

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE AVALIAÇÃO DA
CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NA BACIA DO RIO
ITAJAÍ – SC**

Priscila Dionara Krambeck Braun

BLUMENAU – SC
2007

PRISCILA D. KRAMBECK BRAUN

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE AVALIAÇÃO DA
CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NA BACIA DO RIO
ITAJAÍ – SC**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre ao Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental, Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade Regional de Blumenau - FURB.

Orientador: **Prof. Dr. Alexander C. Vibrans**

Co-orientador: **Prof. Dr. Adilson Pinheiro**

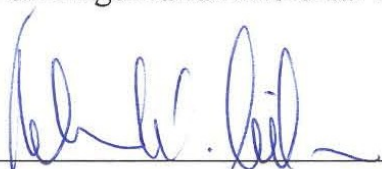
**BLUMENAU – SC
2007**

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NA BACIA DO RIO ITAJAÍ – SC

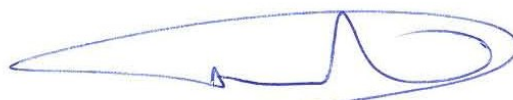
por

PRISCILA DIONARA KRAMBECK BRAUN

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Regional de Blumenau – FURB.

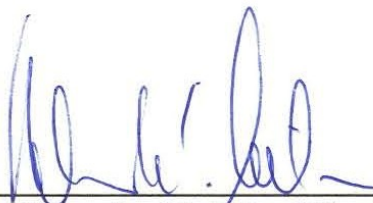


Prof. Dr. Alexander Christian Vibrans
Orientador

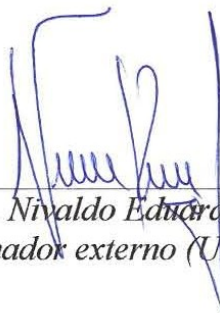


Prof. Dr. Adilson Pinheiro
Coordenador

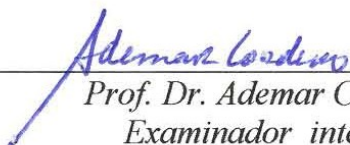
Banca examinadora:



Prof. Dr. Alexander Christian Vibrans
Presidente



Prof. Dr. Nivaldo Eduardo Rizzi
Examinador externo (UFPR)



Prof. Dr. Ademar Cordero
Examinador interno

Blumenau, 28 de maio de 2007

A meu esposo Christian, agradeço e dedico!

A minha filha Victoria dedico e lembro:
querer é poder!

A meus pais Moacir e Mary: obrigada,
simplesmente obrigada!

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Alexander C. Vibrans e ao Prof. Dr. Adilson Pinheiro pelo apoio, confiança e orientação fornecida desde a escolha do tema de pesquisa até sua conclusão.

Ao coordenador e aos professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da FURB, pelos conhecimentos transmitidos durante todo o curso. Ao Prof. Msc. Juarês Aumond e a Prof. Dra. Beate Frank, pelas suas idéias inovadoras, auxílio e incentivo, que muito ajudaram na formulação deste trabalho.

A equipe do Laboratório de Geoprocessamento da FURB, aqui representados pelo Prof. Dr. Júlio Refosco e a estagiária do Depto. de Engenharia Florestal, Débora Lingner, pela paciência e ajuda fornecida na elaboração e montagem dos mapas que fazem parte deste trabalho.

A meus colegas de curso, em especial a minha amiga Maria Amélia Pellizzetti pelo incentivo constante.

Ao Sr. Ivan Basic da EPAGRI de Florianópolis pela doação de seus conhecimentos na área de solos.

Aos meus pais Moacir e Mary Krambeck pelo incentivo e estímulo.

De forma muito especial a meu esposo Christian e a minha filha Victoria por todos os momentos em que doaram carinho, compreensão e paciência ao longo de todo curso, minha eterna gratidão.

E finalmente, agradeço a Deus por estar sempre ao meu lado confortando-me nos momentos difíceis e compartilhando dos momentos felizes.

“Nós somos a Terra, os povos, as plantas, os animais, gotas e oceanos, a respiração da floresta e o fluxo do mar (...) nós aderimos a uma responsabilidade compartilhada de proteger e restaurar a Terra para permitir o uso sábio e equitativo dos recursos naturais, assim como realizar o equilíbrio ecológico e novos valores sociais, econômicos e espirituais. Em nossa inteira diversidade, somos unidade” (A Carta da Terra – ECO 92).

RESUMO

BRAUN, Priscila Dionara Krambeck. **DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NA BACIA DO RIO ITAJAÍ – SC.** 2007. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

A bacia hidrográfica do rio Itajaí, no Estado de Santa Catarina, constitui um importante manancial para o abastecimento público, industrial e agrícola e é de extrema importância o desenvolvimento de indicadores ambientais que auxiliem no gerenciamento hídrico da região. O presente trabalho tem por objetivo fornecer um indicador (instrumento cartográfico) que possibilite identificar áreas com maior capacidade de armazenamento de água e conseqüentemente mais favoráveis à recarga de aquíferos, através da análise e do cruzamento de mapas temáticos em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG). O resultado deste trabalho visa fornecer informações que possam auxiliar na criação de políticas de proteção destas áreas, e que possibilitem um manejo mais adequado dos recursos hídricos nesta região. Para tanto, foi aplicado um modelo de análise baseado na integração de mapas temáticos em formato *raster*, com *pixels* variando de tamanho em função da grandeza do fenômeno estudado. O método aplicado possibilita a identificação de áreas de maior ou menor capacidade de armazenamento e conseqüentemente, maior ou menor potencialidade de recarga dos aquíferos da bacia. O estudo demonstrou uma diminuição significativa das áreas com maior capacidade de armazenamento, causada pela forma de ocupação e uso do solo ocorrido durante os últimos 150 anos. A categorização das diversas regiões da bacia foi verificada através de dois métodos. Eles procuram correlacionar a vazão escoada no sistema fluvial e os valores do indicador. O primeiro método relaciona as vazões específicas medidas em seções fluviométricas e o indicador medido na bacia contribuinte. O segundo método correlaciona as vazões específicas obtida por regionalização hidrológica e o indicador em cada *pixel*. Foram utilizados os mapas de vazão $Q_{7,10}$ dos estudos de regionalização do CASAN/CEAHPAR (1982) e da ANEEL/UFSC (2000).

Palavras-chave: indicador ambiental, capacidade de armazenamento, SIG, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

BRAUN, Priscila Dionara Krambeck. **DEVELOPMENT OF A MODEL OF EVALUATION OF THE WATER STORAGE CAPACITY IN THE BASIN OF ITAJAI RIVER, IN THE STATE OF SANTA CATARINA.** 2007. 162 f. Dissertation (Master's in Environmental Engineering – Post-Graduate Program in Environmental Engineering at the Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

The hydrographical basin of the Itajaí River, in the state of Santa Catarina, is an important fountainhead for the public, industrial and agricultural supply and is extremely important for the development of environment indicators that help the hydric management of the region. The present paper has as goal supplying an indicator (cartographic instrument) that allows to identify areas with a bigger capacity of water storage and consequently that is more favorable to the aquiferous reload, through the analysis and crossing of theme maps in an environment of geographical information system (SIG). The results of this paper mean to supply information that can help in the creation of protection policies of these areas, and that allow a more adequate management of the hydric resources in this region. For that, an analysis model was applied, based on the integration of theme maps in raster format, with pixels in varying sizes because of the greatness of the phenomenon studied. The method applied makes possible the identification of areas of bigger or lower potential of supplying and consequently, bigger or lower capacity of aquiferous reload of the basin. The study showed a meaningful decrease of the areas with a bigger storage capacity, caused by the way of occupation of the soil in the last 150 years. The classification of the various regions of the basin was verified through two methods. They try to correlate the discharge in the fluvial system and the values of the indicator. The first method relates the specific discharge measured in pluviometrical sections and the measured indicator in the contributing basin. The second method correlates the specific discharges obtained by hydrological regionalization and the indicator in each pixel. Discharge maps $Q_{7,10}$ of the studies of regionalization of CASAN/CEHPAR (1982) and of ANEEL/UFSC (2000).

Keywords: environmental indicator, storage capacity, GIS, remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funções hidrológicas e funções ecológicas da bacia hidrográfica.....	29
Figura 2 - A bacia hidrográfica e o sistema hidrológico.....	35
Figura 3 - Esquema das camadas de solos e o comportamento da água em subsuperfície.....	37
Figura 4 - Diferentes tipos de aquíferos.....	39
Figura 5 - Variação do nível do aquífero.....	40
Figura 6 - Hidrograma tipo.....	41
Figura 7 - Fluxograma para a estrutura de validação de indicadores.....	45
Figura 8 - Árvore de decisões que resume as possibilidades da validação de resultados para indicadores.....	48
Figura 9 - A bacia hidrográfica do rio Itajaí.....	50
Figura 10 - Mapa 01 – Rede de Drenagem.....	51
Figura 11 - Modelo de análise.....	76
Figura 12 - Fluxograma metodológico.....	84
Figura 13 - Organização hierárquica dos componentes.....	88
Figura 14 - Estudo de regionalização hídrica CASAN/CEHPAR (1982).....	92
Figura 15 - Estudo de regionalização hídrica ANEEL/UFSC (2001).....	93
Figura 16 - Tipos de molinetes.....	94
Figura 17 - Mapa 02: mapa temático base – fraturas.....	107
Figura 18 - Mapa 03: Mapa Temático Derivado – Densidade de Fraturas.....	108
Figura 19 - Mapa 04: Mapa Temático Base – Unidades Litoestratigráficas.....	110
Figura 20 - Mapa 05: Mapa Temático Derivado - Permeabilidade das Rochas.....	111
Figura 21 - Mapa 06: Mapa Temático Base – Unidades Geomorfológicas.....	113
Figura 22 - Mapa 07: Mapa Temático Derivado – Formas de Relevo quanto ao Fluxo Preferencial em Profundidade.....	114
Figura 23 - Mapa 08: Mapa Temático Base – Hipsométrico.....	116
Figura 24 - Mapa 09: Mapa Temático Derivado – Declividade.....	117
Figura 25 - Mapa 10: Mapa Temático Base – Classes de Solo.....	121
Figura 26 - Mapa 11: Mapa Temático Derivado – Potencial de Infiltração do solo.....	122
Figura 27 - Mapa 12: Mapa Temático Derivado – Potencial de Profundidade do Solo para Armazenamento.....	123

Figura 28 - Mapa 13: Mapa Temático Base – Unidades Fitofisionômicas.....	125
Figura 29 - Mapa 14: Mapa Temático Derivado – Grau de Proteção da Cobertura Vegetal Original.....	126
Figura 30 - Mapa 15: Mapa Temático Base – Unidades Homogêneas de Uso.....	128
Figura 31 - Mapa 16: Mapa Temático Derivado – Grau de Proteção dos Tipo de Usos do Solo.....	129
Figura 32 - Mapa 17: Mapa Temático Base – Índices Pluviométricos.....	131
Figura 33 - Mapa 18: Mapa Intermediário Derivado – Intensidade de Precipitação.....	132
Figura 34 - Mapa 19: Mapa Intermediário Nível I – Potencial Hidrológico do Relevo.....	135
Figura 35 - Mapa 20: Mapa Intermediário Nível I – Potencial Hidrológico do Solo	136
Figura 36 - Mapa 21: Mapa Intermediário Nível II – Potencial de Armazenamento do Meio Poroso.....	139
Figura 37 - Mapa 22: Mapa de Síntese Final – Indicador da Capacidade de Armazenamento Original da Bacia.....	141
Figura 38 - Mapa 23: Mapa de Síntese Final – Indicador da Capacidade de Armazenamento Atual da Bacia.....	143
Figura 39 - Localização dos pontos de coleta e das bacias de contribuição.....	148
Figura 40 - Correlação entre vazões específicas e o valor médio da capacidade de armazenamento nas bacias de contribuição.....	150
Figura 41 - Correlações entre as vazões médias do CEHPAR (1982) e UFSC (2000).....	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escalas e fontes de dados.....	74
Tabela 2 - Escala de valores do processo analítico hierárquico para comparação pareada.....	89
Tabela 3 - Cuidados no espessamento das medições para uma boa representatividade do perfil.....	97
Tabela 4 - Descrição do formato e tamanho dos pixels dos mapas.....	103
Tabela 5 - Relações utilizadas para a caracterização dos temas derivados e critérios para a identificação das classes.....	104
Tabela 6 - Classificação e valoração das densidades de fraturas.....	106
Tabela 7 - Classificação e valoração das unidades litoestratigráficas quanto a permeabilidade.....	109
Tabela 8 - Formas de relevo quanto ao fluxo preferencial em profundidade.....	112
Tabela 9 - Declividade das vertentes da bacia.....	115
Tabela 10 - Potencial de infiltração do solo.....	119
Tabela 11 - Potencial da profundidade para armazenamento dos solos.....	120
Tabela 12 - Grau de proteção unidades fitofisionômicas.....	124
Tabela 13 - Grau de proteção das classes de usos do solo.....	127
Tabela 14 - Classes de intensidade de precipitação.....	130
Tabela 15 - Potencial hidrológico do relevo.....	134
Tabela 16 - Potencial hidrológico dos solos.....	134
Tabela 17 - Valores para o potencial hidrológico do relevo e para o potencial hidrológico do solo.....	134
Tabela 18 - Pesos atribuídos as variáveis para obtenção do potencial de armazenamento do meio poroso.....	137
Tabela 19 - Valores do potencial de armazenamento do meio poroso.....	138
Tabela 20 - Pesos atribuídos as variáveis para obtenção da capacidade de armazenamento original bacia.....	140
Tabela 21 - Pesos atribuídos as variáveis para obtenção da capacidade de armazenamento atual da bacia.....	142
Tabela 22 - Alteração da capacidade de armazenamento da bacia, de acordo com os mapas finais.....	144
Tabela 23 - Vazões/km ² nos pontos de coleta.....	147
Tabela 24 - Valor médio dos pixels nas bacias de contribuição.....	149

Tabela 25 - Correlação entre o mapa de vazões específicas $Q_{7,10}$ da UFSC (2000), do CEAHPAR (1982) e o mapa da capacidade de armazenamento atual.....	151
Tabela 26 - Valores médios da capacidade de armazenamento e das vazões $Q_{7,10}$ por sub-bacias.....	152
Tabela 27 - Coeficientes R^2 da correlação entre o indicador de capacidade de armazenamento atual e as vazões específicas.....	152

APÊNDICES

Apêndice A - Classes de solos.....	166
Apêndice B - Seções fluviométricas nos pontos de coleta.....	188
Apêndice C - Cálculo vazões específicas nos pontos de coleta.....	190

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	18
2.2 CICLO HIDROLÓGICO	24
2.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO SISTEMAS NATURAIS	28
2.4 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	35
2.5 INDICADORES AMBIENTAIS	43
3 MATERIAIS E MÉTODO	50
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	50
3.1.1 Clima	54
3.1.2 Geologia	58
3.1.3 Geomorfologia	62
3.1.4 Solos.....	64
3.1.5 Cobertura Vegetal.....	68
3.1.6 Usos do solo	71
3.2 MATERIAIS E FONTES DE DADOS.....	73
3.3 MODELO DE ANÁLISE	75
3.4 FLUXOGRAMA METODOLÓGICO	82
3.5 VALIDAÇÃO DO INDICADOR.....	90
3.5.1 Medições de Vazões	94
3.5.2 Correlação entre vazão e o valor do indicador	97
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	101
4.1 ELEMENTO ROCHAS.....	105
4.2 ELEMENTO SOLOS.....	118
4.3 ELEMENTO VEGETAÇÃO.....	124
4.4 ELEMENTO USOS DA TERRA.....	127
4.5 ELEMENTO PRECIPITAÇÃO	129
4.6 MAPAS INTERMEDIÁRIOS	133
4.7 INDICADORES DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO	140
4.7.1 Indicador da Capacidade de Armazenamento Original da Bacia (Mapa 21) ..	140
4.7.2 Indicador da Capacidade de Armazenamento Atual da Bacia (Mapa 22)	142
4.7.3 Alteração da Capacidade de Armazenamento de Água	144
4.8 VALIDAÇÃO DO INDICADOR	146
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	155
6 REFERÊNCIAS	158
7 APÊNDICES.....	165

1 INTRODUÇÃO

Na última década o desenvolvimento de indicadores ambientais no plano nacional, regional, local ou em campo tornou-se procedimento corrente, visando o estabelecimento de ferramentas de avaliação e auxílio a tomada de decisão. Essas ferramentas são um pré-requisito para a implementação de uma concepção de sustentabilidade, especialmente no que se refere ao seu componente ambiental (HANSEN, 1996 apud BOCKSTALLER e GIRARDIN, 2000). O uso de indicadores para enfrentar esse desafio pode ser explicado pela impossibilidade de realizar medições diretas em muitos programas de monitoramento, devido a problemas metodológicos ou a questões práticas como custos e tempo e devido à falta de viabilidade de muitos modelos de simulação que foram desenvolvidos como uma alternativa para as medições diretas.

A bacia hidrográfica do rio Itajaí, no Estado de Santa Catarina, constitui um importante manancial para o abastecimento público, industrial e agrícola. Ela conta com um sistema de gestão dos recursos hídricos, representado pelo Comitê de gerenciamento e a Agência de águas. O desenvolvimento de indicadores ambientais que auxiliem no gerenciamento dos recursos hídricos da região é de extrema importância.

Na bacia do Itajaí, a cobertura vegetal atual não é homogênea nem contínua. Ela forma uma espécie de “colcha de retalhos”, composta por fragmentos florestais pouco influenciadas pela atividade humana (florestas primárias intocadas) e por remanescentes explorados e alterados de forma mais ou menos intensiva (florestas primárias alteradas) (VIBRANS, 2006). Além destes, são importantes as formações

florestais secundárias surgidas após um desmatamento, com ou sem uso agrícola, de idade e estado de desenvolvimento diverso, entremeado por lavouras, pastagens, reflorestamentos e áreas urbanas (VIBRANS, 2006).

Estas coberturas vegetais tão heterogêneas estão assentadas em 06 unidades geomorfológicas: Planalto Cristalino, Serras Litorâneas, Planalto Sedimentar, Planalto de Lages, Planalto Basáltico e Planícies Costeiras, sobre os quais assentam-se principalmente quatro grupos de solos: os Cambissolos, que compreendem solos minerais não hidromórficos, com horizonte B incipiente bastante heterogêneo, tanto no que se refere à cor espessura e textura, tanto no que diz respeito à atividade química da fração argila e saturação por bases; os Argissolos, que têm origem na grande acumulação de argila no horizonte B e que têm na presença do gradiente hidráulico a principal limitação; os Gleissolos que compreendem solos minerais, hidromórficos, pouco desenvolvidos, são caracterizados pela forte gleização, em decorrência do regime de umidade redutor e são formados de sedimentos recentes, e os Organossolos, compreendem solos hidromórficos que apresentam apreciáveis teores de compostos orgânicos, em grau variável de decomposição, formando camadas acumuladas em ambiente palustre, de coloração escura devido aos altos graus de carbono Orgânico, assente sobre camada mineral de textura e composição variável.

Seus recursos hídricos, considerados abundantes, sempre supriram as demandas da população estabelecida. No entanto, com o longo período de estiagem a que foi submetida nos últimos anos, problemas de disponibilidade de água foram sentidos e em áreas de elevada demanda de água para a agricultura surgiram conflitos pelo uso da água.

Devido ao processo de desenvolvimento implantado no Estado, especificamente na região de abrangência da bacia hidrográfica do Itajaí, ocorreram modificações no padrão de ocupação das terras da bacia e intensificação do uso dos seus recursos em função das oportunidades e expectativas geradas pelo modelo de desenvolvimento econômico (FRANK, 1995).

As classes de uso da terra da categoria natural passaram a ser substituídas pelas de categoria antrópica, a demanda pelos recursos hídricos diversificou e aumentou, assim como advieram impactos devido à modificação das componentes e processos dos sistemas bacias hidrográficas, criando um quadro de incertezas quanto ao atendimento das demandas atual e futura e quanto aos aspectos de proteção ambiental.

Neste contexto de crescente necessidade de indicadores ambientais, substituição das classes de uso natural pelas de uso antrópico, incertezas de atendimento de demandas, estruturação da gestão do recurso água, geração de conhecimentos e da abordagem sistêmica, é que se insere este trabalho, ao tratar do processo de armazenamento subterrâneo (freática) de água no âmbito da dinâmica de atenuação dos eventos de estiagem e do uso dos recursos naturais na Bacia Hidrográfica do Itajaí com os tipos de usos do solo. A premissa é a de que os usos da terra, ao modificarem as componentes e processos hidrológicos, bem como as características de porosidade e permeabilidade dos solos e rochas, interferem na capacidade de armazenagem das águas subterrâneas (freáticas).

1.1 OBJETIVOS

O trabalho proposto tem como objetivo geral estruturar um indicador que auxilie a identificar as áreas mais favoráveis ao armazenamento de águas subterrâneas na bacia do Itajaí.

Tem por objetivos específicos:

- Avaliar a influência de variáveis físicas e do uso e ocupação do solo sobre o armazenamento dos recursos hídricos subterrâneos;
- Propor um modelo adaptado do modelo proposto por Chiaranda (2002), para as condições locais, baseados em novas variáveis e parâmetros;

1.2 JUSTIFICATIVA

Um aquífero possui duas funções: uma de armazenar água e uma de transmitir água. A função de armazenamento depende da porosidade e do volume da camada aquífera, enquanto que a capacidade de transmitir água depende da transmissividade entre as áreas de recarga e de descarga. A velocidade de transmissão de água depende da condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico. Em geral as velocidades naturais da água subterrânea são pequenas, da ordem de poucos metros por dia, o que acarreta em uma descarga lenta e não uniforme do reservatório subterrâneo. O fluxo de água subterrâneo é, também um processo

laminar e o tempo de residência da água subterrânea no subsolo é muito alto, esta estimado em 280 anos segundo Lvolitch (1970), com alguma água residindo em aquíferos profundos por um tempo tão longo que pode chegar a 30.000 anos ou mais (Pearson e White, 1967). Isto significa que um aquífero uma vez poluído pode levar séculos ou mais tempo, até que consiga promover uma autodescontaminação através de mecanismos de fluxo natural. Sendo assim, para que se faça o uso sustentável e a proteção das águas subterrâneas é importante identificar as áreas com maior potencial de armazenamento de água freática e conseqüentemente recarga dos aquíferos.

Em regiões, de muita chuva, toda a área de uma bacia hidrográfica é potencialmente uma área de recarga, sendo que os pontos principais são os locais de maior capacidade de infiltração e os afloramentos de camadas mais permeáveis. Nas regiões semi-áridas geralmente as áreas de recarga são os riachos intermitentes que se formam nos vales nos períodos chuvosos do ano. A conservação das áreas de maior capacidade de armazenamento de águas subterrâneas é essencial para garantir a reposição da água e recuperação dos níveis dos lençóis subterrâneos, como também para evitar percolação de poluentes que venha a degradar a água do aquífero.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

De forma simplificada a gestão de recursos hídricos pode ser definida como o conjunto de ações destinadas a regular o uso, o controle e a proteção dos recursos hídricos, em conformidade com a legislação e normas pertinentes. Os instrumentos de gestão dos recursos hídricos podem ser classificados em 4 categorias principais: instrumentos legais, institucionais e de articulação com a sociedade; instrumentos de planejamento; instrumentos de informação e instrumentos operacionais (SILVA e PRUSKI, 1993).

Os instrumentos legais, institucionais e de articulação com a sociedade compreendem o arcabouço legal (leis, decretos, portarias, resoluções); órgão gestor; conselhos de recursos hídricos; sistema de gestão; comitês de bacias; agências de bacias; associações de usuários de água; campanhas educativas; e mobilização social e comunitária. Os instrumentos de planejamento abrangem os planos estaduais de recursos hídricos; planos de bacias; enquadramento de cursos d'água; modelos matemáticos de qualidade e de fluxos (simulação); e programas de economia e uso racional de água. Os Instrumentos de Informação, por sua vez, abrangem os sistemas de informação; redes de monitoramento quantitativo e qualitativo de água; redes hidro-meteorológicas; cadastros de usuários de água; cadastros de infra-estrutura hídrica; e sistemas de suporte à decisão. Já os Instrumentos Operacionais englobam a outorga de água; licença para obra hídrica;

cobrança; fiscalização dos usos da água; operação de obras de uso múltiplo; manutenção e conservação de obras hídricas; proteção de mananciais; e controle de eventos críticos, entre outros (SILVA e PRUSKI, 1993).

Levando-se em conta a abordagem sistêmica, várias ferramentas têm sido utilizadas para auxiliar no gerenciamento dos recursos hídricos, dentre elas, podemos citar as previsões climatológicas, os modelos de previsão climática e os modelos hidrológicos. Os modelos de previsão climática, associados a modelos hidrológicos são ferramentas essenciais para a boa gestão de recursos hídricos e devem ser desenvolvidos para permitir uma maior acurácia das informações (MENESCAL et al., 2003).

Na luta da humanidade contra o caos e o aumento da entropia, a Gestão dos Recursos Hídricos aliada aos instrumentos e ferramentas de gestão, bem como à melhoria dos modelos é capaz de propiciar informações suficientes para que os efeitos das variações no regime hídrico tornem-se melhor mensurados e previsíveis (MENESCAL et al., 2003).

Huebert et al. (2002) afirmam que no Brasil, a gestão dos recursos hídricos, durante muitos anos foi feita de forma tímida, até mesma relegada a 2º plano, pois era necessário assegurar a infra-estrutura necessária ao desenvolvimento do país. À medida que o país foi crescendo começaram a surgir problemas relativos às utilizações dos recursos hídricas, já que os usos da água cresceram e diversificaram.

A primeira experiência brasileira na gestão de recursos hídricos deu-se na década de 30 e estava vinculada à questão agrícola. Em 1933, foi criada a Diretoria de Águas, denominada posteriormente de Serviço de Águas, vinculada ao Ministério da Agricultura. Logo em seguida, em 1934, esse serviço foi transferido para a

estrutura do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM), quando é editado o Código de Águas, até hoje em vigor. O Código de Águas, como outros instrumentos legais que disciplinam as atividades do setor, foi criado a partir de um modelo de gerenciamento de águas orientado por tipos de uso, denominado modelo burocrático (SILVA E PRUSKI, 1993).

Nessa fase, a administração pública tinha como objetivo principal cumprir e fazer cumprir os dispositivos legais sobre águas. Havia extensa legislação a ser obedecida, relativa a concessões e autorizações de uso, licenciamento de obras, ações de fiscalização, interdição e multa, etc. O processo de gestão era fragmentado e o desempenho estava restrito ao cumprimento de normas. Havia dificuldade de adaptação a mudanças internas ou externas, centralização do poder decisório, excesso de formalismo e pouca importância era dada ao ambiente externo. A inadequação desse modelo de gestão tinha como consequência o agravamento dos conflitos de uso e de proteção das águas e a realimentação do processo de elaboração de novos instrumentos para reforçar o esquema legal. Ao final, tinha-se um vasto conjunto de leis e normas, muitas vezes conflitantes e de difícil interpretação (SILVA E PRUSKI, 1993).

Segundo Bohn (2003) a segunda etapa da gestão dos recursos hídricos brasileiros é denominada modelo econômico-financeiro e caracterizou-se pelo uso de instrumentos econômicos e financeiros, por parte do poder público, para a promoção do desenvolvimento nacional ou regional, além de induzir à obediência das normas legais vigentes. O modelo econômico-financeiro foi marcado, em geral, por duas diretrizes: 1) as prioridades setoriais do governo, constituídas pelos programas de investimento em setores usuários de água como irrigação, geração de energia, saneamento etc., e 2) o desenvolvimento integral (multisetorial) da bacia

hidrográfica - uma diretriz mais difícil de ser aplicada, pois as superintendências de bacia ficavam vinculadas a ministério ou secretaria estadual setorial, com atribuições limitadas ao segmento específico de atuação.

A principal deficiência do modelo econômico-financeiro era sua necessidade de criar um grande sistema para compatibilizar as ações temporais e as espaciais de uso e proteção das águas. Na prática, foram criados sistemas parciais que acabaram privilegiando determinados setores usuários de água, ocorrendo até uma apropriação perdulária por parte de certos segmentos. Ao final, sem conseguir alcançar a utilização social e economicamente ótima da água, tinha-se a geração de conflitos entre os setores e até intra-setores, na mesma intensidade do modelo burocrático de gestão. Vale salientar que, apesar de apresentar deficiências, o modelo econômico-financeiro permitia, ao menos, a realização do planejamento estratégico da bacia e a canalização de recursos financeiros para a implantação dos investimentos planejados (BOHN, 2003).

Durante a década de 70, foram efetuados estudos sobre o aproveitamento múltiplo de cursos d'água e bacias hidrográficas e passaram a ser exigidos sistemas de tratamento de efluentes em investimentos que necessitavam de recursos hídricos para produção. A partir dos anos 80, começaram as discussões em torno dos pontos críticos da gestão dos recursos hídricos na Brasil. Verificava-se que o setor de energia era o único que criava demanda por regulação e, em consequência, assumia o papel de gestor dos recursos hídricos, pois detinha todas as informações disponíveis sobre a água (SILVA E PRUSKI, 1993).

Em 1984, o DNAEE finalizou o diagnóstico sobre as bacias hidrográficas e foi criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Também no início dos anos 80, alguns comitês de bacia, a exemplo do Paranapanema, Paraíba do Sul e

Doce, começaram a evoluir. Através da Resolução 04/1986, atual 357/2006, o CONAMA estabeleceu a classificação das águas doces, salobras e salinas, em todo o território brasileiro, em nove classes, segundo seus usos preponderantes (BOHN, 2003).

A partir da promulgação da Constituição de 1988, foram criadas as condições para que se inicie a terceira etapa da gestão de recursos hídricos, denominado modelo sistêmico de integração participativa.

A principal diferença entre o modelo econômico-financeiro e o sistêmico de integração participativa é que o segundo, além de examinar o crescimento econômico, também verifica a equidade social e o equilíbrio ambiental. A integração desses objetivos deve dar-se na forma de uma negociação social, no âmbito da unidade de planejamento da bacia hidrográfica.

Após um longo período de maturação, a Lei N° 9.433 de 09 de janeiro de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e regulamentou alguns princípios, sendo os principais: a água é um recurso natural limitado, bem de domínio público e dotado de valor econômico; a gestão de recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos; a gestão de recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a Participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Além disso, instituiu os Planos de Recursos Hídricos como instrumento para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Os Planos de Recursos Hídricos são Planos de longo prazo e são elaborados por bacia hidrográfica, Estado e País (BOHN, 2003).

Da mesma forma que Silva e Pruski (1993), Jardins e Lanna (2003) afirmam que a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos e dos Planos Estaduais

vigentes neste contexto reforça a necessidade de um enfoque atualizado para as questões ligadas à Gestão da Água. A abordagem dos problemas na área em questão deve recorrer a outros meios de análise, além da tradicional análise custo-benefício, que foi largamente utilizada e aceita até meados dos anos 70. Devem ser levados em consideração os aspectos ambientais, estéticos, culturais e de bem estar social, além da abordagem estritamente econômica.

De forma a abordar todos estes aspectos, Jardins e Lanna (2003) sugerem a utilização da abordagem de análise sistêmica ou multiobjetiva, que permite a inclusão de aspectos de difícil mensuração, através de escalas e medidas adequadas para cada uma das novas variáveis. Tratam-se em geral de técnicas baseadas na modelagem matemática e na análise matricial, com forte apoio dos avançados recursos computacionais disponíveis.

As técnicas de análise sistêmica ou multiobjetiva são recentes, com desenvolvimento conceitual a partir de 1970 e experiências concretas nos últimos vinte anos. Essas técnicas caracterizam-se pela complexidade e pela controvérsia sob determinados aspectos, principalmente na fase inicial de desenvolvimento, mas tem demonstrado sua validade em muitas situações, como meio importante de apoio à tomada de decisões na área dos recursos hídricos (JARDINS e LANNA, 2003).

De forma muito objetiva, Porto e Azevedo (1998) esclarecem que a idéia central das técnicas de análise sistêmica é permitir que cada um dos participantes avalie as conseqüências da implementação de suas idéias, com o auxílio de modelos com razoável nível de aceitação, a partir de uma base comum de informações.

Bollmann e Marques (2001), afirmam que as práticas de mensuração da influência das atividades antrópicas no meio são controversas e raramente

conseguem realizar ligações diretas entre a sócio-economia e os fatores ambientais. Entretanto, a ação de medir, é um instrumento indispensável para operacionalizar a implementação de políticas que direcionam o desenvolvimento humano, pois auxilia na tarefa de conceitualizar objetivos, estudar alternativas, fazer escolhas e ajusta dinamicamente às políticas e objetivos, baseando-se na avaliação de seu estado atual.

Mesmo que os valores absolutos, obtidos como resultado da aplicação deste ou daquele índice ou indicador possam ser contestados, os benefícios da análise destes resultados não podem ser negados, desde que se conheçam as limitações intrínsecas à medição efetuada (BOLLMANN E MARQUES, 2001).

Tanto no que tange aos aspectos sociais, econômicos ou culturais, como no caso ambiental, existe uma infinidade de indicadores que podem ser utilizados para os mais diversos fins. Somente a aplicação contínua de métodos de indicação da qualidade ambiental permitirá uma análise científica da evolução dos padrões de ocupação do solo e suas relações com a qualidade ambiental (BOLLMANN E MARQUES, 2001).

2.2 CICLO HIDROLÓGICO

O movimento da água da superfície, do subterrâneo e da vegetação para a atmosfera e de volta para a terra sob a forma de precipitação define a trajetória do ciclo hidrológico. O ciclo é o processo natural de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamento superficial, infiltração, percolação da água no

solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes. O ciclo hidrológico pode ser descrito a partir do vapor de água presente na atmosfera, o qual em determinadas condições meteorológicas condensa e forma as microgotículas de água que, em razão da turbulência natural, se mantêm suspensas no ar. O agrupamento das microgotículas forma um aerossol que é representado pelas nuvens (CASTILHO JR., 2003).

O ciclo da água no globo é acionado pela energia solar. Esse ciclo retira água dos oceanos através da evaporação da superfície do mar e da superfície terrestre. Anualmente cerca de $5,5 \times 10^6 \text{ km}^3$ de água é evaporada, utilizando 36% de toda a energia solar absorvida pela terra, cerca de $1,4 \cdot 10^{22}$ Joules por ano (IGBP, 1993). Essa água entra no sistema de circulação geral da atmosfera, que depende das diferenças de absorção de energia (transformação em calor) e da reflectância entre os trópicos e as regiões de maior latitude, como as áreas polares. O sistema de circulação da atmosfera é extremamente dinâmico e não-linear, dificultando sua previsão quantitativa. Esse sistema cria condições de precipitação pelo resfriamento do ar úmido que forma as nuvens, gerando precipitação na forma de chuva e neve (entre outros) sobre os mares e a superfície terrestre. O fluxo sobre a superfície terrestre é positivo (precipitação menos evaporação), resultando nas vazões dos rios em direção aos oceanos. O fluxo vertical dos oceanos é negativo, com maior evaporação do que precipitação. O volume evaporado adicional se desloca para os continentes através do sistema de circulação da atmosfera e precipita, fechando o ciclo. Em média, a água importada dos oceanos é reciclada cerca de 2,7 vezes sobre a terra através do processo precipitação – evaporação, antes de escoar de volta para os oceanos (IGBP, 1993). Esse ciclo utiliza a dinâmica da atmosfera e os grandes reservatórios de água, que são os oceanos ($1.350 \times 10^6 \text{ km}^3$), as geleiras

($25 \times 10^6 \text{ km}^3$) e os aquíferos ($8,4 \times 10^6 \text{ km}^3$). Os rios e lagos, biosfera e atmosfera possuem volumes insignificantes se comparados com os anteriores (TUCCI, 2004).

Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo: um vertical e outro longitudinal. O vertical é representado pelos processos de precipitação e evapotranspiração e o longitudinal pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo) (TUCCI, 1997).

Os parâmetros do balanço hídrico podem ser assim resumidos:

- Precipitação: em hidrologia, a precipitação é entendida como toda água que provém do meio atmosférico e atinge a superfície terrestre (TUCCI, 2004). Diferentes formas de precipitação são: neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve, formas que se diferenciam em função do estado em que a água se encontra. A formação das precipitações está ligada à ascensão das massas de ar. A movimentação das massas depende de fatores como a convecção térmica, o relevo e a ação frontal da massa (PINTO et al., 2001).

- Evaporação: o processo de evaporação é definido como a taxa de transferência para a atmosfera, da fase líquida para a fase de vapor, da água contida em um reservatório natural qualquer ou em um domínio definido na escala experimental (RAMOS et al., 1989). A evaporação da água para a atmosfera depende de vários fatores, dentre os quais, as condições climatológicas e de relevo, a umidade, a velocidade do vento, a disponibilidade de água e energia, a vegetação e as características do solo (TUCCI, 2004).

- Escoamento superficial: o escoamento superficial representa a parte do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas de superfície da Terra

(PINTO et al., 2001). Conhecido também sob a denominação de deflúvio superficial é a lamina de água formada pelo excesso de chuva que não é infiltrado no solo e que se acumula inicialmente nas pequenas depressões do micro relevo. O escoamento superficial sobre o solo saturado é formado por pequenos filetes de água que em razão da gravidade esta escoando para os pontos mais baixos do solo. Se a água que escoar pela superfície encontra uma superfície de solo não saturado pode se infiltrar novamente. Vários fatores podem afetar o processo de escoamento superficial, e os principais seriam a declividade do terreno e as características de infiltração do solo.

- Infiltração: o processo de infiltração é definido como o fenômeno de penetração da água nas camadas do solo, movendo-se impulsionada pela gravidade para as cotas mais baixas, através dos vazios, até atingir uma camada suporte, formando a água de solo (PINTO et al., 2001).

- Evapotranspiração: o processo de evapotranspiração representa a soma total de água de superfície que retorna à atmosfera (solo, gelo, neve e vegetação). É a soma entre o processo de evaporação e de transpiração. O processo de transpiração é influenciado pelos seguintes fatores ambientais: estação, temperatura, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. As estações do ano associadas às condições solares afetam a temperatura das folhas das plantas e, conseqüentemente, o processo de transpiração (TUCCI, 2004).

2.3 BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO SISTEMAS NATURAIS

Segundo a teoria dos sistemas, estruturalmente, as bacias hidrográficas são sistemas em seqüência, por serem compostas por uma cadeia de subsistemas inter-relacionados por fluxos de energia e de matéria, no qual o fluxo de saída de um corresponde ao fluxo de entrada de outro. Do ponto de vista funcional são sistemas não isolados e abertos já que mantém relações com outros sistemas e efetuam trocas constantes de matéria e energia, através de seus respectivos ambientes de entrada e de saída. As bacias hidrográficas apresentam como principais componentes estruturais, rochas, relevo, solos, rede de drenagem, flora e fauna, e que podem, por si, constituírem-se em sistemas específicos ou subsistemas. A organização interna das bacias hidrográficas influencia as relações de entrada e de saída. Mudanças externas no suprimento de energia e de massa levam a um auto-ajuste dos componentes e dos processos, pois um membro do sistema pode influenciar todos os demais e cada um é influenciado por todos os outros (COELHO NETO, 1998). As bacias apresentam propriedades que diferem da soma das propriedades de seus componentes.

Em termos hidrológicos, as bacias hidrográficas são áreas topograficamente definidas, que proporcionam fluxos de água para suas redes de drenagem, de forma que a vazão efluente é descarregada através de uma única saída, cujo comportamento depende de suas características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de vegetação, assim como das características incidentes. As bacias hidrográficas dependem principalmente da existência de componentes de

armazenamento e escoamento, assim como da existência de um sistema de drenagem definido (BLACK, 1977).

Segundo Black (1977) apud Chiaranda (2002), as bacias hidrográficas apresentam cinco funções, três hidrológicas: captação, armazenagem e descarga e duas ecológicas: meio para ocorrência de reações químicas e habitat. (Figura 1).

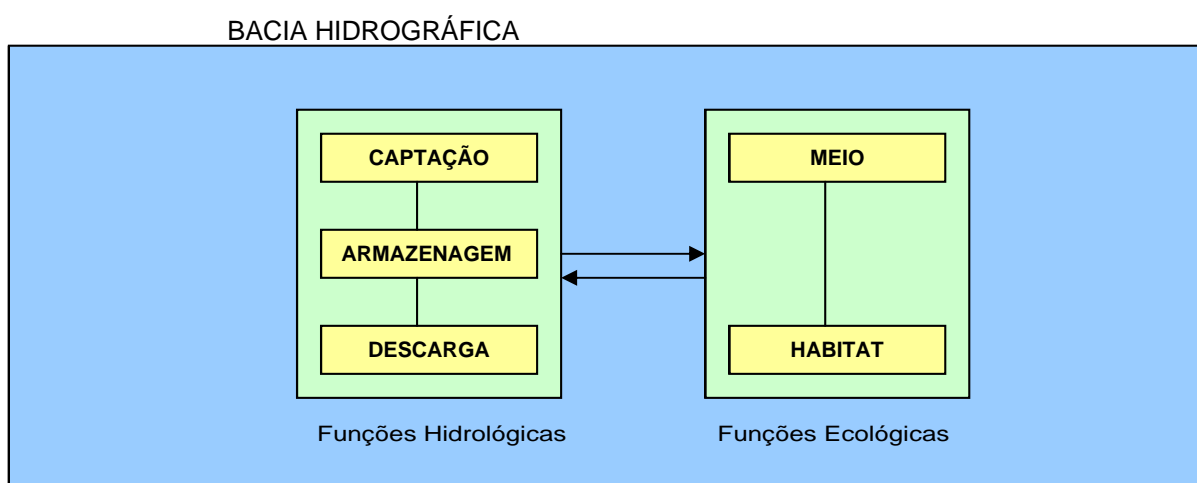


Figura 1 – Funções hidrológicas e funções ecológicas da bacia hidrográfica

FONTE: BLACK, 1977 apud CHIARANDA, 2002.

A função captação corresponde à captação das águas pela bacia hidrográfica ao longo de um dado período de tempo ou de um evento de precipitação. A quantidade de água captada depende: do posicionamento, da abrangência em relação à área da bacia, duração e intensidade da chuva, bem como do tamanho da bacia. Analisando as dependências acima mencionadas, dois problemas são particularmente relevantes em relação à captação: o primeiro é se o evento de precipitação cobre totalmente a área da bacia hidrográfica, o que proporcionaria o fluxo máximo no decorrer do período; e o segundo, refere-se à localização dos

eventos quando estes não cobrem a área total, pois nesse caso as respostas são variáveis em termos de picos de vazão (BLACK, 1977).

Estes dois problemas, juntamente com a distância de percurso, declividade, gradiente dos cursos da água, padrão de drenagem e área de influência, contribuem para a determinação do comportamento da vazão, no que diz respeito ao pico de vazão, velocidade de escoamento e tempo de concentração.

Segundo Chiaranda (2002) a área variável de contribuição, também denominada área de influência dinâmica é uma componente da rede de drenagem e tem papel importante na função de captação e na função de descarga, em relação ao comportamento da vazão. A área variável de contribuição é aquela porção do terreno limítrofe aos canais de drenagem que, devido ao seu posicionamento e características físicas do meio poroso, contribui com volumes de água na composição da vazão no decorrer de eventos de precipitação, por intermédio do escoamento direto (sub-superficial e superficial); apresenta caráter dinâmico, devido ao fato de sofrer expansões e contrações em decorrência do período de precipitação. O caráter dinâmico da área variável de contribuição torna difícil a definição de seu limite no terreno (BLACK, 1977). No entanto contrariando este princípio, O'Loughlin (1981) propõe uma metodologia de mapeamento baseada na condutividade hidráulica (porosidade e permeabilidade) dos solos, profundidade do lençol freático, escoamento sub superficial e declividade.

De acordo com as características geomorfológicas e de solos, o escoamento superficial pode tornar-se o fluxo preferencial que escorre em canais escavados e pelo sistema radicular, nos poros e na interface solo/rocha. Quando ocorre a substituição da camada vegetal original por outro tipo de uso da terra, a capacidade

de captação e o comportamento do escoamento superficial são afetados, passando a predominar, muitas vezes, o escoamento superficial como fluxo preferencial.

A função de armazenagem refere-se à minimização dos eventos de precipitação captados pela bacia, através da retenção da água nas componentes de armazenagem. As componentes segundo Hewlett (1982), são classificadas em: interceptação pela vegetação, armazenagem por retenção sub-superficial quando as águas são retidas pelas irregularidades da superfície do solo; armazenagem por retenção na manta orgânica; armazenagem nas depressões do terreno; armazenagem no solo, que pode ser dividido em armazenagem de detenção, quando a água permanece nos capilares do solo por um longo período de tempo, e em armazenagem de retenção, que ocorre quando a água fica retida por um curto espaço de tempo nos poros. Na armazenagem de retenção a água flui para fora do local de armazenagem durante as 24 horas após o evento de precipitação. Hewlett (1982) menciona mais duas componentes: a armazenagem no lençol freático, cujo volume armazenado pode permanecer na bacia durante anos; e a armazenagem nos canais de drenagem durante um determinado período de tempo.

O desempenho dessa função depende das componentes de armazenagem que se encontram na bacia e de sua distribuição, da resistência inicial à armazenagem e das condições de umidade do solo (HEWLETT, 1982). Segundo Chiaranda (2002) a umidade do solo direciona a movimentação da água no meio poroso através de: infiltração, percolação, escoamento superficial e escoamento sub-superficial e, conseqüentemente, o comportamento hidrológico. Se a camada superficial do solo encontra-se saturada, ou próxima da saturação, um novo evento de precipitação faz com que o escoamento superficial torne-se o fluxo preferencial.

Caso isto não ocorra, a água tenderá a infiltrar e percolar até que seja atingida uma condição onde o fluxo preferencial torna-se o sub-superficial.

O balanço de umidade no solo depende das características de porosidade e permeabilidade do solo e produz forte influência na função de descarga, por meio do escoamento superficial e do sub-superficial (BLACK, 1977).

Dependendo da distribuição espacial da precipitação e da proximidade dos lugares de armazenagem, o escoamento pode começar antes da saturação, assim como em bacias onde a cobertura vegetal original foi alterada, as capacidades de armazenagem e de infiltração tendem a diminuir.

A função de descarga corresponde à liberação de água para a rede de drenagem. Como a descarga está diretamente relacionada com as funções de captação e armazenagem. Ela é fortemente influenciada pelos fatores que afetam estas duas funções. O principal fator que afeta a descarga é a resistência da armazenagem em liberar água, em função das características da superfície e da sub-superfície. Essa resistência é típica dos meios de armazenagem e depende das características da rede de drenagem, da proximidade dos locais de armazenagem e das interações que ocorrem entre ambas. A eficiência da drenagem é determinada pelas características topográficas da bacia hidrográfica, tais como relevo, solos, rochas e orientação da rede de drenagem, bem como pela forma da bacia (BLACK, 1977 apud CHIARANDA, 2002).

Segundo Black (1977) as funções ecológicas descrevem as reações químicas e habitat do meio. A primeira refere-se às reações químicas que ocorrem nos diversos meios aquosos da bacia hidrográfica; tais reações proporcionam as inter-relações fundamentais que dão suporte ao conceito de homeostase, que por sua vez tem papel importante na estabilidade dos ecossistemas.

A água ao mover-se na bacia hidrográfica, através de suas três funções hidrológicas, transporta materiais com características físicas, químicas e biológicas próprias. O resultado final dessas interações é o suporte para os diversos nichos ecológicos.

A função habitat refere-se ao fornecimento de meios adequados para o suporte da vida aquática. As bacias hidrográficas são sistemas não isolados e abertos e são influenciadas por materiais que vem de outros sistemas, tais como, deposição de poeiras, cinzas, solapamentos e resíduos biológicos. A quantidade de material que adentra depende: do tamanho da bacia, proximidade dos oceanos, da elevação e da geomorfologia. Esta característica somada as características dos outros parâmetros hidrológicos, determinam a qualidade da água. Assim, a qualidade do habitat e as características bióticas variam muito, de acordo, com a cobertura vegetal original e os tipos de usos do solo (BLACK, 1977).

A resposta da combinação das cinco funções é o fluxo característico da rede de drenagem, através das quais, os materiais em suspensão ou solutos movem-se e são depositados nos locais de armazenamento. As respostas integradas das cinco funções são importantes para todos os ambientes aquáticos, pois os componentes físicos das bacias minimizam os eventos de precipitação, assim como a movimentação da água para fora dos locais de armazenagem regula a movimentação dos elementos químicos (CHIARANDA, 2002).

Estas cinco funções hidrológicas não devem ser discutidas isoladamente já que elas refletem a organização do sistema, e apresentam uma intrínseca relação.

Sendo assim, as três funções hidrológicas e as duas funções ecológicas constituem a essência da hidrologia das bacias hidrológicas e da qualidade da água.

Maidment e Mays (1988) definem o sistema bacia hidrográfica como uma estrutura ou volume no espaço, limitado por uma borda, que aceita água e outras entradas, que interagem internamente e produzem as saídas. A estrutura (escoamento) ou volume espacial (fluxo de misturas atmosféricas) compreende a totalidade de escoamento que se desenvolve através de canais, com a água passando do ponto de entrada do sistema até o ponto de saída. A delimitação é uma superfície contínua tridimensional incluindo a estrutura ou volume. O limite do sistema é determinado pelos divisores de água em torno da bacia hidrográfica, projetando-se a bacia hidrográfica a mesma divide-se verticalmente, em plano superior e plano inferior. A precipitação atmosférica é a entrada, distribuída no espaço sobre o plano superior: a foz do rio é a saída, concentrada no espaço de tomada da bacia hidrográfica. A evaporação e o escoamento fluvial podem também ser considerados como saídas.

A estrutura do sistema é o conjunto de trajetos do fluxo sobre ou através do solo e inclui os córregos tributários que se fundem eventualmente para se converterem na saída da bacia hidrográfica. Se a superfície do solo de uma bacia hidrográfica for estudada detalhadamente, o número de trajetos possíveis do fluxo torna-se enorme. Ao longo de todo o trajeto, a forma, a inclinação e a rugosidade podem mudar continuamente, de lugar para lugar, e estes fatores também podem variar no tempo, enquanto o solo torna-se saturado. Também a precipitação varia aleatoriamente no espaço e no tempo. Por causa dessas grandes complicações, não é possível descrever alguns processos hidrológicos de forma exata através das leis da física. Usando o conceito de sistema, o esforço é dirigido à construção de um modelo que represente as entradas e saídas da melhor forma possível. Não

obstante, o conhecimento do sistema físico ajuda em desenvolver um bom modelo e em verificar sua exatidão (MAIDMENT e MAYS, 1988).

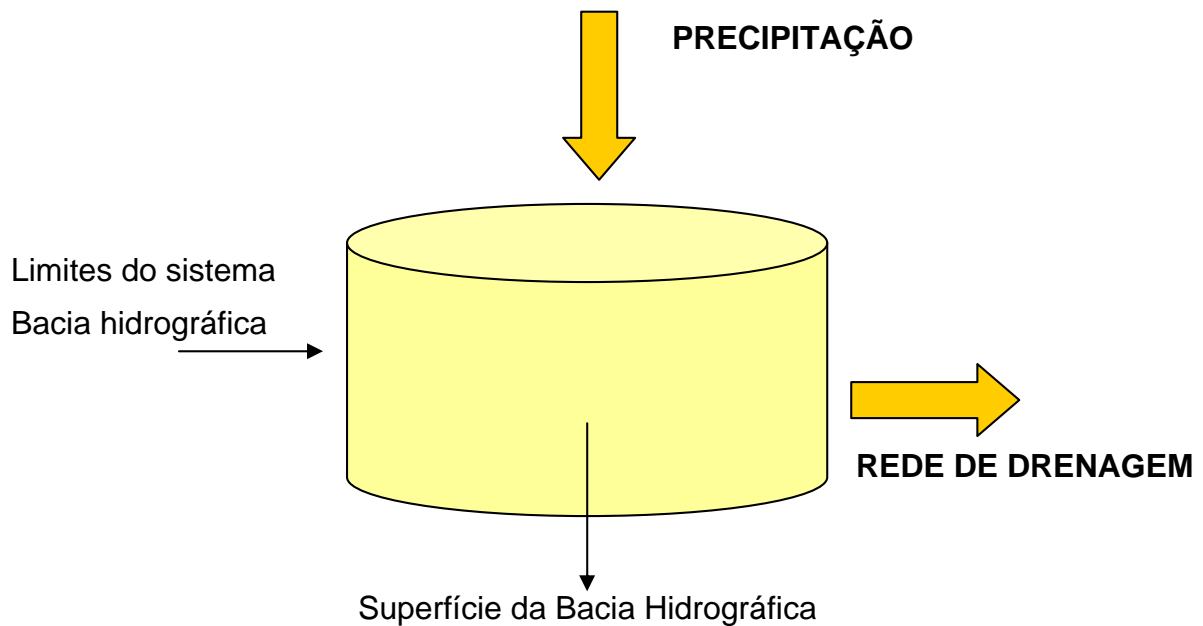


Figura 2 – A bacia hidrográfica e o sistema hidrológico.

FONTE: MAIDMENT e MAYS, 1988.

2.4 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A água subterrânea é no Brasil, assim como no mundo inteiro, uma fonte imprescindível de abastecimento de água. Mesmo em locais de clima e geologia favorável ao acúmulo de água superficial, a importância da água subterrânea emerge em períodos críticos de secas, quando os recursos superficiais não conseguem atender parcial ou totalmente à demanda.

Um aquífero é uma formação geológica com suficiente permeabilidade e porosidade interconectada para armazenar e transmitir quantidades significativas de água, sob gradientes hidráulicos naturais (RAMOS et al., 1989). Aquíferos, são, portanto, rochas ou solos saturados de água e permeáveis que permitem o fluxo de água. A capacidade de um aquífero armazenar e transmitir água depende das propriedades da água (densidade, viscosidade e compressibilidade) e das propriedades do meio poroso (porosidade, permeabilidade intrínseca e compressibilidade). Estas propriedades são responsáveis por todo o comportamento dos aquíferos (CABRAL et al., 2003).

Baseado nas características dos maciços rochosos pode-se caracterizar três tipos diferentes de aquíferos: (i) granular: a água ocupa espaços intergranulares (ou poros) de materiais considerados granulares como os solos e as rochas sedimentares; (ii) fraturas: a água ocupa fraturas e fendas abertas em rochas duras e compactas com baixíssima permeabilidade como rochas ígneas e metamórficas; (iii) cársticos: a água ocupa espaços vazios decorrentes da dissolução de porções do material original, principalmente rochas carbonáticas como calcários e mármore (CABRAL et al., 2003).

Os aquíferos são recarregados por água da chuva infiltrada e depende fortemente das médias pluviométricas de cada região. As camadas freáticas submetidas apenas aos processos naturais do ciclo hidrológico e aos balanços hidrológicos da cada região oscilam sazonalmente, aumentando em períodos de chuva e diminuindo em períodos de estiagem. As camadas aquíferas – parcialmente ou totalmente saturadas de água – podem aflorar na superfície como uma descarga natural que se processa através de fontes que são surgências do nível do lençol freático (ou piezométrico). Esse ponto marca a passagem da água de escoamento

subterrâneo para escoamento superficial (Figura 3). Antes de atingir a zona de saturação, a água, através da infiltração, passa por um processo de fluxo descendente pela zona de aeração (ou vadosa), onde uma parte dos espaços intergranulares está preenchida com água e outra parte com ar. A espessura dessa zona pode variar de menos de um metro até uma centena de metros, dependendo de diversos parâmetros do meio físico, como as características de relevos e solos, assim como as condições climáticas da região. O movimento da água em seu fluxo descendente se dá particularmente por gravidade, embora forças de pressão molecular possam impedir ou dificultar o movimento gravitacional. Esse movimento ocorre particularmente em solos de granulação muito fina como as argilas, onde a água envolve os grãos do solo (CABRAL et al., 2003).

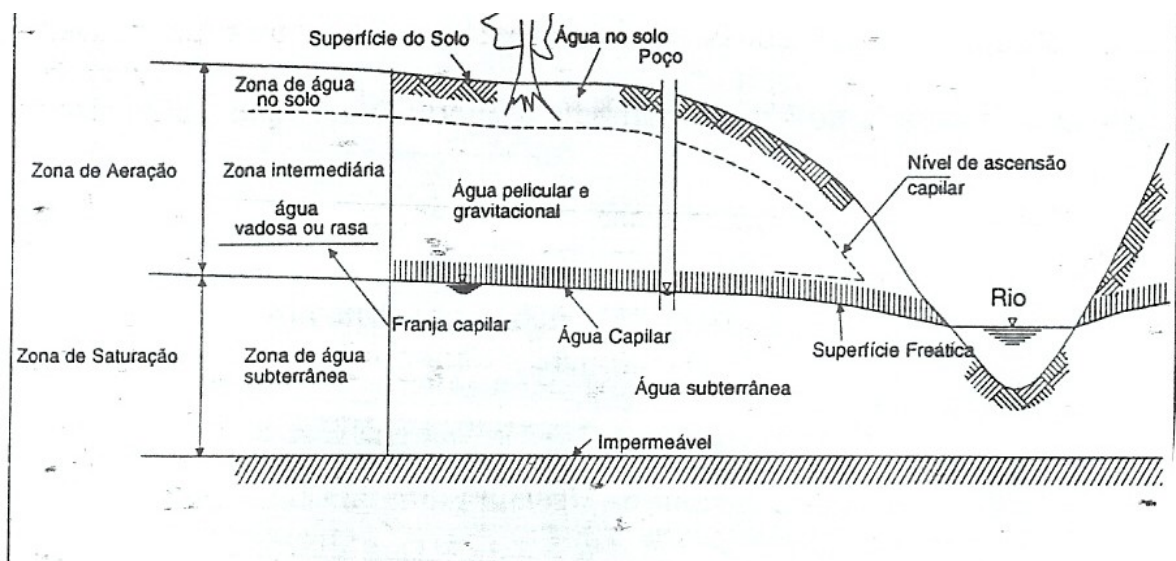


Figura 3 – Esquema das camadas de solos e o comportamento da água em sub superfície

FONTE: CABRAL et al., 2003.

Os aquíferos têm diferentes denominações conforme sua relação com as camadas não-saturadas (Figura 4). Quando conseguem aflorar na superfície são

designados de aquíferos livres ou aquíferos não confinados e o seu nível de água serve como limite superior da zona de saturação, ou seja, é limitado pelo lençol freático. Um lençol freático, também conhecido como uma superfície freática é a superfície superior da zona de saturação que está em contato direto com a pressão do ar atmosférico, através dos espaços vazios no material geológico situado logo acima (RAMOS et al., 1989).

Os aquíferos livres possuem uma maior interação com os corpos da água na superfície, como rios e lagos. Aquífero confinado, artesianos ou sob pressão é aquele em que o nível superior da água está confinado, sob pressão maior que a atmosférica, por camadas superiores relativamente impermeáveis. A superfície superior da água está submetida a pressões iguais ou inferiores à pressão atmosférica. Os aquíferos confinados encontram-se relativamente melhor protegidos da deterioração ambiental, desde que sejam atendidas algumas condições como as camadas serem relativamente impermeáveis, espessas e contínuas, e que eles não se comuniquem com os aquíferos vizinhos caso estes estejam poluídos (CABRAL et al., 2003).

Aquífero suspenso é um caso especial de aquífero não confinado que ocorre quando o volume de água subterrânea está separado da água subterrânea principal por uma camada relativamente impermeável. A água ao se infiltrar no terreno encontra um obstáculo – a superfície impermeável – que impede sua descida até o lençol freático. Normalmente aquíferos suspensos possuem uma pequena extensão com distribuição espacial restrita e com existência temporária baseada nos regimes pluviométricos (CABRAL et al., 2003).

Além do termo aquífero existem outros termos que demonstram a capacidade do meio na circulação da água: (i) Aquicludes: são materiais também porosos que

contem água nos seus interstícios muitas vezes atingindo seu grau de saturação, mas não permitindo a sua circulação. São rochas essencialmente argilosas nas quais, a água encontra-se fixada em poros de diminutas dimensões e onde a circulação é praticamente nula. (ii) Aquitardos: são estratos semipermeáveis que armazenam quantidade significativa de água no seu interior e permitem sua circulação de forma muito lenta, incluídas aqui as argilas siltosas ou arenosas. (iii) Aquifugos: são materiais impermeáveis com baixíssima porosidade que tanto não contém como não transmitem água. São incluídas neste grupo as rochas cristalinas – metamórficas ou vulcânicas – sem fraturamento ou alteração (CHIOSSI, 1973).

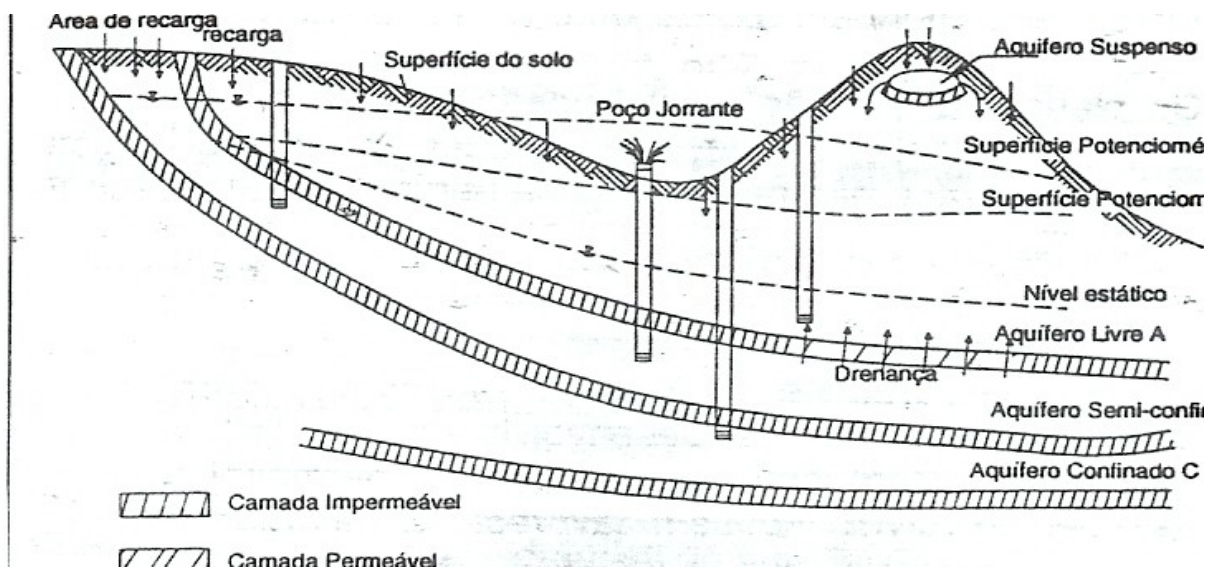


Figura 4 – Diferentes tipos de aquíferos

FONTE: CABRAL et al., 2003.

De um modo geral, a água subterrânea tem sua origem na superfície e está intimamente ligada à água superficial (RAMOS et al., 1989). A água subterrânea está sempre em movimento, partindo de áreas de recarga natural ou artificial em direção a áreas de descarga, naturais ou artificiais.

Segundo Cabral et al. (2003) a interação das águas superficiais com as subterrâneas ocorre durante as chuvas, onde uma parte do volume precipitado escoar pela superfície e outra infiltra no solo. A infiltração é o fenômeno que controla a repartição das vazões provenientes da precipitação.

A contribuição da vazão subterrânea, segundo Tucci (2004) como foi mencionado anteriormente, é influenciada pela infiltração na camada superior do solo, sua percolação e conseqüente aumento do nível do aquífero, representado na Figura 5 pela linha MN que se movimenta para TS. Como o escoamento superficial é mais rápido que o subterrâneo o nível muda de A para B. Essa rápida elevação do nível do rio, causada pelo escoamento superficial provoca a inversão de vazão ou represamento do fluxo no aquífero nas regiões próximas ao rio. Este processo começa a inverter-se quando o fluxo superficial diminui e aumenta a percolação.

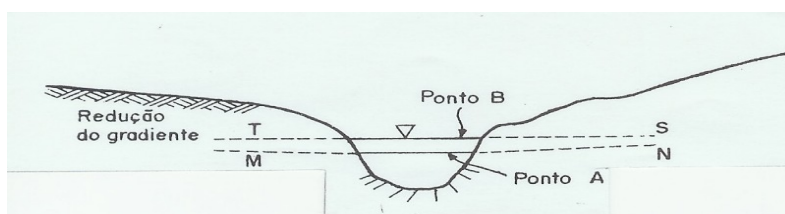


Figura 5 – Variação do nível do aquífero.

FONTE: TUCCI (2004).

A interação entre o armazenamento de água no solo e o escoamento fluvial é facilmente identificável quando as vazões são representadas graficamente na forma de um hidrograma. A distribuição da vazão no tempo, segundo Tucci (2004) é o resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica e sua representação gráfica é denominada hidrograma.

O comportamento do hidrograma de uma bacia típica, após um evento de precipitação é apresentado na Figura 6. Verifica-se que entre o início da chuva e a elevação do nível existe um intervalo de tempo, isto ocorre em função das perdas por interceptação vegetal e depressões do solo, além da demora de resposta da própria bacia, em função do deslocamento de água na mesma. Neste período o escoamento superficial é o processo predominante (TUCCI, 2004).

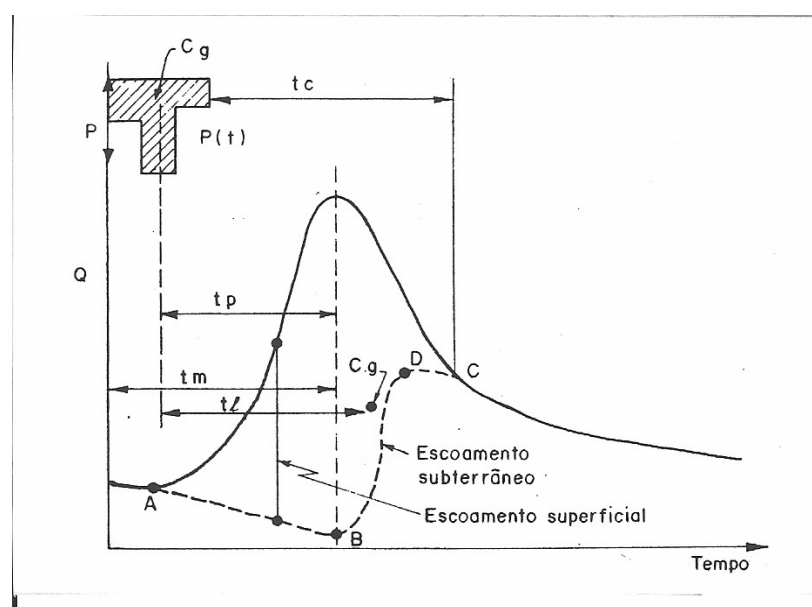


Figura 6 - Hidrograma tipo.
FONTE: Tucci (2004).

Ao observarmos o hidrograma, ele atinge o ponto máximo, de acordo com a distribuição da precipitação e em seguida ocorre a recessão, onde normalmente aparece um ponto de inflexão (Ponto C). Esse ponto pode ser definido como o limite que caracteriza o fim do escoamento superficial e o início da predominância do escoamento subterrâneo. A linha tracejada no hidrograma representa a inversão de vazão ou represamento do fluxo no aquífero logo após um evento de precipitação, mencionado anteriormente.

A forma do hidrograma depende de um grande número de fatores, os mais importantes são: relevo (densidade de drenagem, declividade do rio ou bacia, capacidade de armazenamento e forma); cobertura da bacia (tipos de uso do solo); modificações artificiais no rio; distribuição, duração e intensidade da precipitação e condições de umidade do solo. O hidrograma pode ser caracterizado por três partes principais: ascensão, altamente correlacionado com a intensidade da precipitação; região de pico, próximo ao valor máximo, quando o hidrograma começa a mudar de inflexão, resultado da redução das chuvas e/ou amortecimento da bacia. Essa região termina quando o escoamento superficial acaba, restando somente o escoamento subterrâneo; recessão, nesta fase, somente o escoamento subterrâneo está contribuindo para a vazão total do rio (TUCCI, 2004).

Os escoamentos são em geral definidos em superficial, que representa o fluxo sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais e subterrâneo que é o fluxo devido à contribuição do aquífero. Para que os escoamentos sejam analisados individualmente é necessário separar no hidrograma a parcela que corresponde a cada tipo de fluxo.

Para a determinação do ponto C existem vários critérios, dentro os quais podem ser citados: a) a equação utilizada por Linsley et al. (1975) – $N = 0,827 \cdot A^{0,2}$ onde N = tempo entre o pico do hidrograma e o tempo do ponto C, em dias e A = área da bacia em km^2 ; b) o tempo entre a última precipitação e o ponto C, que termina o escoamento superficial é o tempo de concentração, que pode ser determinado utilizando-se a equação empírica de Kirpich: $t_c = 57 \cdot (L^3 / H)^{0,385}$ onde t_c = tempo de concentração em minutos, L = comprimento do rio em Km e H = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e a seção principal; c) a inspeção visual é um dos procedimentos mais simples e se baseia na plotagem das

vazões numa escala mono-log (vazão na escala logarítmica). Como a recessão tende a seguir uma equação exponencial, numa escala logarítmica a mesma tende para uma reta. Quando ocorre modificação substancial da declividade da reta de recessão, o ponto C é identificado. Frequentemente ocorre mais de uma mudança de inclinação da reta, o que pode caracterizar segundo Tucci (2004) o escoamento subsuperficial, retardos de diferentes partes da bacia ou o efeito de diferentes camadas de aquíferos.

2.5 INDICADORES AMBIENTAIS

Um indicador é a variável que fornece informações sobre as demais variáveis que são difíceis de compreender (...) e pode ser usada como *benchmark* para a tomada de decisão” (GRAS et al., 1989). “medidas alternativas (...) nos permitem adquirir uma compreensão de um sistema complexo (...) de forma que decisões administrativas efetivas podem ser tomadas cumprindo os objetivos iniciais” (MITCHELL et al., 1995).

De forma geral as duas definições de indicador ambiental, acima mencionadas, exigem: (1) uma função informativa, para fornecer informações simplificadas sobre um sistema complexo ou um critério imensurável; (2) a função de apoio na tomada de decisão para ajudar a alcançar os objetivos iniciais.

Indicadores podem ser resultados de uma série de medições de índices calculados ou podem ser baseados em sistemas de peritos. Segundo Girardin et al. (1999), no mínimo dois tipos de indicadores podem ser diferenciados: indicadores simples resultantes de medições ou estimativas (ex. em um modelo) de uma variável indicativa e indicadores compostos que são obtidos agregando diversas variáveis ou

indicadores simples. Os indicadores não têm o objetivo de serem utilizados para realizar uma previsão de impacto real, mas para fornecer informações sobre um possível risco ou efeito (HALBERG, 1999). Indicadores podem também informar os detentores de responsabilidade política sobre o progresso que está sendo alcançado em atingir um determinado objetivo. Portanto, o papel do indicador pode ser sinalizar os movimentos positivos e negativos. Em alguns casos os indicadores são derivados de modelos de simulação para facilitar a compreensão do resultado e “encaminhar uma mensagem complexa de forma simplificada” (FISHER, 1998 apud BOCKSTALLER e GIRARDIN, 2002).

Em qualquer caso, a metodologia que fundamenta a elaboração e o desenvolvimento de indicadores deve se encaixar nos padrões científicos, o que implica em um processo de validação (GIRARDIN et al., 1999). A partir da definição do dicionário Oxford e discutida por Addiscott et al. (1995), algo pode ser considerado validado se: “estiver bem fundamentado e se alcançar seus objetivos gerais ou produzir os efeitos desejados”. O primeiro ponto da definição exige a avaliação da qualidade científica da construção ou *desing* de uma determinada ferramenta. Esta etapa é denominada “validação do *desing*” (GILMOUR, 1973 apud BOCKSTALLER e GIRARDIN, 2002). No que se refere ao segundo ponto da definição, na verdade faz parte de sua definição que os indicadores possuem uma dupla função de fornecer informação e ajudar a tomar decisões administrativas. Esses dois aspectos de indicador referem-se respectivamente a confiabilidade do resultado do indicador e a utilidade de um indicador para usuários potenciais, o que implica em “validação de resultado” e uma “validação do usuário final” (GIRARDIN et al., 1999).

Um indicador será validado se possuir um *desing* científico, se a informação que oferecer for relevante e se for útil e utilizado pelos usuários finais. Três tipos de validação de indicadores correspondem a essas três condições (Figura 7).

Definições de validação	Objetivos do indicador	Perguntas	Tipos de validação	Método
“Bem fundamentada”		Possui uma fundamentação Científica?	Validação do <i>desing</i>	* revisão por pares; * comparação de abordagens;
	Fornecimento de informações confiáveis.	Informa sobre a realidade? É realista?	Validação do resultado	* validação por comparações (ex. teste de probabilidade) * validação por um perito global;
“Alcançar os objetivos gerais” “Produzir o efeito objetivado”				
	Ferramenta de ajuda de decisões	É útil e utilizado?	Validação do usuário final.	* teste de utilidade;

Figura 7 – Fluxograma para a estrutura de validação de indicadores.

FONTE: Blockstaller e Girardin (2002).

Para indicadores, a validação de *desing* pode ser muito importante quando não existe outra possibilidade de validação como aponta Réus et al. (1990) e consiste na submissão do desenho ou construção do indicador a análise de peritos. O consenso dos peritos tem um importante significado neste tipo de validação. Já a validação dos resultados do indicador, foca na função informativa e tem por objetivo avaliar sua confiabilidade.

Em primeiro lugar é importante conhecer os limites da objetividade e do valor científico de um processo de validação. Baseado em considerações filosóficas e

lingüísticas Konikow e Bredehoeft (1992) e Addiscott et al. (1995) demonstram que a validação nunca permite a alguém comprovar a veracidade de um modelo, mas somente o inválida. Por isso, a validação esta sempre aliada a um determinado elemento de subjetividade, pois o responsável pelo desenvolvimento do modelo deve decidir que nível de probabilidade é aceitável.

No mínimo três tipos de procedimentos foram oferecidos pelos elaboradores de modelos para a implementação da validação de indicadores (MAYER E BUTLER, 1993 apud BOCKSTALLER e GIRARDIN, 2002):

1. O procedimento visual consiste na implementação de um esquema que compare a linha do tempo de um modelo com a serie de tempo dos dados medidos, ou comparando os dados observados com previsões do modelo. Esse passo visual só é útil para evidenciar possíveis tendências de um modelo.

2. O processo estatístico pode conferir mais objetividade ao teste.

3. O terceiro procedimento esta baseada no julgamento de peritos. Essa abordagem consiste da seleção de um painel de peritos no mesmo campo de interesses e de submeter o resultado dos modelos e dos dados do mundo real a eles.

A comparação de um resultado de indicador com dados medidos e o uso de testes ou variáveis descritivas é o primeiro tipo de procedimento utilizado para a validação de resultados: validação mediante comparação. Todavia dois problemas surgem neste tipo de procedimento: o tipo de resultado do indicador e a disponibilidade dos dados medidos. Em alguns casos a única possibilidade é obter uma avaliação global da qualidade do valor do indicador a partir de julgamento de peritos. Isso pode ser denominado de validação global de peritos.

Se o indicador for resultado da transformação de resultados de modelos, sua validade logicamente dependerá da validade do modelo. Alguns autores seguem a abordagem atualmente utilizada na elaboração de modelos e restringem a validação de seus indicadores a um procedimento visual baseado na comparação com os dados medidos.

Em muitos casos os indicadores diferem de um modelo de simulação e podem ser baseados em um sistema de peritos ou resultam de equações matemáticas ou um sistema de ranking ou notas qualitativas. No mais, muitos indicadores não têm o objetivo de prever um impacto real, mas sim de fornecer informações sobre um impacto potencial, como mencionado anteriormente. Devido a todas essas diferenças com modelos de simulação é obvio que não se pode esperar uma relação linear entre o resultado do indicador e dados de campo. Levando em conta essas considerações, Girardin et al. (1999) sugeriu um teste de probabilidade que pode ser comparado ao teste gráfico apresentado por Mitchell (1997). O teste consiste da definição de uma “área de probabilidade” em uma figura que representa o indicador em relação às medições em campo no teste, se essa área de probabilidade inclui no mínimo 95% dos pontos, esse é o nível de aceitação recomendado por Mitchell e Sheehy (1997). A definição da área de probabilidade depende do método de cálculo do indicador e da precisão das medições.

Um segundo problema básico para implementar uma comparação direta com os dados medidos é a falta de dados observados disponíveis por razões distintas: a impossibilidade de medi-los (por exemplo, para indicadores de sustentabilidade e biodiversidade), problemas de custos como, por exemplo, de pesticidas, etc. Nesse caso podem ser utilizados os dados de outra fonte que não provenham de medições ou observações. A solução poderia ser o relacionamento dos resultados do indicador

com resultados obtidos no modelo de simulações que deverão ser validados. Se os indicadores a priori não puderem ser relacionados aos dados ambientais observados ou medidos, pode-se recorrer a outros procedimentos. Um é a comparação do resultado do indicador com o de outros indicadores com o mesmo objetivo, mas construídos de forma diferente. Se os indicadores não oferecerem a mesma resposta é necessária uma análise da construção de cada um para identificar o motivo da discrepância e qual poderá estar “errado” (BOCKSTALLER e GIRARDIN, 2002).

Se esses métodos não forem possíveis, a última saída é o julgamento de peritos: resultados de um indicador podem ser submetidos a um painel de peritos que avaliam a sua relevância. A Figura 8 apresenta uma árvore de decisões que resume as possibilidades da validação de resultados para indicadores.

O indicador esta baseada em um modelo de simulação?				
Não		Sim		
Espera-se uma relação linear ou não linear entre o indicador e um efeito ambiental?		Há dados medidos ou observados disponíveis?		
Não	Sim	Não	Sim	
Há dados disponíveis?	Há dados disponíveis?			
Sim	Não	Sim	Não	Sim
Teste de possibilidade baseado em dados observados e outros tipos de dados	Validação por peritos globais	Comparação gráfica com dados observados e outros tipos de dados.	Validação por peritos globais	Validação por comparação com dados simulados ou dados de peritos ou comprando com resultados de outros indicadores.

Figura 8 – Arvore de decisões que resume as possibilidades da validação de resultados para indicadores.

FONTE: Blockstaller e Girardin (2002).

A última parte da validação consiste na “validação da utilidade final”. Essa parte da validação verifica a utilidade de um indicador como *benchmark* para a tomada de decisão. Para apreciar melhor a qualidade de um indicador Girardin et al.

(1999) sugerem um “teste de utilidade” para obter as opiniões dos usuários finais. Por meio da pesquisa os usuários podem apontar os pontos fracos do indicador como ferramenta de diagnóstico ou ajuda de decisão. Esse procedimento deve, portanto, contribuir para garantir que os usuários finais compreendam o que está sendo indicado pelo indicador ou que os resultados sejam interpretados corretamente pelos usuários finais.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Itajaí situa-se na porção nordeste do Estado de Santa Catarina, no quadrilátero formado pelas coordenadas geográficas de 26° 30' e 28° Sul e 48° 30' e 50° 30' Oeste, no Estado de Santa Catarina (Figura 9).

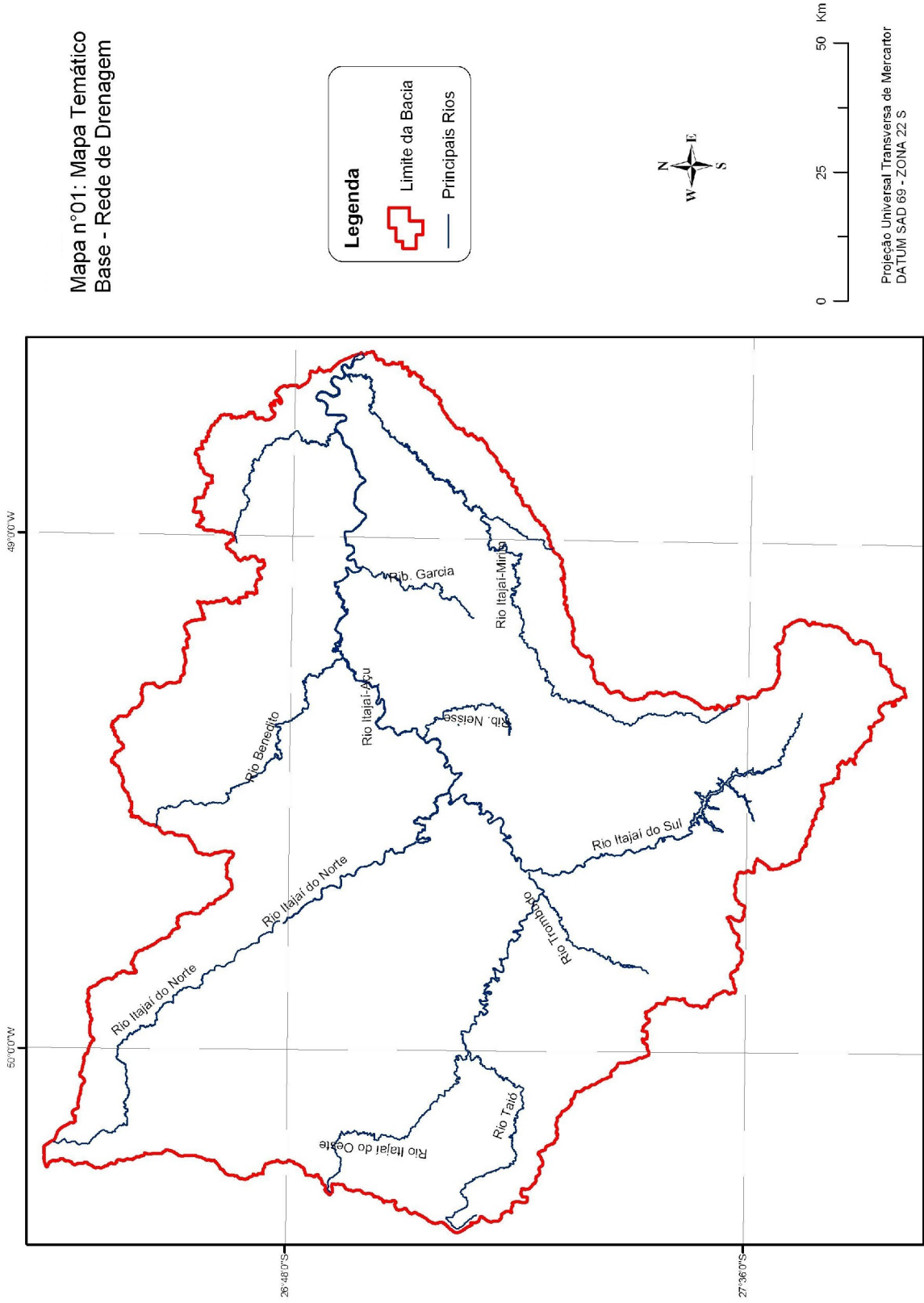


Figura 9 – Bacia hidrográfica do rio Itajaí.

FONTE: IPA (2003).

A rede de drenagem é constituída pelo rio Itajaí-Açu que é o maior curso da água da bacia. Seus formadores são os rios Itajaí do Oeste e Itajaí do Sul que, quando se encontram no município de Rio do Sul, passam a se chamar rio Itajaí-Açu (Figura 10 – Mapa 01).

Mapa n°01: Mapa Temático
Base - Rede de Drenagem



A bacia do rio Itajaí é a maior bacia da vertente atlântica de Santa Catarina, com uma área de 15.500 km², correspondendo a 16,15% do território catarinense. A área da bacia abrange 47 municípios e possui 945.720 habitantes, dos quais 76% estão nos centros urbanos. A bacia encontra-se naturalmente dividida em três sub-regiões – o Alto, o Médio, e o Baixo Vale do Itajaí. Os municípios de Blumenau, Itajaí, Rio do Sul e Brusque são pólos de desenvolvimento da economia regional.

As enchentes no vale do rio Itajaí são um dos maiores problemas da bacia. Esta situação resulta das condições naturais da bacia, mas é acentuado por um contínuo processo de sobrecarga da capacidade assimilativa e regenerativa do ambiente natural exercido pelos processos de produção do espaço estabelecidos pela colonização estrangeira.

Esta sobrecarga inclui a ausência de matas ciliares ao longo dos rios, pela ocupação indevida das encostas, pela descaracterização da paisagem natural do relevo por aterros e cortes, pela intensificação do desmatamento, pelas práticas agrícolas inadequadas, pelo uso intensivo de agrotóxicos e pela poluição através de efluentes industriais e domésticos. No Alto Vale do Itajaí, as florestas foram intensamente devastadas, dando lugar à produção agrícola e pecuária. No Médio Vale o problema é a urbanização desenfreada pelas encostas. Na zona da foz, além da ocupação das encostas, localiza-se um dos poucos conflitos da bacia: a extração de areia, que também contribui para o processo de erosão das margens do rio, quando mal feita.

Os municípios da Bacia do Itajaí contribuem com cerca de 28% do PIB de Santa Catarina e contribuem com 1% do PIB brasileiro. A renda per capita na bacia hidrográfica do Itajaí é 31% superior a média estadual, sendo que nela a renda per capita urbana é nove vezes superior à renda no espaço rural.

Nos municípios do Alto Vale do Itajaí, polarizados por Rio do Sul, prevalecem na economia, a agropecuária e a pequena indústria, destacando-se os cultivos de cebola, mandioca, arroz e principalmente o fumo. Na pecuária destaca-se a suinocultura. As propriedades comumente não têm áreas superiores a 50 hectares, com grande quantidade de propriedades com menos de 20 hectares.

Nos municípios da região do médio vale a atividade econômica predominante é a industrial, seguida pelo comércio. Esta região, polarizada por Blumenau, demonstra o processo de expansão industrial. A indústria têxtil predomina na região do Médio Vale.

Nos municípios da região da foz do rio Itajaí, cujo pólo é o município de Itajaí, tem como principal atividade econômica o comércio, principalmente no Porto de Itajaí, seguido pela indústria de transformação de pescados e pelo turismo de temporada.

O presente trabalho considera que o espaço de análise apresenta um limite geográfico definido pelos divisores de água. Os divisores de água da bacia hidrográfica do Itajaí se encontram a oeste na Serra Geral e na Serra dos Espigões; ao sul, na Serra da Boa Vista, na Serra dos Faxinais e na Serra de Tijucas e, ao norte, na serra da Moema.

Abaixo, segue descrição das características climáticas, geológicas, geomorfológicas, solos, cobertura vegetal original e usos do solo que predominam na bacia hidrográfica do Itajaí, já que estas variáveis são à base de todo o trabalho desenvolvido.

3.1.1 Clima

O estudo dos elementos climáticos é fundamental para a caracterização dos tipos climáticos, tanto é que estes são definidos em função da temperatura média do mês mais frio e do mês mais quente, pela classificação de Köppen; enquanto que na classificação de Thornthwaite os tipos climáticos são definidos pelo índice hídrico. O estudo dos elementos climáticos é essencial, importando saber o mais detalhadamente possível sobre as condições térmicas, hídricas e outras que prevalecem na área em questão. Assim, na avaliação da capacidade de armazenamento de água no solo, deve-se analisar muito bem o regime hídrico da Bacia Hidrográfica do Itajaí, em especial a precipitação pluviométrica e a distribuição das chuvas, bem como a época e a duração do período de estiagem (EMBRAPA, 1998).

Em 1958 Serebrenick, segundo Silva e Severo (2006), classificou o clima da Bacia do Itajaí em três tipos: (Cfa) – “Temperado úmido de verão quente” que se caracteriza pela ausência de estação seca e por apresentar temperatura média do mês mais quente do ano superior a 22°C; (tiuV) – “Temperado iso-semi-úmido”, cuja característica principal é a predominância de chuvas no verão e (tiUV) – “Temperado iso-úmido” que também apresenta como característica principal a predominância de chuvas no verão.

Segundo Silva e Severo (2006) estudos mais recentes detectaram algumas mudanças sutis no clima de Santa Catarina e conseqüentemente no clima da Bacia do Itajaí. De maneira a adequar a classificação climática a estas mudanças Braga e Ghelire (1999) desenvolveram um estudo onde propuseram para Santa Catarina

uma diferenciação climática mais atualizada. Para a nova classificação, o principal fator levado em questão foi o fator térmico – temperatura. O estado foi separado então em cinco regiões climáticas, uma do tipo climático subtropical e quatro do tipo climático temperado. Estas cinco regiões climáticas foram subdivididas em oito subtipos, em virtude de suas posições geográficas. Os subtipos ficaram assim denominados: 1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A e 4B. O tipo cinco não foi subdividido. Com relação ao aspecto hídrico, as regiões ficaram caracterizadas como “superúmidas”, sem seca ou sub-seca.

A partir desta nova classificação, o Médio e o Baixo Vale do Itajaí estão inseridos no tipo 1A, cujas principais características são: domínio climático subquente, temperatura média do mês mais frio entre 15°C e 18°C, sub-domínio superúmido (sem seca) do tipo climático subtropical um. O Alto Vale enquadra-se no Tipo 2A, caracterizado por um domínio climático mesotérmico brando, onde a temperatura média do mês mais frio varia entre 13°C e 15°C, subdomínio superúmido (sem seca) do tipo climático Temperado 2 (SILVA e SEVERO, 2006).

Segundo Silva e Severo (2006) a temperatura média anual na Bacia do Itajaí é amenizada pelas características da região, a maritimidade a leste e a topografia da Serra Geral a oeste que bloqueia grande parte dos ventos frios do Sudoeste e Sul. Em virtude deste fato, no centro da bacia a temperatura média anual é superior a 19°C e nas partes mais altas do Vale, junto às encostas do planalto sedimentar, a temperatura média anual gira em torno dos 18°C. Observa-se ainda a existência de um bolsão de ar mais quente entre as isolinhas de 20°C e 22°C, onde se localizam os municípios de Blumenau, Indaial e Gaspar. Estes valores de temperatura média são freqüentemente elevados quando ocorre o chamado “veranico de maio”, evento

climático periódico que ocorre a cada dois anos na bacia e que faz com que a área central da bacia experimente períodos de estiagem prolongados.

Na bacia, os ventos médios tendem a soprar do quadrante leste durante a maior parte do ano, este fato ocorre, pois, o ar mais quente situa-se sobre a bacia e não sobre o oceano, gerando assim uma pressão atmosférica maior sobre a bacia. No inverno os ventos sopram de nordeste (NE) pela presença mais ativa do anticiclone do Atlântico, que corresponde a uma região com pressão atmosférica mais elevada do que as vizinhanças e cujo centro esta posicionada sobre o oceano. No verão os ventos giram um pouco para leste, chegando a soprar de sudeste (SE). Ventos do quadrante oeste são muito raros. A velocidade média dos ventos é da ordem de 4 km/h (1m/s), durante todo o ano. As ventanias são raras e só ocorrem associadas a passagem de sistemas de ciclones extratropicais, com vento de SW, ou durante a passagem de linhas de instabilidade geradas pelo forte aquecimento diurno.

A umidade relativa do ar na Bacia do Itajaí é alta, devido à forte influência dos ventos marítimos. A média mensal é superior a 80% durante todo o ano e com pouca variação durante o inverno (2 a 3%), por isso, a bacia pode ser considerada permanentemente úmida. O valor médio de umidade anual acima de 90% ocorre nas regiões mais próximas ao litoral, nos municípios de Gaspar, Ilhota e Itajaí. Uma pequena área apresenta valores de umidade relativa em torno de 75% e abrange os municípios de Ascurra, Benedito Novo, Indaial, Rio dos Cedros, Rodeio e Timbó (SILVA e SEVERO, 2006).

Segundo Silva e Severo (2006) há vários tipos de precipitação se levarmos em conta o processo físico de ascensão do ar, sendo os principais: convectivo, frontal e orográfica. No Vale do Itajaí predomina a precipitação de origem convectiva,

principalmente no verão devido ao intenso processo de evaporação, já no inverno e na primavera predominam as precipitações de origem orográfica e frontal. As chuvas de origem orográfica ocorrem principalmente junto às encostas, com totais de chuvas acima do valor da precipitação total anual. A região central do Vale apresenta uma área bem delineada de chuva anual, da ordem de 1400 mm, o valor mais baixo da região. Já as regiões de Brusque e Guabiruba no centro sul, Pomerode e Luiz Alves na região norte-nordeste apresentam valores que alcançam os 1700 mm no ano.

O regime pluviométrico da região pode ser considerado, segundo Serebrenick (1958) como iso-úmido, já que em nenhuma região da bacia se verifica uma estação seca, ou seja, um mês seco durante todo o ano. Neste aspecto, poucas diferenças se observam durante as últimas nove décadas (SILVA e SEVERO, 2006). Apesar disto, verifica-se claramente uma variação quantitativa de chuva ao longo do ano, com as seguintes características: 1) uma estação chuvosa principal no verão, que abrange em geral quatro meses (dezembro, janeiro, fevereiro e março); 2) uma estação chuvosa secundária na primavera (setembro e outubro), já o mês de novembro é um mês relativamente mais seco; 3) há um período de cinco meses, que é o menos chuvoso do ano, denominado outono/inverno (abril a agosto). Desses meses o mais seco é o mês de abril (SILVA e SEVERO, 2003).

A inexistência de uma estação seca definida pode ser explicada pela superposição de três regimes pluviométricos, presentes na região: 1º) o tropical, com valor máximo no verão, proveniente das discontinuidades tropicais originadas das massas de ar altamente instáveis que favorecem o desenvolvimento convectivo; 2º) o da frente polar, quando da sua passagem pelo oceano, que ocorre principalmente

no outono e 3º) o da frente polar durante sua passagem pelo continente, que ocorre principalmente no inverno e primavera (NIMER, 1979).

Os totais anuais de horas de brilho solar na superfície, nesta região, variam basicamente de 1.600 à 2.400 horas. Os valores mais altos são verificados no oeste e no planalto, enquanto no litoral e no norte os valores situam-se entre 1.800 e 2.000 horas. O valor mais baixo corresponde a isoélia solar que circunda Itajaí e Camboriú (ORSELLI, 1986).

3.1.2 Geologia

A atual configuração da bacia do Itajaí não pode ser vista como uma fotografia estática. Ela deve ser vista como o resultado de um longo processo geológico, que ainda está em atividade, e que se caracteriza pela contínua modificação da sua superfície. A Bacia Hidrográfica do Itajaí é constituída geologicamente por litologias do Embasamento Catarinense (Escudo Catarinense), que inclui rochas magmáticas e metamórficas mais antigas, rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia Sedimentar do Paraná, e sedimentos mais recentes, formados em tempos geológicos recentes (AUMOND, 2006).

As rochas ígneas resultam do resfriamento de um magma (em profundidade) ou de lava (na superfície) incandescente. As rochas metamórficas são resultantes da transformação de outras rochas no interior da crosta, sob a ação de elevada pressão, temperatura e soluções quentes provindas da profundidade. As rochas

sedimentares resultam da erosão, transporte, sedimentação e compactação de detritos oriundos de outras rochas, do acúmulo de restos de organismos ou da precipitação de sais.

Resumidamente pode-se registrar as seguintes unidades litoestratigráficas na Bacia do Itajaí:

- Complexo Granulítico de Santa Catarina: constitui o embasamento mais antigo do Complexo Brasileiro. Localiza-se na parte centro-norte do Escudo Catarinense, estendendo-se até a divisa com o Paraná. É predominantemente integrada por gnaisses hiperestênicos quartzo – feldspáticos, com coloração cinza – esverdeada. Nos terrenos dominados pelos gnaisses hiperestênicos do Complexo Granulítico, os solos são em geral pouco profundos ou profundos, argilosos, com baixo gradiente textural e de cor entre o vermelho e o amarelo (EMBRAPA, 1998).

- Complexo Tabuleiro: caracteriza-se pela grande complexidade petrográfica e estrutural, sendo constituída por complexos gnáissicos – graníticos e migmatíticos. Encontra-se distribuído por algumas regiões da porção meridional do Escudo Catarinense, bem como na parte setentrional (entre Garuva e a Ilha de São Francisco do Sul). Os solos mais comuns neste tipo de terreno são o Podzólico Vermelho – Amarelo, o Podzólico Vermelho Amarelo latossólico e o Cambissolo – todos argilosos (EMBRAPA, 1998).

- Complexo Metamórfico Brusque: ocorre principalmente entre Itajaí e Vidal Ramos, segundo um cinturão alongado com cerca de 75 km de extensão. É constituído por seqüência vulcano – sedimentar, composta principalmente por micaxistos e formações férreas (EMBRAPA, 1998).

- Grupo Itajaí: é composto pela Formação Gaspar, composta principalmente de arenitos e conglomerados de coloração bordô e pela Formação Campo Alegre, constituída por rochas efusivas (basalto, andesito, dacito, riodacito), por uma seqüência sedimentar intermediária (siltitos, tufos, arenitos e folhelhos), por uma seqüência vulcânica superior (riolitos e traquitos) e por último uma seqüência sedimentar superior (arenitos e siltitos). Os solos nesses terrenos variam muito em função da natureza do material aflorante, no entanto predominam as modalidades argilosas. Nas de textura média ou arenosa estão mais restritas às áreas da Formação Gaspar (EMBRAPA, 1998).

- Suítes Intrusivas Graníticas: inclui rochas graníticas, homogêneas quanto à composição. Ocorrem sob duas formas, pequenas “bossas” ou pequenos “*strocks*”. É composta pela Suíte Intrusiva Valsungana, caracterizada pela presença de rochas com megacristais de dimensões centimétricas, pela Suíte Guabiruba, caracterizada por rochas de granulação média a fina. Os granitos de granulação mais grosseira, como os as Suíte Valsugana, são responsáveis pela formação dos solos Podzólicos, Cambissolos e solos Litólicos – todos eles cascalhentos.

- Supergrupo Tubarão: é composto pelos Grupos Itararé e Guatá. O Grupo Itararé é composto por quatro formações: a formação Campo do Tenente, constituída predominantemente de argilitos castanho-avermelhados, ritmitos e diamictitos, seu afloramento é extremamente reduzido, ocorre em uma pequena faixa nas proximidades de São Bento do Sul; a formação Mafra, constituída predominantemente por arenitos esbranquiçados, amarelos e avermelhados, finos e grosseiros, apresenta área aflorante expressiva; a formação Rio do Sul, composta na parte inferior por folhelhos e argilitos, na parte intermediária por diamictitos com matriz arenosa e na parte superior por folhelhos. O Grupo Guatá é composto por

duas formações: a inferior (Rio Bonito) de origem fluvial, lacustre e palustre, composta por uma seção inferior arenosa, uma intermediária argilosa e de uma superior areno – argilosa, contendo carvão, e uma formação superior (Palermo), formada por siltitos arenosos siltitos e folhelhos (EMBRAPA, 1998).

- Grupo Passa Dois: é composto pelas seguintes formações: Formação Irati, que consiste em uma seqüência de siltitos e folhelhos escuros; Formação Serra Alta, composta por depósitos marinhos (argilitos, siltitos); Formação Terezinha, composta por depósitos marinhos (alternância de argilitos e folhelhos com siltitos e arenitos finos) e Formação Rio do Rastro, composto na parte inferior por siltitos entremeados por finas camadas de calcário, na porção superior ocorre uma alternância de leitos de arenitos siltitos e folhelhos (EMBRAPA, 1998).

- Grupo São Bento: é representado pelas intrusões de diabásio e pelas seguintes formações: Formação Botucatu, composta por arenitos eólicos, de finos a médios; a Formação Serra Geral, constituída por uma seqüência vulcânica (EMBRAPA, 1998).

- Sedimentos Cenozóicos: compreende tanto os sedimentos litorâneos como os de origem continental.

3.1.3 Geomorfologia

A geomorfologia constitui um ramo do conhecimento humano que analisa as diversas características da superfície terrestre, buscando compreender a evolução espaço temporal do relevo, tendo em consideração as escalas de atuação dos processos erosivos em um determinado ambiente. Para resultar na modelagem atual das feições morfológicas da bacia hidrográfica do rio Itajaí, os processos geomorfológicos atuaram em condições naturais durante milhares de anos (SANTOS, 2006).

A geomorfologia de Santa Catarina distingue seis unidades: Planalto Cristalino, Serras Litorâneas, Planalto Sedimentar, Planalto de Lages, Planalto Basáltico e Planícies Costeiras. A distribuição geográfica das Serras Litorâneas no território catarinense é delimitada pelas configurações fisiológicas da Serra do Mar no extremo nordeste e, para o sul, pelas serras dos Faxinais e da Boa Vista. A partir dessas últimas elevações até a Serra Geral domina a unidade Planalto Sedimentar. As principais formas desenvolvidas no Vale do Itajaí estão relacionadas a estas duas unidades geomorfológicas, pois as planícies costeiras são pouco representativas. A configuração atual da drenagem e do relevo da região oriental de Santa Catarina está associada principalmente ao processo de erosão diferencial que atacaram mais intensamente as faixas de rochas menos resistentes, indicando a sua adaptação às estruturas geológicas (ALMEIDA, 1952).

As principais unidades morfológicas de Santa Catarina relacionam-se às grandes formações geológicas: Zona do escudo Cristalino (Planalto Cristalino e

Serra do Mar, “Serras” Cristalinas Litorâneas, Serra do Tabuleiro); Zona de Desnudação Periférica (Planalto de Canoinhas, “Cuestas” da Bacia Superior do Itajaí-Açu, Trecho Central da Serra Geral, Planalto de Lages e Planície Meridional) e Zona Basáltica (MONTEIRO, 1958).

Pode-se dividir o território catarinense em duas grandes regiões: Região do Planalto e Região do Litoral e Encostas. A Região do Litoral e Encostas é dividida em cinco unidades: Planalto do Alto Rio Itajaí-Açu, Sub-Região Setentrional, Sub-Região Centro-Norte, Sub-Região Centro-Sul e Sub-Região Sul. (PELUSO Jr., 1986). No mapa geomorfológico do Atlas de Santa Catarina (1986), baseado no mapeamento executado pelo Projeto RADAM-BRASIL, são distinguidos quatro domínios morfoestruturais (Depósitos Sedimentares, Bacias e Coberturas Sedimentares, Faixa de Dobramento Remobilizados e Embasamentos em Estilos Complexos), sete regiões e treze unidades geomorfológicas. A maior parte da porção oriental da Bacia do Rio Itajaí e do Escudo Atlântico corresponde ao domínio morfoestrutural de Embasamentos em Estilos Complexos, sendo subdividida por uma região geomorfológica denominada de Serras do Leste Catarinense, e por uma unidade geomorfológica referenciada como Serras do Tabuleiro/Itajaí. Os desníveis podem ser visualizados no mapa hipsométrico da Bacia do Itajaí (SANTOS, 2006).

A porção ocidental da bacia do Itajaí, faixa das nascentes e formadores do referido rio, é de domínio morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares, região Planalto Central-Oriental de Santa Catarina, unidade geomorfológica Patamares do Alto Rio Itajaí. Há uma intensa dissecação com patamares e vales estruturais em consequência da adaptação da rede de drenagem à estrutura monoclinial da Bacia do Paraná (vale do rio Itajaí do Norte). Os extensos patamares e mesas delimitados por escarpas têm a sua formação relacionada às diferenças na

resistência das rochas à erosão. Os patamares correspondem a uma dissecação com controle estrutural e litológico, em que os vales apresentam aprofundamento entre 212 e 288 m. As superfícies aplanadas são limitadas por escarpas em degraus identificadas como borda de patamar estrutural, como é o caso da Serra da Boa Vista. As variações altimétricas nestas unidades são significativas, de 350 m às margens do rio Itajaí do Sul a 1220 m nos topos da Serra da Boa Vista. Uma grande amplitude altimétrica também ocorre entre os interflúvios e o leito do rio Itajaí do Norte devido ao seu encaixamento às linhas estruturais (SANTOS, 2006).

3.1.4 Solos

Os solos da bacia do Itajaí têm diferentes origens e compõem vários agrupamentos. O grupo mais numeroso é formado pelos chamados solos com horizonte B Incipiente (Cambissolos). Em segundo lugar surgem os solos com horizonte B Textural (Argissolos). Fechando, aparecem os solos com horizonte Glei (Gleissolos). Estes três formam o elenco principal e, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), estão enquadrados ao nível de ordem. Entre eles, seguidamente, aparece um solo menos importante pertencente à ordem dos Neossolos. Finalmente próximo à foz do Rio Itajaí, ocorrem os solos Orgânicos – Organossolos (ANJOS e UBERTI, 2006).

Os solos com horizonte B incipiente são solos não hidromórficos, com seqüência completa de horizontes (A, B, C), medianamente profundos, bem a

imperfeitamente drenados, desenvolvidos a partir de rochas sedimentares. São solos jovens, característica muita bem definida pelos altos teores de silte e pela também alta capacidade de troca de Cátions (CTC). Os altos teores de silte (35-45%), associados aos também altos/médios de argila são os responsáveis pela condição de algum impedimento à drenagem, com maior ocorrência nos períodos de alta pluviosidade. São rochas sedimentares, argilitos, folhelhos, siltitos e até alguns arenitos, com diferentes composições mineralógicas, diferentes grupos e formações e diferentes graus de intemperismo (EMBRAPA, 1999).

Em relação às propriedades físicas, a imaturidade dos Cambissolos é traduzida em propriedades não muito satisfatórias. Assim, o grau de estruturação das partículas tem um agravante nos altos teores de silte. Com isso, o grau de estruturação do solo não passa de moderado e, portanto, vulnerável ao impacto das gotas da chuva (erosão hídrica), independentemente das formas do relevo. A presença de altos teores da fração silte é responsável pela propriedade que os Cambissolos têm em reter muita umidade, em companhia de argila. Com isso, o solo satura-se facilmente com água (EMBRAPA, 1999).

A área de maior ocorrência dos Cambissolos está na região do Alto Vale do Itajaí, sendo facilmente identificados em Rio do Sul, Pouso Redondo e Ituporanga (ANJOS e UBERTI, 2006).

Os solos com Horizonte B Textural são a ordem de solos com maior área de abrangência em Santa Catarina, mais presente nas regiões localizadas na bacia do Rio Itajaí. Os solos que compõem mostram perfis com seqüência completa de horizontes (A, B, C), boa drenagem interna e cores contrastantes entre horizontes (cinza – escuro na superfície, avermelhado no horizonte B) (SANTA CATARINA, 1973).

O processo de formação destes solos, eluviação – iluviação, teve como característica maior uma migração de argilas e de óxidos do horizonte A para os horizontes inferiores, determinando uma diferença textural (teores de argila) entre eles, os horizontes. É o chamado gradiente textural, característica própria dos solos com Horizonte B textural. A presença de gradiente textural possibilita o estabelecimento de deficiência hídrica mais rápido na camada superficial do solo (EMBRAPA, 1999).

Os Argissolos são originados de rochas ígneas intrusivas (granito) ou de rochas metamórficas (gnaisse). Estes solos são classificados como Argissolo Vermelho – Amarelo quando derivado do granito, e Argissolo Amarelo, quando derivado do gnaisse. O termo Argissolo tem origem na grande acumulação de argila no horizonte B (ANJOS e UBERTI, 2006).

Do ponto de vista físico os perfis de solo têm, na presença do gradiente textural, a principal limitação. Estabelecida a diferença textural entre os horizontes, a camada superficial (horizonte A) torna-se vulnerável a perdas, situação agravada e facilitada por fases de relevo acidentadas. Na eventual perda do horizonte superficial, o horizonte subjacente (B) mostra alto potencial de compactação, induzido pelos altos teores de argila, com o conseqüente domínio de microporosidade (EMBRAPA, 1999).

Os Argissolos ocorrem principalmente nas regiões do Médio e Baixo Vale do Itajaí, podendo ser observado de forma clara nos municípios de Blumenau, Luís Alves e Brusque (ANJOS e UBERTI, 2006).

Dentre todas as classes de solos da bacia hidrográfica do Itajaí, os solos com Horizonte Glej, são constituídos por perfis com características as mais distintas, quando comparados com os outros. Começando pelo relevo, que é absolutamente

plano, a segunda grande diferença reside na seqüência incompleta de horizontes, pois, na ausência do horizonte B, têm-se os horizontes A – Gg. Esta letra g indica que os solos são mal drenados, o que constitui a terceira grande diferença. A má drenagem impõe ao solo a característica de hidromórfico, em que o lençol freático oscila entre 20- 30cm de profundidade (ANJOS e UBERTI, 2006).

Os solos com horizonte glei apresentam-se com altíssimos teores de argila (70-80%), tornando-se quase que impermeáveis. As cores mostram-se escurecidas na camada superficial e cinza no horizonte Cg, esta última indicativa de redução de ferro. Em relação às propriedades físicas, os altos teores de argila tornam estes solos altamente vulneráveis à compactação, com seríssimos problemas de disponibilidade de oxigênio para as plantas (EMBRAPA, 1999).

Torna-se praticamente impossível falar em área de maior concentração de solos com horizonte glei, tal a maneira disseminada de sua ocorrência. Talvez o melhor seja falar em grandes áreas de solos mal drenados, como os de Gaspar, Ilhota e Itajaí, entre outros (ANJOS e UBERTI, 2006).

O Neossolo é uma ordem de solos composta por perfis com seqüência incompleta de horizonte (A-C) e, portanto rasos (20-30cm), pedregosos e / ou cascalhentos. Estas características foram condicionadas fundamentalmente pelo relevo acidentado, onde a baixa percolação da água inibiu um grau maior de intemperismo (ANJOS e UBERTI, 2006).

Torna-se impossível indicar áreas de maior concentração de Neossolos Litólicos, porque eles ocorrem como inclusões dentro das áreas de qualquer um dos solos descritos, com exceção dos Gleissolos e Organossolos (ANJOS e UBERTI, 2006).

Os Organossolos são vulgarmente conhecidos como “turfas”. Os solos desta ordem têm origem em sedimentos de natureza orgânica, a partir de um processo de formação denominado de paludização (do latim “palur”, palud-is = pântano). São gerações de plantas adaptadas às condições de péssima drenagem, que nasceram, cresceram e morreram, formando verdadeiros depósitos de resíduos orgânicos. A drenagem altamente impedida não possibilitou o desenvolvimento pedogenético do solo que, por isso, não têm diferenciação em horizontes. Os organossolos não apresentam características morfológicas como estrutura, textura e consistência. Ocupam relevo absolutamente plano, sempre na parte mais “deprimida” do relevo, em condições de péssima drenagem (ANJOS e UBERTI, 2006).

A ocorrência dos Organossolos é muito restrita e altamente concentrada. A referência é a proximidade da foz do rio Itajaí, nos municípios de Navegantes e Itajaí (ANJOS e UBERTI, 2006).

3.1.5 Cobertura Vegetal

A vegetação expressa a ação do clima em relação à latitude, à altitude e à natureza do solo (MAACK, 1968 apud EMBRAPA, 1998).

Da ação conjunta dos fatores geográficos, climáticos, biológicos e do solo, resulta a vegetação característica da Bacia Hidrográfica do Itajaí.

Há um predomínio da vegetação florestal no território compreendido pela bacia do Itajaí, devido, em grande parte, à ausência de longos períodos de

estiagem, sendo boa à distribuição pluviométrica ao longo do ano. A bacia hidrográfica do Itajaí encontra-se localizada em zona de clima subtropical, e apesar disto, a vegetação original da bacia, é em sua maior parte, uma densa floresta pluvial tropical, denominada Floresta Ombrófila Densa (VIBRANS, 2003).

Esta floresta apresenta todas as características da floresta pluvial tropical: grande riqueza específica, existência de vários estratos, de altos valores de biomassa, de muitos cipós e lianas, de epifitismo, de alto grau de endemismo e de espécies raras, de grande especialização das relações entre flora e fauna e dominância de vetores animais nas síndromes de polinização e dispersão das plantas (SEVEGNANI, 2002).

Em alguns lugares, nas altitudes maiores que 800 metros, a cobertura vegetal é interrompida por trechos de floresta dos pinheiros (Floresta Ombrófila Mista) e por campos naturais. Na foz do Itajaí ocorriam naturalmente e, em pequenas áreas, formações pioneiras como o mangue e a restinga.

Klein e Sevegnani descreveram detalhadamente a flora da bacia do Itajaí (KLEIN, 1979-1980 e SEVEGNANI, 2002). Reconhecem quatro formações da Floresta Ombrófila Densa, com características e composições de espécies diferentes:

- Terras baixas (planícies aluviais até uma altitude de 30 metros), sendo as espécies mais importantes: *Callophyllum brasiliense* (olandi), *Clusia criuva* (mangue-de-formiga), *Ficus organensis* (Figueira-da-folha-miuda), *Coussapoa microcarpa* (figueira-mata-pau), *Myrsine umbellata* (caporoção) e *Tapirira guianensis* (cupiuva);
- Submontana (em altitudes entre 30 e 400 metros), que tem como espécies principais: *Sloanea guianensis* (laranjeira-do-mato), *Alchornea triplinervia* (tanheiro),

Ocotea catharinensis (canela preta), *Aspidosperma parvifolium* (peroba), *Virola bicuhyba* (bicuíba), *Myrcia pubipetala* (guaramirim), *Hieronyma alchorneoides* (licurana) e *Talauma ovata* (baguaçu);

- Montana (entre 400 e 800 metros), caracterizada pela presença de: *Duguetia lanceolata* (pindabuna), *Ormosia arborea* (pau-de-santo-inácio), *Cryptocarya moschata* (canela fogo), *Protium kleinii* (almécega), *Copaifera trapezifolium* (pau óleo) e *Pterocarpus violaceus* (sangueiro);

- Altomontana (acima de 800 metros de altitude), cujas principais espécies são: *Podocarpus sellowii* (pinheiro bravo), *Weinmannia pauliniifolia* (gramiminha) e *Lamanonia speciosa* (guaperê), *Tibouchina kleinii* (quaresmeira), *Prunus sellowii* (pessegueiro bravo) e *Roupala brasilienses* (carvalho brasileiro).

As três primeiras formações (terras baixas, submontana e montana) são caracterizadas por florestas altas com grandes quantidades de madeiras valiosas (canelas, perobas, cedros, entre muitas outras). A formação altomontana é composta por uma vegetação arbórea mais baixa e menos densa, devido às condições ambientais difíceis nas grandes altitudes e topos de morros. Nos trechos da Floresta Ombrófila Mista ocorria uma densa floresta composta de pinheiros. Nestas, os pinheiros formam um dossel superior, emergente do estrato superior das árvores folhosas, composta por *Cedrela fissilis* (cedro), *Ocotea catharinensis* (canela preta), *Ocotea porosa* (imbuia), *Ocotea odorífera* (sassafrás), *Sloanea lasiocoma* (sapopema), *Ilex paraguarienses* (erva-mate), *Luehea divaricata* (açoita-cavalo) e *Nectandra lanceolata* (canela-burro), entre outros. O subbosque desta formação é freqüentemente formado por densos taquaris (*Merostachys multiramea*) (VIBRANS, 2003).

As formações secundárias também mostram importantes diferenciações em relação à composição de espécies: nas terras baixas e submontanas dominam, nas capoeiras e nos capoeirões, *Myrsine coriacea* (capororoca), *Cecropia glazioui* (embaúba), *Miconia cinnamomifolia* (jacatirão) e as *Tibouchina sp.* (quaresmeiras), enquanto que, na faixa acima de 400 metros, *Solanum mauritianum* (fumo-bravo), *Mimosa scabrella* (bracatinga), *Piptocarpha angustifolia* (vassourão branco) e *Clethra scabra* (carne-de-vaca) substituem essas espécies (VIBRANS, 2003).

Esta vegetação sofreu profundas modificações em seu estado original, graças a exploração descontrolada das florestas para a extração da madeira, bem como pelo desenvolvimento agropecuário a que a bacia foi submetida, sobrando, em alguns casos, apenas diminutas reservas que testemunham as características da Mata original.

3.1.6 Usos do solo

Originalmente a bacia do Itajaí era povoada por índios *Xokleng*, que viviam da retirada de suprimentos da natureza, através da caça, pesca e extração. Em meados do século XIX, a bacia foi colonizada e desde então sua paisagem vem sendo modificada pela ação antrópica do homem. A partir do século XX, a ação antrópica se intensificou, gerando uma série de problemas, causados por alterações no regime hídrico, sendo o principal e mais visível, as enchentes (FRANK, 1995). De forma generalizada, podemos dizer que as alterações realizadas na cobertura florestal,

sendo a principal a remoção desta cobertura, é o fator que mais influencia o regime hídrico (VIBRANS, 2003).

Ao percorrer a bacia do Itajaí, atualmente, percebe-se que existem poucos trechos de florestas inexploradas, localizadas de forma esparsa e intercaladas por remanescentes de florestas exploradas e alteradas, formando o que o autor denominou de “colcha de retalhos” (VIBRANS, 2003). Esta colcha de retalhos está em constante alteração, pois as mudanças físicas no ambiente, as atividades humanas e a regeneração da floresta não cessam. As diferenças observadas na cobertura florestal (densidade, composição, idade e grau de antropização) são testemunhas da presença humana e ficam visíveis por muito tempo.

Durante os primeiros séculos da colonização, entre meados do século XIX e XX, predominou o uso agrícola para as terras da bacia do Itajaí. Para isso, grandes quantidades de terra foram ocupadas e desmatadas. No período posterior a 1950, o espaço rural foi perdendo a sua importância e iniciou-se um intenso processo de industrialização dos centros urbanos do vale (Blumenau, Itajaí, Brusque e Rio do Sul), intensificando-se nas primeiras décadas do século 20 (THEIS, 2000).

Com isso, observou-se uma reversão dos processos de ocupação das terras. Muitas das áreas de lavoura e pastagem foram abandonadas, passando a ocorrer nestas terras um processo de reflorestamento, denominado de sucessão secundária (VIBRANS, 2003).

Atualmente, identificam-se três situações, principais, distintas no que tange ao uso do solo da bacia do Itajaí (VIBRANS, 2003), como segue:

- A primeira ocorre nas planícies aluviais dos Rios Itajaí do Oeste, Trombudo, Itajaí-Açu (entre Rio do Sul e Lontras e entre Rodeio e Itajaí) e Itajaí-

Mirim (entre Brusque e Itajaí) onde as terras foram e continuam sendo intensamente cultivadas, predominando a rizicultura e a pastagem, para criação de gado. Os remanescentes de vegetação praticamente não existem.

- A segunda situação ocorre em terras mais altas e acidentadas (acima de 100 m), nas áreas de influência de municípios como Blumenau e Brusque, onde a agricultura ocupa, apenas, uma pequena porção das terras. Nestas terras existem áreas abundantes de florestas secundárias e áreas de floresta primária, em lugares altos e inacessíveis.

- A terceira situação ocorre no chamado Alto Vale do Itajaí, na divisa entre Apiúna, Ibirama e Lontras, onde predominam lavouras de fumo e cebola, bem como pastagem para criação de gado. A cobertura florestal encontra-se restrita a encostas muito íngremes da serra da “Subida”.

3.2 MATERIAIS E FONTES DE DADOS

Para o desenvolvimento do presente estudo, foram utilizados os seguintes equipamentos: programa ArcGis 8.3 (ESRI), para confecção de todos os mapas; Molinete C-20 da marca OTT e Contador Z-30 da marca OTT.

As Fontes de dados utilizadas são as descritas abaixo:

- Cartas Temáticas referentes ao tema geológico, DNPM, Cartas Rio do Sul, Blumenau e Joinville, escala 1:250.000 e 1:500.000, ano de 1969.

- Mapas Temáticos desenvolvidos e adaptados por membros do Instituto de Pesquisa Ambiental - IPA (FURB), município de Blumenau/SC, conforme descrição apresentada no Tabela 1.

- Estudos de regionalização de vazões mínimas elaboradas pelo CEAHPAR / CASAN (1982) e UFSC / ANEEL (2001).

TABELA 1 – Escalas e fontes dos dados

ITEM	MAPAS TEMÁTICOS	RESPONSÁVEL	ESCALA	FONTE
1.1	Divisão Bacia Itajaí em Sub- Bacias		1:750.000	
1.2	Hipsométrico	Júlio Refosco	1:750.000	
1.3	Mapa Vegetação Original	Lucia Sevegnani	1:750.000	Mapa Fitogeográfico de SC (Roberto Miguel Klein, 1978)
1.4	Mapa de Uso do Solo 2000	Alexander c. Vibrans	1:750.000	Mapa gerado por classificação digital a partir de imagem Landsat – 7 ETM+ de 13/05/2000, georeferenciado com base nas cartas do IBGE 1981 na escala 1:50.000.
1.5	Mapa Geológico	Juarês José Aumond	1:750.000	Adaptado do Mapa geológico de Santa Catarina MME e Governo do Estado de Santa Catarina.
1.6	Mapa de Solos	EPAGRI	1:750.000	Adaptado e atualizado de Santa Catarina, Secretaria da Agricultura. Levantamento de Reconhecimento de solos de Santa Catarina, UFSM. Santa Maria, 1973.
1.7	Mapa Geomorfológico		1:750.000	Mapa Geomorfológico de Santa Catarina Projeto RADAMBRASIL (Atlas de Santa Catarina, 1986).
1.8	Mapa Político		1:750.000	

- Cartas Temáticas referentes ao tema solos da EPAGRI (Empresa de pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S. A), Folhas UPR 5,6 e 7, escala 1:250. 000, ano de 2002.

3.3 MODELO DE ANÁLISE

O sistema bacia hidrográfica apresenta, quatro camadas (subsistemas), segundo Chiaranda (2002), definidos como Camada Aérea, Superfície, Sub-superfície e Condições de Profundidade. Cada subsistema apresenta um conjunto de elementos que podem influenciar no objetivo do presente trabalho.

O subsistema Camada Aérea tem como principais elementos de interesse a Precipitação e a Camada Vegetal, o subsistema Superfície tem como principais elementos de interesse: (i) Geomorfologia; (ii) Solos; e (iii) Fraturas. Já o subsistema Sub Superfície, tem como principal elemento de interesse o Solo e as Condições de Profundidade a Geologia.

Outra etapa qualitativa importante consiste em identificar e quantificar os processos relevantes (variáveis) a cada um dos elementos, a fim de que se possam realizar mensurações e obtenção de dados (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Para o sistema bacia hidrográfica do Itajaí, as variáveis consideradas são as seguintes: (a) para o elemento Precipitação: altura de precipitação anual; (b) para o elemento Camada Vegetal: grau de proteção da camada vegetal original e grau de proteção dos usos do solo; (c) para o elemento Geologia: a densidade de fraturas em km/km^2 e a permeabilidade das rochas; (d) para o elemento Geomorfologia: fluxo preferencial em profundidade e declividade; (e) para o elemento Solos: potencial de infiltração de águas nos solos e potencial da profundidade para armazenamento de água. A escolha das variáveis pautou-se nos conceitos hidrológicos, que por sua vez permitem estabelecer as relações intrínsecas entre as variáveis e para o conjunto delas (Figura 11).

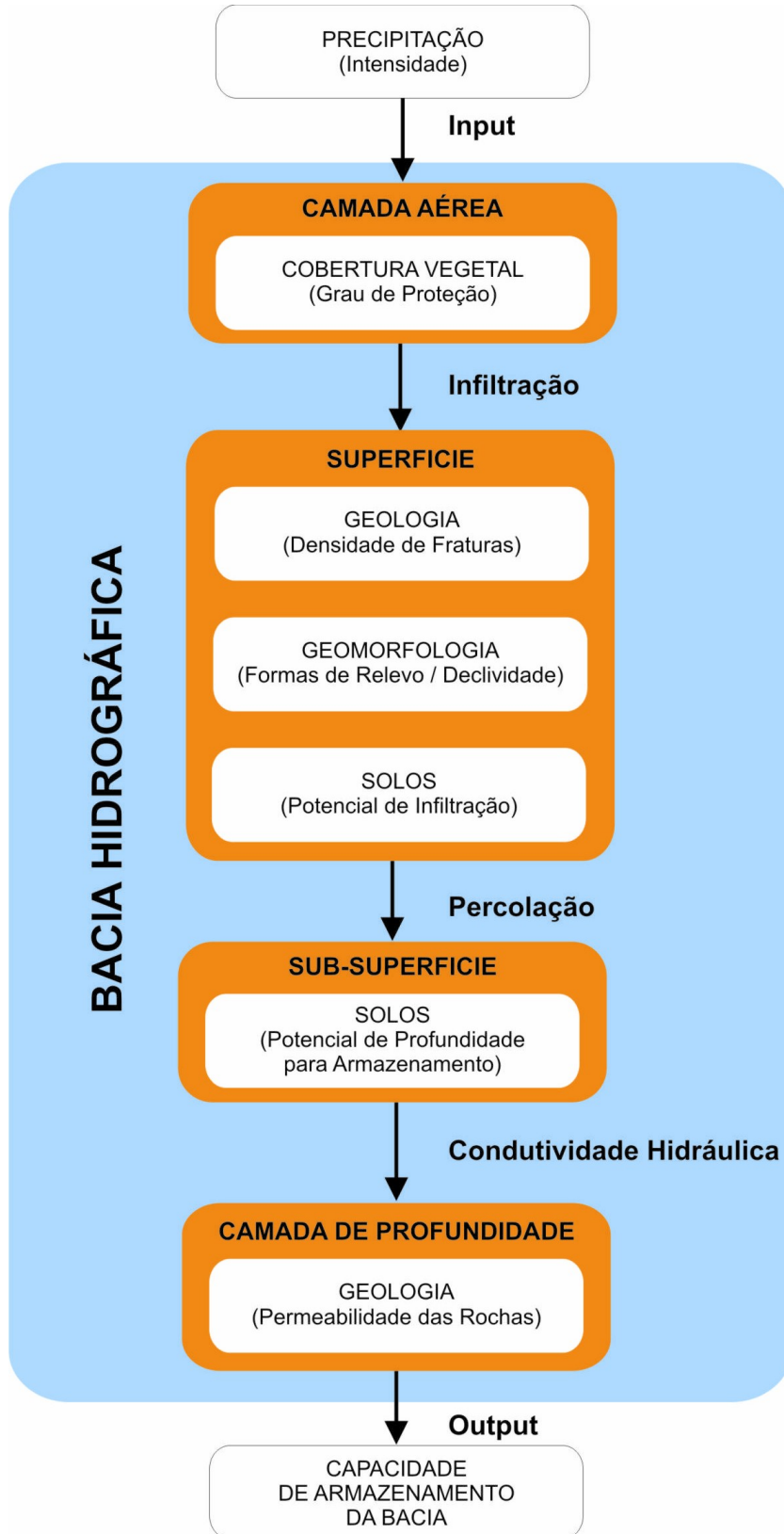


Figura 11 – Modelo de Análise.

Segue abaixo detalhamento dos processos (variáveis) a serem analisados:

- Altura de precipitação anual: segundo Bertoni e Tucci (2004) a precipitação é entendida como toda a água proveniente do meio atmosférico, que atinge a superfície terrestre. As características principais da precipitação são o seu total, duração e distribuição temporal e espacial. A ocorrência de precipitação é um processo aleatório, o que não permite que sua ocorrência seja determinada com muita antecedência. A precipitação pode ser classificada em convectiva, orográfica e frontais ou ciclônicas, de acordo com o mecanismo pelo qual se produz a ascensão do ar. As precipitações convectivas são, geralmente, chuvas de grande intensidade e pequena duração, restritas a áreas pequenas. As orográficas são chuvas de pequena intensidade e de grande duração, que cobrem pequenas áreas e as frontais ou ciclônicas são chuvas de grande duração, atingindo grandes áreas com intensidade média.
- Grau de proteção e tipos de uso do solo: O grau de proteção refere-se aos estágios sucessivos de uma progressão de efeitos de defesa ou proteção que os diferentes tipos de cobertura proporcionam ao solo contra a ação direta dos ventos, da radiação solar e dos eventos de precipitação.

No âmbito da função hidrológica de armazenagem da bacia hidrográfica, a proteção advém da retenção temporária dos eventos de precipitação e da diminuição da quantidade de água que chega ao solo devido à evaporação. Nesse processo, os diferentes estratos da vegetação agem como barreira ao livre caminamento da precipitação, diminuindo sua energia cinética. Papel semelhante é efetuado pela manta orgânica. Esta última, conjuntamente com o sistema radicular e a fauna melhoram as condições superficiais de infiltração, por melhoria das propriedades físico-químicas do solo. Neste contexto, a rota preferencial de fluxo

tende a ser a da infiltração, percolação e a do armazenamento, com os eventos de escoamento superficial ocorrendo ocasionalmente em função da maior intensidade da precipitação, de forma que o processo erosivo tende às taxas naturais dentro da faixa de amplitude de estabilidade do sistema (ODUM, 1983).

Cabe ressaltar que a relação não é de causa e efeito, mas sim de interação entre as variáveis, e que o efeito é de sinergia entre solo – vegetação – clima. Os usos da terra, ao substituírem a cobertura vegetal original, modificam o sinergismo entre vegetação e clima. Conjuntamente com a substituição da cobertura vegetal original são introduzidos circuitos de trabalho auxiliares (ODUM, 1983), de forma que a proteção proporcionada pela nova cobertura tende a diminuir. Abaixo, seguem as descrições de tipologia, estratificação, quantidade e intensidade de usos dos circuitos de trabalho auxiliar e sinergismo, para as principais coberturas vegetais e tipos de usos dos solos existentes em Santa Catarina, segundo o Manual Técnico de uso da terra (IBGE, 2001):

1. Floresta arbórea densa → densidade de cobertura entre 50 a 70%; multi - estratigráfica, menor contribuição do estrato herbáceo, arbóreos e arbustivos e maior da superior na composição da estrutura; manta orgânica espessa; atenuação muito alta e alta da precipitação; muito pouco ou nenhuma exposição dos solo; nenhuma ou muito pouca inserção de circuitos de trabalho auxiliar; atenuação muito alta da energia solar incidente.

2. Reflorestamentos → manta orgânica medianamente espessa; contribuição preponderante do estrato superior na composição da estrutura; atenuação alta da precipitação; pouca ou nenhuma exposição do solo após dois anos de idade; baixa intensidade de inserção de circuito de trabalho auxiliar e espaçado no tempo; atenuação alta da energia solar incidente.

3. Pastagem / Vegetação Alterada → densidade de cobertura entre 35 e 60% para pastagem e variável conforme o estágio de recuperação para vegetação alterada; nenhuma manta orgânica para pastagem e pouco espessa para vegetação alterada; atenuação média a baixa da precipitação; exposição variável do solo conforme manejo utilizado no caso das pastagens e estágio de recuperação no caso da vegetação alterada; baixa atenuação da precipitação; intensidade média de inserção de circuitos de trabalho auxiliar, pouco espaçado no tempo, no caso das pastagens e inserção referente a passagem do fogo e sua ciclicidade natural ou induzida no caso da vegetação alterada; baixa atenuação da energia solar incidente, presença de drenagem induzida (rede viária).

4. Agricultura → densidade de cobertura variável conforme a cultura e ciclo, geralmente baixa; uniestratificada; baixa atenuação da precipitação; exposição do solo a cada preparo, exceto no plantio direto; alta intensidade de inserção de circuitos de trabalho auxiliar, muito pouco espaçados no tempo; baixa atenuação da energia solar incidente, presença de drenagem induzida (rede viária).

5. Uso Urbano → predominância de superfícies impermeabilizadas; atenuação muito baixa da precipitação; exposição média a alta do solo; intensidade muito alta de inserção de circuitos de trabalho auxiliar, continua no tempo; atenuação muito baixa da energia solar; presença de drenagem induzida (rede viária).

- Fluxo Preferencial em profundidade: é uma expressão hidrológica das formas de relevo. Indica qual é a rota preferencial do fluxo que tenderá a predominar nas diversas formas de relevo que ocorrem na bacia hidrográfica, encontrando-se, dessa maneira, relacionados ao tempo de permanência da água. Como consequência da rota preferencial, pode-se acelerar ou retardar a saída da água da bacia hidrográfica.

A aceleração ocorreria pela predominância de fluxos rápidos, como o escoamento superficial, e o retardamento pela predominância de fluxos lentos, como a percolação e o escoamento base e pelo armazenamento nos solos e nas rochas. O fundamento hidrológico utilizado é o da função de armazenagem. Superfícies tabulares tendem a favorecer a infiltração, a percolação e o escoamento base, enquanto os de topo aguçados, pela sua configuração, e os de acumulação, pelo seu posicionamento no terreno, tendem a favorecer o escoamento superficial e os sub superficiais (CABRAL et al., 2003).

- Declividade: refere-se à inclinação que os terrenos da bacia apresentam e constitui-se também em uma expressão hidrológica ao representar as diferentes quantidades de energia que podem interferir na velocidade de escoamento dos fluxos da água pela transformação de energia potencial em cinética (JORGE e UEHARA, 1979). Quanto menor for o valor da declividade maior é a possibilidade de a água se infiltrar pelo meio poroso tornando-se fluxo lento. Por outro lado, os terrenos com maior declividade tendem a apresentar fluxos com maior velocidade e com tempo menor de permanência na bacia.
- Potencial de Infiltração dos Solos: é uma expressão hidrológica do solo referente à penetração de água no seu perfil, que dentre outros fatores, é dependente da textura. Solos com textura arenosa apresentam potencial de infiltração muito alta devido ao seu espaço poroso ser composto predominantemente por macro-poros, o que os torna bem a excessivamente drenados, e permitem que apresentem como rota preferencial de fluxo a percolação ao invés do escoamento superficial. Os de textura argilosa, por outro lado, devido à predominância de micro-poros, tendem a ser mal a moderadamente drenados, o que permite que apresentem como rota preferencial de fluxo o escoamento superficial (PRADO, 2005). Outros

fatores afetam o potencial de infiltração, como as características da chuva, as condições de cobertura do solo, a estrutura e umidade antecedente do solo e a camada biogênica na camada superficial (CABRAL et al., 2003).

- Potencial da profundidade para armazenagem: a profundidade, outra característica do elemento solos, será tratada como expressão hidrológica, no sentido de que quanto maior ela for, maior será o espaço disponível para o caminhamento e armazenagem de água, permitindo que a rota preferencial de fluxo seja composta pela percolação, o que tende a aumentar a atenuação dos eventos de precipitação. À semelhança do potencial de infiltração, diversos fatores afetam essa variável, como as condições de umidade do solo, camadas de impedimento, porosidade, sistema radicular, etc. (JORGE e UEHARA, 1979).

- Descontinuidades nas rochas (Fraturas): este termo refere-se a qualquer estrutura geológica que interrompa, ou possa interromper, quando submetida a certas cargas, a continuidade física da rocha. Engloba juntas, falhas, fraturas, fissuras, etc., podendo eventualmente incluir, plana de fraquezas em acamamentos, bandamentos e foliações. A resistência das rochas é afetada pela freqüência e orientação de sistemas de fraturas. As fraturas também são locais propícios à percolação de águas superficiais, o que favorece o intemperismo e a formação de argilominerais. Estes, por sua vez, podem ser carreados, deixando cavidades (vazios) que facilitam ainda mais a percolação de água, ou podem tornar lubrificada uma superfície, facilitando os escorregamentos (CHIOSSI, 1973).

- Permeabilidade das rochas: refere-se à propriedade que esse meio poroso apresenta para transmitir água sob determinada temperatura e viscosidade. Essa propriedade é dependente da viscosidade do fluido e da porosidade do meio rochoso com termos de volume total e particionamento por tamanho. Também

ocorrem dependências em relação à forma, a compactação e a distribuição do tamanho das partículas (JORGE e UEHARA, 1979). A forma das partículas afeta na maneira como as mesmas se arranjam entre si com as formas irregulares resultando em porosidades maiores que as formas arredondadas. Matérias granulares com distribuição uniforme de grãos têm porosidade maior que os materiais com distribuição irregular. O grau de cimentação ou de compactação influi diretamente no valor porosidade, de maneira que quanto mais cimentada estiver uma formação, menor será o valor da porosidade. Na bacia hidrográfica, as rochas encontram-se diretamente relacionadas com a função hidrológica de armazenagem, através da armazenagem no lençol freático e com o escoamento base dos sistemas de fluxo hidrológico. Condicionam, em parte, a capacidade de armazenamento de água dos solos e o escoamento superficial (CABRAL et al., 2003).

3.4 FLUXOGRAMA METODOLÓGICO

É através da metodologia que se explicam às categorias e conceitos utilizados, definem-se os procedimentos e delimita-se o objeto de investigação. Sob a ótica desta teoria, os processos, resultam dos principais agentes internos e externos que atuam na bacia hidrográfica e os sistemas associam os elementos e processos que atuam conjuntamente, ambos sob o enfoque das relações temporais de trocas de matéria e energia (MORAES, 1994).

Para facilitar o entendimento da metodologia utilizada, segue fluxograma (Figura 12) adaptado da Metodologia de Trabalho proposta por Chiaranda (2002) para o presente.

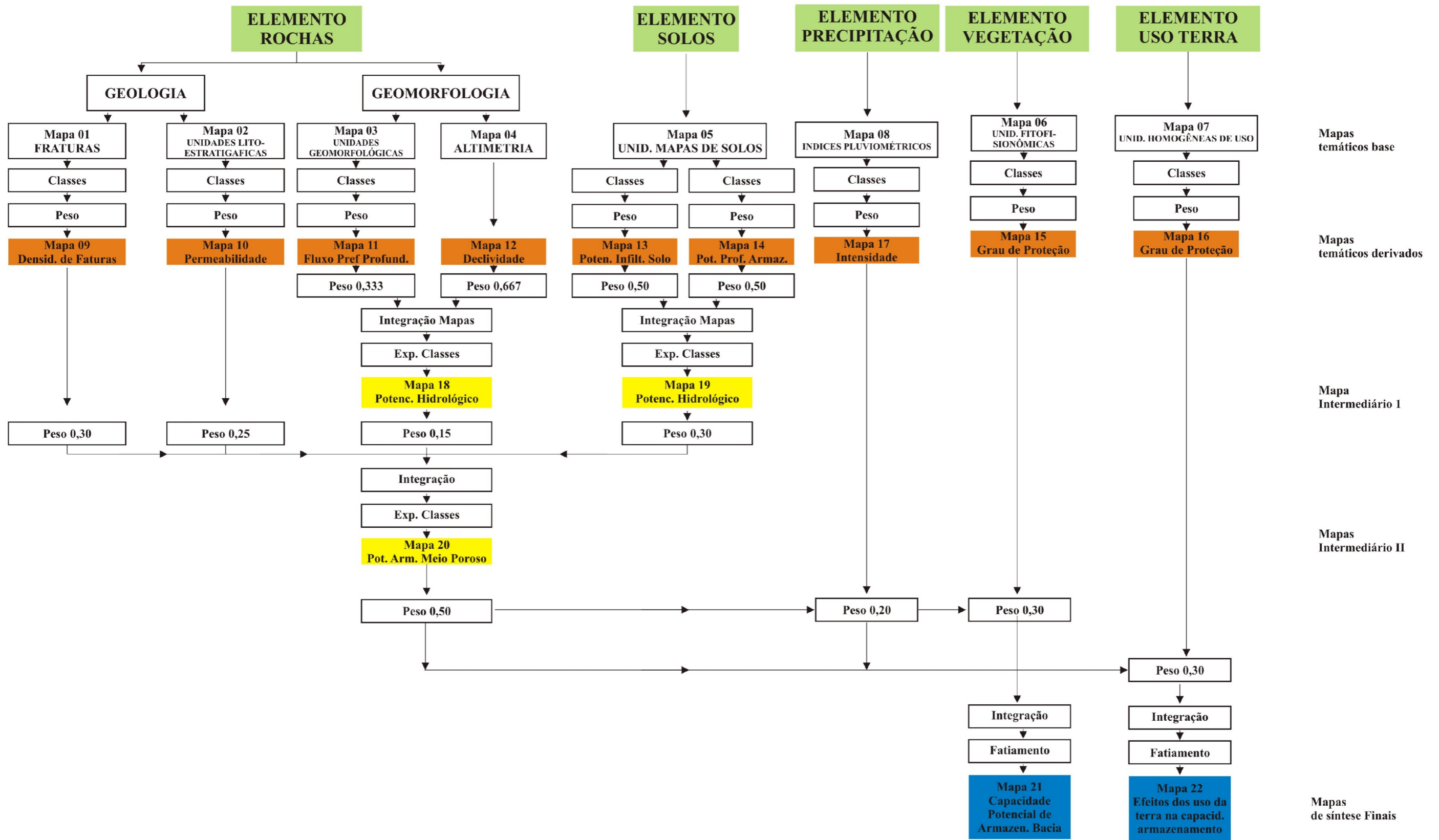
A escolha desse enfoque de relações se justifica pelo fato de que a bacia hidrográfica do Itajaí ser um sistema aberto e complexo, com fortes variações ao longo do tempo e um comportamento não linear, o que torna inadequada à abordagem do tipo causa e efeito.

A abordagem sistêmica contribui para definir os limites do sistema, identificar os elementos importantes e os tipos de interações que ocorrem entre eles, sem perder de vista os objetivos a serem alcançados.

Para este trabalho, variáveis externas são todas as variáveis que não se encontram dentro da definição do sistema, mas que controlam o fluxo de massa e energia, podendo em alguns casos, determinar de forma conclusiva, a sua orientação, o que significa dizer que a resposta é o resultado das interações entre diversas forças em um controle multivariado.

Os aspectos técnicos operacionais dizem respeito aos instrumentais e as técnicas que são utilizadas a fim de atingir os objetivos deste trabalho, e são uma extensão e complementação dos princípios metodológicos.

O presente estudo é de caráter físico integrativo e envolve diversas variáveis, por isso, faz-se necessário o uso de diferentes técnicas e procedimentos referentes à caracterização da função armazenagem.



De forma geral, pode-se dizer que o presente trabalho abrange as seguintes etapas:

- Análise de Mapas Temáticos da Bacia do Itajaí, que representam os elementos (geologia, geomorfologia, descontinuidades, relevo, cobertura vegetal) e as variáveis (permeabilidade e porosidade das rochas, fluxo preferencial em profundidade, potencial de infiltração e potencial de profundidade para armazenagem do solo, declividade, grau de proteção da superfície e tipos de uso da terra, qualidade da cobertura vegetal, zoneamento ecológico, presença de descontinuidades, entre outras) relevantes para a capacidade de armazenamento da bacia;

- Aplicação de um modelo adaptado do modelo de Análise em Sistema Geográfico de Informações (CHIARANDA, 2002).

- Descrição das Unidades dos elementos em classes de acordo com o grau de significância (influência) para a capacidade de armazenamento de águas subterrâneas;

- Ponderação dos elementos temáticos;

- Confecção de mapas: mapas temáticos base, mapas temáticos derivados, mapas intermediários e mapas finais.

Baseado na metodologia, de caráter genérico, denominada “Os Quatro Níveis da Pesquisa Geográfica”, elaborou-se e desenvolveu-se o Modelo de Análise em Ambiente de Sistema Geográfico, para elaboração das cartas de síntese, devido à necessidade de tratamento quantificado das informações (CHIARANDA, 2002). A metodologia denominada “Os Quatro Níveis da Pesquisa Geográfica”, divide o desenvolvimento de uma pesquisa em quatro partes:

- O nível Compilatório: composto pela obtenção de informações fornecidas por mapas temáticos, observações em campo (quando necessário) sobre a estrutura da paisagem e pela seleção dos dados que tem valor para a pesquisa.
- O nível Correlativo: referente à correlação dos dados e informações, constituindo-se em um momento de melhoramento da interpretação e do estudo da natureza dos dados.
- O nível Semântico: interpretativo, chegando a resultados conclusivos a partir dos dados selecionados e correlacionados nas etapas anteriores, estabelecendo as generalizações possíveis, onde os dados puros deixam de ser informações factuais ou numéricas para assumirem caráter significativo em nível de interpretação.
- O nível Normativo: fase de elaboração do modelo, representado através de cartogramas síntese ou de gráficos que traduzem de forma mais simples e visual os resultados da pesquisa.

O modelo de análise de dados espaciais, a ser utilizado, é do tipo empírico, baseado no conhecimento. Sua aplicação deverá ser efetuada com o uso de técnicas de concorrência ponderada, através do qual cada unidade homogênea das componentes, bem como cada componente, será avaliada de acordo com critérios ponderados que resultam em uma escala ponderada de potencialidade.

A potencialidade será calculada pela ponderação e combinação de evidências de várias fontes. A avaliação do peso a ser atribuído a cada um dos mapas depende da análise da importância ou do julgamento subjetivo de especialistas.

A ponderação e a combinação das evidências das componentes serão efetuadas com o auxílio de dois instrumentos: a hierarquização das componentes e o processo analítico hierárquico.

O ponto de partida, a ser utilizado, para a hierarquização é a de que o armazenamento de água na bacia hidrográfica depende, no âmbito da função hidrológica de armazenagem, dos processos hidrológicos que ocorrem na superfície. Será considerado, também, o fato de que o todo é maior que a soma das partes, o que traduz a interatividade das componentes de armazenagem da bacia com os fluxos hidrológicos ordenados e os processos, assim como a propriedade única que advém desta interação.

Procura-se demonstrar desta forma, que a bacia hidrográfica não é uma simples somatória de variáveis com respostas unidirecionais de causa e efeito, mas sim uma estrutura “viva” e complexa.

Para o ordenamento das componentes da bacia hidrográfica serão considerados três níveis verticalmente articulados (Figura 13):

Nível L – que é o nível principal, onde ocorrem os processos hidrológicos na superfície e sub superfície do solo, tais como: infiltração, escoamento superficial e sub superficial.

Nível L+1 - que é um nível secundário, onde ocorre o processo hidrológico de interceptação nas várias componentes de armazenagem e atenuação inicial dos fluxos de precipitação.

Nível L-1 e Nível L-2: são níveis secundários, onde ocorrem os processos de armazenagem no solo e percolação (Nível L-1) e armazenagem no lençol freático e escoamento base (Nível L-2).

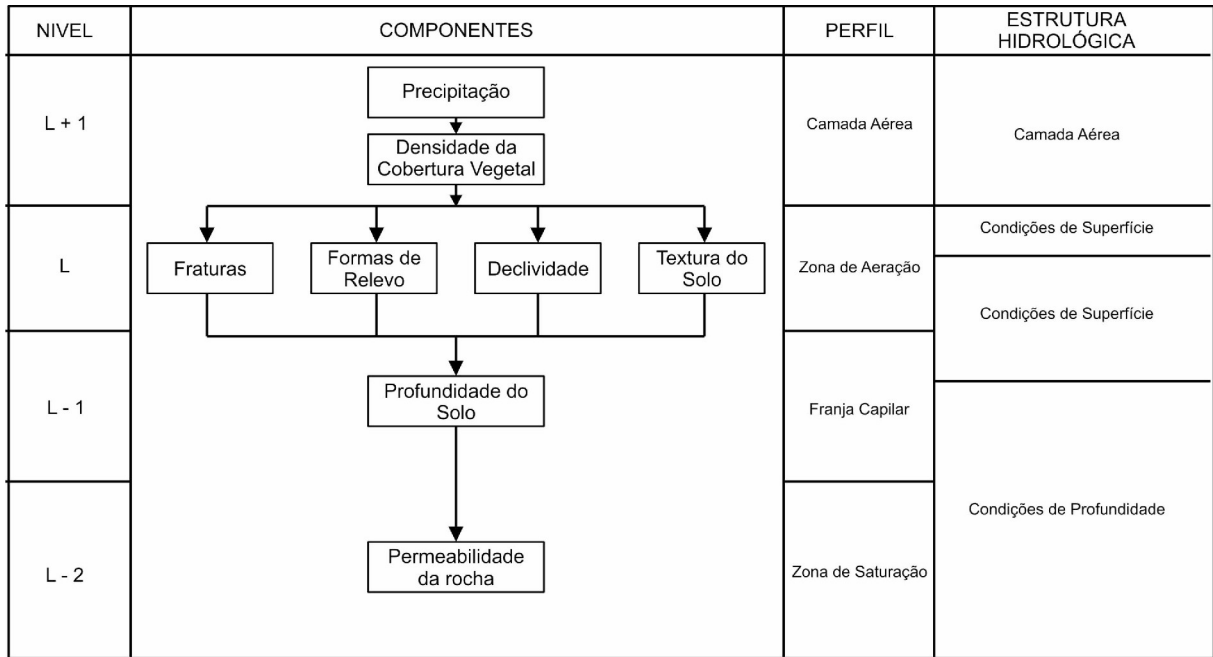


Figura 13 – Organização hierárquica dos componentes (variáveis), adaptado de Chiaranda (2002).

O Processo Analítico Hierárquico (*Analytical Hierarchical Process*), segundo Chiaranda (2002) consiste na elaboração de uma matriz de comparação entre os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão. Nesse processo, os fatores são comparados dois a dois e um critério de importância relativa derivada de uma escala contínua de 09 pontos é atribuída ao relacionamento entre os mesmos, conforme a Tabela 2.

TABELA 2 - Escala de valores do processo analítico hierárquico para comparação pareada.

INTENSIDADE DE IMPORTÂNCIA	DENOMINAÇÃO	DEFINIÇÃO	EXPLICAÇÃO
1	Igual	Importância Igual.	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
2	Um pouco melhor	Importância intermediária.	Possibilidades de compromissos adicionais.
3	Algo melhor	Importância moderada que o outro.	Um fator é ligeiramente mais importante.
4	Moderadamente melhor	Importância intermediária.	Possibilidades de compromissos adicionais.
5	Melhor	Importância essencial.	Um fator é claramente mais importante que o outro.
6	Bem melhor	Importância intermediária.	Possibilidades de compromissos adicionais.
7	Muito melhor	Importância demonstrada.	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
8	Criticamente melhor	Importância intermediária.	Possibilidades de compromissos adicionais.
9	Absolutamente melhor	Importância externa	A evidência que diferencia os fatores é de maior ordem possível.

FONTE: CAMARA et al., 1996 apud CHIARANDA, 2002.

Uma taxa de consistência é calculada quando da comparação dos fatores no âmbito da matriz, e deve apresentar como resultado valor inferior a 0,1. Quando o valor resultante é superior a 0,1 a matriz deve ser reorganizada, alterando os valores de comparação entre os fatores. A taxa de consistência indica a probabilidade de que os valores de comparação entre os fatores tenham sido gerados aleatoriamente (SAATY, 1997 apud CHIARANDA, 2002).

No ambiente do Sistema de Informações Geográficas, o manuseio dos dados adquire a forma de um conjunto de operações algébricas que resultam em Mapas numéricos que configuram a estrutura da estatística espacial e da modelagem

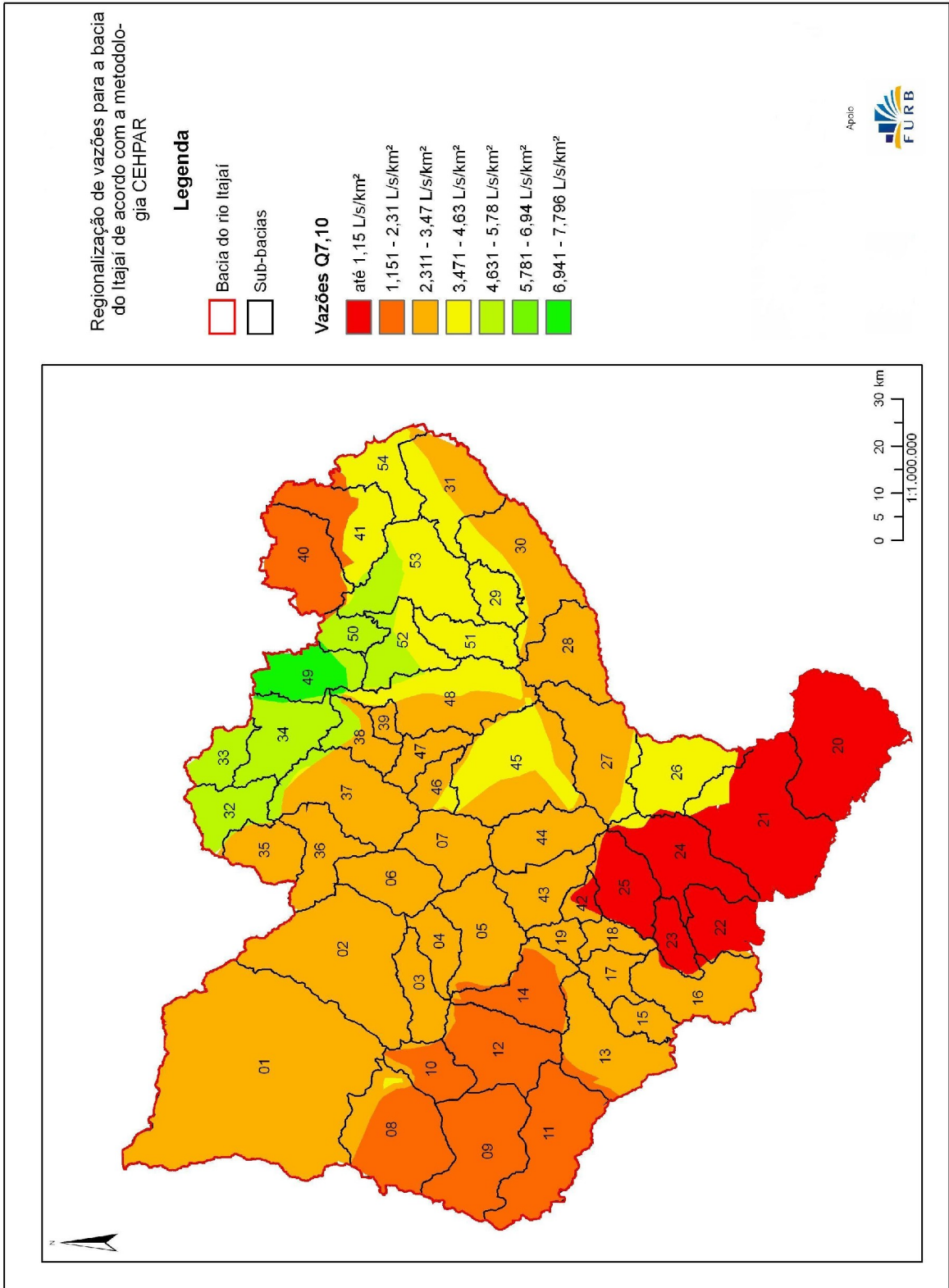
cartográfica, permitindo a análise simultânea de várias camadas ou *layers* (HISCOCK et al., 1995).

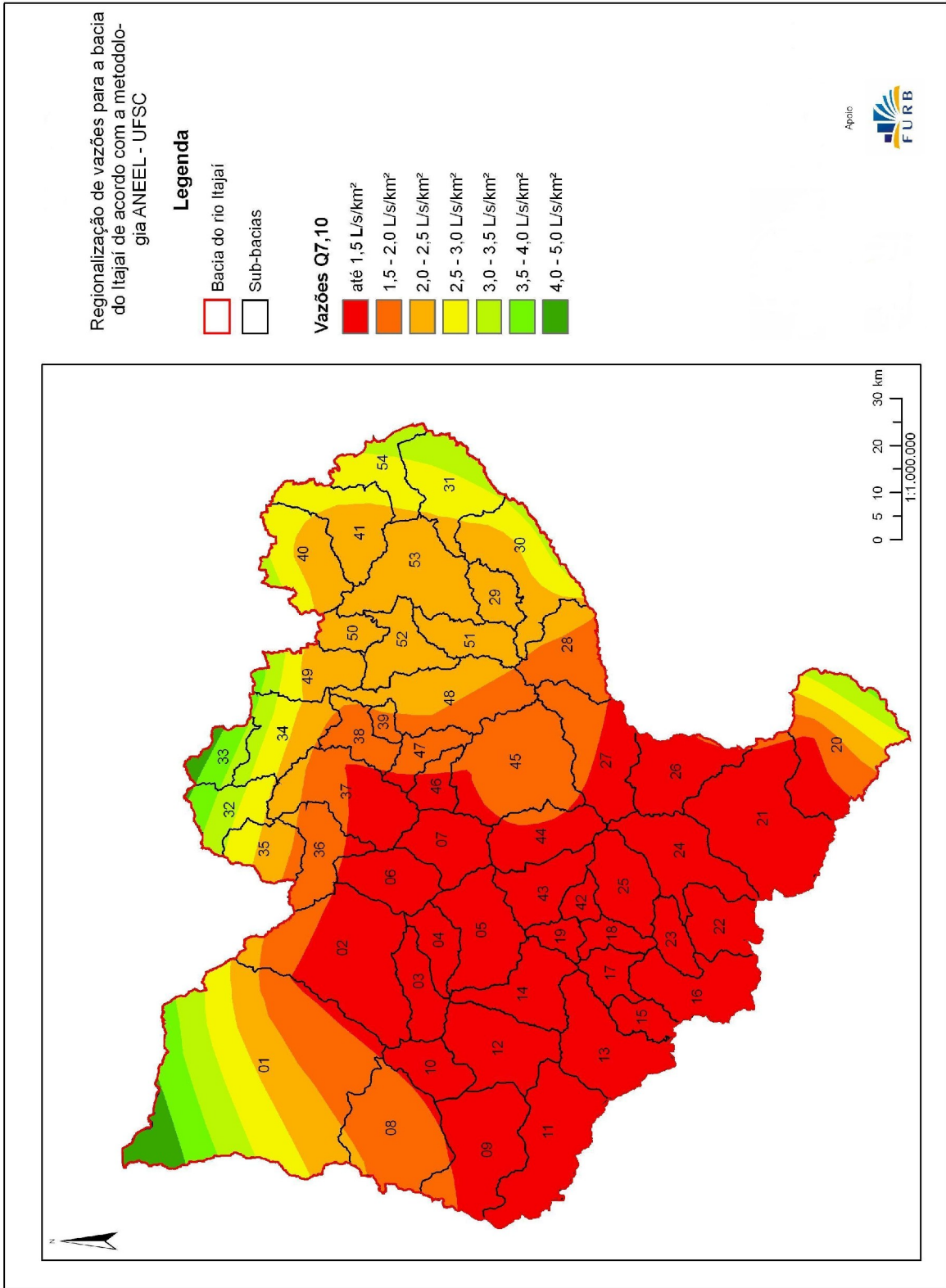
3.5 VALIDAÇÃO DO INDICADOR

Foram testados dois métodos para validação do indicador. Eles procuram correlacionar a vazão escoada no sistema fluvial e os valores do indicador. O primeiro método relaciona as vazões específicas medidas em seções fluviométricas e o indicador medido na bacia contribuinte. O segundo método correlaciona as vazões específicas obtida por regionalização hidrológica e o indicador em cada píxel. Foram utilizados os mapas de vazão $Q_{7,10}$ dos estudos de regionalização do CASAN/CEAHPAR (1982, Figura 14) e da ANEEL /UFSC (2001, Figura 15).

No primeiro método são selecionadas regiões com características de capacidade de recarga diferentes. Em cada região são selecionadas sub-bacias hidrográficas. Nas sub-bacias são executados medições de vazões, com o auxílio de um molinete, em período de estiagem, ou seja, no mínimo quinze dias sem chuvas expressivas. As medições nas sub-bacias devem ser executadas no mesmo período, a fim de podermos comparar os resultados obtidos, que caracterizarão a real influência das águas subterrâneas freática para a manutenção das vazões nos cursos da água, nos períodos de estiagem. Para a validação do indicador através do segundo método, a correlação das vazões específicas obtidas por regionalização com o Mapa Final de Efeitos do Uso do Solo na Capacidade de Armazenamento, é

necessário que os mapas apresentem as mesmas características de formato e tamanho de *pixels*.





3.5.1 Medições de Vazões

O molinete utilizado para a determinação das vazões consiste de uma hélice presa a uma haste e um “conta-giros” (Figura 16), que mede a velocidade do fluxo d' água que passa pela hélice. Assim, quando posicionado em diversos pontos da seção do rio pode determinar o perfil de velocidade desta seção. O molinete obedece ao seguinte princípio de funcionamento: (i) mede-se o tempo necessário para que a hélice do aparelho de um certo número de rotações; (ii) o “conta-giros” envia um sinal ao operador a cada 5 (cinco), 10 (dez) ou qualquer outro numero de voltas realizadas; (iii) marca-se o tempo entre alguns sinais e determina-se o numero de rotações por segundo (n); (iv) o aparelho fornece uma curva calibrada do tipo $V = a \cdot n + b$ (onde a e b são características do aparelho), que fornece a velocidade (V) a partir da freqüência n da hélice. A velocidade limite que podem ser medidas com molinetes são de cerca de 2,5 m/s com haste e de 5 m/s com lastro (PORTO et al., 2001).

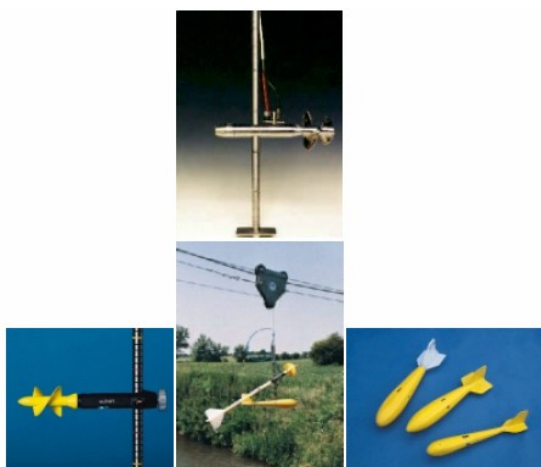


Figura 16 – Tipos de molinetes.
FONTE: PORTO et al., 2001.

O molinete pode ser utilizado de diversas formas, a vau, sobre ponte, com teleférico, com barco fixo e com barco móvel, mas neste trabalho, o tipo de medição utilizada é “a vau”, pois as medições deverão ser realizadas, a priori, em cursos da água com nível não superior a 1,20 metros e velocidade compatível com a segurança do operador. Este método consiste em prender o molinete numa haste, sempre tomando o cuidado de mantê-lo a uma distancia mínima do leito (aproximadamente 20 cm) (PORTO et al., 2001).

Como o molinete fornece o perfil de velocidade da seção e não a vazão diretamente, a mesma é calculada a partir de medições de velocidade. Neste caso precisa-se ainda da geometria da seção.

Segundo Porto et al. (2001), a descarga líquida ou vazão de um rio é definida como sendo o volume de água que atravessa uma determinada seção num certo intervalo de tempo e pode ser determinada pela expressão: $Q = V \cdot S$, onde Q = vazão em m^3/s , V = velocidade do escoamento e S = área da seção (m^2). Como a seção do rio, normalmente é irregular e as velocidades são medidas em alguns pontos representativos, a vazão total será o resultado da soma de parcelas de faixas de vazão verticais, portanto para se calcular a vazão de tais parcelas utiliza-se a velocidade média no perfil e sua área de influência.

Para a determinação da velocidade média, pode-se utilizar quatro processos, dependendo da profundidade do curso d'água. O primeiro consiste em realizar uma medida a 0,15 ou 0,20 metros do leito, uma na superfície a 0,10 metros de profundidade, e entre essas duas, vários pontos que permitem um bom traçado da curva de velocidade em função da profundidade. Calcula-se a área desse diagrama e dividindo-a pela profundidade, tem-se a velocidade média na vertical. O segundo baseia-se na constatação experimental de que a velocidade média numa vertical

aproximar-se muito bem da média aritmética entre a velocidade média a 0,20 e 0,80 metros da profundidade. No entanto, quando a profundidade é inferior a um metro, utiliza-se o processo do ponto único, onde se aproxima a velocidade média pela medida a 0,6 da profundidade, contada a partir da superfície. O quarto método consiste no processo de integração, onde se desloca o aparelho na vertical com velocidade constante e anota-se além da profundidade total, o número de rotações e o tempo para chegar à superfície, obtendo-se assim, diretamente a velocidade média (PORTO et al., 2001). Este último método não será utilizado neste trabalho, pois necessita de operadores bem treinados e adaptados a este tipo de trabalho. O método a ser adotado neste trabalho depende dos cursos da água escolhidos para análise.

A profundidade numa vertical deve ser medida através da própria haste do molinete. A distância horizontal entre as margens pode ser determinada através da régua graduada (trena) ou teodolito. As verticais onde são levantados os perfis de velocidade não devem ser muito próximas, pois podem não fornecer um ganho considerável de informações, assim como, não devem ser muito distantes, pois pode ocorrer a perda da representatividade do modelo. A Tabela 3 sugere espaçamentos entre verticais para medição dos perfis de velocidade.

TABELA 3 – Cuidados no espessamento das medições para uma boa representatividade do perfil.

LARGURA DO RIO (M)	ESPAÇAMENTO MÁXIMO (M)
Até 3	0,30
3 a 6	0,50
6 a 15	1,00
15 a 30	2,00
30 a 50	3,00
50 a 80	4,00
80 a 150	6,00
150 a 250	8,00
250 a 400	12,00

FONTE: ANUÁRIO FLUVIOMÉTRICO N. 2. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA – DNPM – 1941 apud PORTO et al., 2001.

Como já foi mencionada anteriormente, a vazão neste elemento é dada pela multiplicação entre a área de influência e a velocidade média do escoamento no perfil. Para se obter a vazão do rio, soma-se as vazões de todas as parcelas contribuintes.

Depois de determinadas as vazões em cada ponto de coleta, as mesmas foram divididas pela área de contribuição da sub-bacia hidrográfica em km², fornecendo assim um indicador da produção de água por km².

3.5.2 Correlação entre vazão e o valor do indicador

Para realização da última etapa de validação do indicador através do primeiro método, que consiste na correlação das vazões obtidas com os valores do indicador foram utilizados conceitos básicos estatísticos de correlação, pois um dos objetivos deste trabalho é o de estudar o grau de relacionamento entre duas variáveis aleatórias, onde nenhuma das quais, pode ser considerada como causa da outra. Um conjunto de dados, constituído de medições de X e Y, feita sobre uma amostra

de n materiais experimentais, pode ser vista como uma amostra aleatória bivariada $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$, onde os diferentes pares são independentes. A partir desta perspectiva, o estudo da relação entre as variáveis será efetuado através da análise de correlação. O primeiro passo no estudo de uma relação, consiste em colocar as observações sobre um gráfico, chamado de diagrama de dispersão, o diagrama de dispersão fornece uma boa ajuda no discernimento da natureza da relação.

Um tipo simples de associação entre as variáveis X e Y produz pares de valores ou, graficamente, pontos que se distinguem em torno de uma linha reta. Uma pequena dispersão, em torno da linha, indica forte associação, uma grande dispersão é uma manifestação de associação fraca. A medida numérica desta relação é chamado de coeficiente de correlação da amostra, ou, às vezes, de coeficiente de correlação momento – produto de *Pearson* (r). As principais propriedades do coeficiente de correlação são: (i) r deve estar entre -1 e 1 ; (ii) o valor numérico de r mede a intensidade da relação linear e o sinal de r indica a direção da relação; (iii) r^2 é a proporção da variabilidade nos valores de Y que é explicado por uma linha reta, ajustada pelo método dos quadrados mínimos (GONÇALVES, 1998).

Para a validação do indicador através do segundo método, a correlação das vazões específicas obtidas por regionalização com o Mapa Final de Efeitos do Uso do Solo na Capacidade de Armazenamento foi utilizada para o cálculo de correlação a ferramenta “*Band Collection Stats*” do programa ARCGIS. A ferramenta fornece dados estatísticos para uma análise multivariada de um grupo de *layers* no formato *raster*. Através do uso das opções de Covariância computacional e das matrizes de correlação, além dos parâmetros estatísticos básicos, tais como, os valores

mínimos, máximo, a média e o desvio padrão para todos os *layers*, a covariância e a matriz de correlação fornecem os resultados.

As matrizes de covariância contêm valores da variância e da covariância. A variância é a medida estatística de quanta variação há em relação à média. Para calcular estas variâncias, o quadrado da diferença entre cada valor de célula e o valor médio de todas as células são averiguados.

A variância para cada *layer* pode ser lida ao longo da diagonal da matriz de covariância movendo-se a partir da parte superior à esquerda para a direita inferior. As variâncias são expressas em unidades de valor por célula ao quadrado.

As entradas restantes dentro da matriz de covariância são as covariâncias entre todos os pares de dados no formato *raster*. A equação apresentada abaixo é utilizada para determinar a covariância entre os *layers* i e j.

$$Cov_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N (Z_{ik} - \mu_i) \cdot (Z_{jk} - \mu_j)}{N - 1}$$

onde,

Z - valor da célula

i, j - são os layers

μ - média dos layers

N - número de células

k - denota uma célula em particular

A covariância entre dois *layers* é a intersecção da fileira e da coluna apropriada. A covariância entre os *layers* 2 e 3 é a mesma que a covariância entre

os *layers* 3 e 2. Os valores da matriz de covariância dependem dos valores unitários, ao contrário da matriz de correlação.

A matriz de correlação mostra os valores do coeficiente de correlação, isto descreve o relacionamento entre duas series de dados. No caso de um conjunto de *layers* em *raster*, a matriz de correlação mostra como os valores de um *layer* em *raster* se relacionam com os valores das células de outro *layer*. A correlação entre dois *layers* é a medida da dependência entre os *layers*. Isto é a covariância entre os dois *layers* dividido pelo produto de seus desvios padrão. Por causa desta relação, a correlação é um numero de menor valor. A equação para cálculo da correlação é a que segue.

$$Corr_{ij} = \frac{Cov_{ij}}{\delta_i \delta_j}$$

Correlações variam de +1 até -1. Uma correlação positiva indica uma relação direta entre dois *layers*, assim sendo, quando os valores da célula de um *layer* aumentam, provavelmente os valores da célula do outro *layer* também vão aumentar. Uma correlação negativa que a variável muda inversamente em relação à outra.

A correlação zero indica que os dois *layer* são independentes um do outro.

A matriz de correlação é simétrica. Se sua diagonal a partir da parte superior esquerda até a inferior direita for 1,000, o coeficiente de correlação é +1 e indica *layers* idênticos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados e informações que adentram, inicialmente, o fluxograma apresentado no item 3.4, têm sua origem em fontes de dados cartográficos e documentais que após seleção e tratamento resultam nos produtos denominados mapas temáticos base. Estes constituem a entrada de dados na segunda fase, que após processamento para análise das unidades tipológicas dão origem ao produto denominado mapas temáticos derivados. Os mapas temáticos derivados constituem o fluxo de entrada da terceira fase do modelo que após integração (soma) resultam no produto denominado mapas intermediários I – Potencial Hidrológico do Relevo e do Solo; mapas intermediários II – Potencial de Armazenamento do Meio Poroso; e mapas de síntese finais – Indicador da Capacidade Original e Atual da Bacia.

Entende-se por mapa temático básico todo mapa no seu estado original com a legenda de todas as unidades (tipológicas) ocorrentes na área da bacia. Os mapas temáticos derivados, por sua vez, são os mapas que contém as unidades (tipológicas) organizadas em classes de importância relativas ao potencial de recarga dos aquíferos. A atribuição destes valores baseou-se nos textos e nos conhecimentos dos autores dos respectivos mapas básicos: Mapa 02 (Figura 17) - Fraturas (DNPM,1969); Mapa 04 (Figura 19) - Unidades Litoestratigráficas (AUMOND, 2006); Mapa 06 (Figura 21) - Unidades Geomorfológicas (SANTOS, 2006); Mapa 08 (Figura 23) - Altimetria (REFOSCO, 2006); Mapa 10 (Figura 25) - Classes de Solos (EPAGRI,1998); Mapa 13 (Figura 28) - Cobertura Vegetal Original (SEVEGNANI, 2006); Mapa 15 (Figura 30) - Usos do solo (VIBRANS, 2003 e 2006) e Mapa 17(Figura 32) - Precipitação (ANA, 2001).

Os mapas temáticos derivados utilizados neste trabalho são a representação da expressão hidrológica das componentes fraturas, geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal original, usos da terra e precipitação. Foram desenvolvidos os seguintes temas derivados:

- Fraturas: Densidade de fraturas.
- Geologia: Permeabilidade das rochas.
- Geomorfologia: Fluxo preferencial em profundidade e declividade.
- Solos: Potencial de infiltração e Potencial de armazenamento.
- Cobertura Vegetal Original e Usos do Solo: Grau de proteção.
- Precipitação: intensidade.

Para a obtenção dos mapas temáticos derivados e posteriormente dos demais, foi necessária a conversão dos mapas temáticos básicos do formato vetorial para o formato *raster*. No caso específico deste trabalho, foram utilizados pixels de tamanhos diversos de acordo com a grandeza da variável analisada (Tabela 4). Os mapas finais apresentam pixels de 660 x 660 metros. Esta conversão foi possível utilizando-se no módulo “*spatial analyst*” do *software* ArcGis 8.3 a ferramenta “*convert – features to raster*”.

TABELA 4 – Descrição do formato e tamanho dos pixels dos mapas.

Nº MAPA	DESCRIÇÃO	FORMATO	TAMANHO PIXEL(m)
1	Mapa Temático Base - Fraturas	Vetor	-
2	Mapa Temático Base - Unidades Litoestratigráficas	Vetor	-
3	Mapa Temático Base - Unidades Geomorfológicas	Vetor	-
4	Mapa Temático Base - Altimetria	Raster	30 x 30
5	Mapa Temático Base - Classes de solos	Vetor	-
6	Mapa Temático Base - Cobertura Vegetal Original	Vetor	-
7	Mapa Temático Base - Usos do solo	Raster	30 x 30
8	Mapa Temático Base – Precipitação anual	Vetor	-
9	Mapa Temático Derivado - Densidade de Fraturas	Raster	5000 x 5000
10	Mapa Temático Derivado - Permeabilidade das Rochas	Raster	60 x 60
11	Mapa Temático Derivado - Fluxo Preferencial em Profundidade	Raster	60 x 60
12	Mapa Temático Derivado - Declividade	Raster	60 x 60
13	Mapa Temático Derivado - Potencial de Infiltração do Solo	Raster	60 x 60
14	Mapa Temático Derivado - Potencial de Profundidade para Armazenamento	Raster	60 x 60
15	Mapa Temático Derivado - Grau de Proteção da Cobertura Vegetal Original	Raster	60 x 60
16	Mapa Temático Derivado - Grau de Proteção dos Tipos de Usos do Solo	Raster	60 x 60
17	Mapa Temático Derivado - Intensidade de Precipitação	Raster	60 x 60
18	Mapa Intermediário nível 1 - Potencial Hidrológico do Relevo	Raster	60 x 60
19	Mapa Intermediário nível 1 - Potencial Hidrológico do Solo	Raster	60 x 60
20	Mapa Intermediário nível 2 - Potencial de Armazenamento do Meio Poroso	Raster	660 x 660
22	Mapa Síntese Final - Capacidade Potencial de Armazenamento Original da Bacia	Raster	660 x 660
24	Mapa Síntese Final - Efeitos do Uso do Solo na Capacidade de Armazenamento	Raster	660 x 660

As relações das componentes do meio físico com o meio de armazenagem, os critérios utilizados para a caracterização das unidades homogêneas e as respectivas classes são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Relações utilizadas para a caracterização dos temas derivados e critérios para a definição das classes (adaptado de Chiaranda, 2002).

ELEMENTO	COMPONENTE	RELAÇÃO COM AS COMPONENTES DE ARMAZENAGEM		TEMA DERIVADO	CRITÉRIOS	CLASSES
		COMPONENTE DA ARMAZENAGEM	ESTRUTURA HIDROLÓGICA			
ROCHA	FRATURAS GEOLÓGICAS	Armazenagem no freático	Zona de saturação, franja capilar, sistema de fluxo subterrâneo.	Densidade de fraturas	Densidade de fraturas em km por km ²	Muito alta Alta Média Baixa Muito Baixa
	GEOLOGIA	Armazenagem no freático	Zona de saturação, franja capilar, sistema de fluxo subterrâneo.	Permeabilidade das rochas	Granulometria, estratificação, grau de agregação, condições de recarga, potencialidade para aquífero.	Alta Média Baixa
	GEOMORFOLOGIA	Armazenagem no solo e nas depressões do terreno	Zona de aeração, áreas de acúmulo e de liberação, rede de drenagem. Zona de aeração, zona intermediária, zona de liberação e zona de acúmulo.	Fluxo preferencial em profundidade	Formas, componente do fluxo.	Alta Média Baixa
				Declividade	Energia potencial disponível.	Muito alta Alta Média Baixa Muito Baixa
SOLOS	SOLOS	Armazenamento no solo, nas depressões do terreno por retenção superficial e por retenção subsuperficial.	Zona de aeração, zona intermediária e franja capilar.	Potencial de infiltração	Granulometria, porosidade, permeabilidade e armazenamento.	Muito alta Alta Média Baixa Muito Baixa
			Zona de aeração, zona intermediária e franja capilar.	Profundidade para armazenamento	Perfil, posicionamento no terreno e profundidade.	Muito alta Alta Média Baixa Muito Baixa
VEGETAÇÃO	COBERTURA VEGETAL ORIGINAL E USOS DO SOLO	Interceptação, armazenagem por retenção e retenção pela manta orgânica, armazenagem no solo e na superfície.	Camada aérea, superfície do solo e zona de aeração.	Grau de proteção	Sinergismo entre o solo, clima e a vegetação, manta orgânica, atenuação da precipitação, sazonalidade e usos do solo.	Muito alta Alta Média Baixa Muito Baixa
PRECIPITAÇÃO	PRECIPITAÇÃO		Camada aérea e superfície do solo.	Intensidade de precipitação.	Altura de precipitação anual.	Alta Média Baixa Muito baixa

As classes de valores utilizadas para caracterizar as unidades homogêneas dentro de cada tema derivado foram estabelecidas com base em revisão documental, bibliográfica, cartográfica e de conhecimento empírico de especialistas.

4.1 ELEMENTO ROCHAS

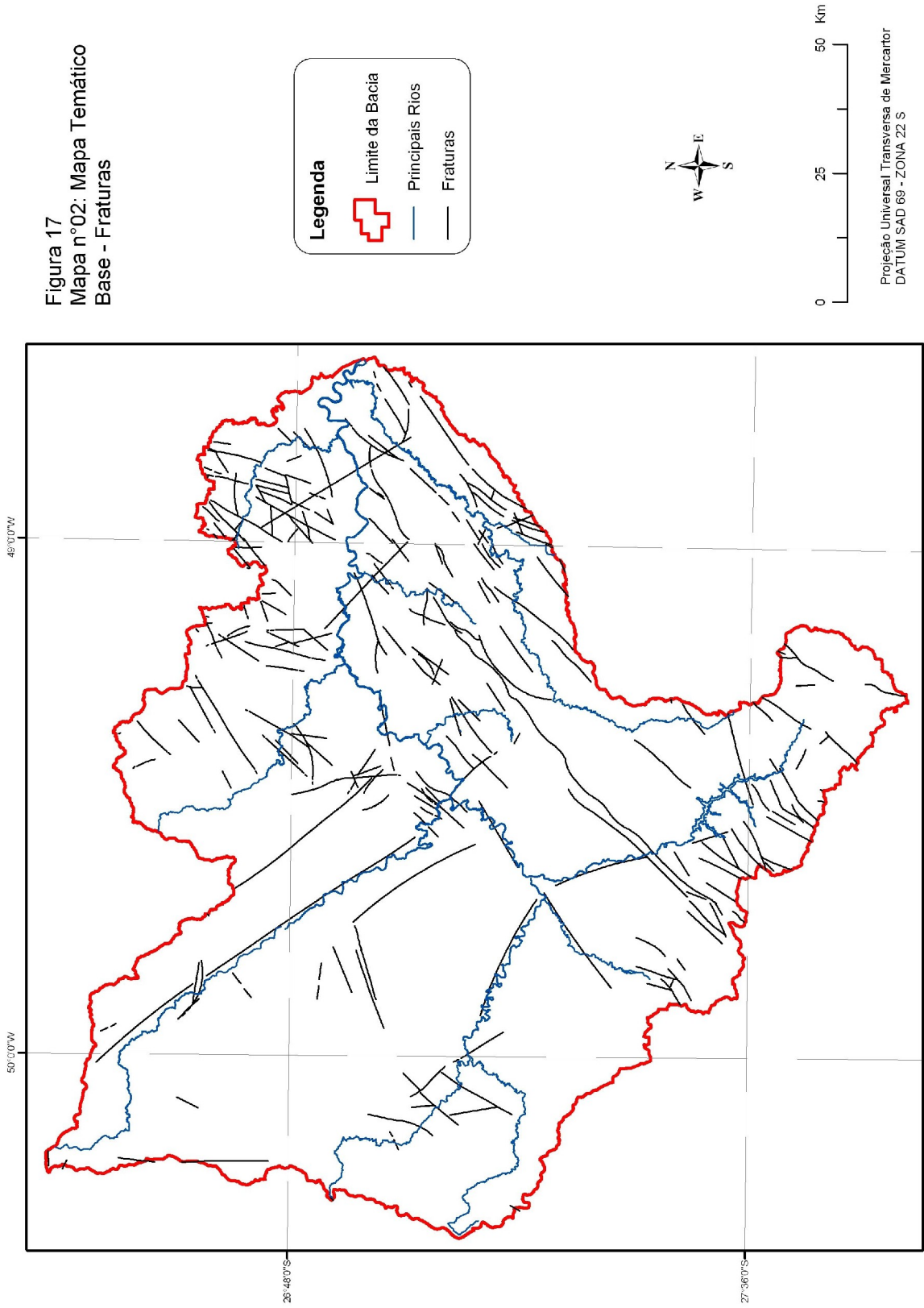
O mapa temático básico de fraturas (Figura 17 – Mapa 02) foi obtido através da vetorização dos mapas geológicos do DNPM, na escala 1:250.000 (folhas Rio do Sul, Blumenau e Joinville), para as demais áreas foi utilizado o mapa do DNPM na escala 1:500.000, em virtude da inexistência dos mapas dessas áreas na escala 1:250.000. Após a vetorização foi gerada uma grade de 5 x 5 km e calculada a densidade de fraturas em km por km². Os valores resultantes do cálculo de densidade foram separados em intervalos e posteriormente valorados e classificados de acordo com a importância relativa ao potencial de recarga, dando origem ao Mapa Temático Derivado – Densidade de Fraturas (Figura 18 – Mapa 03). Para a valoração da variável fratura geológica, foi utilizada uma escala de valores comparativos, com o menor correspondendo à classe de menor importância, e as demais as classes intermediárias (Tabela 6).

TABELA 6 – Classificação e valoração das densidades de fraturas.

INTERVALOS DE CLASSES DE FRATURAS		PESO
QUANTITATIVO Km/km ²	QUALITATIVO	
0,00 – 0,15	Muito Baixa	0,20
0,15 – 0,31	Baixo	0,40
0,31 – 0,47	Médio	0,60
0,47 – 0,63	Alto	0,80
0,63 – 0,82	Muito Alto	1,00

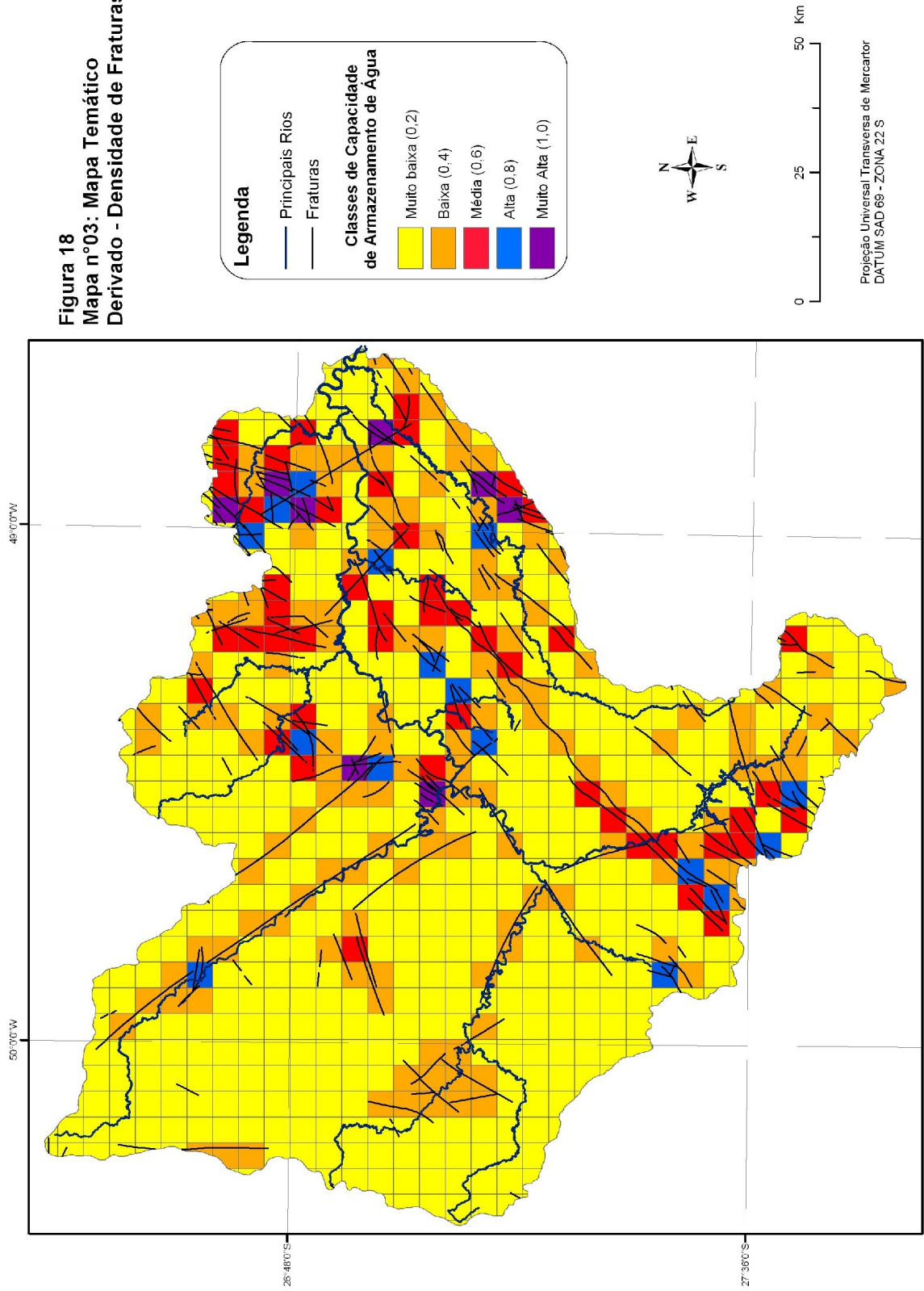
Áreas com maior concentração de fraturas apresentam maior importância para a recarga, uma vez que, fraturas geológicas são caminhos abertos ao escoamento em profundidade da água.

Figura 17
Mapa nº02: Mapa Temático
Base - Fraturas



Projeção Universal Transversa de Mercator
DATUM SAD 69 - ZONA 22 S

Figura 18
Mapa nº03: Mapa Temático
Derivado - Densidade de Fraturas



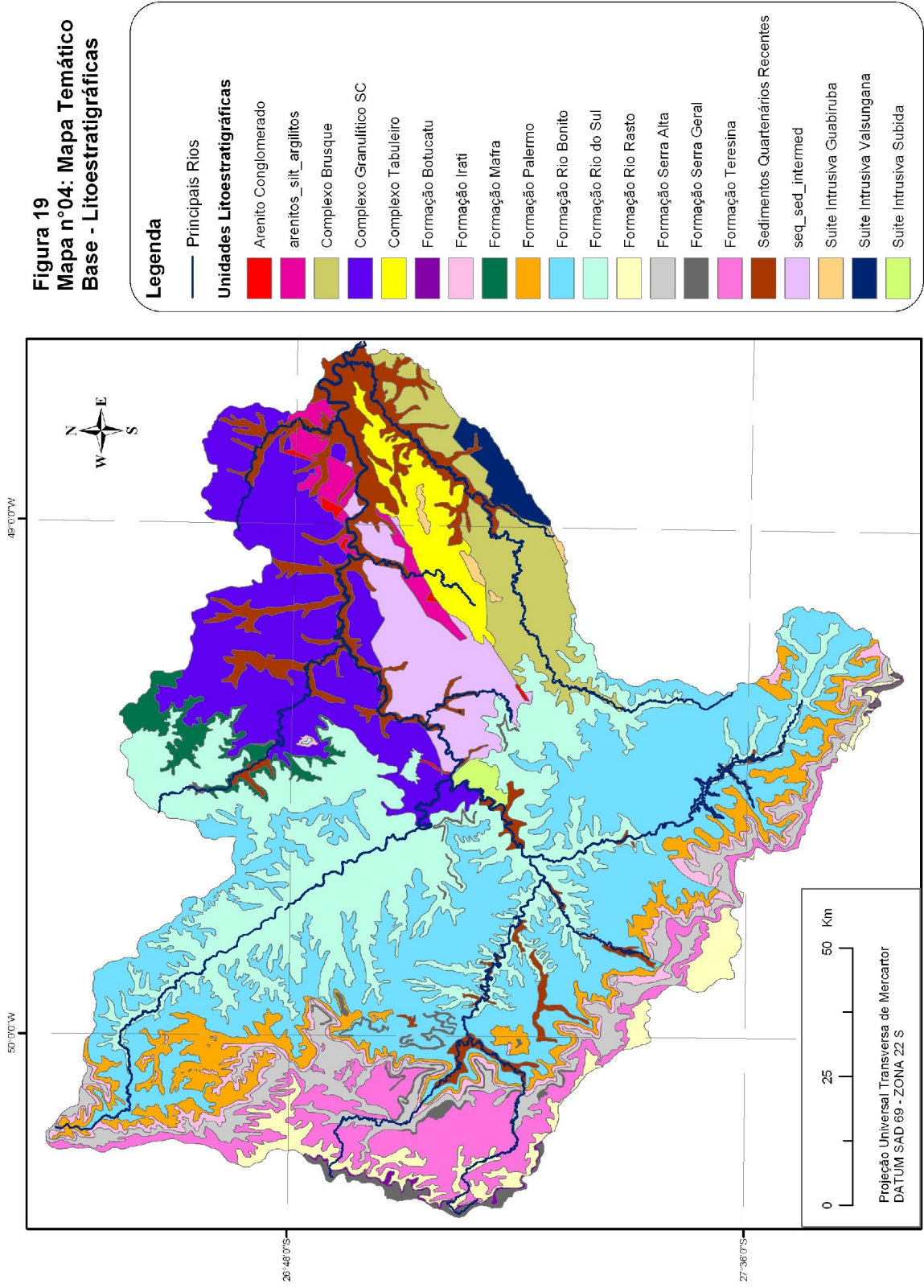
Projeção Universal Transversa de Mercator
DATUM SAD 69 - ZONA 22 S

Para a valoração das unidades litoestratigráficas (Figura 19 – Mapa 04) quanto à permeabilidade utiliza-se uma escala de valores comparativos, com o menor correspondendo à classe de menor permeabilidade, e as demais classes intermediárias (Tabela 7). O resultado desta valoração é o mapa temático derivado de permeabilidade das rochas (Figura 20 – Mapa 05).

TABELA 7 – Classificação e valoração das unidades litoestratigráficas quanto à permeabilidade.

UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA	ROCHA	CLASSE PERMEABILIDADE	PESO
Formação Botucatu	arenito	alta	0,80
Formação Rio do Rastro	arenito / siltito/ argilito	médio	0,60
Formação Gaspar	arenito / siltito/ argilito	médio	0,60
Formação Rio do Sul	arenito / argilito	médio	0,60
Formação Mafra	arenito / argilito	médio	0,60
Formação Campo Alegre	vulcânica/sedimentar	médio	0,60
Formação Palermo	arenito/ siltito / folhelo	médio	0,60
Formação Serra Geral	basalto	baixa	0,40
Formação Teresina	argilito / folhelo	baixo	0,40
Formação Irati	argilito / folhelo	baixo	0,40
Formação Serra Alta	siltito/ argilito / folhelo	baixo	0,40
Formação Rio Bonito	arenito / argilito	baixo	0,40
Formação Campo Tenente	argilito	baixo	0,40
Suite Intrusiva Subida	granito	baixo	0,40
Suíte Intrusiva Guabiruba	granito	baixo	0,40
Suíte Intrusiva Valsungana	granito	baixo	0,40
Complexo Brusque	xisto / filito / mármore	baixo	0,40
Complexo Tabuleiro	gnaisse / quartzito	baixo	0,40

Figura 19
Mapa nº04: Mapa Temático
Base - Litoestratigráficas



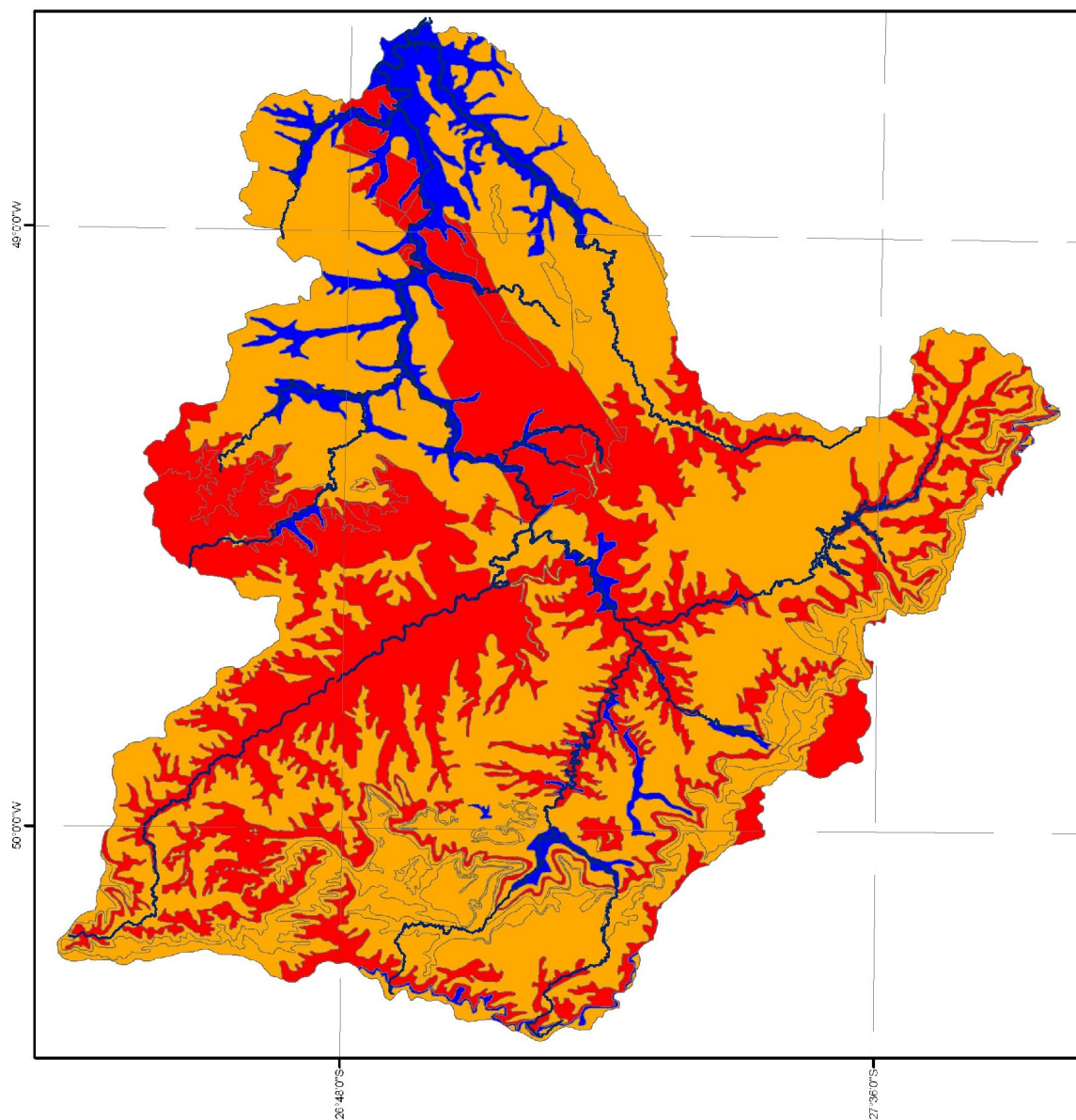


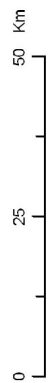
Figura 20
Mapa nº05: Mapa Temático
Derivado - Permeabilidade

Legenda

- Principais Rios

Classes de Capacidade de Armazenamento de Água

- Baixa (0,4)
- Média (0,6)
- Alta (0,8)



Projeção Universal Transversa de Mercator
 DATUM SAD 69 - ZONA 22 S

A classificação e valoração das formas de relevo - unidades geomorfológicas (Figura 21 – Mapa 06) quanto ao fluxo preferencial em profundidade é a apresentada na Tabela 8 e o resultado apresentado na Figura 22 – Mapa 07.

TABELA 8 – Formas de relevo (unidades geomorfológicas) quanto ao fluxo preferencial em profundidade.

DOMÍNIOS MORFOESTRUTURAIS	REGIÕES	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	CLASSES	PESO
Depósitos Sedimentares	Planícies Costeiras	Planícies Litorâneas	Alta	0,80
Bacias e Coberturas Sedimentares	Planalto das Araucárias	Planalto dos Campos Gerais	Alta	0,80
Bacias e Coberturas Sedimentares	Planalto Centro-Oriental de Santa Catarina	Patamares do Alto Rio Itajaí	Baixo	0,40
Bacias e Coberturas Sedimentares	Planalto de Lajes	Planalto de Lajes	Baixo	0,40
Bacias e Coberturas Sedimentares	Patamar Oriental da bacia do Paraná	Patamar de Mafra	Baixo	0,40
Embasamentos em Estilos Complexos	Serra do leste Catarinense	Serra do Tabuleiro / Itajaí	Médio	0,60

Figura 21
Mapa n°06: Temático
Base - Unidades Geomorfológicas

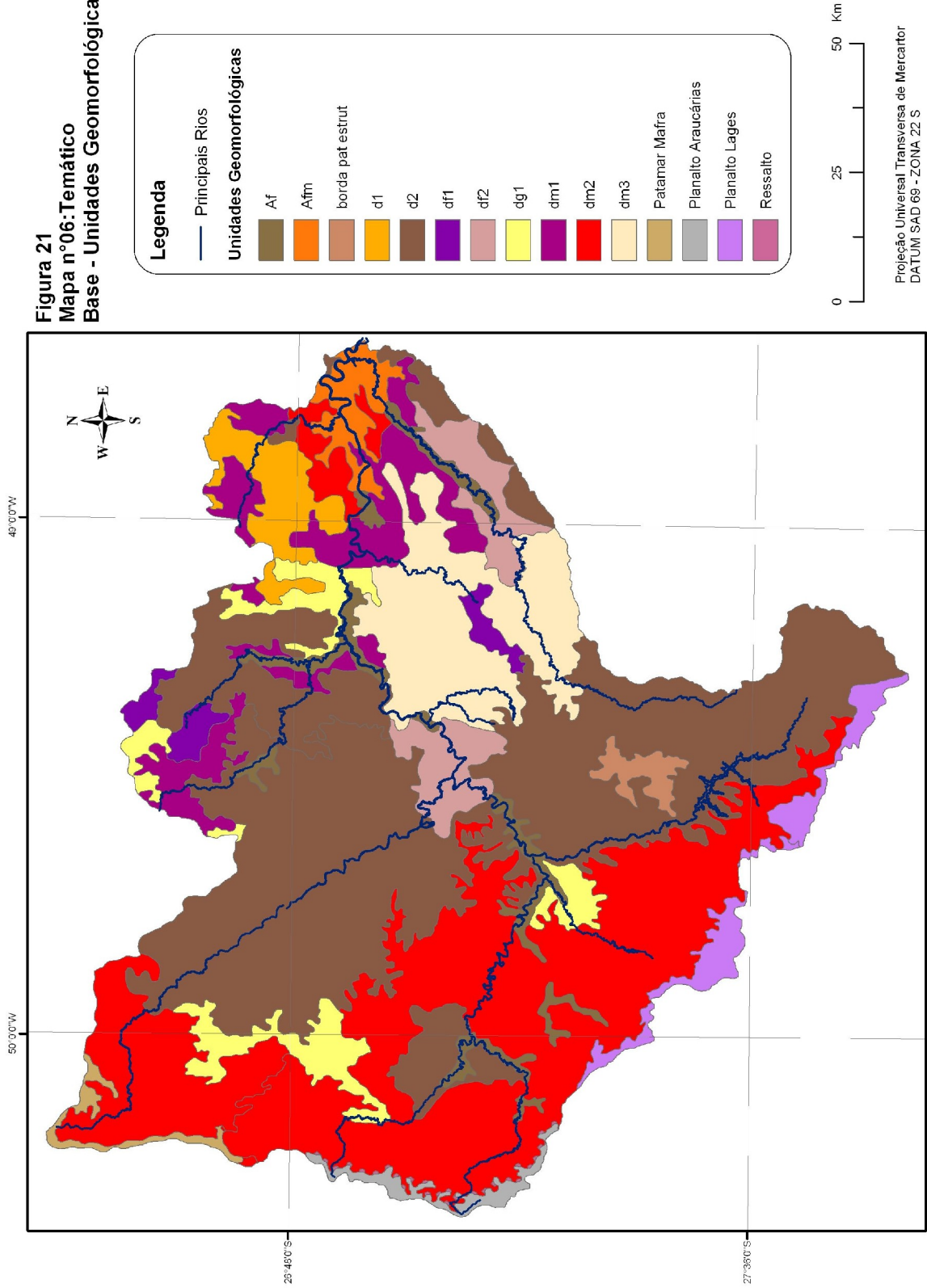
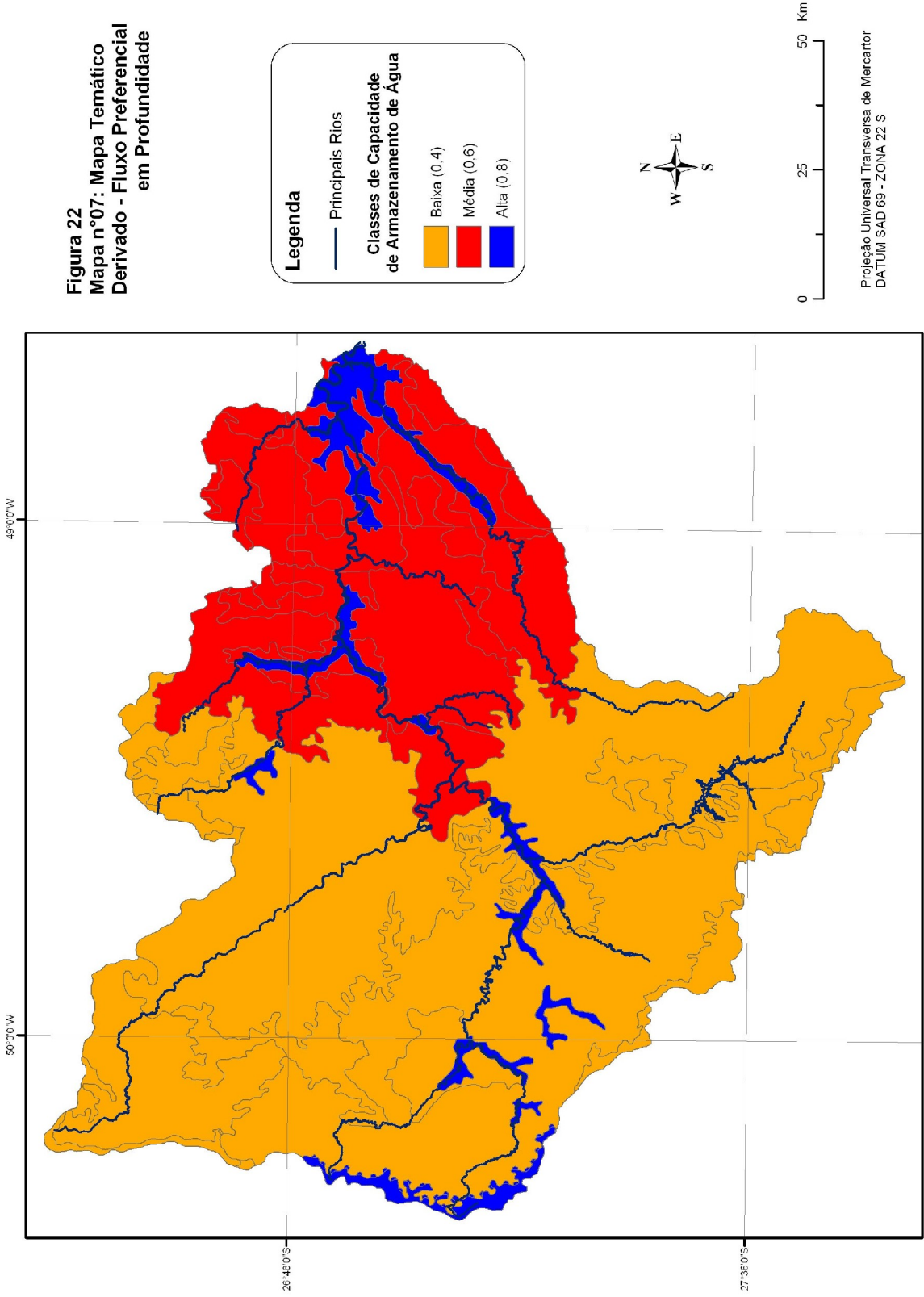


Figura 22
Mapa n°07: Mapa Temático
Derivado - Fluxo Preferencial
em Profundidade



O mapa temático derivado de declividade foi obtido a partir do mapa temático base de altimetria (Figura 23 – Mapa 08). Os intervalos de classes de declividade utilizados para a classificação são os recomendados pela literatura, como por exemplo, o da EPAGRI (1998). Optou-se por expressar as declividades em percentagem devido a essa unidade de valor ser a mais utilizada no planejamento, implantação e condução das atividades no setor produtivo primário. Em função disso, os terrenos da bacia com declividade superior a 45 % são aqueles que apresentam inclinação de rampa superior a 24 %. As classes de declividade e seus respectivos pesos são apresentados na Tabela 9 e o mapa temático derivado de declividade na Figura 24 – Mapa 09.

TABELA 9 – Declividade das vertentes da bacia.

INTERVALOS DE CLASSES DE DECLIVIDADE		PESO	ENERGIA DISPONIVEL (quantidade relativa)
QUANTITATIVO %	QUALITATIVO		
0 – 3	Muito Baixa	1,00	Muito pouca
3 - 8	Baixo	0,80	Pouca
8 - 20	Médio	0,60	Média
20 - 45	Alto	0,40	Grande
> 45	Muito Alto	0,20	Muito Grande

FONTE: Chiaranda, 2002.