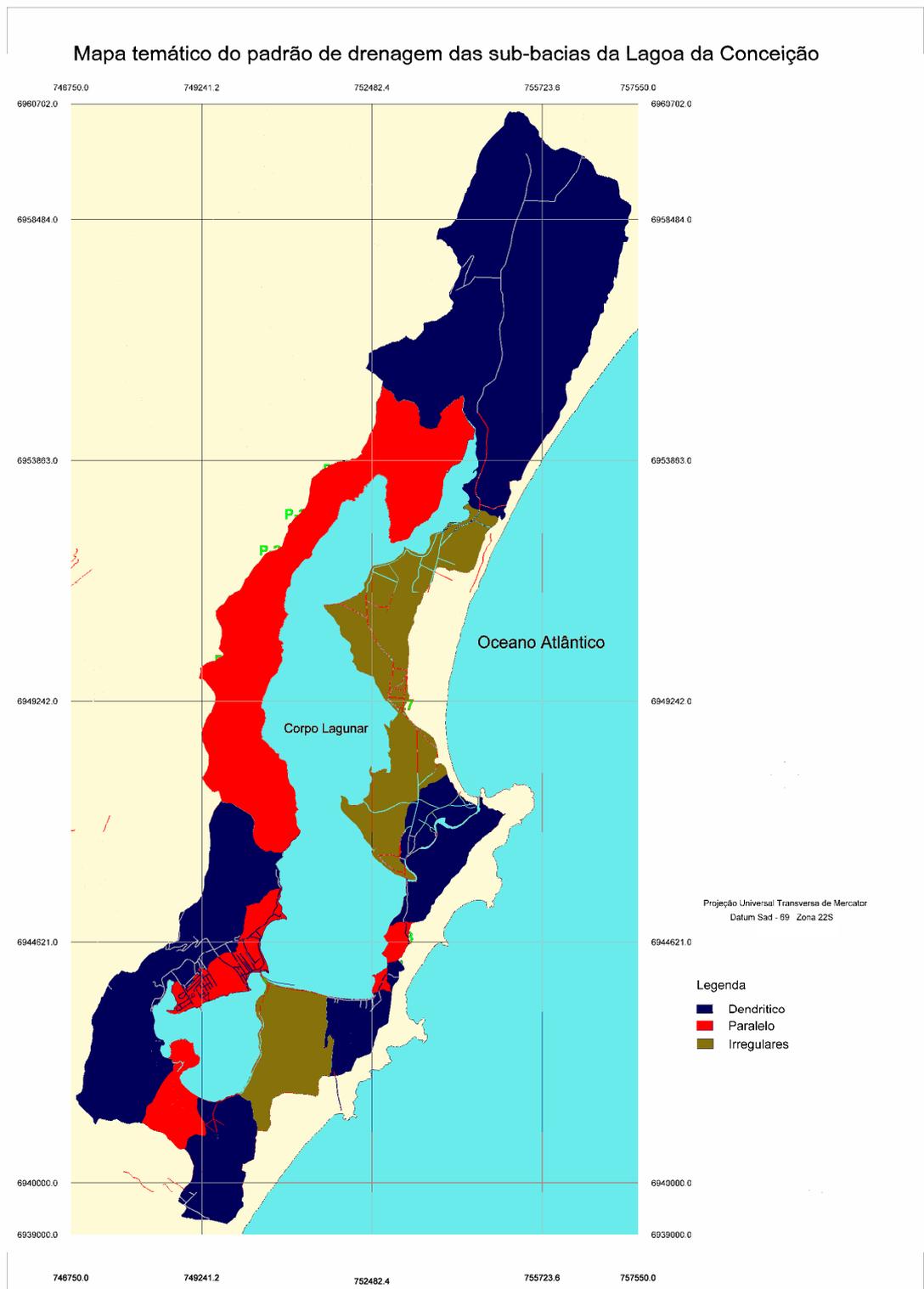


Figura 5.11 – Padrão de drenagem das sub-bacias Perenes e sub-bacias Intermitentes

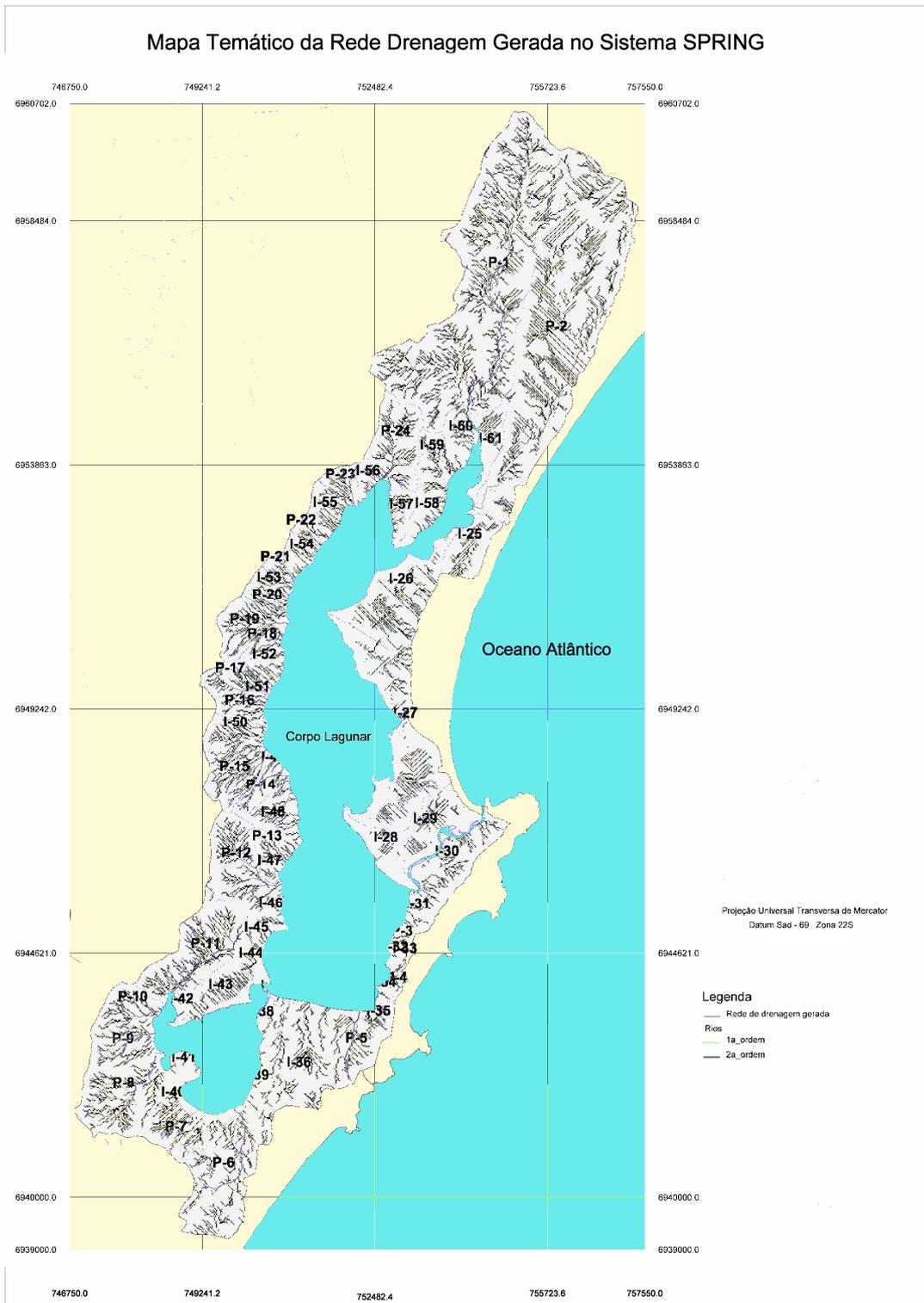


Figura 5.12 – Rede de drenagem da bacia hidrográfica gerada com a ferramenta SPRING .

Na avaliação das sub-bacias Perenes, a densidade de drenagem abrangeu o intervalo entre 0,61 a 3,30 Km/Km² (Figura 5.12). Em 76,8% da área destas sub-bacias o intervalo da Dd foi de 0,61 a 1,50 Km/Km² (ver Tabela 5.10) indicando serem mal drenadas, esta grande porcentagem devesse ao fato que as sub-bacias 1 e 2

localizadas no distrito de São João do Rio Vermelho que respondendo por 50,3% (ver Tabela 5.11) da área total de drenagem das sub-bacias Perenes estão dentro deste intervalo. Com relação a Densidade dos rios (Dr) as sub-bacias Perenes apresentaram um número significativo de canais em relação a sua área. Das 24 bacias apenas duas tinham a Dr menor que 1, porém estas respondem por metade da área (50,3%), conforme Tabela 5.11. Analisando então as bacias juntamente com a Dd e Dr, apesar de ter um número significativo de segmentos de canais fluviais, eles são curtos em relação a sua bacia de origem, tratando-se em sua maioria de vertentes de 1ª ordem com baixa ou nenhuma bifurcação, como resume a Tabela 5.12

Tabela 5.10 – Densidade de drenagem classificada por eficiência de drenagem

Densidade de drenagem	Intervalo de Dd	Área (Km²)	%
Bem drenada	2,50 - 3,30	1,82	5,1%
Medianamente drenada	1,50 - 2,50	6,48	18,1%
Pobre em drenagem	0,61-1,50	27,43	76,8%
		35,73	100,0%

Tabela 5.11 – Densidade dos rios das sub-bacias Perenes

Dr (Rio/Km²)	Área (Km²)	Porcentagem da área com drenagem perene
>1	17,74	49,7%
<1	17,98 (sub-bacias 1e 2)	50,3%
	35,73	100,0%

Tabela 5.12 – Média dos parâmetros de densidade de canais de 1ª e 2ª ordem e Rb das sub-bacias Perenes.

Média dos parâmetros	Densidade de canais de 1ª ordem	Densidade de canais de 2ª ordem	Relação de bifurcação
pertencentes as sub-bacias perenes	3,81 rio/Km ²	0,13 Rio/Km ²	0,22

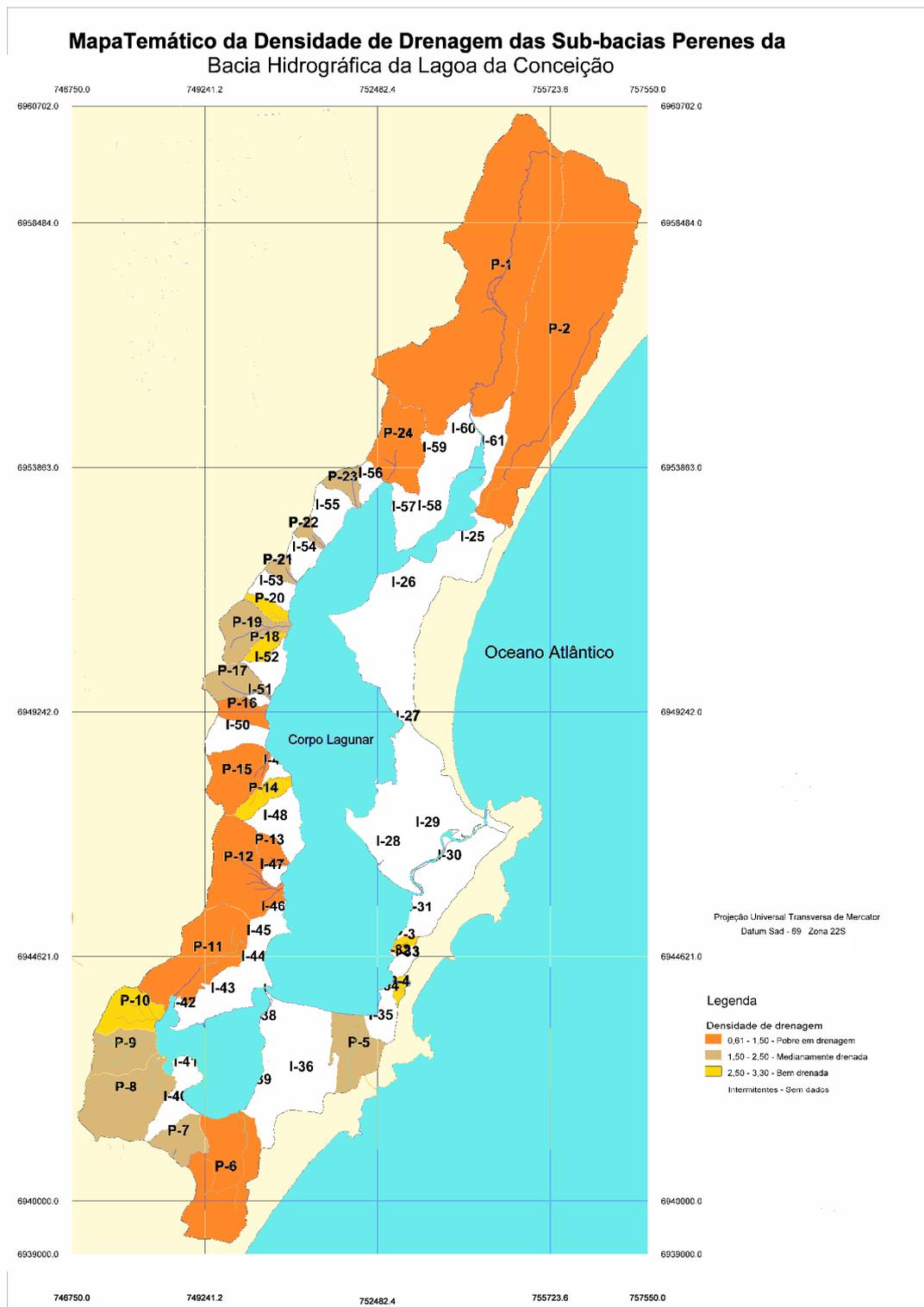


Figura 5.13 – Densidade de drenagem das sub-bacias Perenes.

Com relação ao índice de sinuosidade do canal apenas a bacia 6 apresentou sinuosidade do canal principal do tipo meândrico, com índice Sin maior que 1,50 (ver figura 5.13). Todos os outros rios principais das sub-bacias Perenes enquadram-

se como canais retos, o que não significa que os canais principais sejam totalmente retos durante todo o seu percurso, mas sim a predominância dos trechos retos. Porém nos trechos retilíneos esta característica acarreta em velocidades de escoamento maiores e a propensão a uma maior erosão do solo.



Figura 5.14 – Sinuosidade do rio principal de cada sub-bacia Perene

O corpo lagunar ocupando uma área de 20,78 Km² possui um comprimento efetivo máximo 8,92 Km. Para fins de descrição foi também obtida sua extensão máxima, medindo os dois pontos da margem mais distantes entre si chegando ao valor de 13,82 Km. Com um índice de desenvolvimento de 3,42 a laguna possui uma margem com certa irregularidade, o que pode proporcionar uma melhor detenção dos pulsos poluidores, devido a potencialidade de desenvolver fauna e flora litorânea, podendo assim reter melhor materiais grosseiros, partículas suspensas e poluentes, além da redução da erosão de suas margens, proporcionando maior resistência ao estabelecimento da eutrofização. Quando a margem não é ocupada pela vegetação, esta é prejudicada, pois não favorece o sombreamento da mesma, aumentando a temperatura destes locais que normalmente são rasos. A situação sem vegetação pode então ocasionar efeito contrário, devido aos mesmos fatores podendo formar focos de eutrofização. O fator de envolvimento estimado foi de 3,76, um pouco diferenciado do citado por Von Sperling (1999) que foi F=5, provavelmente devido a suas fontes considerarem que a bacia hidrográfica envolve uma área maior do que a bacia de

captação propriamente dita, como já citado na Tabela 5.1. O fator de envolvimento extremamente baixo indica que as áreas que contribuem com aporte fluvial para este ambiente aquático são reduzidas, e com isso há um menor volume de água, sedimentos e poluição vindo destas áreas, em relação a uma área de drenagem de maior extensão e mesmas características. Os parâmetros medidos e estimados do espelho d'água podem ser observados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Características da laguna

Características	Resultado	Unidade
Área (A)	20,78	Km ²
Perímetro(P)	55,72	Km
Comprimento efetivo	8,92	Km
Largura Efetiva	2,21	Km
Largura média (B)	1,73	Km
Índice de desenvolvimento	3,42	-
Fator de envolvimento	3,76	-

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho teve como enfoque principal apresentar as características geomorfológicas da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição utilizando o sistema SPRING, que possibilitou o estudo detalhado das características das sub-bacias que contribuem com aporte de água doce ao corpo lagunar.

Foi delimitada a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição com área total de 78,14 Km² e posteriormente subdividida em 61 sub-bacias, com aporte direto para a laguna e canal da Barra da Lagoa. As sub-bacias apresentaram dois grupos distintos de drenagem, um grupo com canais perenes e outro grupo com vertentes intermitentes e/ou efêmeros. Sugere-se para as sub-bacias intermitentes, um estudo sobre sua propensão para gerar escoamentos superficiais, assim podendo-se estimar a intensidade e o tempo de duração da precipitação necessária para que ocorra este escoamento.

Mais de 60% da área da curva hipsométrica da Bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição está concentrada em regiões de baixa altitude, na faixa entre 0 e 10 metros. Esta característica se deve à grande extensão de área ao norte e à leste, regiões cujas altitudes em sua grande maioria são baixas. Na carta Hipsométrica é possível visualizar que a porção oeste da bacia é responsável pelas maiores cotas altimétricas.

A bacia da Lagoa da Conceição é pobre em drenagem com $Dd=0,83$ Km/Km² e $Dr = 0,82$ rio/Km², possui forma não compacta ($Kc=1,91$) e alongada no sentido norte-sul como indicam os parâmetros $Ic=0,27$ e $Kf=0,44$. Sua forma, é então, pouco propícia a enchente. A declividade do comprimento da bacia é pequena devido à grande área de baixa altitude nas porções norte, leste e o corpo lagunar.

A bacia possui boa quantidade de segmentos de rios, porém com pequenas extensões em sua maioria, o que não possibilita a realização de uma boa drenagem. A hidrografia foi hierarquizada pelo método Straler como uma bacia de 3ª ordem, esta classificação levou em conta o canal da barra e o corpo lagunar, e indica poucas ramificações dos canais. Sua topografia é variada oscilando do zero até 496 metros de altitude, em relação ao nível do mar, possui grande área plana na sua porção norte e leste, e áreas de grande declividade na porção oeste.

As sub-bacias delimitadas apresentaram áreas e formas variadas, 50,8% delas possuem forma tendendo a geometria achatada, estas apresentaram os melhores índices de circularidade indicando pouca propensão à geração de pico de cheia. As bacias estreitas são 14,9% da área das sub-bacias, sendo que 77,6% destas exibem baixa propensão a enchentes.

Sub-bacias com formatos próximos ao circular tiveram 74,4% de suas áreas com média ou alta propensão a enchentes. Porém ao analisarmos todas as 61 sub-bacias, o índice de circularidade apresentou 63,2% da área com baixa tendência à pico de cheia.

As sub-bacias com as maiores declividades (S), esta referente à declividade do comprimento das sub-bacias, estão principalmente situadas na região a oeste da bacia hidrográfica, representando 78,7% da área das sub-bacias com declividade elevada. Porém estas sub-bacias com inclinação elevada não são as responsáveis pela grande parcela da área de drenagem, e sim as que estão situadas à montante da bacia da Lagoa da Conceição, ao norte, no distrito de São João do Rio Vermelho, onde S é pequena. As sub-bacias apresentaram diversas faixas de declividade, sendo portanto bastante heterogênea.

As sub-bacias em sua grande maioria numérica possuem um curto tempo de concentração (tc), predominando o tempo menor que 10 minutos nas 45 das 61 sub-bacias, indicando que possuem uma velocidade de escoamento alta e/ou curtos trechos de escoamento, devendo-se principalmente por possuírem grandes declividades e pequenas áreas. O índice de sinuosidade dos rios confirma esta tendência à alta velocidade indicando que os canais são em sua maioria de traçado reto. Porém, as outras 16 sub-bacias diferenciam-se da grande maioria, por possuírem pouca declividade e grande extensão de área, apresentando tempos de concentração maiores

Com relação à drenagem, 76,8% da área das sub-bacias Perenes são pobres, com Dd variando entre 0,61 e 1,50 Km/Km². Quase metade destas, 49,7%, apresentam cursos de rios de 1ª ordem curtos e bem segmentados, a outra metade da área (representadas somente pelas sub-bacias 1 e 2) apresentaram uma baixa Dr.

Existem poucas bifurcações de canais fluviais, devido a bacia da Lagoa da Conceição possuir poucos segmentos de rios de 2ª ordem. Identificaram-se nas sub-

bacias Perenes e Intermitentes diversos padrões de drenagem, porém esta categorização não pode ser considerada definitiva, devido às baixas altitudes de algumas regiões e a variação de altitude da carta planialtimétrica utilizada, ser entre faixas de 10 metros. Nestas áreas a rede de drenagem ficou pobre em informações, sendo sugerido que uma nova rede de drenagem seja gerada com uma carta altimétrica variando em intervalos menores.

O fator de envolvimento da laguna (relação entre área da bacia hidrográfica e a área do corpo lagunar) encontrado foi de 3,76, indicando que a área de contribuição das sub-bacias é muito pequena em relação ao estuário, gerando então um pequeno aporte fluvial ao espelho d'água. A laguna apresentou margens irregulares com índice de desenvolvimento igual a 3,42, este valor indica a possibilidade de uma redução do assoreamento e da carga poluidora advindas das bacias de drenagem em suas margens, porém se estas margens estiverem desprotegidas, ou seja, se não forem ocupadas por vegetações litorâneas, o efeito poderá ser contrário.

O uso da Ferramenta SPRING mostrou-se eficaz para o estudo de bacias hidrográficas. Com ele foi possível gerar mapas temáticos dos parâmetros medidos e a carta hipsométrica..

Dada à importância dos processos hidrológicos na geomorfologia e no estudo do ciclo hidrológico, este trabalho alcançou os resultados esperados. Sugere-se o estudo da fragilidade do solo da região como forma de saber o potencial destas áreas no assoreamento da região, além do balanço hídrico do estuário para entender a influência da bacia de drenagem na salinidade da laguna e em suas correntes hídricas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFIAS

ALCÂNTARA, E. H.; AMORIM, A. de J. Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica costeira: um estudo de caso. *Caminhos de Geografia*, v. 7, n. 14 p. 70-77, fevereiro de 2005. Disponível em http://www.ig.ufu.br/revista/volume14/artigo7_voll14.pdf , acessado em Junho de 2007

ANDRADE, F.C. de, Estudo da circulação hidrodinâmica da lagoa da conceição -SC , Tese de Mestrado em Engenharia Oceânica pela COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

BERLTRAME, A. da V. Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação, Florianópolis: Ed.da UFSC, 1994.

BLACK WARRIOR RIVERKEEPER INC., What is a watershed. Disponível em <http://blackwarriorriver.org/what-is-a-watershed.html>, acessado em Dezembro de 2007

BORSATO.F.H.; MARTONI A.M., Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum. Human and Social Sciences* Maringá, PR, 2004, v. 26, n. 2, p. 273-285.

CANJINA ,M. J. C. Alternativas de captación de agua para uso humano y productivo en la subcuena del río Aguas Calientes, Nicaragua. Tesis de la Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuenca Hidrográficas , Programa de educación para el desarrollo y la conservación escuela de posgrado, Turrialba, Costa Rica, 2006. disponível em <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0994E/A0994E.PDF>, acessado em Dezembro de 2007.

CARUSO Jr., F. 1987. Inferências sobre a migração de Ilhas Barreira na região da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina. *Anais do Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, 35p

CARUSO Jr., F. 1989. Geologia e características ambientais da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC. Tese de Mestrado, UFRJ, 66p.

CHRISTOFOLETTI, A., *Geomorfologia*, 2ª ed. Editora Edgard Blücher LTDA., São Paulo (SP), 1980.

DUARTE, Sandra Buzini; DIAS, Regina Davison. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Centro Tecnológico. Utilização de sistema de informações geográficas na análise do meio físico e do uso do solo na Lagoa da Conceição - Florianópolis /. Florianópolis, 1999. 114f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.

DRUCK, Suzana et al.. Análise espacial de dados geográficos. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2004.

EPAGRI/CIRAM. Mapa Digital das unidades Hidrográficas do Estado de Santa Catarina. Disponível em <http://ciram.epagri.rct-sc.br/cms/geo>, acessado em Novembro de 2007.

FEITOSA, F.F.. Paisagem Natural e Paisagem Construída. O Caso da Lagoa da Conceição na Ilha de Santa Catarina. Relatório Final das Atividades Desenvolvidas. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2000.

FERREIRA, D.S. et al., Utilização de dados de sensoriamento remoto para obtenção das características físicas da Bacia Hidrográfica do Córrego João Pedro em Linhares – Espírito Santo. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Florianópolis, SC, 21 a 26 de abril 2007, INPE, páginas 3343-3348.

FONSECA, A.. Efeito da drenagem urbana nas características físico-químicas e biológicas da água superficial na Lagoa da Conceição (Florianópolis, SC, Brasil) (2005) Revista Biotemas, 19 (2), junho de 2006.

GODOY, F. B(a). Caracterização Temática da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.

GODOY, F.B. (b) – Relatório interno: Geração de malha hidrográfica em ArcGis na bacia da Lagoa da Conceição, Laboratório de Hidráulica Marítima, UFSC, 2007.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (organizadores). Geomorfologia e meio Ambiente .4ª Ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil,2003

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Tutorial do sistema SPRING 4.3. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring>, acessado em Junho de 2007.

IPIUF - Carta Batimétrica ano 2001- Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis - Aeroconsult Aerolevantamentos e Consultoria S/A

JURADO, Marcos del Castillo – Morfometría De Lagos Una Aplicación A Los Lagos Del Pirineo – Universitat de Barcelona -1992

KNOPPERS, B. A.; OPITZ, S. S.; SOUZA, M. P. & MIGUEZ, C. F. 1984. The spatial distribution of particulate organic matter and some physical and chemical water properties in Conceição Lagoon, SC, Brazil. Arquivos de Biologia e Tecnologia, 27(1): 59-77

KOBIYAMA, M.; GRISON, F. ; LINO, J.F.; SILVA, R.V. Estimativa Morfométrica e Hidrológica do Tempo de Concentração na Bacia do Campus

da UFSC, Florianópolis - SC. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste (1: 2006: Curitiba), Curitiba: UFPR, anais, 11p. (CD-rom)

KOEFENDER, F. Análise Numérica da Influência Batimétrica no Padrão de Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, SC. 2005.

LEDO, B.S.; SORIANO-SIERRA, E.. Ecosistema da Lagoa da Conceição. Florianópolis, Santa Catarina: NEMAR,CCB,UFSC,1999.

LIMA, Walter de Paula; ZAKIA Maria José Brito. - Hidrologia de Matas Ciliares – Disponível em <http://www.ipef.br/hidrologia/mataciliar.asp>. Acessado em Agosto, 2007

LIMA, Walter de Paula – Introdução ao manejo de bacias hidrográficas - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1996 – Disponível em <http://www.esalq.usp.br/departamentos/lcf/lab/lhf/>. Acessado em outubro, 2007

LINDNER, E.A. Estudo de eventos hidrológicos extremos na bacia do Rio do Peixe – SC com aplicação de índice de umidade desenvolvido a partir do Tank Model. Florianópolis, 2007. 194 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. 2007

LINO, J.F.L. Análise Numérica da Influência de Forçantes Meteorológicas e Oceanográficas sobre a Circulação Hidrodinâmica da Lagoa da Conceição – Florianópolis – SC. Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, SC. 2005

MIRANDA, Luiz Bruner de; CASTRO, Belmiro Mendes de; KJERFVE Björn, Princípios de oceanografia física para estuários – São Paulo: Editora da universidade de São Paulo, 2002 (Acadêmica;42)

MUEHE D.; GOMES Jr, F. C.,Batimetria e algumas considerações sobre a evolução geologica da Lagoa daConceição, Ilha de Santa Catarina in LEDO, de S.B. e Soriano-Sierra E. J. (eds.). Ecosistema da Lagoa da Conceição. Florianópolis, SC: NEMAR, 1999

NEA, Núcleo de Estudos da Água. (2002). Disponível em <http://www.labdren.ufsc.br/pesquisa/itacorubi/index.php>, acessado em Junho de 2007.

ODRESKI, L. F. R. Alterações da Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição FLORIANÓPOLIS – SC. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.

PAREDES, Evaristo Atencio. Sistema de informação geográfica-Geoprocessamento: princípios e aplicações. São Paulo: Erica, 1994.

PINTO, Nelson L.S.P.; et al Hidrologia Básica. São Paulo. Edgard Blücher, 1976.

PORTO FILHO, Erico; PANITZ, Clarice Maria Neves. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Centro de Filosofia e Ciências Humanas. "Sedimentometria e algumas considerações sobre a biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina. 1993. 346f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Filosofia e Ciências Humanas

PORTO-FILHO, E. 1991. Aspectos texturais e contexto de matéria orgânica nos sedimentos de fundo na Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. Trabalho apresentado ao programa de Pós Graduação "Latu Sensu" em Hidroecologia, Dpto. de Biologia-UFSC. 110p.

QUEIROZ NETO, J.P. de. GEOMORFOLOGIA E PEDOLOGIA revista GEOUSP 13 (2003). Disponível em http://www.geografia.ffe.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp13/Geosp13_Queiroz.htm

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas. Uberlândia, 1996, pp. 104.

SOUZA SIERRA, De M. M.; SORIANO-SIERRA E. J. e SALIM J. R.da S. 1999. Distribuição espacial e temporal dos principais nutrientes e parâmetros hidrológicos da Lagoa da Conceição, SC, Brasil. Cap.4: 63-87 in LEDO, de S.B. e Soriano-Sierra E. J. (eds.). Ecossistema da Lagoa da Conceição. Florianópolis, SC: NEMAR, 1999.

TUCCI, C.E.M.. Hidrologia: ciência e aplicação, 2ª ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

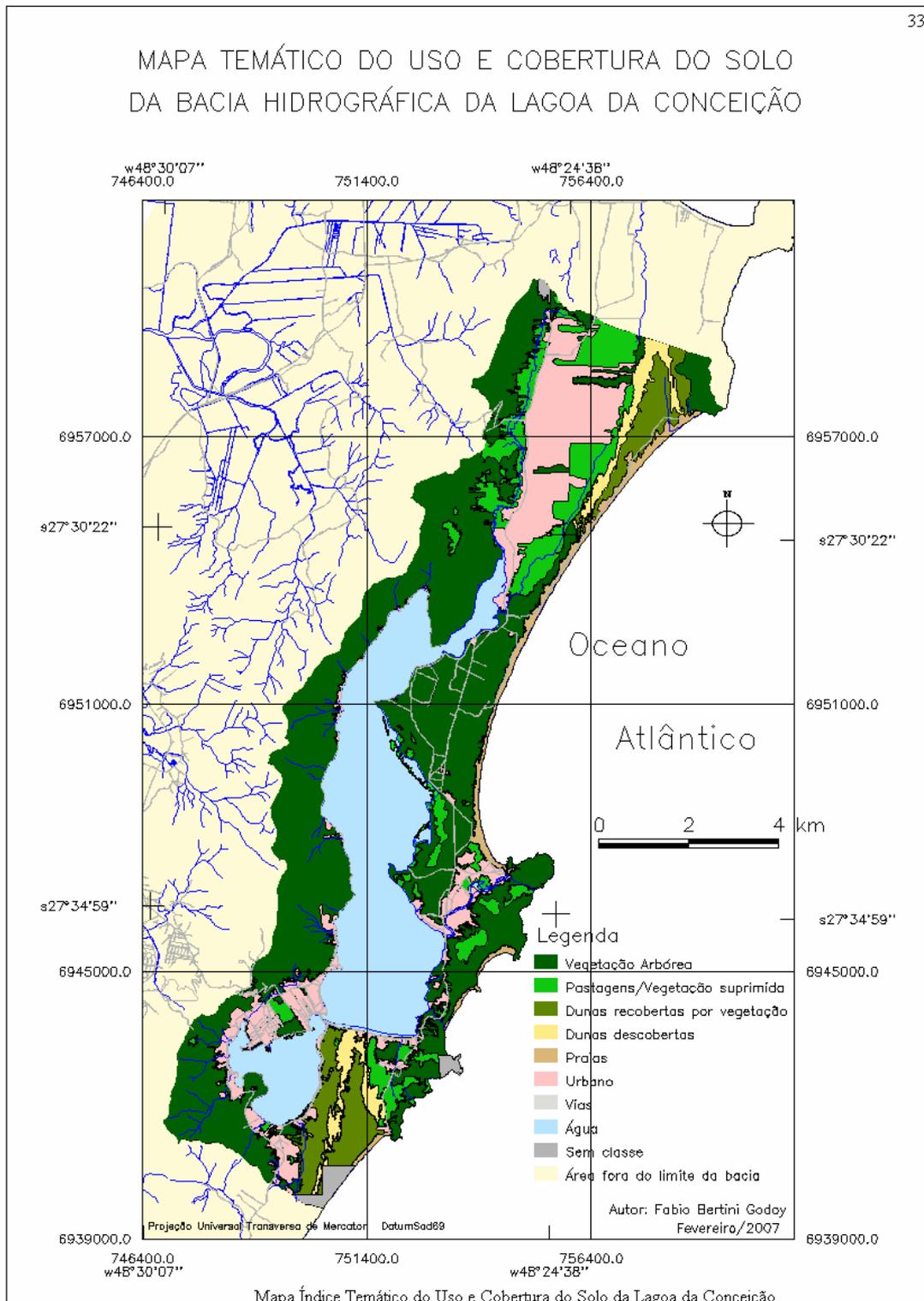
USGS, [U.S. GEOLOGICAL SURVEY](http://www.usgs.gov), Ciclo da água. Disponível em http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Ciclo_da_%C3%A1gua.jpg, acessado em outubro de 2007.

VON SPERLING, EDUARDO. Morfologia de lagos e represas , 1ª ed. Belo Horizonte, Minas Gerais. Ed. DESA/UFMG, c. 1999.

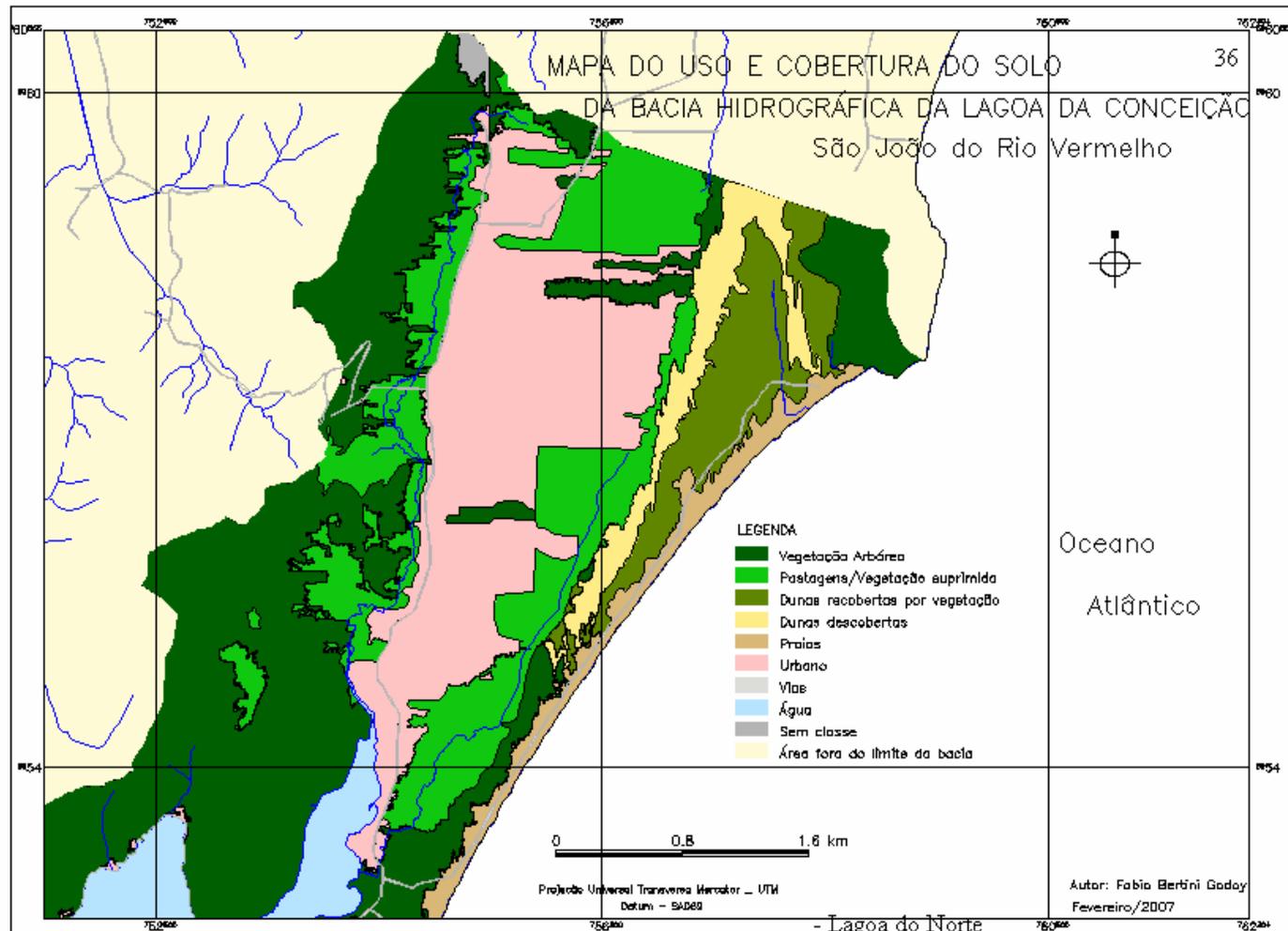
VILELLA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo. McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ANEXOS

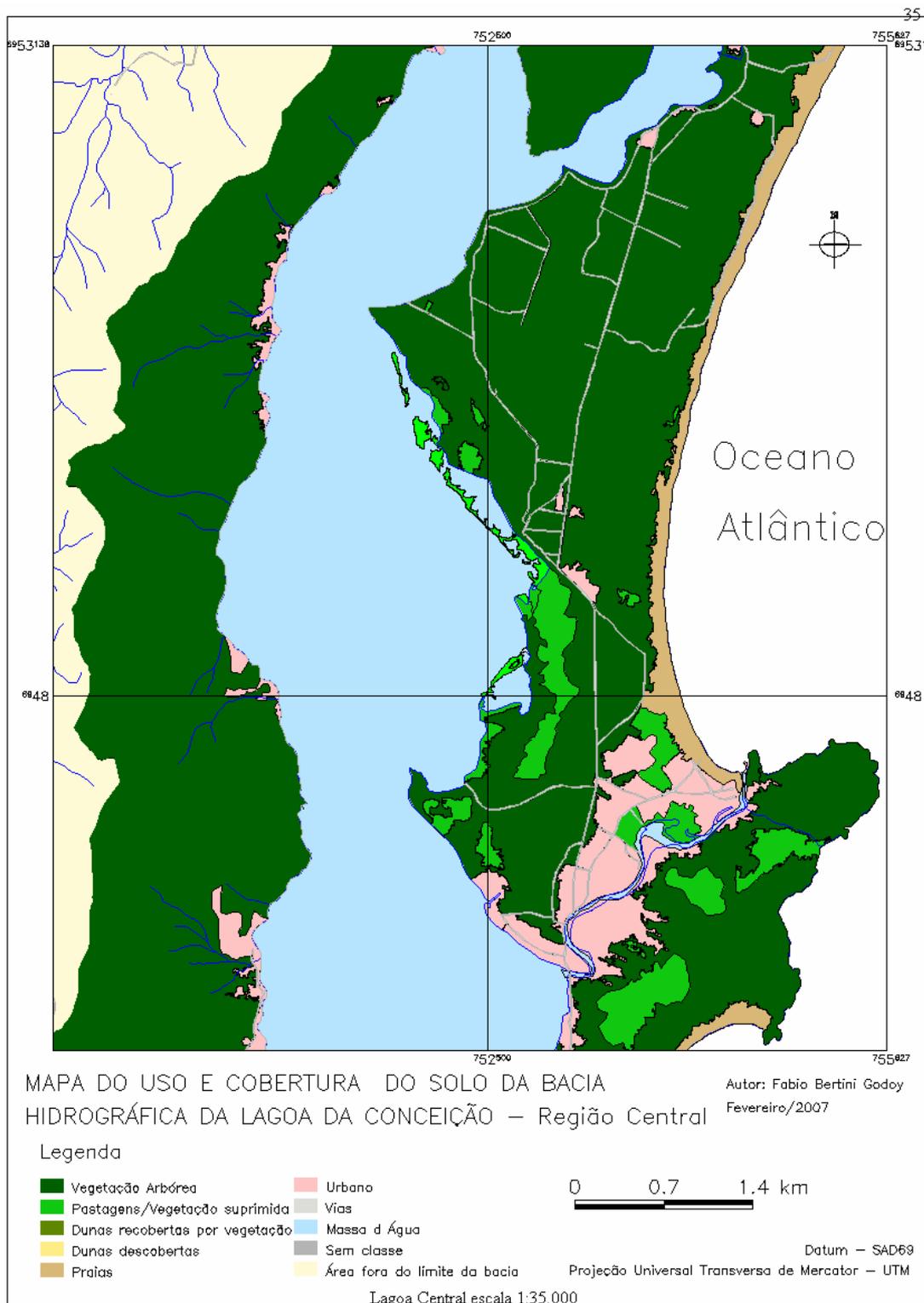
Anexo 1 – Mapa índice temático de uso e cobertura do solo da Lagoa da Conceição. (GODOY, 2007)



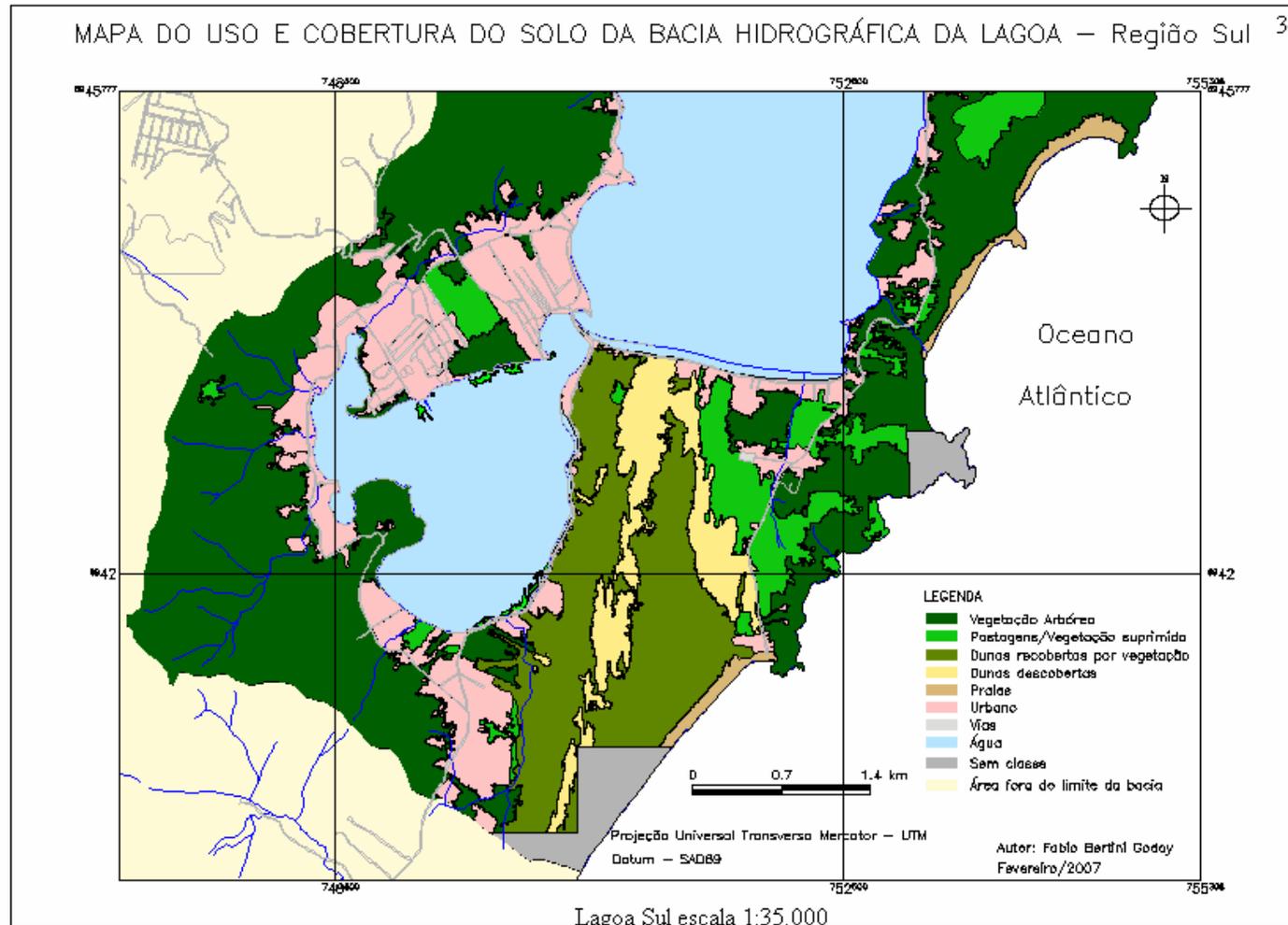
Anexo 2 – Mapa temático de uso e cobertura do solo da Lagoa da Conceição – Região Norte (GODOY, 2007).



Anexo 3 – Mapa temático de uso e cobertura do solo da Lagoa da Conceição – Região Central (GODOY, 2007).



Anexo 4 – Mapa temático de uso e cobertura do solo da Lagoa da Conceição – Região Sul (GODOY, 2007).



Anexo 5 – Carta imagem realizada a partir de fotografias áreas de 2004 (GODOY, 2007).

