

**Universidade Federal de Santa Catarina
CTC - Centro Tecnológico
Departamento de Engenharia Ambiental
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental**

**PROPOSTA DE CORREDOR ECOLÓGICO PARA AS ÁREAS DE
RECARGA DIRETA DO AQÜÍFERO GUARANI EM SANTA CATARINA
- BRASIL**

Álvaro Praun Júnior

Orientador: Dr. Daniel José da Silva

Trabalho apresentado como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina - Brasil.

Florianópolis, 20 de setembro de 2007.

APROVAÇÃO

Nome: Álvaro Praun Júnior

Titulação: Mestre em Engenharia Ambiental

Título da Dissertação: Proposta de Corredor Ecológico para as Áreas de Recarga Direta do Aquífero Guarani em Santa Catarina – Brasil.

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental no programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 27 de abril de 2007.

Dr. Sebastião Roberto Soares

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Daniel José da Silva
(Orientador ENS - UFSC)

Prof. Dr. Luiz Fernando Scheibe
(Departamento de Geografia - UFSC)

Prof. Dr. Cesar Augusto Pompêo
(ENS-UFSC)

Prof. Dr. Davide Franco
(ENS-UFSC)

Resumo

A água hoje e sempre será nossa principal fonte de vida, motivo pelo qual se deve ter um grau de atenção elevado para a conservação deste importante recurso. As águas superficiais presentes nos rios e lagos estão cada vez mais poluídas e escassas, uma alternativa de uso, então, são as águas subterrâneas. O uso das águas subterrâneas requer certos cuidados como a realização de estudos que relevem a importância da inter-relação entre a superfície do solo e as camadas subterrâneas que armazenam a água que se caracterizam como aquíferos. A problemática que motiva este estudo é o uso desenfreado das reservas de água do Aquífero Guarani, onde não se leva em conta a relação demanda e reposição de água para os mananciais subterrâneos podendo levar rapidamente a um déficit hídrico. Desta forma, as áreas de recarga direta são elementos muito importantes nesta relação de demanda de consumo e recarga de água. Este trabalho poderá contribuir para o desenvolvimento de medidas para a gestão do território e controle da exploração/recarga do aquífero através de uma proposta de delimitação para a criação de Corredor Ecológico nas áreas de recarga direta do Aquífero Guarani no Estado de Santa Catarina. A identificação de áreas, com maior capacidade de proporcionar recarga de água de forma direta com qualidade e quantidade para as zonas de recarga direta do aquífero em questão, foi feita através do uso de sistemas de informações geográficas, adaptação de metodologias para delimitação de corredor ecológico e processo de análise hierárquico. Assim, foi possível propor um corredor ecológico nas áreas de recarga direta do Aquífero Guarani em Santa Catarina.

Palavras-chave: Aquífero Guarani, corredor ecológico, sistemas de informações geográficas, processo de análise hierárquico.

Palavras-chave: Aquífero Guarani, corredor ecológico, sistemas de informações geográficas, processo de análise hierárquico.

Abstract

The water today and always will be our main source of life, reason for which it must have a degree of attention raised for the conservation of this important resource. The superficial waters gifts in the rivers and lakes are each scarce time more polluted and, a use alternative, then, they is the underground waters. The use of underground waters requires certain cares as the accomplishment of studies that raise the importance of the interrelation enters the underground surface of the ground and layers that store the water that if characterizes as aquifer. Problematic that it motivates the this study it is the wild use of the water reserves of the Guarani Aquifer, where the relation is not taken in account water demand and replacement for the underground sources being able to lead quickly to a hydric deficit. In such a way, the areas of direct recharge are very important elements in this relation of demand of consumption and water recharge. This work will be able to contribute for the development of measures for the management of the territory and control of the exploration/recharge of the aquifer one through a proposal of delimitation for the creation of Ecological Runner in the areas of direct recharge of the Guarani Aquifer in the State of Santa Catarina. The identification of areas, with bigger capacity to provide to water recharge of direct form with quality and amount for the zones of direct recharge of the aquifer one in question, was made through the use of geographic information systems, adaptation of methodologies for delimitation of ecological runner and analytic hierarchy process. Thus, it was possible to consider an ecological runner in the areas of direct recharge of the Guarani Aquifer in Santa Catarina.

Keywords: Guarani Aquifer, ecological runner, geographic information systems, analytic hierarchy process.

Dedico este trabalho aos meus pais que me proporcionaram condições de estudar e chegar até aqui.

A minha esposa que sempre me incentivou ao desafio acadêmico.

Amo vocês.

Agradecimentos

Primeiramente meus sinceros agradecimentos àquele que me defendeu e ajudou em todo o período de meu mestrado, o grande Maurício Paiva.

Ao meu orientador Daniel Silva, que além de mestre é um grande amigo que ganhei neste mestrado.

Aos professores membros da banca examinadora por sua participação e colaboração.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Ao Guilherme Xavier de Miranda pela colaboração e discussão do trabalho.

Ao Eduardo Cidreira por todo seu apoio e amizade.

Ao Fernando Luiz Vianna, amigo que orientou em grande parte de meu aprendizado em Sistemas de informação Geográfica.

Ao Francisco Brito idealizador pioneiro de corredores ecológicos no Brasil, que com muita boa vontade me recebeu em sua casa para auxiliar nas definições do conceito de corredor ecológico.

E por fim ao meu bom Deus, Jesus Cristo e todos aqueles lá de cima que olham por mim, meu muito obrigado por me darem saúde e paixão para trabalhar com a proteção de nosso planeta.

“ OS DIAS QUE ESTES HOMENS PASSAM NAS MONTANHAS SÃO OS DIAS EM QUE REALMENTE VIVEM.

QUANDO AS CABEÇAS SE LIMPAM DE TEIAS DE ARANHA E O SANGUE CORRE COM FORÇA PELAS VEIAS.

QUANDO OS CINCO SENTIDOS COBRAM VITALIDADE E O HOMEM COMPLETO SE TORNA MAIS SENSÍVEL E ENTÃO JÁ PODE OUVIR AS VOZES DA NATUREZA E VER AS BELEZAS QUE SÓ ESTAVAM AO ALCANCE DOS MAIS OUSADOS.”

REINHOLD MESSNER, EN SOLITÁRIO.

Sumário

Aprovação	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Sumário	vii
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Abreviaturas	xiv
Capítulo 1	
Introdução	1
1.1 Objetivo Geral	3
1.2 Justificativa.....	4
Capítulo 2	
Estado da Arte	5
2.1 A Água	5
2.2 A água no mundo e a disponibilidade hídrica para os povos.....	6
2.3 O que são aquíferos.....	8
2.3.1 Distribuição dos maiores sistemas aquíferos pelo planeta	8
2.4 O Aquífero Guarani	11
2.4.1 Características Gerais	14
2.4.2 Geologia do Sistema Aquífero Guarani.....	15
2.5 Áreas protegidas	16

2.6 Corredores Ecológicos como elementos de preservação e interligação de fragmentos de áreas protegidas	18
2.7 Pressupostos legais para delimitação do corredor ecológico nas zonas de recarga direta do Aquífero Guarani em Santa Catarina.....	25
2.8 O Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta de apoio à tomada de decisão.....	32
2.8.1 O geoprocessamento em sistemas computacionais	32
2.8.2 Estruturas modeladas em Sistemas de Informação Geográfica	33
2.8.3 O método de análise multicritério para a definição de limites para áreas com potencial de proteção.....	34
2.8.4 Sistemas de Suporte a Decisão	36
2.8.5 Processo de Análise Hierárquica (AHP).....	37
Capítulo 3	
Área de Estudo	39
3.1 Descrição da área de estudo	39
3.1.1 História da Serra Geral Catarinense	40
Capítulo 4	
Metodologia	46
4.1 Identificação e aquisição da base de dados	48
4.1.1 Organização dos dados.....	49
4.2 Definição do recorte da base de dados da área de estudo	51
4.3 Processo de geração de imagens <i>Land Sat 7 ETM+</i> e classificação supervisionada do uso do solo a partir de mosaico de imagens	52
4.3.1 Aquisição de cenas <i>Land sat 7 ETM+</i>	52
4.3.2 Geração de imagens e mosaicagem.....	53
4.3.3 Geração do mapa de uso do solo	54
4.4 Rasterização dos dados vetoriais	54
4.5 Agrupamento dos dados vetoriais e <i>raster</i>	55
4.6 Geração de subprodutos da base de dados.....	55
4.7 Inferência geográfica.....	56
4.8 Escolha do modelo multicritério em sistemas de informação geográfica	56
4.8.1 Descrição do Processo AHP	56
4.8.2 Atribuição de valores (pesos) aos critérios utilizados para a delimitação do corredor ecológico	57
4.9 Aplicação de modelo multicritério AHP para identificação das áreas razoáveis a ótimas para recarga direta de água em aquíferos	62
4.9.1 Cruzamento dos dados principais	62
4.9.2 Cruzamento dos dados secundários.....	64

4.9.3 Transformação dos dados <i>rasters</i> para dados vetoriais com as áreas consideradas importantes para as áreas de recarga direta.....	66
4.10 Determinação dos limites do corredor ecológico.	67
Capítulo 5	
Resultados e Discussão	68
5.1 Análise dos resultados gerados a partir do banco de dados georreferenciado .	70
5.1.1 Definição da área de estudo.....	70
5.1.2 Análise Geológica.....	73
5.1.3 Análise de Solos.....	75
5.1.4 Análise do Uso do Solo	78
5.1.5 Análise Hipsométrica.....	81
5.1.6 Análise da Declividade	83
5.2 Escolha da metodologia mais apropriada à obtenção de resultados para a identificação das áreas com potencial de proteção para as recargas diretas.	86
5.3 Análise espacial dos dados da área de estudo.....	88
Capítulo 6	
Considerações Finais	99
Referência Bibliográfica	102
Anexos	120

Lista de Figuras

Figura 2.1	Exemplo de espacialização dos aquíferos transfronteiriços representados pela linha roxa (Fonte: WHYMAP, 2006).....	11
Figura 3.1	Ilustração mostrando a fragmentação do Pangea dando origem aos continentes Eurásia e Gondwana há 225 milhões de anos atrás. A partir daí, o Gondwana e a Eurásia se fragmentam e começa a migração continental, com o afastamento da América do continente africano/europeu. (Fonte: Pangea, 2006).....	41
Figura 3.2	Vista frontal das escarpas da Serra Geral na porção sul de Santa Catarina. (Fonte: Google Earth).....	42
Figura 3.3	Vista dos contrafortes da Serra Geral – Urubici – SC - Brasil. (Foto: Álvaro Jr.).....	43
Figura 3.4	Exemplo dos derrames de basalto que formaram a Serra Geral – Urubici – SC - Brasil (Foto: Álvaro Jr.)	43
Figura 3.5	Mosaico de imagens de satélite <i>Land Sat 7 ETM+</i> , com limites do Estado de Santa Catarina em branco e linha representativa da Serra Geral em linha amarela. (Fonte: figura elaborada pelo Geógrafo Álvaro Jr. no software ArcGis 9x).....	44
Figura 3.6	Modelagem tridimensional da Serra Geral a partir de imagens de satélite <i>Land Sat 7 ETM+</i> e Modelo Digital de Terreno SRTM – <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> , desenvolvido no <i>software Arc Scene 9x</i> . Elaboração: Geóg. Alvaro Jr.....	45
Figura 4.1	Fluxograma ilustrando as etapas da metodologia para execução do trabalho.....	47
Figura 4.2	Organização dos dados no <i>software ArcGIS 9x</i>	50

Figura 4.3	Exemplo de dados organizados no <i>software</i> ArcGIS 9x.....	51
Figura 4.4	Disposição das cenas Land Sat 7 220/78/79/80.....	53
Figura 4.5	Disposição das cenas Land Sat 7 221/78/79/80.....	53
Figura 4.6	Exemplo da matriz utilizada para calcular os valores dos critérios.....	63
Figura 4.7	Figura exemplificando os resultados dos cálculos dos critérios físicos, na qual estão representados os níveis mais baixos aos mais altos seguindo a escala de cores de verde ao vermelho, sendo o verde os valores mais baixos ao vermelho apresentando os valores mais altos.	64
Figura 4.8	Exemplo da matriz utilizada para calcular os valores dos critérios secundários.....	65
Figura 4.9	Figura exemplificando resultados dos cálculos dos critérios legais, na qual as cores mais claras como os tons de verde identificados como áreas com menor influência, as cores com tons mais fortes como o vermelho como áreas mais importantes do ponto de vista legal.	66
Figura 5.1	Mapa ilustrando a definição da área de pesquisa.	71
Figura 5.2	Gráfico representando a relação quantidade/tamanho das microbacias hidrográficas relacionadas com as áreas de recarga direta.	72
Figura 5.3	Mapa apresentando a geologia da área de estudo.....	74
Figura 5.4	Mapa ilustrando os principais tipos de solos na área de estudo.....	76
Figura 5.5	Análise geoestatística da distribuição dos solos na área de estudo.....	77
Figura 5.6	Gráfico ilustrando o grau de importância dos diferentes tipos de solos encontrados na área de estudo.	78
Figura 5.7	Mapa ilustrando o uso do solo na área de pesquisa.....	79
Figura 5.8	Gráfico demonstrando a porcentagem de cada classe para a área de estudo.	80
Figura 5.9	Mapa ilustrando a hipsometria da área de pesquisa.	82
Figura 5.10	Mapa apresentando a declividade da área de estudo.	84
Figura 5.11	Estimativa da distribuição das declividades para a área estudada.....	85
Figura 5.12	Estimativa de áreas acima de 45° para o recorte da área de estudo.	85
Figura 5.13	Mapa ilustrando os resultados do cruzamento dos critérios físicos.....	90
Figura 5.14	Mapa ilustrando os resultados do cruzamento dos critérios legais.....	92
Figura 5.15	Mapa ilustrando os cruzamentos dos resultados das análises.....	94

Figura 5.16 Mapa final apresentando a proposta de limites para o Corredor Ecológico com base na análise dos resultados obtidos durante a pesquisa.....	96
---	----

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Seleção dos maiores sistemas aquíferos contendo predominantemente recursos hídricos subterrâneos não renováveis.	9
Tabela 4.1 Descrição das importâncias para os valores de um a cinco.	57
Tabela 4.2 Classificação de valores para os sub-critérios do critério Geologia.	59
Tabela 4.3 Classificação de valores para os sub-critérios do critério Solos.	60
Tabela 4.4 Classificação de valores para os sub-critérios do critério Solos.	60
Tabela 4.5 Classificação de valores para os sub-critérios do critério APP Recursos Hídricos.	61
Tabela 4.6 Classificação de valores para os sub-critérios do critério APP declividades.	61
Tabela 4.7 Classificação de valores para os sub-critérios do critério Hipsometria.	62
Tabela 5.1 Unidades de Conservação incluídas nos limites do Corredor Ecológico.	97

Lista de Abreviaturas

AHP	Processo de Análise Hierárquico
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRHI	Diretoria de Recursos Hídricos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.
EUA	Estados Unidos da América
FSD	Suporte à Decisão Fuzzy
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDM	Modelos de Decisão Multicriterial
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NASA	Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço
OEA	Organização dos Estados Americanos
ONU	Organização das Nações Unidas
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SSD	Sistema de Suporte à Decisão
SSDS	Sistema de Suporte à Decisão Espacial

UC	Unidade de Conservação
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

Capítulo 1

Introdução

A água hoje e sempre será nossa principal fonte de vida, motivo pelo qual se deve ter um grau de atenção elevado para a conservação deste importante recurso.

As águas superficiais presentes nos rios e lagos estão cada vez mais poluídas e escassas, situação agravada pelo desmatamento e uso abusivo de agrotóxicos na agricultura. Uma alternativa de uso, então, são as águas subterrâneas (Rebouças, 1976).

Devida à complexidade do ambiente, o uso das águas subterrâneas requer certos cuidados como a realização de estudos que relevem a importância da inter-relação entre a superfície do solo e as camadas subterrâneas que armazenam a água que se caracterizam como aquíferos.

Aquífero é uma formação geológica, formada por rochas permeáveis seja pela porosidade granular ou por meio de fissuras, capaz de armazenar e transmitir quantidades significativas de água. Os aquíferos podem ser de variados tamanhos. Eles podem ter extensão de poucos km² a milhares de km², ou podem, também, apresentar espessuras de poucos metros a centenas de metros. Quando a unidade aquífera é formada por mais de uma formação geológica, com características hidrogeológicas semelhantes, podemos chamá-la de sistema aquífero (SMA-SP, 2006)

A composição dos aquíferos pode ser bastante variada, mas de forma geral, podemos subdividi-los em dois grupos principais: aquíferos sedimentares e aquíferos cristalinos. Nos aquíferos sedimentares, formados por sedimentos de granulação variada, a água circula através dos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila. Os aquíferos cristalinos são formados por rochas

duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fissuras e fraturas abertas por causa do movimento tectônico (SMA-SP, 2006).

No coração da América do Sul encontramos um dos maiores sistemas aquíferos do planeta, denominado de Aquífero Guarani, homenageando os índios guaranis que habitavam sua região de domínio. Este sistema aquífero abrange uma área de aproximadamente 1.400.000 km² (Zimbres, 2000).

A problemática que motiva este estudo é o uso desenfreado das reservas de água deste aquífero, onde não se leva em conta a relação demanda e reposição de água para os mananciais subterrâneos podendo levar rapidamente a um déficit hídrico (Tundisi, 2003). Desta forma, as áreas de recarga direta são elementos muito importantes nesta relação de demanda de consumo e recarga de água.

Na área de estudo escolhida, o Estado de Santa Catarina, estas áreas de recarga direta, onde se expõe os afloramentos de arenito botucatu, são demasiadamente frágeis. Estas acompanham em grande parte as escarpas da borda da Serra Geral, locais com beleza cênica rara e ecossistemas frágeis.

Estes locais requerem instrumentos que permitam o manejo e controle da qualidade destes ambientes, fazendo com que permaneçam no estado atual ou venham a tornar-se ainda mais conservados. Um dos modos identificados para se administrar uma área com tamanha abrangência é a possibilidade de criação de um corredor ecológico que englobe os afloramentos de arenito botucatu e suas áreas adjacentes.

No estado de Santa Catarina, uma de suas deficiências básicas no conhecimento dos recursos hídricos é a falta de estudos sobre os sistemas aquíferos presentes no seu subsolo. Como decorrência, a exploração destes mananciais subterrâneos vem sendo feita de forma aleatória, sem o devido rigor técnico-científico. Em função do aumento da demanda por recursos hídricos nas últimas duas décadas no estado de Santa Catarina, o número de perfurações de poços profundos para a utilização de águas subterrâneas tem apresentado um considerável crescimento (SDM-SC, 1997).

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por principal objetivo identificar as áreas com maior capacidade de proporcionar a recarga de água de forma direta para o Aquífero Guarani no Estado de Santa Catarina – Brasil e propor uma delimitação para a criação de Corredor Ecológico que possa incluir estas áreas objetivando sua proteção.

Objetivos Específicos

- Fundamentar um conceito que justifique a inclusão de áreas que tenham relação com a recarga direta do Aquífero Guarani dentro do perímetro de um Corredor Ecológico.
- Organizar uma base de dados georreferenciados para desenvolver o trabalho.
- Avaliar um conjunto de metodologias e adaptá-las ao objeto de estudo.
- Propor a delimitação de um Corredor Ecológico a partir do uso de geotecnologias e técnicas de suporte a decisão.

1.2 Justificativa

Dada a importância do Aquífero Guarani para o abastecimento de água para o Brasil e os países da América do Sul, se faz relevante um estudo detalhado de suas áreas de recarga direta no Estado de Santa Catarina como foco de estudo. Este trabalho contribuirá para o desenvolvimento de medidas para a gestão do território e controle da exploração/recarga do aquífero em questão.

Outros estudos estão sendo realizados nos demais estados brasileiros e países envolvidos, a maior parte vinculada ao Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani, financiado pela OEA e UNESCO, o que confere a este projeto uma importância singular para a participação de Santa Catarina na preservação e gerenciamento deste aquífero, de importância mundial.

A importância da proposta de um corredor ecológico para as zonas de recarga direta do Guarani, se dá em função do bom estado da conservação na maior parte dos afloramentos de arenito botucatu, onde ainda se pode encontrar remanescentes de florestas ombrófilas mistas (florestas de araucária), campos de altitude, importantes pontos de beleza cênica, incluindo áreas de unidades de conservação, tais como, parques nacionais, parques estaduais, sítios arqueológicos entre outros.

Um corredor ecológico tem como seu principal objetivo proporcionar o fluxo de genes de espécies de fauna e flora permitindo o prolongamento dos fragmentos florestais tornando possível a união entre estes e por consequência uma amplitude maior de proteção dos mananciais que desenvolvem papel importante no processo de recarga de aquíferos.

Por se tratar de uma área que poderá ter como abrangência uma longa linha com aproximadamente 500 km de extensão, cruzando o estado de Santa Catarina em sentido sul – norte, justifica-se a utilização de ferramentas computacionais modernas como o sistema de informação geográfica (SIG), servindo estas de suporte a tomada de decisão.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 A Água

A água é o elemento fundamental para a vida na terra. Sem ela os seres vivos não existiriam, apesar da abundância deste elemento em nosso planeta é um recurso renovável que depende de outros fatores para a manutenção de sua qualidade. Está intimamente ligada à saúde dos outros elementos essenciais à vida no planeta, como o ar e a terra.

Sendo um elemento regulador do equilíbrio do sistema natural global, torna-se um sistema determinado pelas relações existentes entre a biosfera, a atmosfera, a litosfera e a hidrosfera, nas quais a água se movimenta graças a sua capacidade de mudança de estado físico, em um ciclo permanente e em uma relação determinante da vida e das atividades produtivas do ser humano e da natureza (Borghetti *et al*, 2004).

Deve-se ressaltar que a água é um recurso renovável, pois por causa da atuação da energia solar sobre a terra, ela evapora dos oceanos, rios e lagos e se redistribui ao redor da terra, autodepurando-se.

O volume evaporado dos oceanos é maior do que aquele que se precipita sobre os mesmos, de forma que existe uma transferência permanente de água desses aos continentes. Essa água é a massa líquida que corre para os canais e riachos abastecendo os ecossistemas, recarrega os aquíferos e supre as demandas hídricas dos povos. A capacidade de renovação das águas durante o ciclo hidrológico e seu desempenho na autodepuração, proporciona uma relativa conservação, por um grande período, da quantidade e qualidade das águas doces. Esse fato promove a falsa ilusão de inalterabilidade e inexauribilidade dos recursos hídricos, que são considerados como um bem gratuito da

natureza. Alegando estas condições, no decorrer da história, já é tradição não dar a merecida atenção a estes importantes recursos (Borghetti *et al*, 2004).

A água tem como características ser uma substância composta, cuja molécula é constituída por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio (H₂O), constituinte fundamental de todos os organismos vivos, é a substância mais abundante na natureza e principal regulador do clima na terra, é encontrada simultaneamente nos três estados físicos fundamentais: líquido, gasoso e sólido, é incolor, insípida e inodora quando pura. De acordo com a quantidade de sais minerais dissolvidos, a água pode ser classificada como água doce, salobra e salgada (Borghetti *et al*, 2004).

2.2 A água no mundo e a disponibilidade hídrica para os povos

A água doce não está distribuída uniformemente pelo globo. A distribuição de água está relacionada com os diversos ecossistemas da terra. Dependendo dos ecossistemas que compõem o território de um país, esse pode ter mais ou menos água disponível. Assim países como o Japão, com 2,5 % da população mundial, possui apenas 1 % da água disponível no planeta. A China, com 25 % da população mundial, possui apenas 10 % da água disponível. O Brasil, com 2,8 % da população mundial, abriga 13,8 % das reservas mundiais de água doce (MMA, 2004).

As estimativas de quantidade de água no planeta são principalmente cotadas as presentes na hidrosfera, sendo a água livre, nos estados líquidos e sólido, na superfície da terra, (oceanos e mares, rios, lagos de água doce e salgada, pântanos, nas calotas polares e geleiras, no solo – umidade) e no subsolo (aqüíferos) até a profundidade de 2000 m e no estado gasoso na atmosfera (Borghetti *et al*, 2004).

Segundo Jacobi (2006), o relatório anual das Nações Unidas faz terríveis projeções para o futuro da humanidade. A ONU prevê que em 2050 mais de 45 % da população mundial não poderá contar com a porção mínima individual de

água para necessidades básicas. Dados estatísticos afirmam que hoje existem 1,1 bilhão de pessoas praticamente sem acesso à água doce. Estas mesmas estatísticas projetam o caos em pouco mais de 40 anos, quando a população atingir a cifra de 10 bilhões de indivíduos.

Segundo Borghetti e colaboradores (2004), do total do volume de água doce do planeta (34,6 milhões de km^3), somente cerca de 30,2 % (10,5 milhões de km^3 – água doce subterrânea, rios, lagos, pântanos, umidade do solo e vapor na atmosfera) pode ser utilizada para a vida vegetal e animal, pois 68,9 % (24,1 milhões de km^3) encontra-se nas calotas polares, geleiras e solos gelados. Dos 10,5 milhões de km^3 de água doce, aproximadamente 98,7 % (10,34 milhões de km^3) corresponde a parcela de água subterrânea, apenas 0,9 % (92,2 mil km^3) corresponde ao volume de água doce superficial (rios e lagos), diretamente disponível para as demandas humanas.

Ainda assim a disponibilidade depende do fluxo de água renovável, que é determinado pela diferença entre as precipitações e as evaporações médias anuais. Mais da metade deste fluxo chega aos oceanos antes que possa ser captado e um oitavo atinge áreas demasiadamente distantes (não povoadas) para ser usado pelos seres humanos. Especialistas estimam as disponibilidades efetivas de água entre 9.000 e 14.000 km^3/ano (Borghetti apud Lanna 2001).

Além disso, a quantidade média de água renovável (chuva e escoamento) do planeta, estimada em 44.800 km^3/ano , varia muito em espaço e tempo e, analisando-se os anos individualmente, sua magnitude pode variar de 15 a 25 % conferindo uma distribuição muito irregular em todas as regiões (Shiklomanov, 1999).

Vários países apresentam escassez de chuvas durante parte do ano e abundância no resto, e outros, como países da faixa do Sahel, na África, que possuem parte do território desértico, mas são cortados por algum rio caudaloso, como o Nilo ou o Níger, apresentam uma situação insólita, parte de seu território tem água suficiente e parte tem escassez (SBPC, 2000).

2.3 O que são aquíferos

Aquífero é toda formação geológica em que a água pode ser armazenada e que possua permeabilidade suficiente para permitir que esta se movimente. Vê-se, portanto, que para ser um aquífero, uma rocha ou sedimento tem que ter porosidade suficiente para armazenar água, e que estes poros ou espaços vazios tenham dimensões suficientes para permitir que a água possa passar de um lugar a outro, sob a ação de um diferencial de pressão hidrostática (Borghetti *et al.*, 2004; Rebouças *et al.* 2002.).

Os aquíferos, de forma geral, podem ser classificados com relação ao tipo de rocha armazenadora, em aquíferos contínuos (porosidade primária) e descontínuos (porosidade secundária). Os primeiros estão associados as rochas sedimentares, e os segundos, principalmente as rochas ígneas e metamórficas (o calcário apesar de origem sedimentar apresenta porosidade secundária) (Borghetti *et al.*, 2004; Rebouças *et al.* 2002.).

2.3.1 Distribuição dos maiores sistemas aquíferos pelo planeta

Extensas bacias hidrográficas transfronteiriças abrigam grandes extensões de sistemas de águas subterrâneas, desta maneira aquíferos regionais algumas vezes excedem extensões sobre largas áreas e seus fluxos subterrâneos cruzando bordas nacionais podendo se estender por centenas de quilômetros. A extensão para grandes sistemas aquíferos no mundo pode alcançar áreas maiores que dois milhões de km quadrados podendo abranger vários países, estes sistemas podem ainda alcançar profundidades superiores a 1000 metros de profundidade saturando de água pacotes de sedimentos (Puri e Aureli, 2005; Struckmeier, 2006).

Apesar deste recurso hídrico parecer massivo em muitos locais se encontram em regiões semi-áridas e áridas proporcionando pouca recarga

através de índices pluviométricos de baixa escala. Desta forma alguns aquíferos distribuídos pelo planeta tornam-se altamente vulneráveis a exploração de seus recursos exigindo então estudos que quantifiquem e qualifiquem a demanda para o uso das águas subterrâneas (Puri e Aureli, 2005; Struckmeier, 2006). Na Tabela 2.1 pode ser visto a seleção dos maiores sistemas aquíferos contendo predominantemente recursos hídricos subterrâneos não renováveis.

Tabela 2.1 Seleção dos maiores sistemas aquíferos contendo predominantemente recursos hídricos subterrâneos não renováveis.

País	Sistema Aquífero	Extensão (Km ²)	Reserva explorável
Egito, Líbia, Sudão, Chade	Arenito Núbio	2.220.000	6.500
Argélia, Líbia, Tunísia	Região Noroeste do Saara	1.000.000	1.280
Argélia, Líbia, Níger	Bacia Murzuk	450.000	60 - 80
Mauritânia, Senegal, Gambia	Maastrichtian	200.000	480 - 580
Mali, Níger, Nigéria	Multicamada Continental	500.000	250 – 2.000
Níger, Nigéria, Chade, Sudão, Camarões, Líbia	Bacia Chade	600.000	170 - 350
Botsuana, Namíbia, África do Sul	Kalahari Central Arenito Karroo	80.000	86
Arábia Saudita, Barém, Qatar, União dos Emirados Árabes	Vários incluindo Aquífero Saq	225.000 - 250.000	500 – 2.185
Jordânia	Aquífero Qa Disi	3.000	6
Austrália	Grande Bacia Artesiana	1.700.000	170

O risco da exploração exagerada dos recursos hídricos subterrâneos se concentra no equilíbrio retirada/recarga de água o que justifica a importância

dos estudos para o uso sustentável das águas subterrâneas. Outro ponto importante são as descargas de poluentes nos pontos de recarga dos aquíferos, levando a contaminação aos mananciais subterrâneos (Puri e Aureli, 2005; Struckmeier, 2006).

Alguns aquíferos transfronteiriços encontrados na América do Norte e Península Arábica foram constituídos durante a última era glacial contendo água de boa qualidade, porém estes aquíferos não possuem formas de recarga atual. A demanda por recursos hídricos subterrâneos atinge altos níveis em regiões áridas e semi-áridas, onde muitas vezes estes recursos subterrâneos são a única alternativa para o uso humano, dessedentação animal e agricultura bem como para alguns ecossistemas aquáticos (Struckmeier, 2006).

Os aquíferos transfronteiriços existem em todos os continentes exceto na Austrália pelo fato do país ser um único continente. Em algumas áreas com países de grandes extensões como Canadá, Estados Unidos, Brasil, Argentina, China e Rússia, o número de aquíferos transfronteiriços é relativamente menor comparado ao resto do mundo (Struckmeier, 2006). A Figura 2.12 ilustra a distribuição dos principais aquíferos transfronteiriços no mundo, onde pode-se observar a quantidade de sistemas aquíferos em cada continente (América do Norte: 7, América Central e Sul: 21, Europa: 13, África: 40, Ásia: 17).

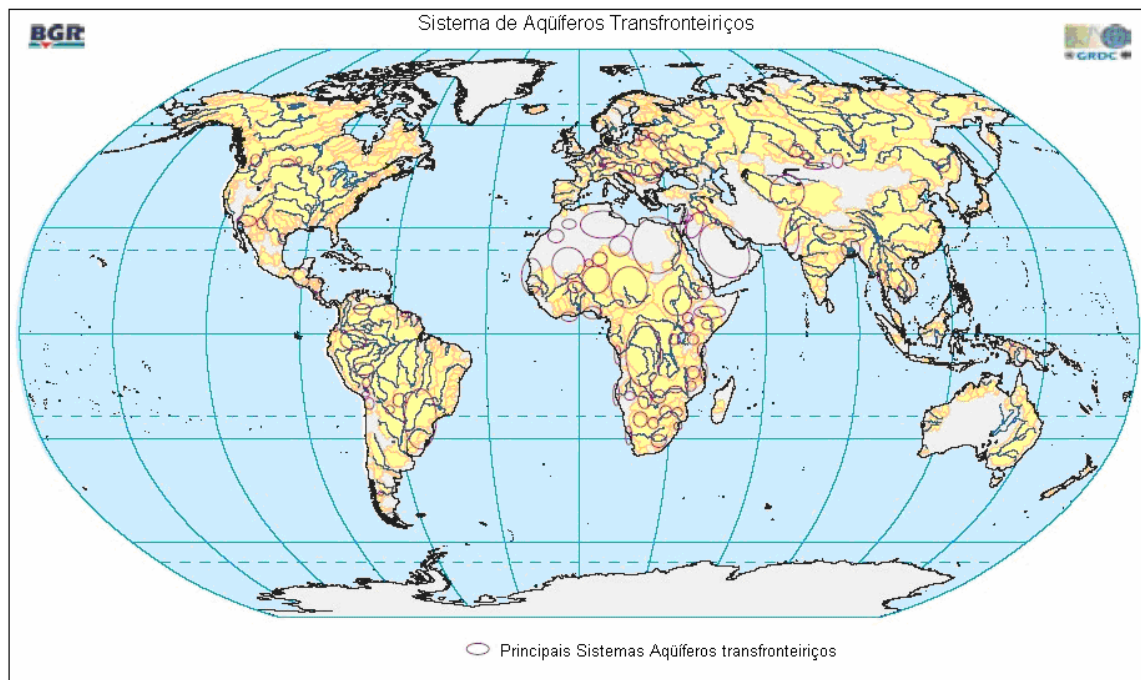


Figura 2.1 Exemplo de espacialização dos aquíferos transfronteiriços representados pela linha vermelha (Fonte: WHYMAP, 2006).

2.4 O Aquífero Guarani

O termo aquífero Guarani é uma denominação unificadora de diferentes formações geológicas que foi dada pelo geólogo uruguaio Danilo Anton em homenagem à grande Nação Guarani, que habitava essa região nos primórdios do período colonial. O aquífero foi inicialmente denominado de aquífero gigante do Mercosul, por ocorrer nos quatro países participantes do referido acordo comercial (Araújo et al., 1995).

O aquífero Guarani é talvez o maior manancial transfronteiriço de água doce subterrânea do planeta, estendendo-se desde a Bacia Sedimentar do Paraná até a Bacia do Chaco–Paraná. Está localizado no centro-leste da América do Sul, entre 12° e 35° de latitude Sul e 47° e 65° de longitude Oeste, subjacente a quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Tem extensão total aproximada de 1.2 milhões de km², sendo 840 mil km² no Brasil,

225.500 mil km² na Argentina, 71.700 mil km² no Paraguai e 58.500 km² no Uruguai. A porção brasileira integra o território de oito Estados: MS (213.200 km²), RS (157.600 km²), SP (155.800 km²), PR (131.300 km²), GO (55.000 km²), MG (51.300 km²), SC (49.200 km²) e MT (26.400 km²). A população do domínio de ocorrência do aquífero é estimada em 15 milhões de habitantes (Araújo *et al.* 1999, Rocha, 1997).

O aquífero se constitui pelo preenchimento de espaços nas rochas (poros e fissuras), convencionalmente denominadas Guarani. As rochas do Guarani constituem-se de um pacote de camadas arenosas depositadas na bacia geológica do Paraná, entre 245 e 144 milhões de anos atrás. A espessura das camadas varia de 50 a 800 m, estando situadas em profundidades que podem atingir até 1800 metros. Em decorrência do gradiente geotérmico, as águas do aquífero podem atingir temperaturas relativamente elevadas, em geral entre 50 e 85 °C (Rocha, 1997; Rosa 1998).

O pacote de camadas que constitui o aquífero Guarani tem arquitetura arqueada para baixo como resultado da pressão das rochas sobrejacentes, como os espessos derrames de lavas basálticas oriundos da ativação de falhas, arcos regionais e soerguimento de bordas, ocorridos na bacia sedimentar do Paraná. As formações geológicas do Guarani congregam sedimentos flúvio-lacustres do período Triássico (245 – 208 milhões de anos): Formações Pirambóia e Rosário do Sul, no Brasil, e Buena Vista no Uruguai; sedimentos eólicos desérticos do período Jurássico (208 – 144 milhões de anos): Formações Botucatu, no Brasil; Misiones, no Paraguai; e Tacuarembó no Uruguai e Argentina (Rocha, 1997).

As reservas permanentes de água do aquífero são da ordem de 45.000 km³ (ou 45 trilhões de metros cúbicos), considerando uma espessura média aquífera de 250 m e porosidade efetiva de 15 %. As reservas exploráveis correspondem à recarga natural (média plurianual) e foram calculadas em 166 km³/ano ou 5.000 m³/s, representando o potencial renovável de água que circula no aquífero. A recarga natural ocorre por meio da infiltração direta das águas de chuva nas áreas de afloramento das rochas do Guarani; e de forma indireta, por

filtração vertical ao longo de descontinuidades das rochas do pacote confinante sobrejacente, nas áreas onde a carga piezométrica favorece os fluxos descendentes (Rocha, 1997; Rosa 1998).

Sob condições naturais, apenas uma parcela das reservas reguladoras é passível de exploração. Em geral, esta parcela é calculada entre 25 % e 50 % das reservas reguladoras, respectivamente entre 40 a 80 km³/ano. Este volume pode aumentar dependendo da adoção de técnicas de desenvolvimento de aquíferos disponíveis; contudo, os estudos deverão ser aprofundados para definir a taxa de exploração sustentável das reservas, uma vez que a soma das extrações com as descargas naturais do aquífero para rios e oceano, não pode ser superior a sua recarga natural (Araújo *et al.*, 1995).

A proteção contra os agentes de poluição que comumente afetam os mananciais de água na superfície, que decorre de mecanismos naturais de filtração e autodepuração biogeoquímica que ocorrem no subsolo, resulta numa água de excelente qualidade. A qualidade da água e a possibilidade de captação nos próprios locais onde ocorrem as demandas fazem com que o aproveitamento das águas do aquífero Guarani assumam características econômicas, sociais e políticas destacadas para abastecimento da população (Rocha, 1997).

O hidrotermalismo do guarani tem grande alcance socioeconômico frente ao uso racional e comum a todos, principalmente se usado para fins de irrigação, secagem de grãos, refrigeração de alimentos, climatização de ambientes, produção de águas engarrafadas, controle de geadas, e outras atividades agroindustriais (Borghetti *et al.*, 2004).

Um dos principais problemas existentes é o risco de deterioração do aquífero em decorrência do aumento dos volumes explorados e do crescimento das fontes de poluição pontuais e difusas. Essa situação exige gerenciamento adequado por parte das esferas de governo federal, estadual e municipal sobre as condições de aproveitamento dos recursos do aquífero (Coridola *et al.*, 2005)

Nos locais que ocorre o Aquífero Guarani as terras têm características férteis tendo solos altamente produtivos por causa do processo de intemperismo

que ocorre nas rochas basálticas da Formação Serra Geral. As principais atividades desenvolvidas nos domínios deste aquífero são as culturas de soja, milho, cevada, sucro-alcooleira entre outros. Devido às boas condições de terras para produção de pastagem o desenvolvimento da criação de gado de corte é também bastante expressivo (Borghetti *et al.*, 2004).

No estado de Santa Catarina, a forte presença da agroindústria encontra-se na porção centro-oeste havendo também um pólo de criação avícolas e suínos. Dos estados brasileiros onde o Guarani está situado, o que mais consome água no setor industrial é São Paulo. O Rio Grande do Sul é o estado que mais consome água na agricultura, seguido por Minas Gerais, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul. Paraná, Goiás, e o Mato Grosso utilizam as águas do aquífero para uso doméstico (Borghetti *et al.*, 2004).

2.4.1 Características Gerais

Um aquífero como o Guarani é dotado de três principais sistemas: zona de recarga direta ou afloramento, zona de recarga indireta e zona de descarga.

Nas zonas de recarga direta a água infiltra a partir dos afloramentos de rocha arenítica a partir da água da chuva ou por rios que atravessam estas rochas. As principais áreas de recarga direta em solo brasileiro ocorrem nos estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás, Paraná e Santa Catarina (Borghetti *et al.*, 2004).

As zonas de recarga indireta ocorrem através do sistema fraturado da formação Serra Geral e pelo fluxo indireto subterrâneo, ocorrendo ao longo das descontinuidades das rochas sobrejacentes.

As zonas de descarga ocorrem em áreas onde a topografia é inferior a 300 metros. As principais zonas de descarga ocorrem próximas à jusante do Rio Paraná e Chaco Argentino, estas áreas tem como principal característica regiões planas e pantanosas entre os rios Uruguai e Paraná na Argentina e ao longo dos rios Paraná, Pelotas e Tietê (Araújo *et al* 1999,.Borghetti *et al.*, 2004).

De acordo com Borghetti e colaboradores (2004), as áreas com maior vulnerabilidade são as áreas de recarga direta por exporem diretamente os pacotes de arenitos, permitindo assim a entrada direta de poluentes como lançamento de esgotos, agrotóxicos, dejetos animais entre outros. A presença de centros urbanos e indústrias em áreas de domínio de afloramentos de arenito representam riscos elevados à contaminação das águas que percolam para as reservas subterrâneas necessitando então de estudos detalhados para a regulação dos usos nestas áreas.

2.4.2 Geologia do Sistema Aquífero Guarani

O Aquífero Guarani é um pacote de camadas arenosas que se depositaram na bacia sedimentar do Paraná ao longo do Mesozóico (Período Triássico, Jurássico e Cretáceo Inferior) entre 200 e 132 milhões de anos, sendo constituído pelas formações geológicas Pirambóia (no Uruguai Buena Vista) e Botucatu (Misiones no Paraguai; Tucuaembó no Uruguai e na Argentina), com espessura média de 250 m.. Formação Botucatu – arenitos eólicos avermelhados, de granulização fina à média, uniforme, com boa seleção de grãos foscos com alta esfericidade, teor de argila inferior a 10 %. Formação Pirambóia – arenitos de granulometria média a fina depositados em ambiente flúvio-lacustre e eólicos, apresentando do topo para a base, teores de argila acima de 20 % (Gualdi,1999).

Constituído por várias rochas com predominância arenosa, tiveram seu processo de sedimentação em ambiente flúvio-lacustre e eólicas do Triássico e do Jurássico, estas rochas saturadas de água estão localizadas sob as rochas basálticas da Formação Serra Geral onde a espessura pode chegar a ultrapassar os 1000 metros. Na base do aquífero encontram-se estratos do Triássico, correspondendo as Formações Pirambóia e Rosário do Sul (Brasil), Buena Vista (Uruguai). No topo do aquífero estão os estratos do Jurássico

relativos à Formação Botucatu (Brasil), Misiones (Paraguai) e Tacuarembó (Uruguai/Argentina) (Kittl, 2000, Borghetti *et al.*, 2004).

Os sedimentos do Jurássico, de origem eólica, quando visto do ponto de vista hidráulico, tem características favoráveis a formação de bons aquíferos, já os sedimentos do Triássico de origem flúvio-lacustre/eólica tem altos níveis de argila comprometendo seus potenciais como aquíferos (Kittl, 2000, Borghetti *et al.*, 2004).

As melhores rochas de todo o sistema aquífero são os arenitos Botucatu por sua formação eólica e boa permeabilidade. O Aquífero Guarani tem um pacote de camadas cuja arquitetura tem forma arqueada para baixo, suas camadas mergulham das regiões de afloramento em direção ao centro (Kittl, 2000, Borghetti *et al.*, 2004).

Formado nos períodos Jurássico Superior e Cretáceo Inferior, o Aquífero Serra Geral tem tipo fissural abrangendo uma área de 1.5 milhões de km² e é o principal protetor do Guarani. Deriva de rochas vulcânicas com caráter ígneo predominando basaltos toleíticos, andesitos basálticos e porções de riolitos e riolacitos (Kittl, 2000, Borghetti *et al.*, 2004).

Em determinadas situações o Guarani pode ser encontrado totalmente compartimentado, esta ocorrência é encontrada dentro dos limites do Arco de Ponta Grossa, localizado no Estado do Paraná mais propriamente nas partes oeste, central e norte. As discontinuidades que o tornam compartimentado são preenchidas por diques de diabásios intrusivos, com mergulhos quase verticais. Estas situações colocam em contato lateral as formações Rio do Rastro e Serra Geral com a Formação Botucatu (Kittl, 2000, Borghetti *et al.*, 2004).

2.5 Áreas protegidas

Desde o início da civilização, os povos reconheceram a existência de sítios geográficos com características especiais e tomaram medidas para protegê-los. Esses sítios estavam associados a mitos, fatos históricos marcantes

e à proteção de fontes de água, caça, plantas medicinais e outros recursos naturais. O acesso e o uso dessas áreas eram controlados por tabus, normas legais e outros instrumentos de controle social (MMA, 2005).

O conceito moderno de unidade de conservação (UC) surgiu com a criação do Parque Nacional de *Yellowstone*, nos EUA, em 1872. Os objetivos que levaram à criação desse Parque foram: a preservação de atributos cênicos, a significação histórica e o potencial para atividades de lazer. A partir da criação do Parque Nacional de *Yellowstone* houve uma racionalização no processo de colonização do oeste americano, quando, inclusive, ocorreu a criação de diversas outras unidades de conservação (MMA, 2005).

No Brasil, a primeira iniciativa para a criação de uma área protegida ocorreu em 1876, como sugestão do Eng. André Rebouças (inspirado na criação do Parque de *Yellowstone*) de se criar dois parques nacionais: um em Sete Quedas e outro na Ilha do Bananal. No entanto, data de 1937 a criação do primeiro parque nacional brasileiro: o Parque Nacional de Itatiaia (MMA, 2005).

O Brasil possui atualmente decretado, a nível federal, 35 Parques Nacionais, 23 Reservas Biológicas e 21 Estações Ecológicas como unidades de conservação de uso indireto dos recursos naturais, que totalizam 15.600.000 ha, ou seja, 1,8 % da extensão territorial do país. Em termos de unidades de conservação de uso direto dos recursos naturais possui 38 Florestas Nacionais, 14 Áreas de Proteção Ambiental e 9 Reservas Extrativistas, que somam 16.200.000 ha, ou seja, 1,9 % da sua extensão territorial. A soma total é de 31.800.000 ha, ou seja, 3,7 % da superfície do país. Considerando-se que a média mundial é de cerca de 5 % e da América do Sul é de 6,2 %, em termos relativos o país está mal contemplado, principalmente se considerarmos que outros países, também do terceiro mundo, apresentam taxas bem superiores como Indonésia com 15 %, Venezuela com 34 %, Costa Rica com 11 % e Peru com 8 % (MMA, 2005)

Os sistemas estaduais são em geral bem mais frágeis e em muitos Estados sequer existe ação neste sentido ou pouca ação: como nos Estados do Pará, Amapá, Roraima, Acre, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins,

Piauí, Ceará, Paraíba, Sergipe e Alagoas. Apresentam sistemas razoáveis o Estado de São Paulo - comparativamente melhor que o federal - Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Sul e Espírito Santo. Somando-se todas as áreas decretadas a níveis estadual e municipal acrescenta-se cerca de 3.000.000 ha ao sistema nacional, não interferindo, pois, significativamente nas percentagens apresentadas para o sistema nacional. Há que se ressaltar, no entanto, que alguns Estados estão desenvolvendo sistemas bem abrangentes como Rondônia que tem, pelo menos decretada, uma grande rede de unidades de conservação estadual. Merece destaque, ainda, a Estação Ecológica do Mamirauá, uma das mais significativas áreas protegidas estaduais criada no Amazonas com 1.124.000 ha. (MMA, 2005)

2.6 Corredores Ecológicos como elementos de preservação e interligação de fragmentos de áreas protegidas

Segundo a Lei nº 9985/2000 Art 2º Item XIX, corredores ecológicos são porções de ecossistemas naturais ou seminaturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais (SNUC, 2000).

De acordo com o artigo 4º item XIII o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) tem como um de seus objetivos buscar proteger grandes áreas por meio de um conjunto integrado de unidades de conservação de diferentes categorias, próximas ou contíguas, e suas respectivas zonas de amortecimento e corredores ecológicos, integrando as diferentes atividades de preservação da natureza, uso sustentável dos recursos naturais e restauração e recuperação dos ecossistemas.

No Decreto Nº. 4.340/2002, SNUC, Capítulo III Art. 11, cita que os corredores ecológicos, reconhecidos em ato do Ministério do Meio Ambiente, integram os mosaicos de unidades de conservação para fins de sua gestão. No parágrafo único deste artigo cita ainda que na ausência de mosaico, o corredor ecológico que interliga unidades de conservação terá o mesmo tratamento da sua zona de amortecimento.

O fato de considerar a importância de se estabelecer corredores ecológicos está ligado às questões do isolamento de unidades de conservação fragmentadas ao longo de biomas, impedindo desta forma o fluxo entre genes de fauna e flora. Leva-se em consideração também a questão da existência de fragmentos florestais entre as unidades de conservação que por qualquer motivo acabaram ficando de fora da delimitação destas unidades de conservação possivelmente pela presença de populações e outros usos não compatíveis com o estabelecimento de unidades ficando estes fragmentos desprotegidos e sujeitos a ação antrópica (Arruda e Sá, 2004).

Segundo Brito, 2006 apud Kenton Miller, a mudança de escalas para alinhar ações em relação ao tempo e ao espaço pode trazer muitos benefícios e que a melhor abordagem política consiste na expansão das escalas geográficas dos problemas de conservação e de desenvolvimento para abranger ecossistemas inteiros. A formação de corredores ecológicos está fundamentada justamente em escalas compatíveis com as necessidades de habitats e áreas-problema ou de risco sobre locais que requerem conservação da natureza, sem, contudo, coibir o acesso aos recursos naturais, incentivando bens e serviços que possam gerar riqueza, de maneira sustentável.

Os corredores ecológicos, embora não sejam unidades de conservação, têm uma grande importância na conservação da natureza e da biodiversidade, por serem uma unidade de planejamento. Por meio de corredores ecológicos, haverá uma maior possibilidade de fornecimento de oportunidades de integração dessas unidades de conservação com as áreas naturais da proteção das espécies, das comunidades e habitats naturais existentes no âmbito dessa unidade (Brito, 2006).

Nos corredores ecológicos são tratados os conceitos, as teorias e os critérios para seu estabelecimento que assegurem a conectividade e o fluxo gênico de populações silvestres no espaçamento das áreas naturais e das áreas de mosaicos de usos de terra, a partir de uma paisagem manejada que permita a minimização de isolamento de fragmentos florestais nas áreas de zonas-tampão das unidades de conservação ((Arruda e Sá, 2004; Brito, 2006).

No sentido da criação deste trabalho, o estabelecimento de um corredor ecológico que tenha como sua principal meta contribuir para a manutenção e preservação de áreas que estejam ligadas direta e indiretamente as zonas de recarga direta do Aquífero Guarani no Estado de Santa Catarina, o objetivo de proporcionar o fluxo entre animais e plantas está intimamente ligado ao aumento e conexão dos fragmentos essenciais a permanência do fluxo hidrológico que compõe a principal forma de recarga de água para os mananciais subterrâneos do Aquífero Guarani.

Desta forma, aumentando a cobertura florestal nas zonas de recarga direta e disciplinando o uso do solo nas mesmas será possível assegurar a manutenção deste fluxo hídrico com características ótimas de qualidade das águas que percolam para os pacotes subterrâneos de Arenito Botucatu.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) através do projeto corredores ecológicos afirma que o modelo adotado até agora para a conservação do patrimônio natural, tem se mostrado insuficiente para garantir a sobrevivência das espécies e minimizar os impactos da ação humana sobre o ambiente. Baseando-se na implantação de áreas protegidas sob responsabilidade quase exclusiva do estado.

O resultado dessa visão são unidades de conservação isoladas, que sofrem os impactos das atividades rurais e urbanas. Problemas fundiários e frágil fiscalização encorajam o uso predatório dos seus recursos naturais, dilapidando a biodiversidade. Por isso o modelo das ilhas biológicas está dando lugar a um novo conceito de conservação: o de corredores ecológicos.

Ainda citando o MMA, 2006, nos corredores ecológicos, as unidades de conservação, federais, estaduais e municipais são gerenciadas de forma

integrada com terras indígenas e áreas particulares, seja de empresas ou de pequenos e grandes proprietários rurais. Dessa forma, buscam manter ou restaurar a conectividade da paisagem e facilitar o fluxo genético entre populações naturais, aumentando as chances de sobrevivência em longo prazo das comunidades biológicas.

Essa abordagem abrangente, descentralizada e participativa permite que governo e sociedade compartilhem a responsabilidade pela conservação da biodiversidade e planejem juntos a utilização do solo e dos recursos naturais. Por isso, o corredor ecológico não é simplesmente mais uma área de proteção ambiental. Trata-se de uma proposta de gestão do território em escala regional destinada a contribuir com o desenvolvimento sócio-econômico sustentável.

Um corredor ecológico tem como objetivos fundamentais:

- Reduzir a fragmentação mantendo ou restaurando a conectividade da paisagem e facilitando o fluxo genético entre populações.
- Introduzir estratégias mais adequadas do uso da terra, conservação ambiental através do planejamento, ação participativa e descentralizada.
- Promoção de mudança do comportamento dos atores sociais envolvidos.
- Criação de oportunidades de negócios e do incentivo a atividades que promovam a conservação ambiental, agregando o viés ambiental aos projetos de desenvolvimento (MMA, 2006).

Os corredores ecológicos têm se constituído em importantes unidades ambientais de planejamento para a conservação da biodiversidade. Através da conexão entre os mais variados ecossistemas, eles potencializam a troca e a integração da biota entre os habitats. Em seus objetivos, os corredores ecológicos buscam harmonizar a dinâmica da paisagem, nos mais diversos usos, com áreas naturais protegidas (Arruda e Sá, 2004).

Equiparados às unidades de conservação, os corredores ecológicos devem primar pelo uso sustentável dos recursos naturais contidos em sua área de abrangência. Naturalmente, as atividades que já vem sendo desenvolvidas em cada propriedade continuam. Com base nesses preceitos os processos de

desapropriação e indenização não estão previstos no processo de implantação de um corredor ecológico (FATMA – PPMA-SC, 2006).

De acordo com Brito (2006), uma boa delimitação de um corredor ecológico é decisiva para este possa funcionar como unidade de planejamento e estratégia de conservação da biodiversidade.

Os corredores ecológicos estão ainda em fase embrionária no Brasil, são ainda poucas as referências bibliográficas encontradas nos acervos de bibliotecas de universidades e nos órgãos ambientais. A reduzida bibliografia encontra-se junto a poucos profissionais tendo as pessoas pouco acesso as informações (Brito, 2006).

Os corredores verdes podem ser definidos como: “espaços livres lineares ao longo de corredores naturais, como frentes ribeirinhas, cursos de água, canais, vias cênicas, linhas férreas convertidas em usos de recreio, que ligam entre si parques, reservas naturais, sítios históricos, patrimônios naturais e áreas habitacionais”. Para a definição da estrutura verde de proteção e valorização da paisagem, que serve de suporte ao planejamento e estrutura de corredores verdes, podem destacar-se três sistemas essenciais e complementares:

- i) Linhas – os cursos de água;
- ii) Pontos – os elementos de patrimônio cultural, natural e paisagístico;
- iii) Áreas – as áreas importantes para a conservação da natureza integradas na rede de áreas protegidas e outras áreas que justifiquem sua preservação (Ferreira *et al.*, 2000).

Ferreira e colaboradores (2000) consideram três tipos básicos de corredores, independentemente da sua origem, uso humano e tipo de paisagem em que se inserem:

- i) Corredor linear – composto por bandas estreitas essencialmente dominadas por espécies de orla. É formado por caminhos, estradas, canais de irrigação, etc.;

- ii) Corredor em banda – formado por bandas largas, com uma área interior central rica em espécies de interior;
- iii) Corredor fluvial – formado ao longo de cursos de água, que variam em largura de acordo com o tamanho do curso d' água.

Estes desempenham importantes funções no controle e redução do escoamento hídrico e de sedimentos erosionados, na intercessão de nutrientes, no aumento de fertilidade do solo, na diversidade das espécies florísticas e faunísticas e na valorização estética da paisagem. Este último que possui como elementos estruturantes os cursos de água teve grande influência na evolução de um conceito relativamente recente – conceito de corredor verde ou *greenway*, como ele é considerado atualmente, principalmente ao nível do contexto metropolitano.

Uma das argumentações defendida por Simberloff e Cox (1987) é a de que os corredores ecológicos sejam áreas de disseminação de agentes patogênicos, já que o contato dos animais silvestres com os animais domésticos e os ambientes antrópicos corresponde a uma via possível de contágio, o que dificultaria a fiscalização por parte das entidades sanitárias, em razão do aumento de bordas.

O estabelecimento dos corredores deve ser visto como uma alternativa de conservação, dentro de um conjunto de medidas definidas e planejadas para o gerenciamento dos recursos naturais, em que as influências externas aos fragmentos estejam contempladas. Uma vez que, a maioria dos impactos nos fragmentos origina-se das áreas vizinhas, como centros urbanos, rodovias, áreas agrícolas entre outras, deve-se evoluir da visão tradicional de manejo de áreas protegidas para uma outra que contemple o manejo integrado da paisagem (Szmuchrowski e Martins 2001).

Há também a necessidade de se ressaltar que o manejo dos corredores ecológicos não consiste de uma medida suficiente para a conservação das espécies (fauna e flora), tendo necessidade de uma abordagem que alie corredores a uma rede regional de áreas protegidas (Szmuchrowski e Martins 2001).

Assim, o planejamento de corredores ecológicos requer a análise e integração de vários fatores, cujo processo, aplicado a um conjunto de dados, pode ser realizado por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) (Szmuchrowski e Martins 2001).

Em virtude da abertura e expansão de áreas agrícolas, crescimento urbano desordenado, implementação de projetos industriais, entre outros processos, a paisagem nativa cede espaço a uma paisagem antrópica, formada por padrões de áreas urbanas, rodovias, culturas agrícolas, pastagens, áreas degradadas e também remanescentes da vegetação nativa. Estes remanescentes também conhecidos por fragmentos florestais, desempenham importante função de mantenedores da biodiversidade existente na região afetada e devem ser considerados como elementos-chave no planejamento de conservação ambiental (ICEPA, 1987; SEDUMA, 1979).

A biodiversidade ainda existente no local, e que, portanto não sofreu processo de extinção, dependerá do tempo de isolamento/fragmentação, da distância entre fragmentos adjacentes e do grau de conectividade entre eles. Uma das propostas para minimizar os efeitos da fragmentação, favorecendo o deslocamento de animais silvestres inter-fragmentos, aumentando a dispersão de sementes, aumentando área de vida de algumas espécies, diminuindo a taxa de extinção de espécies, entre outros benefícios, é o estabelecimento de corredores ecológicos interligando o maior número possível de fragmentos. No entanto, esta alternativa de conservação do meio ambiente tem sido amplamente discutida pela comunidade científica, avaliando a eficácia dos corredores e os custos e riscos que os mesmos podem causar (ICEPA, 1987).

Os corredores ecológicos podem ser importantes para a conservação de algumas espécies, um exemplo é o de marsupiais arborícolas, no sudeste da Austrália. Procurando identificar quais atributos dos corredores influenciavam a presença ou ausência dos marsupiais nos mesmos, avaliaram-se a largura, área, distâncias e o contexto da paisagem em que se encontravam os corredores. Com relação à largura e à área, os corredores variavam de 30 m a 264m e de 0,8 ha a 14,6 ha, respectivamente, mostrando que o contexto em que

o corredor encontrava-se na paisagem era um fator importante e que por isso, recomenda-se que os corredores devem atravessar os mais diversos ambientes (encostas, topos de morros, fundos de vale etc.) (Martins *et al.*, 2002). A largura dos corredores não se mostrou variável importante para definição dos mesmos. Os critérios básicos para o planejamento de corredores deveriam atender para o contexto das diferentes paisagens existentes, da conectividade e da estrutura social, dieta e padrões das espécies-alvo para conservação. (Martins *et al.*, 2002 apud Lindenmayer e Nix 1993).

2.7 Pressupostos legais para delimitação do corredor ecológico nas zonas de recarga direta do Aquífero Guarani em Santa Catarina.

Para a proposta de delimitação do corredor ecológico existem preceitos legais que justificam a preservação e uso racional das áreas superficiais que estejam envolvidas direta ou indiretamente as zonas de recarga direta de um aquífero. Um conjunto de leis estabelecidas em nível estadual e federal permite embasar juridicamente o traçado de acordo com as características físicas e políticas (Arruda, 2005).

De acordo com Silva (2005), as principais leis que podem fundamentar e justificar a proteção das zonas de recarga direta do Aquífero Guarani bem como outros biomas e ecossistemas são:

- A Lei Federal 9.433, de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei das Águas;
- A Lei Federal 9.795, de 1999, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental;
- A Lei Federal 9.985, de 2000, que institui a Política Nacional de Conservação da Natureza e,
- A Lei Federal 10.257, de 2001, que institui a Política Nacional Urbana, o Estatuto da Cidade.

Estas leis possuem um caráter transversal onde uma pode complementar a outra no sentido de se completarem quando o objetivo é não somente preservar, mais educar para preservar e o aprendizado desta educação parte do conceito de que cada um pode aprender a partir dos seus próprios modos de aprendizado, interpretando o seu modo e compreendendo a partir de suas capacidades de cognição.

Sendo observada como uma das etapas da metodologia de delimitação do corredor ecológico a interpretação do conjunto de leis acima citado, torna-se imprescindível o conhecimento de cada uma delas, suas implicações e como pode ser traduzida e adaptada ao método aplicado neste trabalho. A partir da interpretação de cada lei, ocorre a extração de tópicos que possam justificar a inclusão de uma determinada área aos limites do corredor.

Ainda citando Silva (2005), a conexão destas leis se dá em função que para a participação cidadã ter efeito no planejamento e na gestão da água, na conservação da natureza e para o desenvolvimento das sociedades é preciso ter na educação ambiental a abordagem pedagógica transdisciplinar como um modo de capacitação comum entre todos estes processos.

Nestas quatro leis principais que nortearão o método de delimitação, cada uma delas segue uma hierarquia, uma estrutura que deve ser compreendida além de aplicada somente.

A partir de cada lei será analisado e extraído o conteúdo que mais se enquadre a necessidade de justificar o traçado proposto bem como conceitos para nortear a difusão do conhecimento para as comunidades envolvidas no traçado.

Partindo do princípio que um corredor ecológico é uma unidade de planejamento em escala muitas vezes de nível regional, é preciso buscar difundir seus objetivos, porém no momento da difusão é preciso também capacitar aqueles a quem está sendo levado a informação para que se possa ter proveito da atitude. Uma vez que além do conhecimento de se estar nos limites de um corredor ecológico é preciso ter consciência de como agir para contribuir

para com os objetivos deste, e uma das melhores formas de se transferir este conhecimento é por meio da educação ambiental.

A lei 9.433/97 pode ser entendida como a principal lei que justifica a proteção das zonas de recarga de um aquífero, tendo em seus fundamentos os elementos norteadores citados:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

No item I a água é um bem de domínio público, portanto podendo ser utilizado por todos o que justifica sua proteção para a manutenção deste recurso.

No item II, a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Este preceito se aplica também as águas subterrâneas o que justifica o resguardo das mesmas e dos seus locais de recarga para que sempre se possa proporcionar a percolação de água com qualidade e quantidade satisfatórias.

No item III, em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais, para tanto este item ressalva que na necessidade as águas subterrâneas serão de extrema importância e, portanto deve-se tê-la sempre disponível.

No item VI, a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, justifica a questão do corredor ecológico como forma de aproximar os diversos

gestores de unidades de conservação, produtores, empresários e comunidades, ou seja, a integração das esferas do primeiro, segundo e terceiro setores com a finalidade de promover uma gestão integrada dos recursos naturais.

Na Lei 9985/2000, podemos encontrar as diretrizes que instituem o Sistema Nacional de Unidades de Conservação no Brasil, junto com resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), é a principal ferramenta que determina e estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação.

Em seu artigo segundo item XIX, esta lei cita que para os fins previstos na mesma entende-se por Corredores Ecológicos: porções de ecossistemas naturais ou semi-naturais, ligando unidades de conservação, que possibilitam entre elas o fluxo de genes e o movimento da biota, facilitando a dispersão de espécies e a recolonização de áreas degradadas, bem como a manutenção de populações que demandam para sua sobrevivência áreas com extensão maior do que aquela das unidades individuais. (Lei 9985/2000)

No item II a lei considera como conservação da natureza: o manejo do uso humano da natureza, compreendendo a preservação, a manutenção, a utilização sustentável, a restauração e a recuperação do ambiente natural, para que possa produzir o maior benefício, em bases sustentáveis, às atuais gerações, mantendo seu potencial de satisfazer as necessidades e aspirações das gerações futuras, e garantindo a sobrevivência dos seres vivos em geral.

No item V é previsto como preservação: conjunto de métodos, procedimentos e políticas que visem à proteção em longo prazo das espécies, habitats e ecossistemas, além da manutenção dos processos ecológicos, prevenindo a simplificação dos sistemas naturais. Item XI o uso sustentável: exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável.

Estas considerações iniciais da Lei 9985/2000, indicam a importância da manutenção da biodiversidade a nível regional para que se possa manter a estabilidade de todos os ecossistemas inseridos no bioma de Mata Atlântica.

No 4º artigo foram selecionados os seguintes objetivos que mais se enquadram com os objetivos de proposta do Corredor Ecológico:

I - contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais;

II - proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional;

IV - promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais;

V - promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento;

VI - proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica;

VII - proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural;

VIII - proteger e recuperar recursos hídricos;

XI - valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica;

XII - favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico;

XIII - proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente.

As diretrizes selecionadas do artigo 5º ajudam a estabelecer as metas fundamentais para o Corredor Ecológico.

II - assegurem os mecanismos e procedimentos necessários ao envolvimento da sociedade no estabelecimento e na revisão da política nacional de unidades de conservação;

III - assegurem a participação efetiva das populações locais na criação, implantação e gestão das unidades de conservação;

V - incentivem as populações locais e as organizações privadas a estabelecerem e administrarem unidades de conservação dentro do sistema nacional;

IX - considerem as condições e necessidades das populações locais no desenvolvimento e adaptação de métodos e técnicas de uso sustentável dos recursos naturais;

XIII - busquem proteger grandes áreas por meio de um conjunto integrado de unidades de conservação de diferentes categorias, próximas ou contíguas, e suas respectivas zonas de amortecimento e corredores ecológicos, integrando as diferentes atividades de preservação da natureza, uso sustentável dos recursos naturais e restauração e recuperação dos ecossistemas.

Tendo como um dos principais instrumentos para a capacitação e difusão do conhecimento sobre a preservação ambiental e por consequência a efetivação de um corredor ecológico, a lei 9.795/99, instrui sobre os principais métodos a serem aplicados as comunidades tanto de bacias hidrográficas como das áreas urbanas, sobre como entender a importância do estabelecimento dos corredores ecológicos como forma de aumentar a conexão dos fragmentos florestais e a complexidade do ambiente principalmente do reconhecimento que para a preservação das áreas de recarga de um aquífero é de extrema importância à conservação das áreas superficiais com o objetivo de proporcionar a recarga com qualidade e quantidade para os mananciais subterrâneos.

A importância da educação ambiental se faz presente também no sentido de fazer alusão as águas subterrâneas como uma alternativa de uso da água para o presente e para o futuro, de forma que utilizada racionalmente pela população irá garantir a disponibilidade dos recursos hídricos para todos.

Tendo estas considerações como norteadoras para a tomada de consciência a lei 9.795/99, tem como premissas:

Artigo 1º. Entende-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos,

habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

Artigo 2º. A educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal.

No artigo 4º são reconhecidos como princípios básicos da educação ambiental:

- I - o enfoque humanista, holístico, democrático e participativo;
- II - a concepção do meio ambiente em sua totalidade, considerando a interdependência entre o meio natural, o sócio-econômico e o cultural, sob o enfoque da sustentabilidade;
- III - o pluralismo de idéias e concepções pedagógicas, na perspectiva da inter, multi e transdisciplinaridade;
- IV - a vinculação entre a ética, a educação, o trabalho e as práticas sociais;
- V - a garantia de continuidade e permanência do processo educativo;
- VI - a permanente avaliação crítica do processo educativo;
- VII - a abordagem articulada das questões ambientais locais, regionais, nacionais e globais;
- VIII - o reconhecimento e o respeito à pluralidade e à diversidade individual e cultural.

Tendo estes princípios básicos como meta para a educação ambiental será possível através da difusão do conhecimento tanto nos níveis escolares como os trabalhos realizados junto às comunidades de bacias hidrográficas, a transmissão da importância do corredor ecológico como forma de aferir sustentabilidade as populações locais e a manutenção dos recursos hídricos subterrâneos através de um uso do solo de maneira sustentável respeitando os limites físicos e biológicos da natureza.

2.8 O Sistemas de Informação Geográfica (SIG) como ferramenta de apoio à tomada de decisão

O geoprocessamento pode ser caracterizado por três principais etapas: o levantamento, o processamento dos dados e a geração resultados. O levantamento de dados mostra ser a principal e mais trabalhosa etapa, pois requer o conhecimento mais aproximado dos parâmetros que serão representados posteriormente (Malczewski, 1996).

O geoprocessamento linearmente abrange desde o momento em que determinado dado é obtido, passando por sua interpretação e representação espacial, cruzamentos, impressão de mapas, passando pela estruturação de SIG, até chegar às mãos dos gestores. De acordo com os princípios da cartografia, os dados devem ser disponibilizados para que qualquer leigo consiga obter informações de um mapa ou sistema de informações (Burrough, 1992; Malczewski, 1996).

O geoprocessamento, independente das inovações da computação gráfica, existiu desde o momento em que um determinado dado espacial foi representado de forma relativa. Conforme pode ser lido no parágrafo a seguir, alguns cruzamentos de dados eram realizados sem a utilização de estruturas computacionais.

2.8.1 O geoprocessamento em sistemas computacionais

Antes de determinados avanços computacionais os sistemas geográficos poderiam ter a denominação de procedimentos sistemáticos, ou metodologia sistemática para processamento de dados espaciais. Nos últimos anos, os avanços na área de informática e implementadas nas atividades de mapeamento e análise geográfica acabou alterando essa definição e restringindo o conceito aos sistemas baseados em computador (Burrough, 1992).

Segundo Brandalize (1997) os sistemas computacionais que auxiliam o processamento de dados espaciais podem ser:

- SISTEMAS CAD - Desenho Auxiliado por Computador
- SISTEMAS CAM - Mapeamento Auxiliado por Computador
- SISTEMAS AM/FM – “*Automated Mapping and Facilities Management*”
- SISTEMA SIG – Sistema de Informações Geográficas.

Atualmente, o sistema de informação geográfica (SIG) pode ser definido como um conjunto de procedimentos, manuais, ou auxiliados por computador utilizados na armazenagem e manipulação dados geograficamente referenciados (Arnoff, 1991 *apud* Hasenack e Weber, 1998).

Sistemas de informações geográficas constituem ferramenta tecnológica para a investigação de fenômenos diversos, relacionados com engenharia urbana, geologia, pedologia, vegetação, bacias hidrográficas, problemas ambientais, etc.

Esses sistemas podem ser definidos como um aparato organizado de *hardware*, *software*, dados geográficos e especialistas, preparados para capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar informações referenciadas geograficamente, que podem ser aplicados ao planejamento na busca soluções para problemas complexos, especialmente problemas referentes ao meio ambiente. (Maguire *et al.*, 1991, Calijuri e Röhm, 1994).

2.8.2 Estruturas modeladas em Sistemas de Informação Geográfica

Ferramentas computacionais e SIG efetivaram-se como ferramentas importantes no auxílio do melhor entendimento e representação dos modelos complexos de distribuição espacial de atributos e propriedades dos solos (Burrough e McDonnell 1998; Petersen *et al.*, 1995). O SIG pode ser a

plataforma para a realização de modelagem matemática de dados espaciais, gerando simulações gráficas, sendo caracterizados como importantes ferramentas para modelagem. Pode ser utilizado para análises da relação espaço/tempo, sendo uma realidade em muitos trabalhos científicos que incorporam metodologias e modelos específicos para este tipo de análise (Ratsiatou e Stefanakis, 2001).

A análise realizada a partir de um conjunto de operações em sistemas convencionais da base de dados pode ser caracterizada pela geração de uma nova camada de dados a partir do resultado do cruzamento de diferentes planos de informações com valores de atributos e suas respectivas distribuições espaciais (Ratsiatou e Stefanakis, 2001). O cruzamento de camadas contendo informações numéricas espacialmente distribuídas possibilita a construção de modelos matemáticos em ambiente de SIG. Os cruzamentos de dados podem ser realizados utilizando operações matemáticas, entre estas o método da média ponderada.

No método de média ponderada cada plano de informação deve ser utilizado como uma evidência que receberá um peso relativo à sua importância em referência ao conjunto de dados. Cada plano de informação receberá pesos diferentes, bem como as respectivas classes desses planos de informações. O resultado do cruzamento será um mapa com áreas que expressam um grau de importância relativa através de valores numéricos de saída (Câmara *et al.*, 2001).

2.8.3 O método de análise multicritério para a definição de limites para áreas com potencial de proteção

No meio ambiente todos os elementos estão de alguma forma interligados no qual a interdependência entre o biótico e abiótico é indissociável. Por isso, no momento de analisar a paisagem de certo local é preciso levar em conta todos

os componentes do ambiente e os fatores que promovem as relações entre todos os elementos envolvidos.

Em um ambiente de SIG, no qual se desenvolve um projeto que auxiliará na tomada de decisão que envolverá resultados que possam ser positivos ou negativos para todos os seres vivos que estão ligados a este processo, é preciso o maior número de informações possíveis para inserir em uma base de dados. Além das informações, tão importante quanto são as ferramentas que farão as análises e julgamentos. Estas terão de compreender o ambiente mais próximo da realidade em campo.

Como saber se estas decisões tomadas com base em resultados de cruzamentos de informações sem terem sido avaliadas de forma única e local podem estar certas? Para se poder confiar em uma decisão crucial é preciso ter garantia de que o método é fiel e produzirá bons resultados.

Na maioria dos projetos desenvolvidos em SIG a principal proposta é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, para fazer previsões através de modelos, e fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas. (Câmara et al, 2001).

Por definição a análise espacial pode ser entendida como uma coleção de técnicas, estatísticas ou modelagem matemática, com a qual os eventos que estão sendo analisados dependem tanto de sua posição geográfica quanto do seu valor inerente (Haining, 1994). O'Kelly (1994) reconhece a importância e o potencial da aplicação conjunta de SIG e análise espacial em diversos campos da ciência (Kneip, 2002).

Métodos de análise multicriterial são bastante usados para agregar informações e escolher as mais apropriadas soluções, considerando os valores qualitativos dos planejadores (Joerin *et al.*, 1998).

Análises multicriteriais são utilizadas para responder determinado questionamento através de diferentes perspectivas de forma conjunta. Nem sempre são multiparamétricas, pois podem ser realizadas utilizando-se de um único plano de informação.

A análise pode ser multicriterial quando são usados diferentes critérios e parâmetros (indicadores), por exemplo: utilizando dados de declividade e pedologia, poderiam ser identificadas áreas com determinada declividade e tipo de solo especificado (Moreira *et al.* 2001). Sendo que o cruzamento de dados pode ser realizado com a elaboração de uma equação matemática a partir da atribuição de pesos aos diferentes planos de informações e suas respectivas classes ou utilizando o método booleano para operações de conjuntos. Neste trabalho são utilizados diferentes tipos de dados, segundo a sua importância para o planejamento de unidades espaciais, como bacias hidrográficas e unidades de conservação.

2.8.4 Sistemas de Suporte a Decisão

É conhecida a utilização dos Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) como ferramentas que independente de distribuição espacial possibilitam a escolha das melhores soluções pré-estabelecidas, frente determinado problema.

Recentemente muitos planejadores e gestores dão grande importância para a utilização dos SIG estruturados para Sistemas de Suporte à Decisão Espacial (SSDS), voltados para a tomada de decisões.

Um SSDS representa um conjunto de ferramentas de trabalho ideal para os planejadores, ligando a capacidade de representação espacial dos SIG com técnicas de análises típicas de SSD (Geneletti, 2001).

São perfeitamente utilizados como suporte para a identificação de áreas com potencial de contaminação, os aplicativos voltados para a tomada de decisões com base em análise multicriterial a partir da vinculação de determinado banco de dados com modelos matemáticos estruturados sobre plataformas de SIG (Cavallo e Norese, 2003).

A integração entre análises multicriteriais de suporte à decisão com sistemas geográficos de informações é provavelmente a mais flexível e exata ferramenta para que planejadores possam analisar efetivamente elementos espacialmente distribuídos (Yalcin e Akyurek, 2002)

O SIG habilita o processamento integrado dos critérios. Eastman e colaboradores (1993) elaboraram um mapa de viabilidade para implementar um complexo industrial em Kathmandu usando *software* IDRISI e Processo Analítico Hierárquico (AHP) (Saaty, 1990).

Modelos de Decisão Multicriterial (MDM) caracterizam mecanismos de controle aos planejadores, pois são capazes de quantificar informações qualitativas e subjetivas durante a evolução dos processos de análise (Ascough *et al.*, 2002).

Existem diversos métodos para análise multicriterial sendo destacados os seguintes:

- AHP (Processo Analítico Hierárquico);
- Lógica Nebulosa ou *Fuzzy*.
- Método Boleano
- Média Ponderada
- *Weighted Overlay*

2.8.5 Processo de Análise Hierárquica (AHP)

Desenvolvido por Saaty em 1980, AHP organiza hierarquicamente múltiplos fatores referentes a problemas complexos. Utiliza estruturas hierárquicas matriciais ou álgebra linear para formalizar o processo de decisão. O método AHP determina a prioridade dentre um leque de alternativas utilizando uma análise de julgamento comparativa e um aplicativo matemático.

Este método envolve a comparação entre diferentes critérios, a partir de uma comparação por par. Pode converter valores subjetivos atribuindo uma importância relativa em um gradiente linear de valores. (Malczewski, 1999; Eastman *et al.*, 1995; Malczewski, 1996).

AHP combina subjetivos e objetivos julgamentos, em uma interface integrada baseada em escalas de relação de simples comparações pareadas. Há duas décadas e meia vem sendo utilizada para variadas análises na agricultura e no gerenciamento dos recursos hídricos.

Os critérios são pareados relativamente em uma matriz de comparação tendo como resultado valores numéricos lineares relativos. Logo, o método AHP realiza a transformação de uma matriz em um vetor relativo aos valores dos critérios analisados.

AHP é utilizado no sentido quantificar julgamentos qualitativos, ou seja, intuitivos do planejador (Rached e Weeks, 2002).

Alguns autores como Ghotb e Warren (1995) citam que AHP sendo comparado com o método Suporte a Decisão *Fuzzy* (FSD) ambos os métodos são considerados úteis na abordagem de uma complexa decisão e nenhum pôde ser constatado superior ao outro.

É importante ressaltar que em referência aos dados espacialmente distribuídos, quanto maior as escalas espacial e temporal de análise, ou seja, quanto maior o detalhamento espacial, mais difícil será o gerenciamento dos dados, contudo, quanto menor a escala, e menor o detalhamento, menos significativo em termos absolutos e menos transferíveis os resultados para outras situações (Smaniotto *et al.*, 2003).

Apesar de o método AHP ser o mais recomendado em análises multicriteriais, para que seus resultados sejam considerados estatísticos, é importante que os parâmetros analisados sejam quantificáveis. Caso sejam apenas qualificáveis é necessário, portanto, a realização de um número mínimo de análises.

Utilizar a técnica AHP para numerar julgamentos qualitativos não torna a análise quantitativa, e se o objetivo da utilização da técnica for este, o processo não passa de mero enfeite metodológico. A utilização de AHP para atribuição de pesos de forma qualitativa por apenas um analista, pode ser justificada em virtude da técnica oferecer o grau de consistência referente à relação entre os valores atribuídos. Também pode ser justificada quando são utilizados outros métodos de julgamento, como MAGISTER, TOPSIS, etc. A utilização de mecanismos computacionais para processamento de dados deve considerar a possibilidade de erros, desvios e arredondamentos provenientes do processamento de modelos.

Capítulo 3

Área de Estudo

3.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo identificada para este trabalho compreende toda a linha de afloramento de Arenito Botucatu no Estado de Santa Catarina.

Dentro deste traçado com sentido sul/norte atinge aproximadamente 500 km de afloramentos, os limites laterais oscilam de acordo com a distância dos cursos de água e bacias hidrográficas que estão envolvidos direta e indiretamente com as zonas de recarga direta do Aquífero Guarani.

De um modo geral após investigações em mapas geológicos, topográficos e hidrográficos foi possível constatar que a área de estudo acompanha o curso da Serra Geral em Santa Catarina, esta por sua vez assume características geológicas e geomorfológicas distintas em seu percurso.

Do extremo sul do Estado de Santa Catarina até o município de Bom Retiro a Serra Geral se apresenta com suas escarpas abruptas em forma de contra fortes voltados ao litoral catarinense. Com desníveis de mais de 1500 metros, as escarpas expõe suas camadas de depósitos sedimentares como o Arenito Botucatu e derrames de basaltos. O sentido da Serra Geral neste trecho é de aproximadamente 350°N.

Do município de Bom Retiro em direção 260°W a Serra Geral segue até o município de Lages e Ponte Alta contornando o Domo de Lages com relevo mais suavizado e retomando o sentido 320°NW atingindo os municípios de

Porto União e Canoinhas voltando a se mostrar em forma de serras de médio porte.

A área de estudo percorre um total de 47 municípios por onde ocorrem os afloramentos de Arenito Botucatu considerados áreas de recarga direta do Aquífero Guarani e os derrames basálticos caracterizados por Aquífero Serra Geral estes dois componentes do Sistema Aquífero Guarani.

A área total do objeto de estudo compreende 15.492,71 Km² e perímetro de 1.995,95 Km e 238 microbacias hidrográficas.

3.1.1 História da Serra Geral Catarinense

A escarpa da Serra Geral é, sem dúvida, um dos mais imponentes acidentes geomorfológicos do sul do Brasil e a sua origem e dos seus magníficos cânions, localizados nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, constituem um capítulo da geologia ainda pouco conhecido do público, e que sempre causou curiosidade nas pessoas que visitam estas majestosas esculturas geológicas.

Para uma melhor compreensão de como se formou este escarpamento da Serra Geral e os grandes cânions a ele associados, é importante voltarmos cerca de 225 milhões de anos atrás, ao período geológico denominado Permiano, quando os atuais continentes ainda estavam unidos e formavam um supercontinente denominado Pangea, que mais tarde viria a se subdividir em dois grandes blocos denominados como Eurásia e Gondwana (Ver Figura 3.1).

Com o avançar do tempo desenvolveu-se, na borda do supercontinente gondwânico recém formado, um mar intracontinental que evoluiu para uma vasta bacia sedimentar, com mais de 1.500.000 km², geologicamente conhecida como Bacia Sedimentar do Paraná. www.cprm.gov.br/aparados/hist

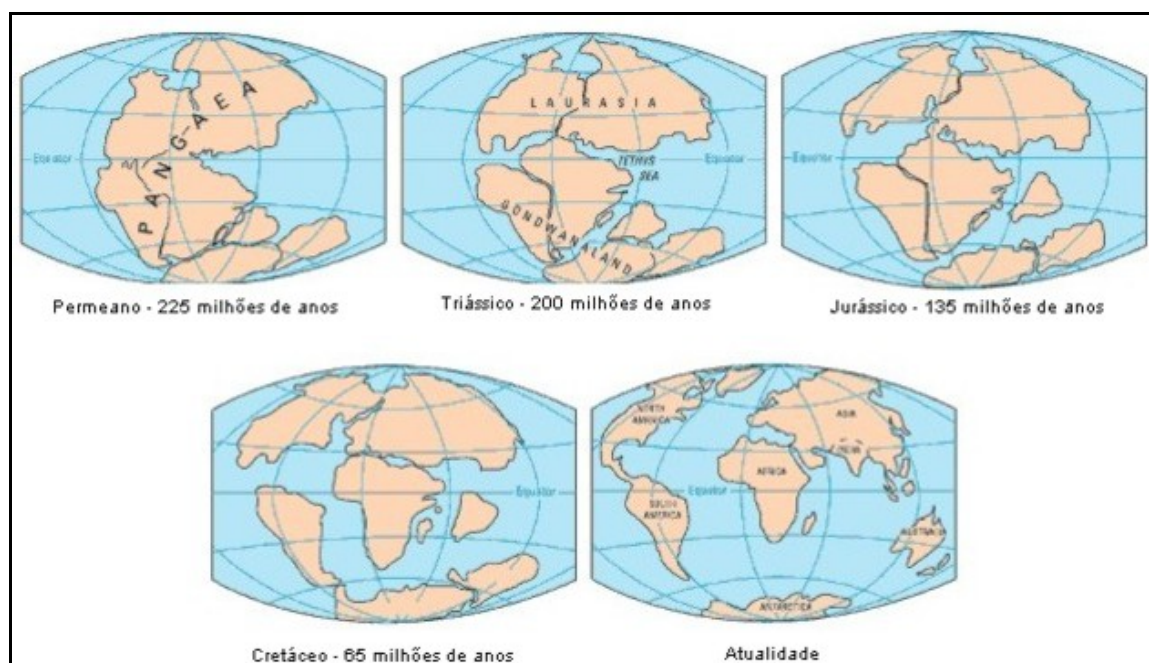


Figura 3.1 Ilustração mostrando a fragmentação do Pangea dando origem aos continentes Eurásia e Gondwana há 225 milhões de anos atrás. A partir daí, o Gondwana e a Eurásia se fragmentam e começa a migração continental, com o afastamento da América do continente africano/europeu. (Fonte: Pangea, 2006).

Como conseqüência deste processo dinâmico da crosta terrestre, e regido pelas regras da Tectônica de Placas, a aproximadamente 135-110 milhões de anos, o supercontinente Gondwana começou a fragmentar-se.

Esta fragmentação foi acompanhada de um amplo soerguimento de toda a borda leste do recém criado continente da América do Sul e da borda oeste da África, fazendo com que os derrames vulcânicos, e as rochas colocadas abaixo, fossem elevadas topograficamente, formando o que posteriormente denominou-se de Serra Geral e Serra do Mar, no continente sul americano.

Uma vez formada a escarpa da Serra Geral (Figuras 3.2 e 3.3), as diferenças de composição entre derrames de basalto (Figura 3.4) e riolito, as distintas velocidades de alteração, os profundos fraturamentos existentes e a atuação dos processos de erosão fluvial através dos tempos, foram lentamente

esculpindo a paisagem, resultando na atual morfologia (Figuras 3.5 e 3.6).



Figura 3.2 Vista frontal das escarpas da Serra Geral na porção sul de Santa Catarina. (Fonte: Google Earth)



Figura 3.3 Vista dos contrafortes da Serra Geral – Urubici – SC - Brasil. (Foto: Álvaro Jr.)



Figura 3.4 Exemplo dos derrames de basalto que formaram a Serra Geral – Urubici – SC - Brasil (Foto: Álvaro Jr.)

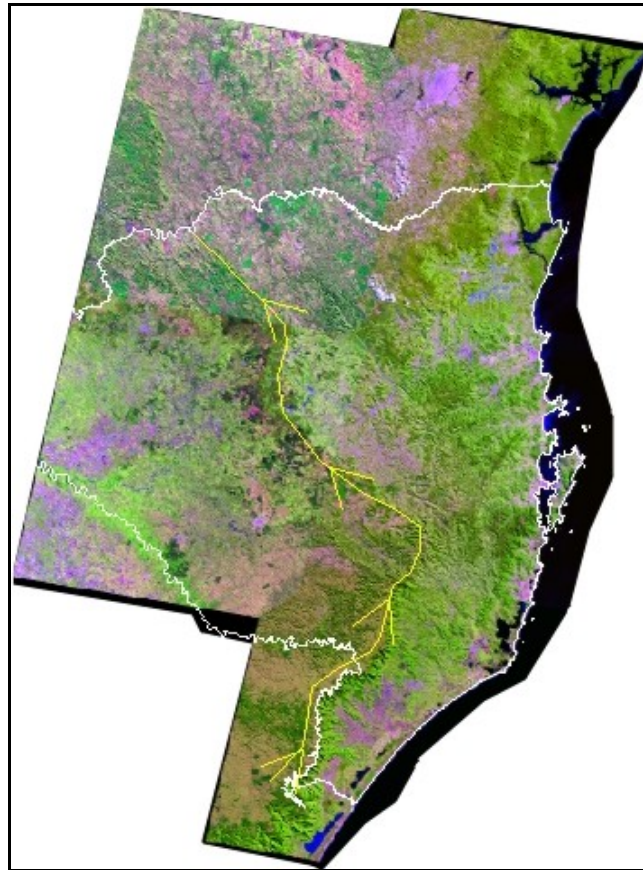


Figura 3.5 Mosaico de imagens de satélite *Land Sat 7 ETM+*, com limites do Estado de Santa Catarina em branco e linha representativa da Serra Geral em linha amarela. (Fonte: figura elaborada pelo Geógrafo Álvaro Jr. no software ArcGis 9x).

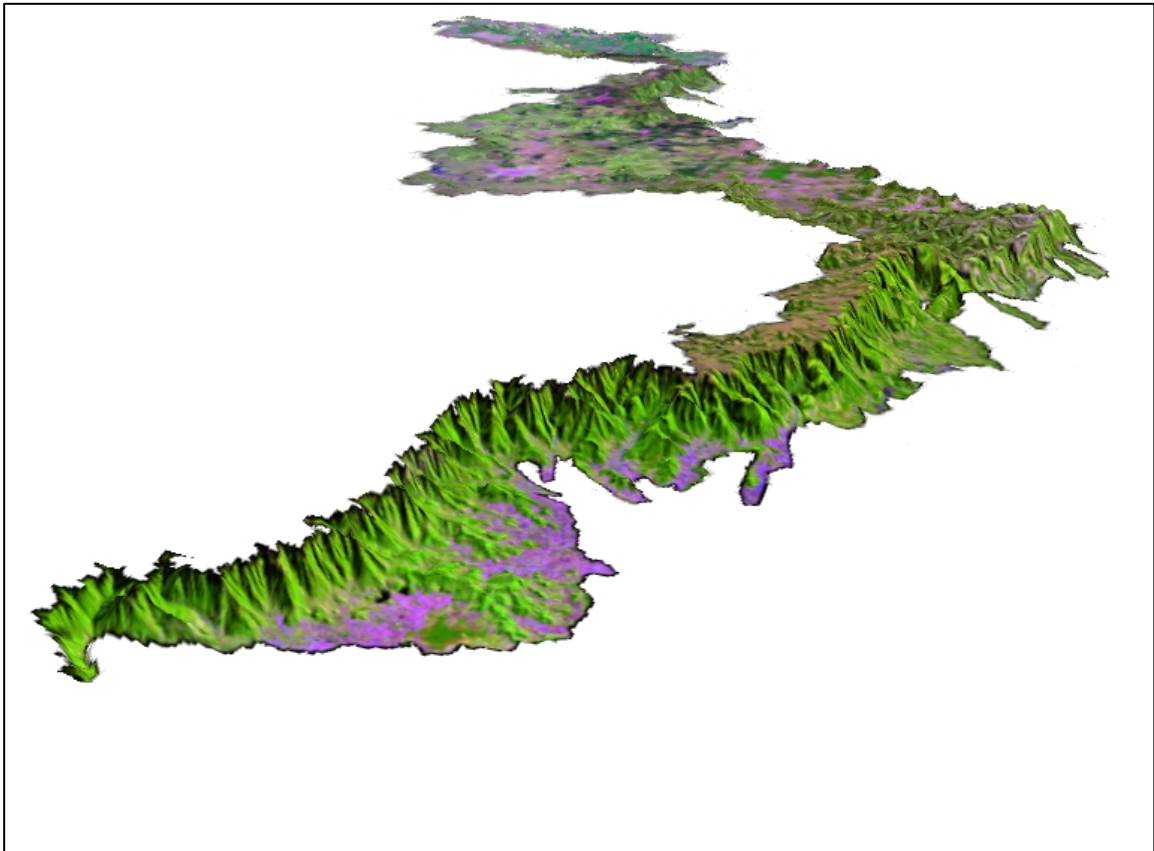


Figura 3.6 Modelagem tridimensional da Serra Geral a partir de imagens de satélite Land Sat 7 ETM+ e Modelo Digital de Terreno SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*, desenvolvido no software Arc Scene 9x. Elaboração: Geóg. Alvaro Jr.

Capítulo 4

Metodologia

Para a realização da metodologia deste trabalho foi necessário elaborar um fluxograma que auxilia na organização de todo processo desde a construção da base de dados passando pela execução de tarefas de análise espacial até a confecção dos mapas finais. A Figura 4.1 apresenta o fluxograma que descreve a metodologia desenvolvida para uma melhor visualização do trabalho.

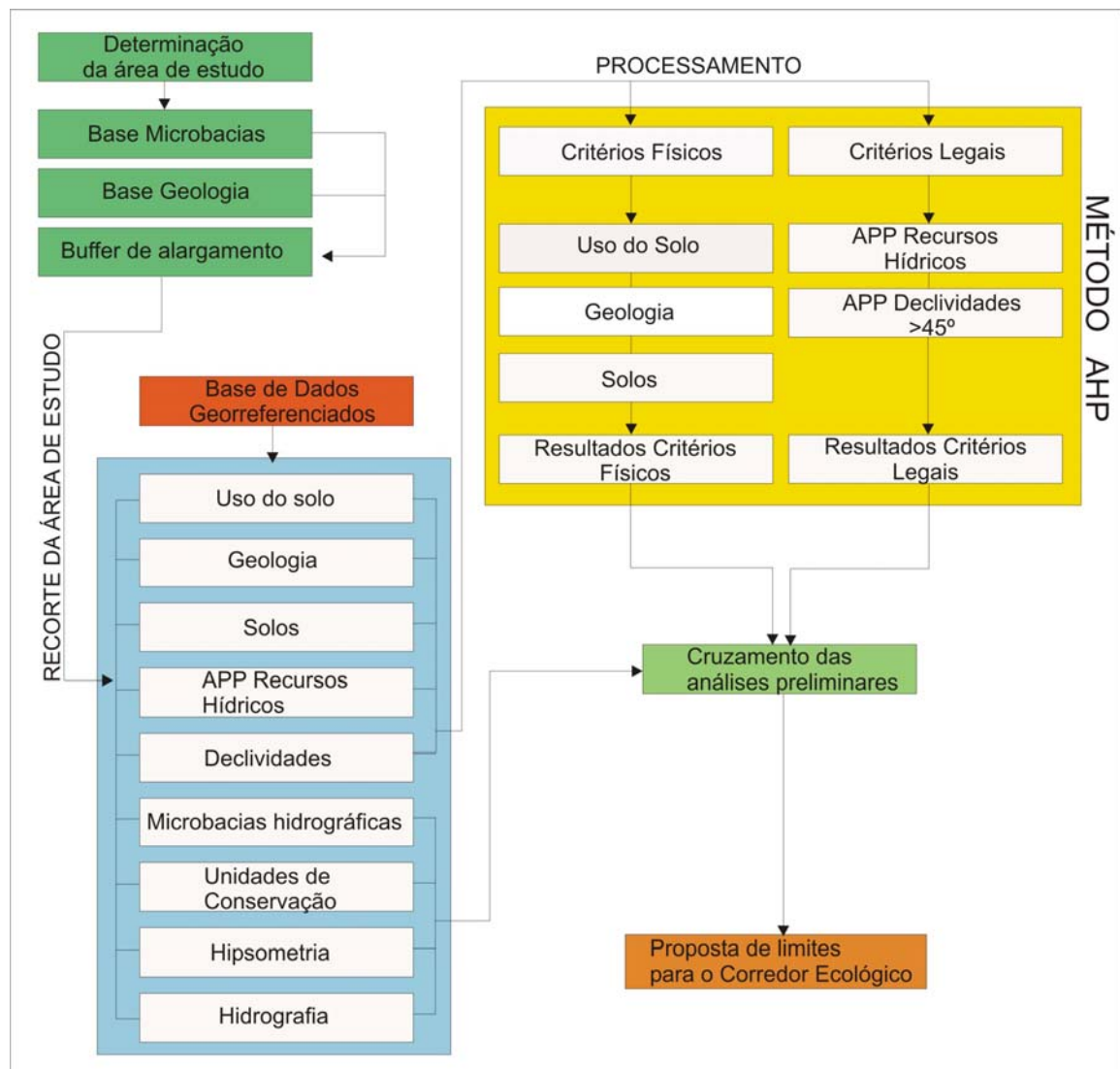


Figura 4.1 Fluxograma ilustrando as etapas da metodologia para execução do trabalho.

No decorrer da metodologia foram utilizados softwares e computadores para processar as informações. Os *softwares* mais utilizados foram: ArcView GIS 3.2 com extensões, ArcGis 9x, ArcScene 9, ERDAS Imagine 8.5, ENVI 3.2. Estes *softwares* são utilizados para processamento de imagens de satélite, transformação de dados vetoriais, cruzamentos de dados e atribuição de pesos aos critérios.

Ao fim da execução da metodologia a partir do cruzamento dos dados

foram identificadas as áreas mais prioritárias em uma escala de graus para a inclusão nos limites do Corredor Ecológico com a finalidade de proteger as áreas de recarga direta do Aquífero Guarani em Santa Catarina.

A melhor forma para se entender um processo é observar como este foi realizado passo a passo, por se tratar de processos computacionais existe a necessidade da compreensão de cada etapa desta forma a descrição da metodologia se dará pela explanação de cada etapa executada.

4.1 Identificação e aquisição da base de dados

Nesta primeira etapa foi feita a identificação de quais dados seriam necessários para a realização do trabalho. Foram realizadas buscas na internet, órgãos oficiais do governo estadual e federal como: EPAGRI, Diretoria de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina, Diretoria de Geografia e Cartografia do Estado de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina através de seus Departamentos de Geociências, Departamento de Eng^a Sanitária e Ambiental, Departamento de Eng^a Civil, Universidade de Maryland – Califórnia – EUA, INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, ANA – Agência Nacional de Águas, IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBAMA e MMA.

Após um levantamento minucioso e solicitação dos dados foi possível montar a seguinte base de dados:

- Mapa Geológico DNPM / 1986, escala 1:500.000.
- Mapeamento Sistemático do Brasil – IBGE escalas 1:100.000 e 1:50.000 do Estado de Santa Catarina (contendo informações como: curvas de nível, hidrografia, rodovias, localidades entre outros).
- Mapa de Solos do Estado de Santa Catarina – EMBRAPA, escala 1:250.000, digitalizado a partir de *download* de mapas em PDF e impressos em seu formato original.

- Mapa de Microbacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina, escalas 1:100.000 e 1:50.000 EPAGRI/DRHI/SC.
- Mapa de Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina, escala 1:500.000. SDS/DRHI/SC.
- Malha Municipal do Estado de Santa Catarina, escala 1:250000 – IBGE.
- Malha estadual do Brasil, escala 1:500.000 – IBGE.
- Mapa de bacias hidrográficas do Brasil, escala 1:500.000 – IBGE.
- Malha de países da América do Sul, escala 1:1.000.000 – IBGE.
- Mapa do Aquífero Guarani América do Sul, escala 1:1.000.000 – ANA.
- Modelo Digital de Terreno do Estado de Santa Catarina – SRTM – EPAGRI, escala 1:50.000.
- Modelo Digital de Terreno da América do Sul, escala 1:3.000.000 – NASA – SRTM.
- Imagens de satélite *Land Sat 7 ETM+* do Estado de Santa Catarina – Universidade de Maryland – Califórnia – EUA.

Os dados vetoriais acima citados foram cedidos no formato *shapefile*, os dados *raster*, foram adquiridos nos formatos GeoTiff, IMG, MrSID, GRID.

Estes dados foram armazenados em discos rígidos de quatro computadores onde foram realizados os processamentos.

4.1.1 Organização dos dados

Inicialmente foi criado um projeto no *software* ArcGIS 9x (Figura 4.2), dentro deste projeto foram criados sete grupos de dados (Figura 4.3) sendo eles:

- Entrada de dados;
- Primeiro processamento – recorte da área de estudo;
- Segundo processamento – rasterização dos vetores;

- Terceiro processamento – reclassificação dos dados *raster*;
- Quarto processamento – aplicação dos dados no aplicativo AHP – Processo de análise hierárquica do ArcGIS 9x;
- Resultados e limites do Aquífero Guarani na América do Sul.

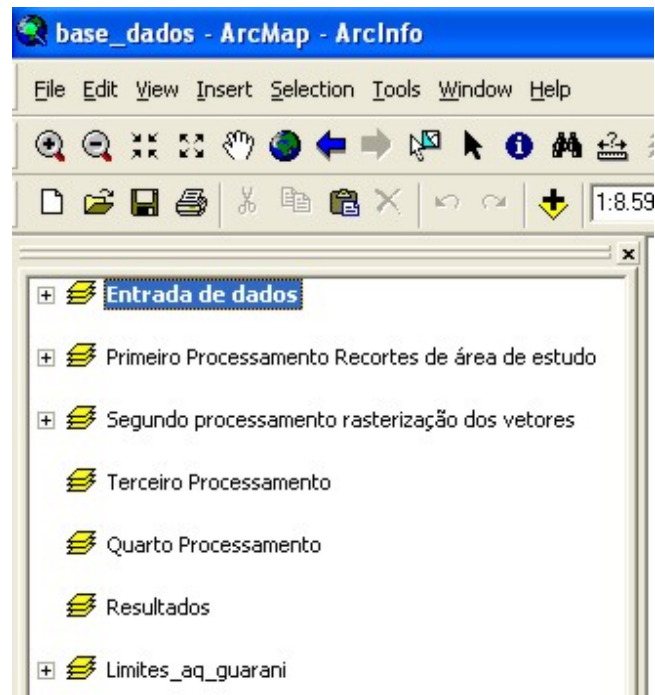


Figura 4.2 Organização dos dados no *software* ArcGIS 9x.

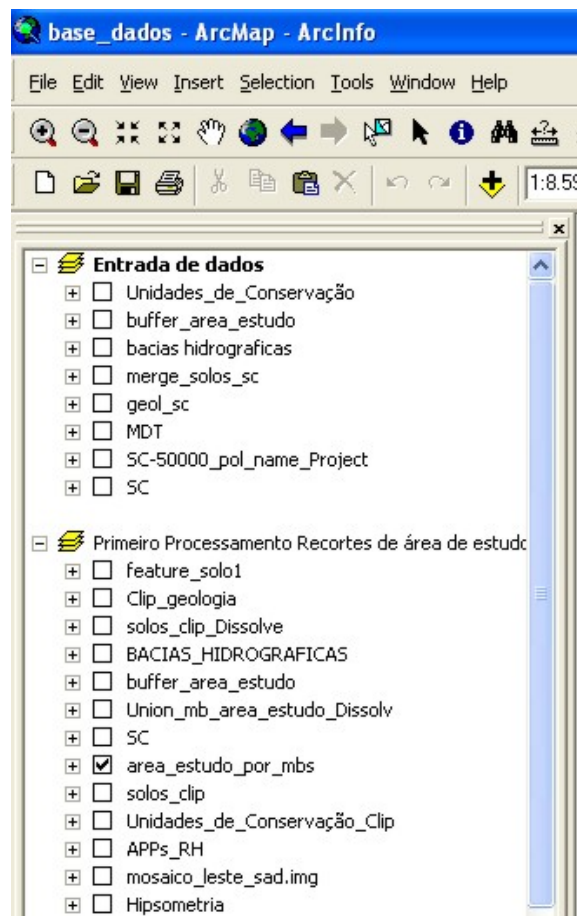


Figura 4.3 Exemplo de dados organizados no *software* ArcGIS 9x.

4.2 Definição do recorte da base de dados da área de estudo

Uma das dificuldades encontradas foi definir o recorte dos dados da área de estudo uma vez que a definição da mesma partia com base no principal objeto do trabalho: as áreas de recarga direta do Aquífero Guarani no Estado de Santa Catarina.

Vários critérios foram analisados buscando identificar qual seria a melhor maneira de definir o recorte dos dados da área de estudo. Foi analisada a topografia, a hidrografia, a geologia, as bacias hidrográficas e as microbacias hidrográficas. Esta última base foi escolhida como delimitador da área de estudo em função da influência que exerce sobre as áreas de recarga direta do Aquífero Guarani no Estado de Santa Catarina.

Para efeito de recorte na base de dados foi gerado em torno dos limites da área de estudo um *buffer* (alargamento) de dez quilômetros para garantir a integridade das informações.

4.3 Processo de geração de imagens *Land Sat* 7 ETM+ e classificação supervisionada do uso do solo a partir de mosaico de imagens

4.3.1 Aquisição de cenas *Land sat* 7 ETM+

No processo de geração do mapa de uso do solo foi necessário uma seqüência de processos descritos a seguir:

Aquisição de imagens, foram adquiridos um conjunto de imagens do satélite *Land Sat*, estas cenas foram adquiridas por meio de *download*, do site da Universidade de Maryland, Califórnia – EUA. As cenas datam do período de 2002 e 2003, esta universidade através do programa *Global Land Cover Facility – Earth Science Data Interface* disponibiliza as cenas *Land Sat* para todos estudantes cadastrados no site, as cenas são de ótima qualidade sendo fornecidas no formato Geotiff, ortoretificadas, em sistema de projeção UTM – Universal Transversa de Mercator com Datum WGS 84.

Foram adquiridas as seguintes cenas:

- 220/78, 220/79, 220/80 (Ver Figura 4.4);
- 221/78, 221/79, 221/80 (Ver Figura 4.5);

Para uma melhor oportunidade de combinação das bandas de cada cena foram feitos os pedidos das bandas 5, 4, 3, 2, 1 e Pan Cromática.

A resolução das imagens é da ordem de 30 metros para as bandas 5, 4, 3, 2, 1 e 15 metros para as Pan Cromáticas.



Figura 4.4 Disposição das cenas Land Sat 7 220/78/79/80.

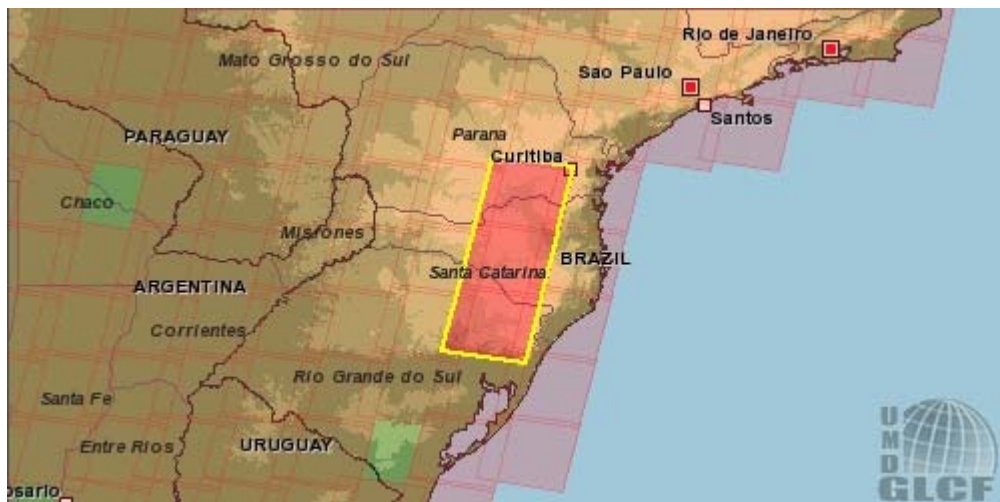


Figura 4.5 Disposição das cenas Land Sat 7 221/78/79/80.

Com a aquisição das cenas realizada, as mesmas foram armazenadas em cd e transferidas para os computadores onde iriam ser feitas as composições das bandas para a geração das imagens.

4.3.2 Geração de imagens e mosaicagem

Para se poder criar o mapa de uso do solo da área de estudo foi preciso gerar cena por cena, cada imagem foi composta a partir das bandas 5, 4, 3, o

que resultou em uma imagem que ressalta a vegetação, recursos hídricos e solos expostos. O *software* utilizado foi ERDAS IMAGINE 8.5, este *software* é específico para processamento de imagens. Em cada cena com as referidas bandas foi realizada a fusão destas três bandas e posteriormente realizado a calibração e equalização das cores e contrastes a partir do histograma.

Para o processo de mosaico das cenas foi utilizado o mesmo *software* ERDAS 8.5, o mosaico foi feito por processo automático a partir do georreferenciamento das cenas. Posterior a esta etapa foi feita à fusão de todas as cenas em uma só, retirando as margens e gerando uma cena com aproximadamente um terço da área do Estado de Santa Catarina, incluindo todo litoral catarinense, Serra Geral e Serra do Mar.

4.3.3 Geração do mapa de uso do solo

O mapa de uso do solo foi gerado no *software* ERDAS 8.5, a partir do mosaico de imagens de satélite *Land Sat 7*. Para esta classificação foram colhidas amostras visando identificar os seguintes elementos: água, área urbana, mata nativa, solo exposto, reflorestamento, campos ou gramíneas. Foram determinadas também áreas com nuvens, sombras e zonas não classificadas. O classificador que mais se aproximou a uma qualidade satisfatória foi o classificador de mínima distância.

4.4 Rasterização dos dados vetoriais

Os seguintes dados foram rasterizados: base de solos e base geologia. Estas bases em formato vetorial foram convertidas em formato *raster* para poder entrar nos modelos de cruzamento de dados que funcionam somente com formatos *raster*.

Para uma melhor uniformização dos dados, todos dados *raster* foram convertidos em formato GRID do ArcGIS 9x com resolução de 30 metros.

4.5 Agrupamento dos dados vetoriais e *raster*

A base de dados organizada conta com dois principais formatos: dados vetoriais contendo pontos, linhas e polígonos e dados *raster* em formato de pixels.

Cada grupo de dados foi separado de acordo com seu respectivo formato resultando nos seguintes dados:

- Dados Vetoriais:
- Base solos, base geologia, base hidrografia, base rodoviário, microbacias hidrográficas, unidades de conservação, limites de área de estudo, *buffer* do limite da área de estudo.
- Dados *raster*:
- Modelo digital de terreno, hipsometria, *raster* solos, *raster* geologia, *raster* áreas de preservação permanente dos recursos hídricos, uso do solo, declividades, imagem *Land sat*.

4.6 Geração de subprodutos da base de dados

Os subprodutos da base de dados são os principais elementos a serem utilizados no cruzamento das informações para obter os resultados. Pode-se citar como subprodutos:

- Mapa hipsométrico;
- Mapa de áreas de preservação permanente dos recursos hídricos;
- Mapa áreas de preservação permanente para locais com declividade superior a quarenta e cinco graus;
- Mapa de uso do solo;
- Mapa geológico;
- Mapa de solos;
- Mapa de unidades de conservação.

4.7 Inferência geográfica

Para a definição dos limites do corredor ecológico, além da base de dados contendo as informações de caráter geográfico é preciso definir em cada tema os valores de seus critérios com base em suas funções ambientais. Em um sistema de informação geográfica o maior objetivo é o cruzamento de mapas com o propósito de se reduzir os efeitos obtidos com a análise dos mapas de forma individual, podendo a partir do cruzamento de informações descrever e analisar interações dando suporte a tomada de decisão.

4.8 Escolha do modelo multicritério em sistemas de informação geográfica

Para a realização da análise multicritério foi pesquisado alguns tipos de modelagem multicritério, dentre os analisados foi escolhido o modelo AHP (Processo de Análise Hierárquica). A escolha feita porque este modelo apresenta maior simplicidade de uso e um alto grau de consistência no resultado dos dados.

Esta ferramenta de análise espacial para o *software* ArcGis 9, foi desenvolvida por Oswald Marinoni (2004) do Instituto de Geociências Aplicadas, Georecursos e Georiscos, Universidade Técnica de Darmstadt – Darmstadt – Alemanha. Segundo o autor do aplicativo, uma decisão é o resultado para a comparação de uma ou mais alternativas com respeito a um ou mais critérios que são considerados em uma tomada de decisão.

4.8.1 Descrição do Processo AHP

Todos os critérios que são considerados relevantes para a tomada decisão são comparados cada um com o outro em uma matriz de comparação de pares, com a medida para expressar a preferência relativa entre os fatores.

Por esta razão valores numéricos expressam o julgamento para as importâncias relativas ou preferências para um fator frente a outro. Saaty (1977) e Saaty e Vargas (1991), sugerem uma escala de comparação consistindo uma classificação de valores de 1 até 5, sendo que cada um descreve a intensidade ou importância. O valor 1 expressa igual importância e o valor 5 significa extrema importância. Na Tabela 4.1 está descrita a escala de importância sugerida por Saaty e Vargas (1991).

Tabela 4.1 Descrição das importâncias para os valores de um a cinco.

Intensidade para importância	Descrição
1	Importância igual
2	Moderadamente importante
3	Essencialmente importante
4	Muito importante
5	Extremamente importante

4.8.2 Atribuição de valores (pesos) aos critérios utilizados para a delimitação do corredor ecológico

Para o processo de tomada de decisão frente ao proposto de identificar as áreas com maior relevância para a preservação da recarga direta do Aquífero Guarani, utilizando o aplicativo AHP no software ArcGis 9, foi necessário primeiramente fazer uma triagem dos dados disponíveis no banco de dados georreferenciado, elegendo quais critérios seriam utilizados na identificação dos locais considerados de razoável a ótimos.

Desta forma inicialmente foram divididos em dois blocos de dados para posteriormente inserir na matriz de comparação. Foram eleitos os seguintes blocos de dados:

- Bloco de dados principais: neste bloco separados os dados de geologia, uso do solo e solos, considerados como critérios físicos essenciais para a manutenção da recarga direta de água para o

Aqüífero Guarani de acordo com o conceito formulado.

- Bloco de Dados Secundários: critérios com caráter legal, áreas de preservação permanente a partir da seleção de locais com elevação igual ou superior a 45°, áreas de preservação permanente para matas ciliares e hipsometria selecionando as áreas com altitudes iguais ou superiores a 1.700 mts de altitude.

Os demais dados não foram inseridos na matriz de comparação por serem dados que justificarão a delimitação do corredor ecológico de forma empírica através da complexidade dos elementos que influenciam as áreas de recarga direta do Aqüífero Guarani, sendo os seguintes:

- Recursos hídricos superficiais;
- Microbacias hidrográficas;
- Unidades de conservação;

Para determinar as áreas consideradas razoável a ótimo utilizando o método AHP, foram utilizados os dois blocos iniciais definidos como dados primários e secundários.

No bloco de dados primários foram utilizados os critérios físicos sendo atribuído para cada um uma escala de valores em forma de classificação a fim de identificar em cada um os sub-critérios mais ou menos importantes.

Dados Primários:

- **Critério Geologia:** Na Tabela 4.2 está descrita a classificação de valores para os sub-critérios do critério Geologia.

Tabela 4.2 Classificação de valores para os sub-critérios do critério Geologia.

Peso	Sub-Critério
0	TQ – Terraços e sedimentos marinho
0	Lagoas
0	Lagoas
1	A(T-B)t3 – Faixa granito-gnaissica Santa Rosa de Lima/Tijucas
1	pPZypg – Suíte intrusiva pedras grandes
1	Kyl – corpo alcalino de Lages
1	A(T-B)g – Complexo granulítico de Santa Catarina
2	Prs – Formação Rio do Sul
2	Prb – Formação Rio Bonito
2	Pt – Formação Teresina
2	Pp – Formação Palermo
2	Pi – Formação Irati
2	Psa – Formação Serra alta
3	Q – Sedimentos continentais
3	Prr - Formação Rio do Rastro
4	Jksg – Derrames Basálticos
5	TRjb – Arenito Botucatu

- **Critério Solos:** Na Tabela 4.3 está descrita a classificação de valores para os sub-critérios do critério Solos.

Tabela 4.3 Classificação de valores para os sub-critérios do critério Solos.

Peso	Sub-critérios
0	Areias Quartzozas
0	Afloramento Rochoso
1	Água
1	Glei Húmico
1	Urbano
2	Solos Litólicos Álicos
2	Solos Litólicos Distróficos
3	Cambissolo
3	Podzólico
3	Terra Bruna Estruturada
4	Solos Álicos
5	Latossolos

- **Critério Uso do Solo:** Na Tabela 4.4 está descrita a classificação de valores para os sub-critérios do critério Solos.

Tabela 4.4 Classificação de valores para os sub-critérios do critério Solos.

Peso	Sub-critério
0	Não Classificado
0	Sombra
0	Nuvem
1	Área Urbana
2	Solo Exposto
3	Reflorestamento
4	Água
4	Pastagens
5	Mata Nativa

Dados Secundários:

- **Critério Áreas de Preservação Permanente (APP) para matas ciliares de curso de água:** Na Tabela 4.5 está descrita a classificação de valores para os sub-critérios do critério APP recursos hídricos conforme Resolução CONAMA 303/2 artigo 3°.

Tabela 4.5 Classificação de valores para os sub-critérios do critério APP Recursos Hídricos.

Peso	Sub-critério
1	Matas ciliares com 15 metros de largura
2	Matas ciliares com 30 metros de largura
3	Matas ciliares com 50 metros de largura no entorno de olhos de água e nascentes
4	Matas ciliares com 100 metros de largura
5	Matas ciliares com 200 metros de largura

- **Critério Áreas de Preservação Permanente (APP) para declividades superiores a 45°:** Na Tabela 4.6 está descrita a classificação de valores para os sub-critérios do critério APP para declividades superiores a 45°.

Tabela 4.6 Classificação de valores para os sub-critérios do critério APP declividades.

Pesos	Sub-critérios
1	0° - 10°
2	11° - 21°
3	22° - 32°
4	33° - 44°
5	45° - 90°

- **Critério hipsometria:** Na Tabela 4.7 está descrita a classificação de valores para os sub-critérios do critério hipsometria.

Tabela 4.7 Classificação de valores para os sub-critérios do critério Hipsometria.

Pesos	Sub-critério
1	0 – 400 metros
2	401 – 800 metros
3	801 – 1200 metros
4	1201 – 1600 metros
5	1601 – 1800 metros

4.9 Aplicação de modelo multicritério AHP para identificação das áreas razoáveis a ótimas para recarga direta de água em aquíferos

O processo de identificação de áreas consideradas razoável a ótimo para poder proporcionar recarga de água de forma direta para o Aquífero Guarani com qualidade e quantidade foi realizado através do aplicativo AHP – Processo de Análise Hierárquica, desenvolvido por Oswald Marinoni. Este aplicativo é executado no software ArcGis 9, em forma de extensão/ferramenta, onde são inseridos os *layers* dos critérios selecionados para cada etapa.

4.9.1 Cruzamento dos dados principais

O primeiro processo de identificação foi denominado dados principais, onde constavam os *layers* com características físicas essenciais a recarga direta, sendo eles:

- *Layer* Uso dos Solos;
- *Layer* Solos;
- *Layer* Geologia.

Cada *layer* já preparado com seus respectivos pesos para cada sub-critério foi inserido no aplicativo AHP, desta forma procedeu-se a atribuição de pesos numéricos referente à importância frente à comparação entre cada *layer*.

Assim, pode-se obter um valor para cada critério (exemplo Figura 4.6) tendo estes como valores referentes um ao outro sem que estes valores fossem atribuídos de forma arbitrária pelo pesquisador e sim pela matriz de comparação.

Uma vez obtidos estes valores para cada critério, o aplicativo AHP envia os dados ao *software* ArcGis 9, para efetuar os cálculos e espacializar os resultados em forma de gradiente de cores (Figura 4.7), estas irão representar dos níveis mais baixos aos mais altos seguindo a escala de cores de verde ao vermelho, sendo o verde os valores mais baixos ao vermelho apresentando os valores mais altos.

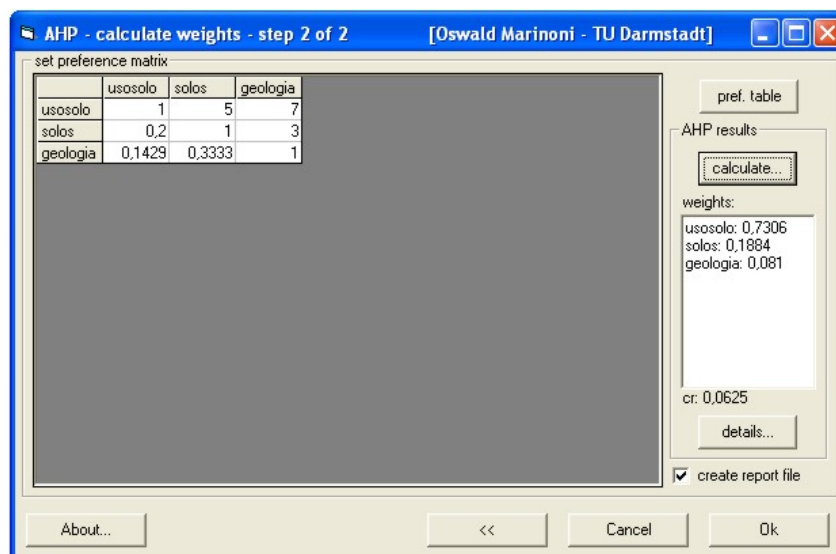


Figura 4.6 Exemplo da matriz utilizada para calcular os valores dos critérios.

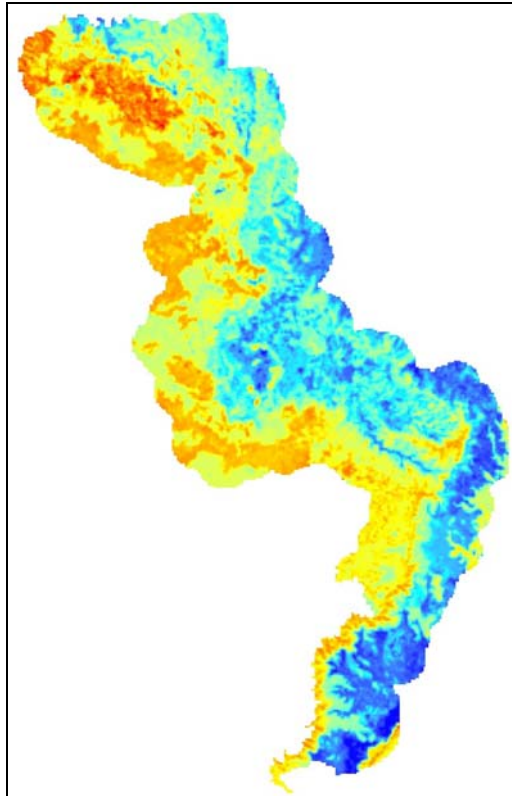


Figura 4.7 Figura exemplificando os resultados dos cálculos dos critérios físicos, na qual estão representados os níveis mais baixos aos mais altos seguindo a escala de cores de verde ao vermelho, sendo o verde os valores mais baixos ao vermelho apresentando os valores mais altos.

4.9.2 Cruzamento dos dados secundários

Os dados secundários foram submetidos ao mesmo processo de atribuição de valores numéricos como pesos.

Foram utilizados os seguintes dados:

- Layer Áreas de Preservação Permanente para matas ciliares de cursos de água e nascentes e olhos de água,
- Layer Áreas de Preservação Permanente para declividades iguais ou superiores a 45°,

- Layer Áreas de Preservação Permanente para altitudes iguais ou superiores a 1.800 metros de altitude.

Com os dados inseridos no aplicativo AHP foram realizados os mesmos procedimentos de atribuição de valores numéricos (Figura 4.8), com a finalidade de cruzar os critérios e obter através do aplicativo os valores para cada critério sem a interferência direta do pesquisador.

Como resultado o *software* ArcGis 9 apresenta um *layer* com os dados em forma de gradiente de cores (Figura 4.9), sendo as cores mais claras como os tons de verde identificadas como áreas com menor influência a cores com tons mais fortes como o vermelho como áreas mais importantes do ponto de vista legal.

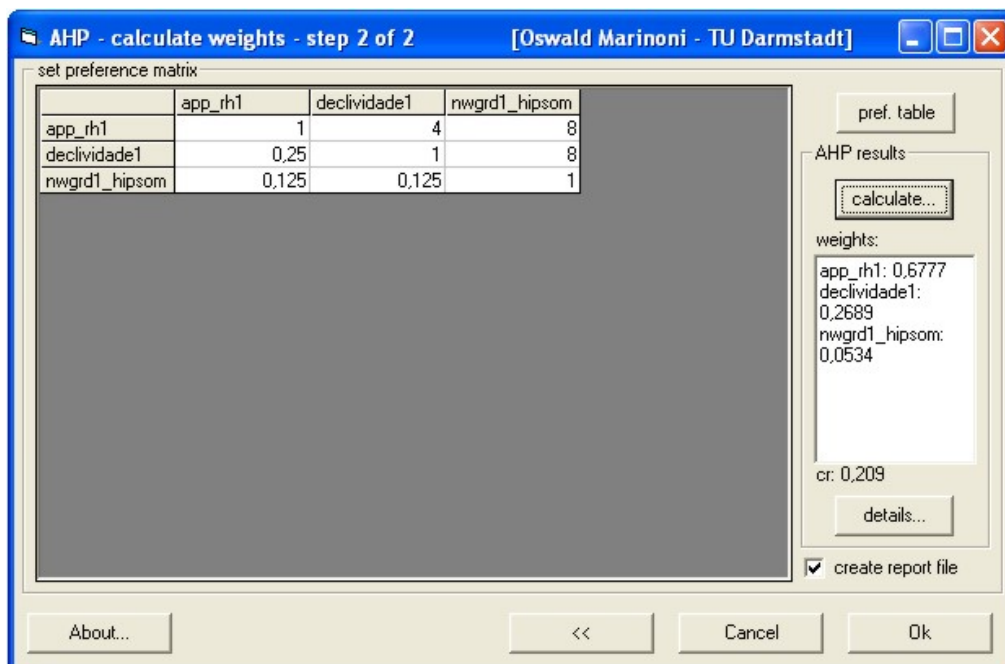


Figura 4.8 Exemplo da matriz utilizada para calcular os valores dos critérios secundários.

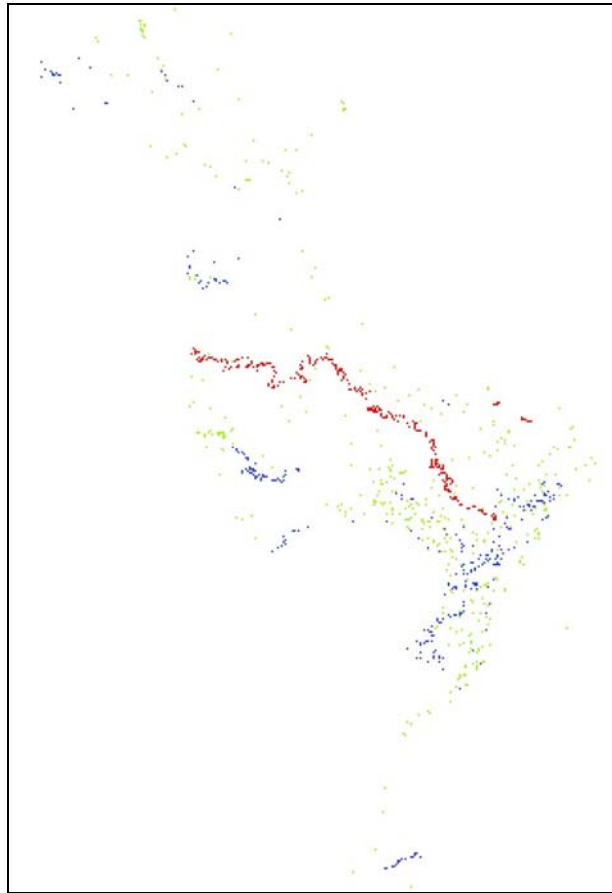


Figura 4.9 Figura exemplificando resultados dos cálculos dos critérios legais, na qual as cores mais claras como os tons de verde identificados como áreas com menor influência, as cores com tons mais fortes como o vermelho como áreas mais importantes do ponto de vista legal.

4.9.3 Transformação dos dados *rasters* para dados vetoriais com as áreas consideradas importantes para as áreas de recarga direta

De posse dos resultados dos cruzamentos dos critérios foi realizada a vetorização dos mesmos para posterior cruzamento com critérios relevantes ainda não utilizados para a determinação dos limites do corredor ecológico.

Estes limites apresentam na íntegra o conjunto de áreas consideradas razoáveis a ótima para proporcionar uma recarga considerada satisfatória para o

aqüífero.

4.10 Determinação dos limites do corredor ecológico.

Para determinar o corredor ecológico foi necessário o cruzamento dos resultados obtidos com o aplicativo AHP, com dados considerados importantes para estabelecer os limites, como as unidades de conservação federais, estaduais, municipais, particulares, sendo estas incluídas ou não no SNUC.

Com a sobreposição destes *layers* no *software* ArcGis 9, pode-se visualizar todas as áreas consideradas importantes para a conservação com vistas a estabelecer condições favoráveis para a recarga direta de aqüíferos.

Para os estabelecimentos dos limites finais para o Corredor Ecológico adotou-se a metodologia citada por Brito, 2006 onde o autor indica como limites ideais para o estabelecimento de um Corredor Ecológico, os limites políticos de municípios pelo fato da facilitação para identificar os limites em campo, o autor cita também que os municípios que forem contemplados com Corredores Ecológicos, devem assumir também a responsabilidade do gerenciamento de seu trecho de corredor e por fim por serem os Corredores Ecológicos entendidos como unidades de planejamento. Assim a determinação dos limites através dos limites políticos de municípios torna mais fácil o gerenciamento por parte de todas as esferas governamentais envolvidas.

Foram utilizados para determinar os limites do Corredor Ecológico os seguintes dados:

- Resultados do cruzamento dos critérios físicos,
- Resultados do cruzamento dos critérios legais,
- Unidades de Conservação,
- Mapa Político do Estado de Santa Catarina.

Capítulo 5

Resultados e Discussão

Este trabalho teve como resultado a identificação de áreas com maior capacidade de proporcionar recarga de água de forma direta com qualidade e quantidade para as zonas de recarga direta do Aquífero Guarani no Estado de Santa Catarina.

Para se chegar a este resultado foi necessário elaborar primeiramente um conceito de área propícia para possibilitar o recarregamento de água para os mananciais subterrâneos com continuidade e qualidade. Para elaborar o conceito destas áreas satisfatórias utilizou-se o ciclo hidrológico concentrando-se em uma das etapas do processo de circulação da água.

O ciclo hidrológico é entendido por Tundisi, 2003, como o princípio unificador fundamental de tudo o que se refere à água no planeta, o ciclo hidrológico é o modelo pelo qual representam a interdependência e o movimento contínuo das águas.

No ciclo hidrológico a água da chuva é interceptada pela vegetação que reduz a velocidade de queda da água e o processo erosivo do solo, sendo parte retida pelas folhas e galhos da vegetação e parte atinge o solo. Ao chegar ao solo de uma floresta, por exemplo, esta água é temporariamente retida pela primeira camada de solo orgânico iniciando a percolação para os horizontes inferiores do solo, parte entra na evapotranspiração e o excedente escoar para os canais de drenagem da bacia hidrográfica.

Esta etapa do processo considerado terrestre para o ciclo da água foi

adotado como a melhor forma para transmitir os recursos hídricos para os mananciais subterrâneos uma vez que o mesmo consegue reter água para os aquíferos, enquanto em uma situação oposta na qual a água da chuva cairia direto em solo exposto, não tendo condições de reter a água na superfície provocando o escoamento superficial de quase toda a água, assim não recarregando de forma satisfatória um determinado aquífero.

Partindo do princípio do ciclo hidrológico onde as águas da chuva são os principais formadores dos cursos de água e lagos, bem como, abastecedores dos mananciais subterrâneos torna-se necessário à manutenção desta parte do ciclo hidrológico terrestre. Com base nas informações sobre o ciclo das águas foi formulado um conceito de área de recarga com condições favoráveis com qualidade e continuidade.

Levando-se em conta que uma floresta nativa ou em estágio de recuperação, ou mesmo um campo nativo, tenha todos os componentes necessários para caracterizar esta parte do ciclo hidrológico torna-se então possível se adequar este conceito ao conceito de corredor ecológico.

O processo de identificação dos locais com condições favoráveis a manutenção da recarga de água se deu através da hierarquização dos atributos ambientais com base em suas funções no ciclo hidrológico.

Para a execução deste processo foi montada uma base de dados de onde foram extraídos os principais componentes para a geração de mapas que indicam quais são as áreas consideradas ótimas para proporcionar a recarga direta. A Figura 4.1 (pg. 54) demonstra o organograma para realização da pesquisa, onde após o levantamento de quais seriam as informações necessárias para o trabalho foi organizado uma base de dados com produtos e subprodutos gerados para a execução da metodologia.

5.1 Análise dos resultados gerados a partir do banco de dados georreferenciado

Durante a exposição dos resultados os mapas serão apresentados no transcorrer do texto de forma ilustrativa. Para melhor visualização todos os mapas estarão em anexo, na mesma seqüência de apresentação, em formato A3 com escala 1:1.000.000.

5.1.1 Definição da área de estudo

Para se chegar à definição da área de estudo (Figura 5.1) e por conseqüência definir o recorte da base de dados foram utilizados os seguintes dados:

- Mapa de microbacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina, escalas 1:50000 e 1:100000, fonte: Diretoria de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável – SDS/2006
- Mapa geológico do Estado de Santa Catarina, escala 1:500.000, fonte: Departamento Nacional de Pesquisa Mineral – DNPM/1986

O cruzamento destes dois mapas permitiu a identificação da rede hidrográfica que tem influência direta e indireta com os afloramentos de Arenito Botucatu através de suas microbacias hidrográficas.

Foram selecionadas todas as microbacias hidrográficas com influência direta e indireta com os afloramentos de arenito, sendo identificadas um total de 238 microbacias hidrográficas. A análise destas microbacias proporcionou as seguintes informações:

- Microbacia com área mínima: 0,93 km²
- Microbacia com área média: 65 km²
- Microbacia com área máxima: 368 km²
- Soma da área total das microbacias: 15.492,71km²
- Perímetro total da soma das áreas das microbacias: 2.000km

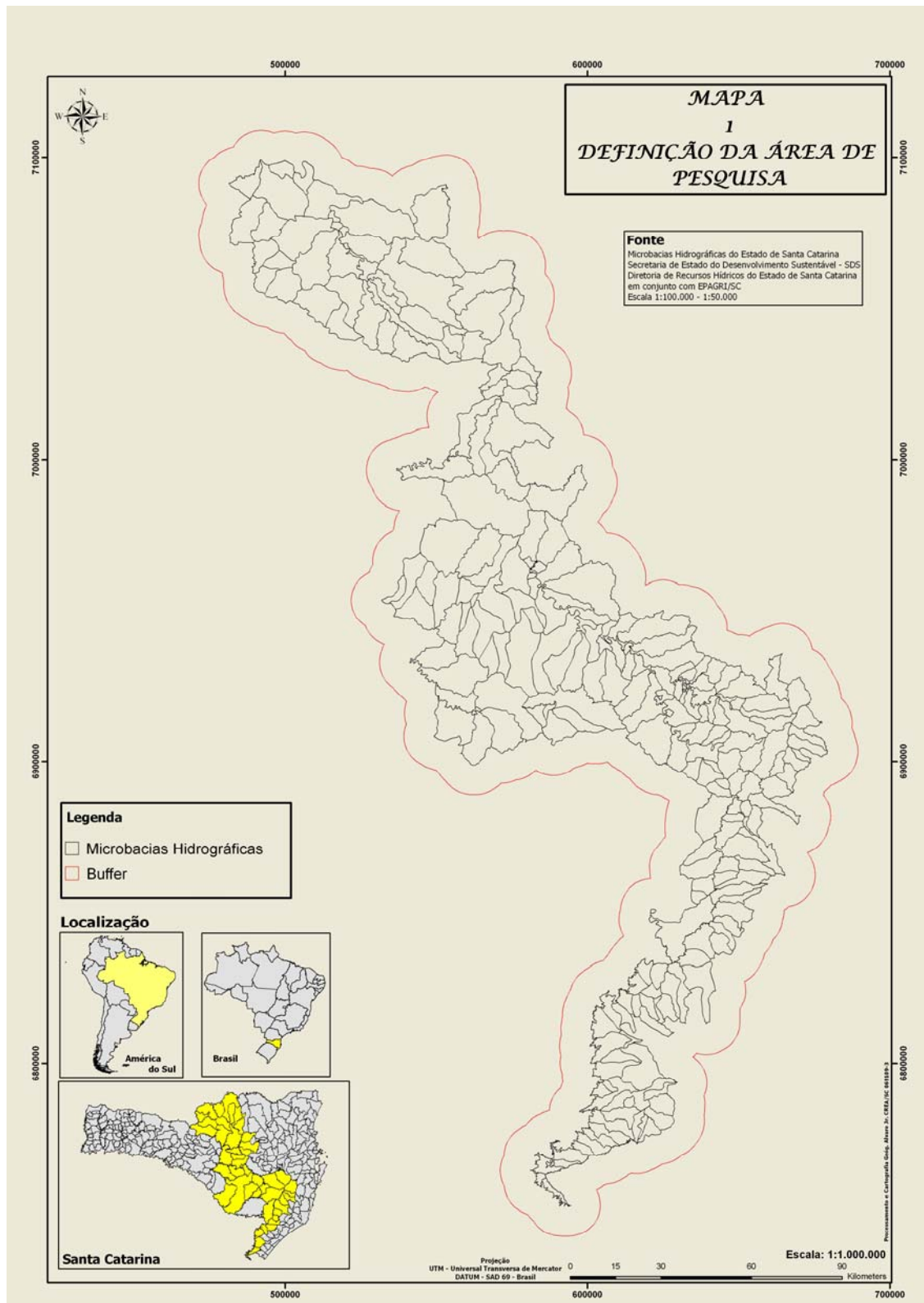


Figura 5.1 Mapa ilustrando a definição da área de pesquisa.

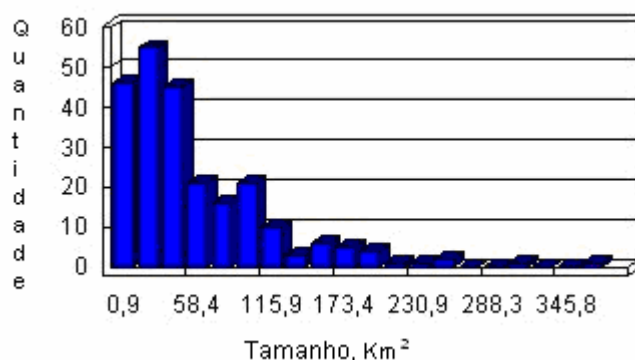


Figura 5.2 Gráfico representando a relação quantidade/tamanho das microbacias hidrográficas relacionadas com as áreas de recarga direta.

Pode-se observar na Figura 5.2 que a maioria das microbacias hidrográficas é de pequeno porte. Porém estas microbacias exercem uma influência considerável no aporte de recursos hídricos que mantém contato com as zonas de recarga direta, podendo levar até as mesmas poluentes de várias origens como efluentes industriais, agrícolas e residenciais.

Este fato cria um alerta quanto à necessidade do gerenciamento destas microbacias para a redução da emissão de poluentes nos cursos de água, bem como, a necessidade de proteção das nascentes e matas ciliares para favorecer a manutenção da quantidade e qualidade das águas que terão contato com as zonas de recarga as suas jusantes.

Identificadas as microbacias relacionadas com as zonas de recarga direta foi gerado um *buffer*, uma linha de alargamento para o recorte da base de dados (ver Figura 5.1). Este *buffer* tem distância de 10 km tendo como principal objetivo delimitar o recorte da base de dados para que se pudesse trabalhar com uma margem considerável além dos limites das microbacias, eliminando os riscos de exclusão de áreas com possíveis interesses relacionados às zonas de recarga.

5.1.2 Análise Geológica

O mapa geológico (Figura 5.3) foi uma das bases de dados mais importantes para o trabalho. A partir desta base foi possível definir a localização espacial dos afloramentos de Arenito Botucatu. Com esta base foram identificados quais as litologias tinham relação direta com as zonas de recarga.

Foi constatada, com a sobreposição dos recursos hídricos, a complexidade da relação das litologias e a hidrografia, levando-se em conta que existe uma sucessão de pacotes de rochas ígneas e sedimentares sobrepostas umas as outras. Pode-se observar que a camada mais superficial encontrada na área de estudo é de derrames basálticos, seguidos por camadas de depósitos de arenitos. Vale ressaltar que em trechos estas camadas se alternam hora havendo rochas sedimentares (Arenitos), hora derrames basálticos se sobrepondo.

Abaixo das rochas areníticas se encontram as rochas da formação Rio do Rastro, seguindo-se de outras formações rochosas como as formações Palermo, Passa Vinte, Terezina entre outros.

Assim, analisando as formas como as rochas se apresentam foi possível quantificar as principais formações que apresentam maior contato com os recursos hídricos superficiais sendo:

- Derrames Basálticos: 11.554 km²
- Formação Rio do Rastro: 4.543 km²
- Arenito Botucatu: 1.569 km²

Analisando a sobreposição das camadas onde a primeira é o derrame basáltico conhecido também por Aquífero Serra Geral, seguido pelo Arenito Botucatu e logo abaixo a Formação Rio do Rastro, constatou-se a partir do cruzamento desta base com a hidrografia que os fluxos de água percolam através das fissuras e falhas dos derrames para o Arenito Botucatu.

Por sua vez, a formação Rio do Rastro que está abaixo dos pacotes sedimentares de Arenito tem influência direta com os afloramentos uma vez que

a formação Rio do Rastro está aflorando na superfície drenando águas que passarão por cima dos afloramentos de arenito.

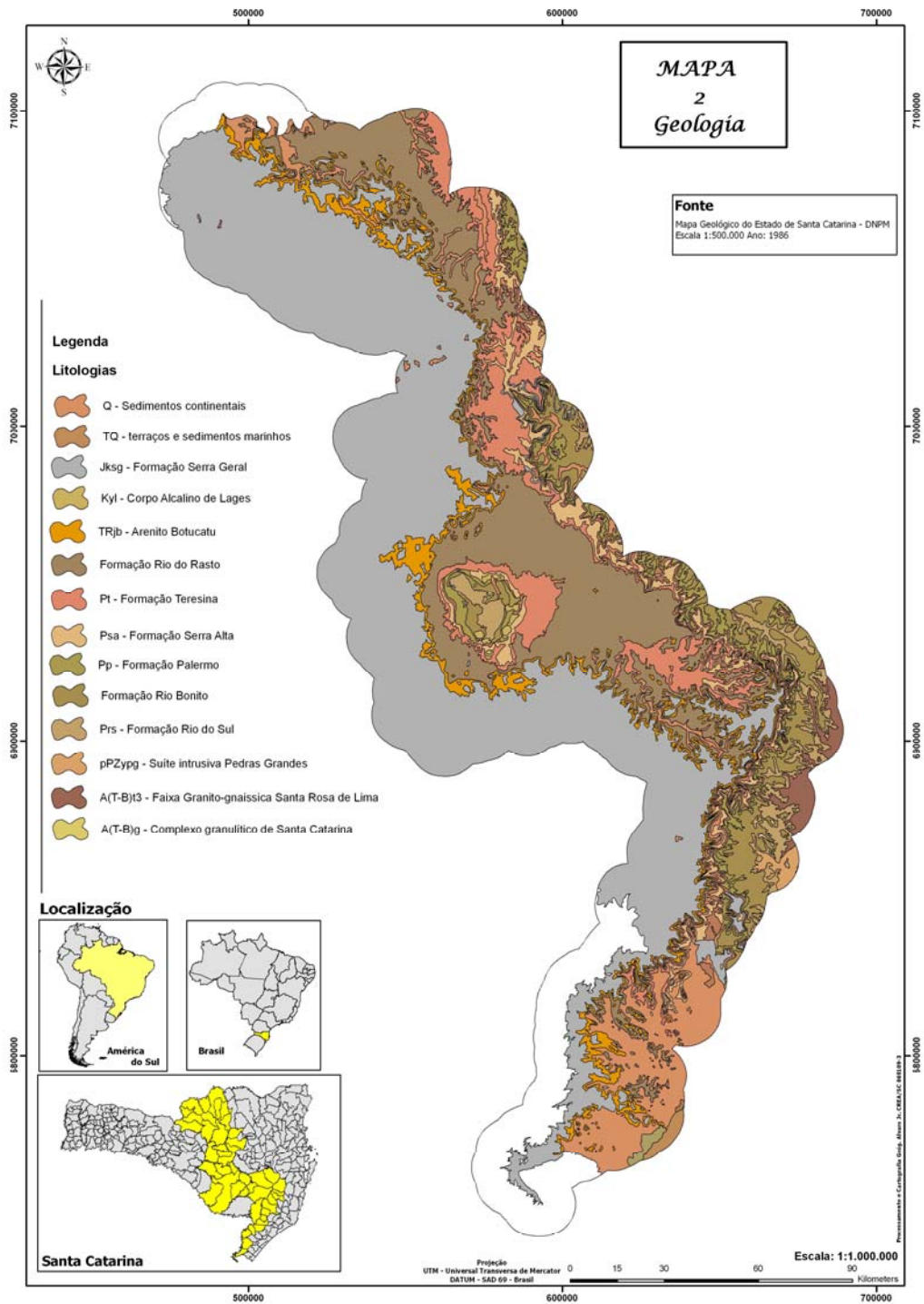


Figura 5.3 Mapa apresentando a geologia da área de estudo.

5.1.3 Análise de Solos

Para a utilização do mapa de solos, desenvolvido pela Embrapa Solos, foi necessário pesquisar qual seria o grau de detalhamento preciso para atribuição de pesos para cada espécie de solo. Esta base se encontrava na escala 1:250.000, apresentando diversas classes de solos com suas respectivas sub-classes. Devido ao grande número de sub-classes a atribuição de pesos tornava-se inviável.

Para resolver a diferença de escala foi realizado um reagrupamento dissolvendo os polígonos que representavam as sub-classes, resultando em classes que representam somente os principais tipos de solos (Figura 5.4).

Os dados ainda se encontravam no formato vetorial agora com classes mais distintas. Foi executada a transformação do formato vetorial para o formato *raster*, a fim de que se pudesse inserir posteriormente na matriz de comparação pareada do modelo AHP no software ArcGis 9.

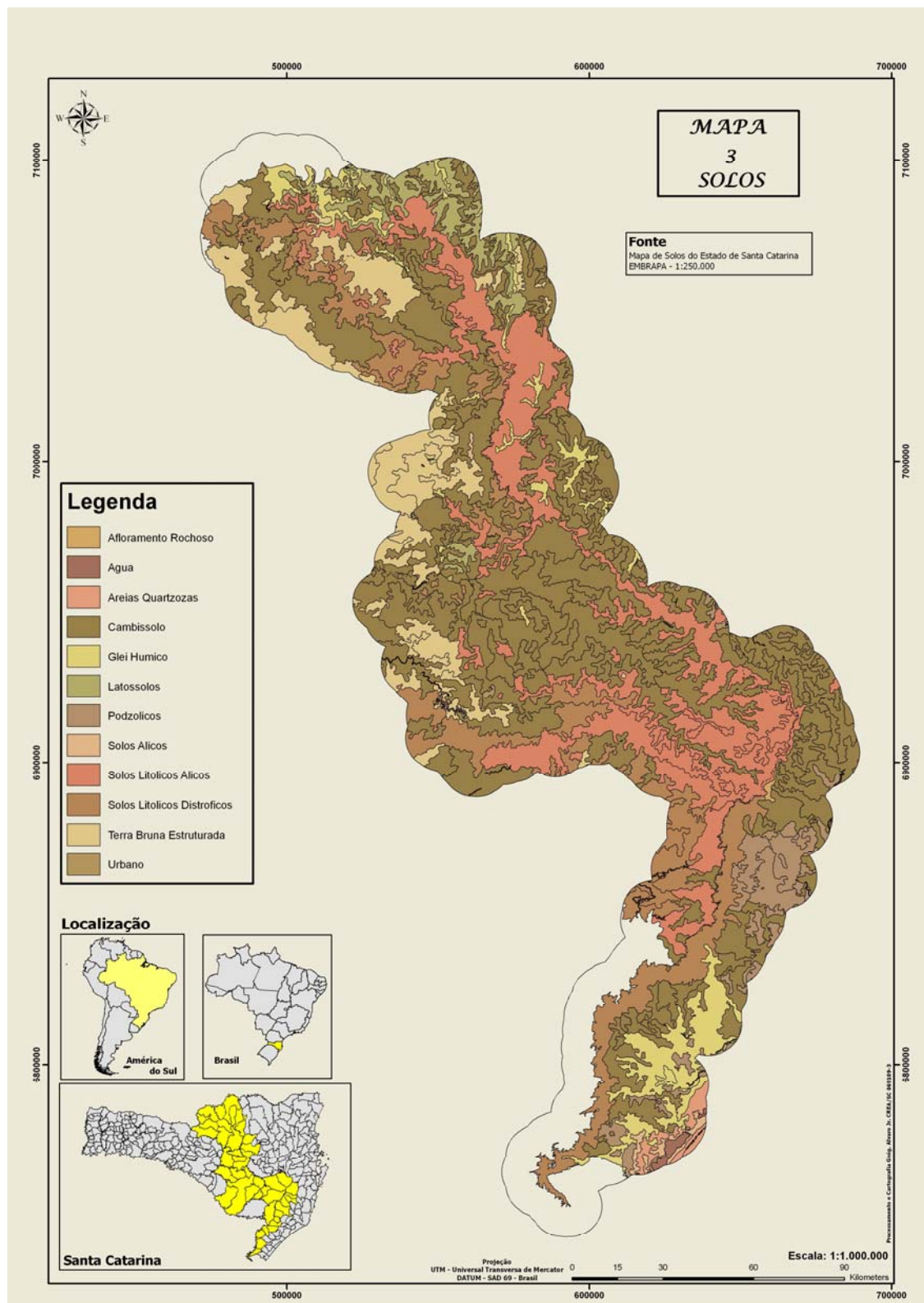


Figura 5.4 Mapa ilustrando os principais tipos de solos na área de estudo.

Os graus de importância para cada classe foram atribuídos de acordo com suas funções baseando-se no ciclo hidrológico. Portanto, ganharam pesos mais elevados aqueles tipos de solos que apresentavam características de maior permeabilidade, profundidade e que pudessem armazenar a água que posteriormente percolaria para as camadas de arenito.

Com este mapa pode-se observar, através de análises geoestatísticas, a distribuição dos solos na área de estudo.

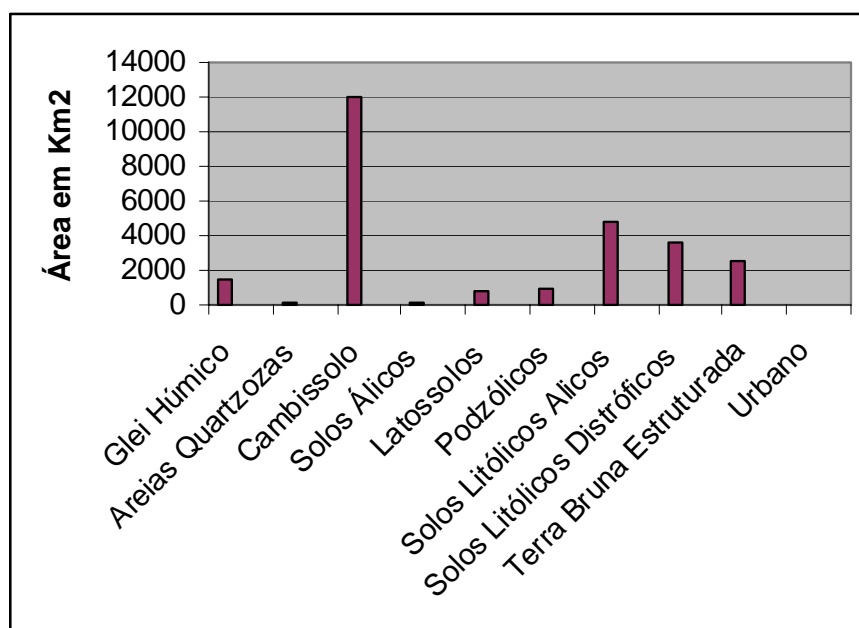


Figura 5.5 Análise geoestatística da distribuição dos solos na área de estudo

A Figura 5.5 mostra a predominância do Cambissolo na área de estudo seguido pelo solo Litólico Álico, considerados também solos com importância para a recarga direta. A Figura 5.6 mostra a relação de graus de importância entre os tipos de solos encontrados na área de estudo.

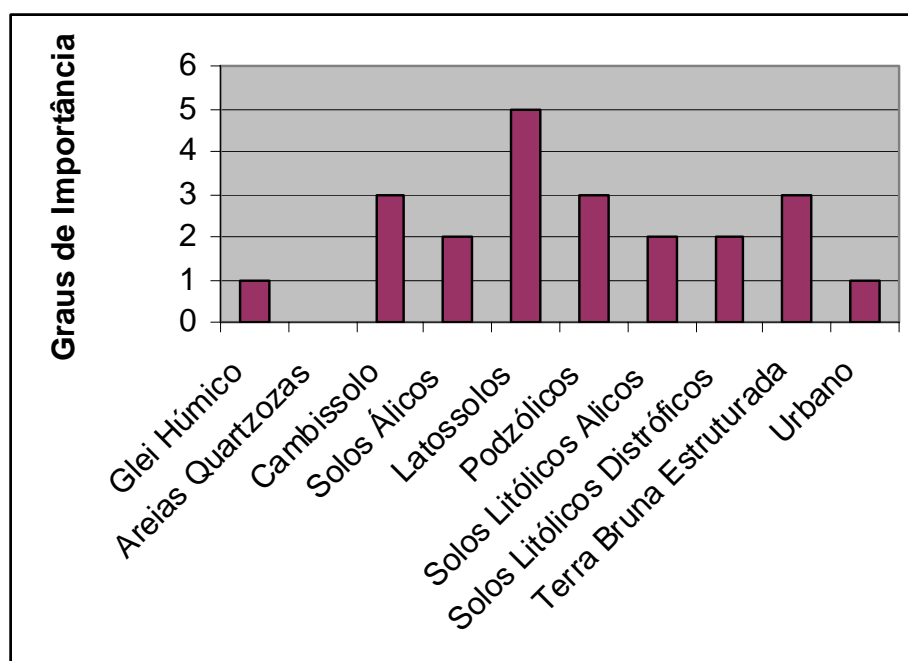


Figura 5.6 Gráfico ilustrando o grau de importância dos diferentes tipos de solos encontrados na área de estudo.

5.1.4 Análise do Uso do Solo

O resultado da Figura 5.7 é a espacialização de informações referentes ao uso do solo em toda a área de estudo. Foram identificadas as seguintes classes: área urbana, água, solo exposto, reflorestamento, pastagens, mata nativa, nuvens, sombra e áreas não classificadas.

Este resultado da análise espectral em imagens de satélite proporcionou quantificar e localizar espacialmente remanescentes de matas, cujo objetivo era atribuir valores elevados para posterior cruzamento com outras informações que iriam culminar na identificação dos locais mais favoráveis para a recarga direta.

A importância do mapa de uso do solo para o estudo em questão é a proximidade recente com o acontecimento de fatos como o desmatamento, expansão urbana, regeneração de florestas entre outros. Com imagens de satélite obtidas a partir do ano 2000, viabilizou-se o conhecimento mais aproximado da situação das florestas em toda a área de estudo.

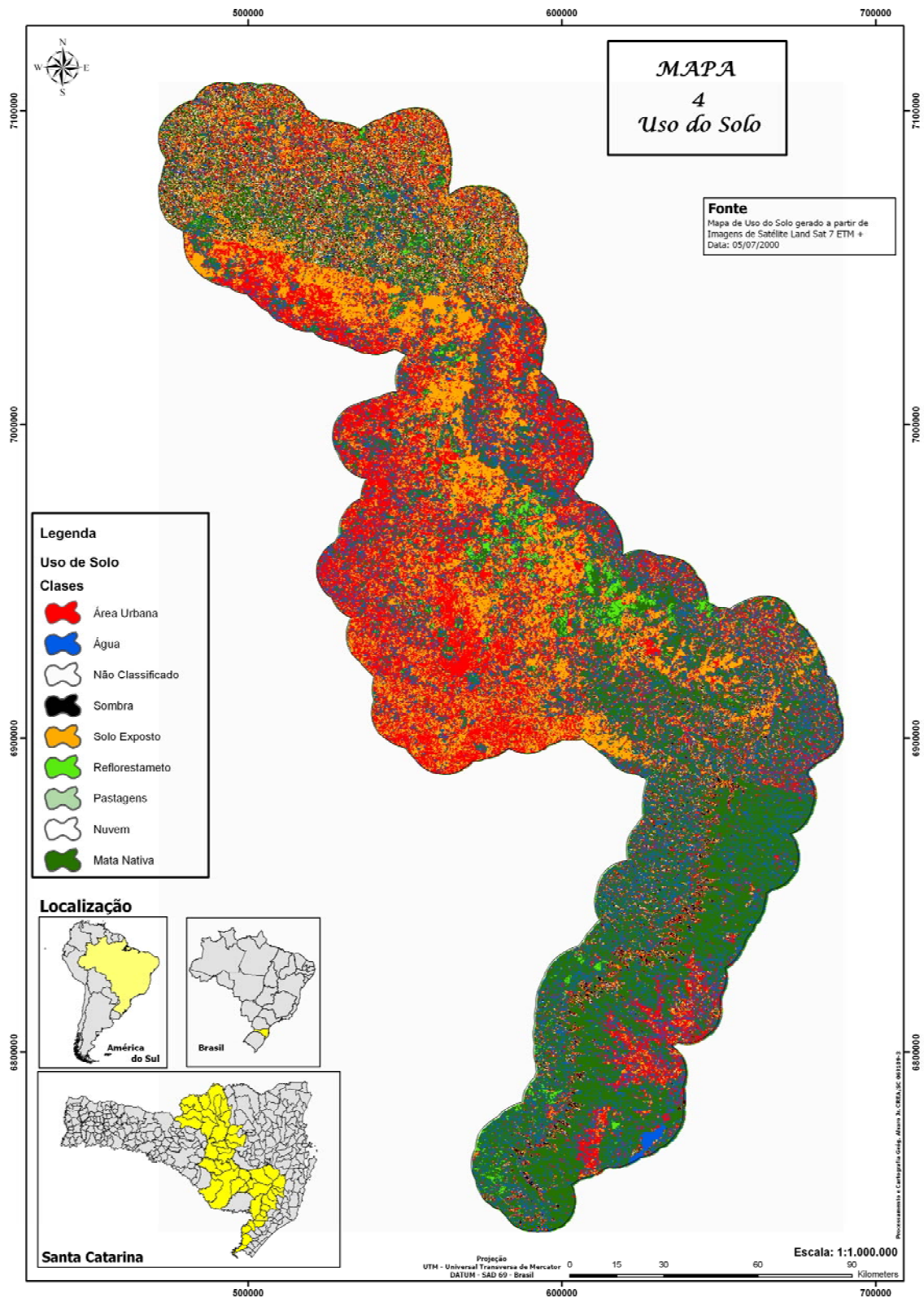


Figura 5.7 Mapa ilustrando o uso do solo na área de pesquisa.

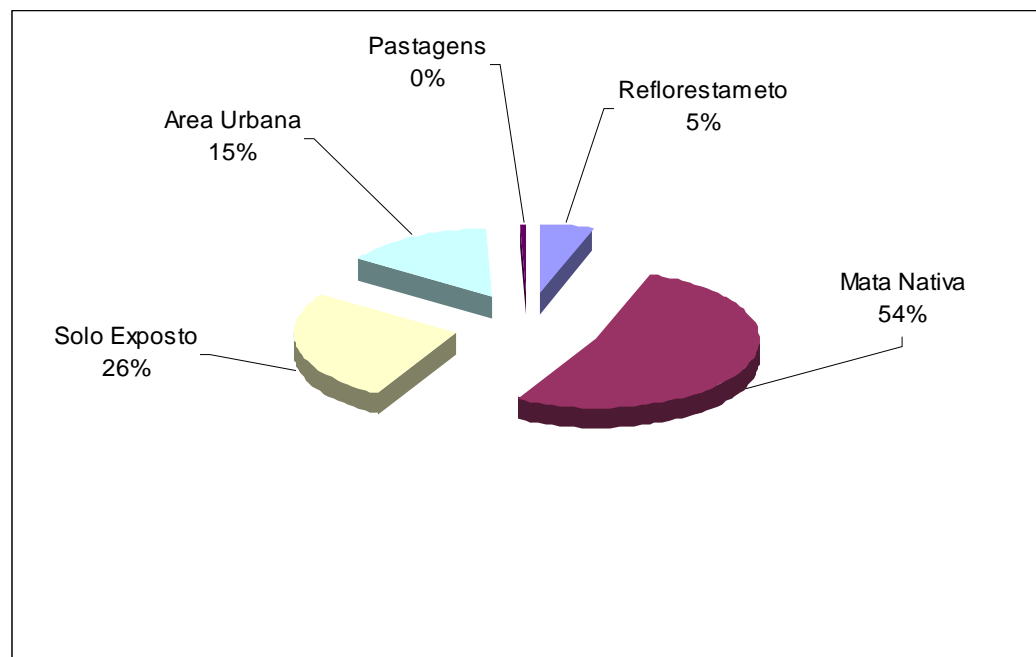


Figura 5.8 Gráfico demonstrando a porcentagem de cada classe para a área de estudo.

Analisando a Figura 5.8 é possível observar que as matas nativas ainda têm expressão considerável ocupando 54 % do total da área de estudo, seguido por solos expostos e pela área urbana, a pastagem não apresentou significância.

O Estado de Santa Catarina é dotado de relevo acidentado não proporcionando a produção de agriculturas em grande escala como em outros estados do Brasil. Esta dificuldade geográfica proporcionou a agricultura familiar com cultivos em pequena e média escala motivo pelo qual se pode observar os valores expressivos para matas nativas principalmente em encostas de morros. Os dados de reflorestamento apontam 5 % do total da área de estudo, ou seja, 1.447 km² onde em muitos locais se encontram estas plantações houve a retirada da floresta nativa através de desmatamento e queimadas para ceder lugar para os reflorestamentos.

As áreas de mata nativa representam 15.633 km² sendo encontradas em sua maioria em áreas de encostas de serras e contrafortes, as áreas urbanas

representam 4.342 km² localizando-se em áreas situadas no planalto serrano e planalto norte catarinense.

A produção de mapas de uso solo pode incorrer em erros provocados por falhas no processamento das imagens de satélite antes da classificação dos tipos de uso do solo. Este problema pode levar as distorções nos resultados da classificação. Por este motivo usou-se um classificador automático para tentar reduzir as falhas oriundas do processamento e geração de mosaico para as varias cenas utilizadas no estudo.

5.1.5 Análise Hipsométrica

O mapa hipsométrico (Figura 5.9) é o resultado de um produto amplamente utilizado em sistemas de informação geográfica. Mais conhecido como MDT – Modelo Digital de Terreno possibilita gerar informações sobre declividade, rede de drenagem, identificação de limites de bacias e microbacias hidrográficas, estimar dados sobre áreas de drenagem. Cruzando os modelos digitais de terreno com outras informações como geologia e solos podem-se obter informações sobre áreas com riscos de deslizamentos de encostas, avaliar os melhores locais para explorar através da agricultura e planejar estradas.

Desta base de informações foram extraídas as declividades para identificar as áreas acima de 45° classificadas como de preservação permanente com base no código florestal de 1965.

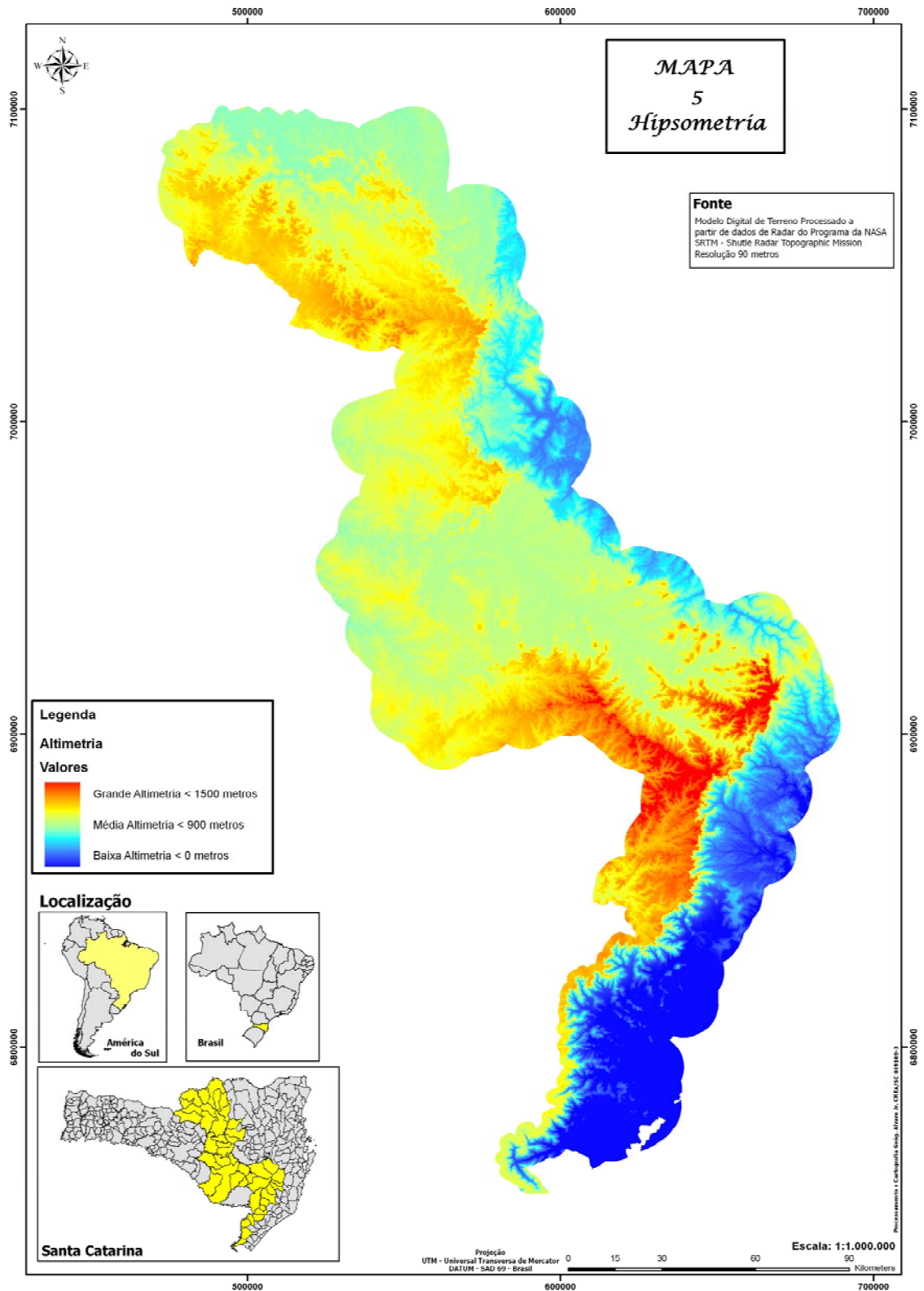


Figura 5.9 Mapa ilustrando a hipsometria da área de pesquisa.

5.1.6 Análise da Declividade

O mapa de declividades (Figura 5.10) trata-se de um subproduto do mapa hipsométrico.

Como resultados deste mapa foram selecionados as declividades superiores a 45°. Devida à resolução do modelo digital de terreno ser da ordem de 90 m por pixel o mapa da declividade na área de estudo tornou-se generalizado, desta forma foram identificados somente grandes áreas como as escarpas das bordas da Serra Geral com desníveis entre 500 e 1600 m, com inclinações que chegam a 90°, exceto os contrafortes da Serra Geral, canions voltados para o sentido noroeste e leste também puderam ser selecionados.

Na Figura 5.11 pode ser visto a estimativa da distribuição das declividades para a área estudada e na Figura 5.12 a estimativa de áreas acima de 45° para o recorte da área de estudo.

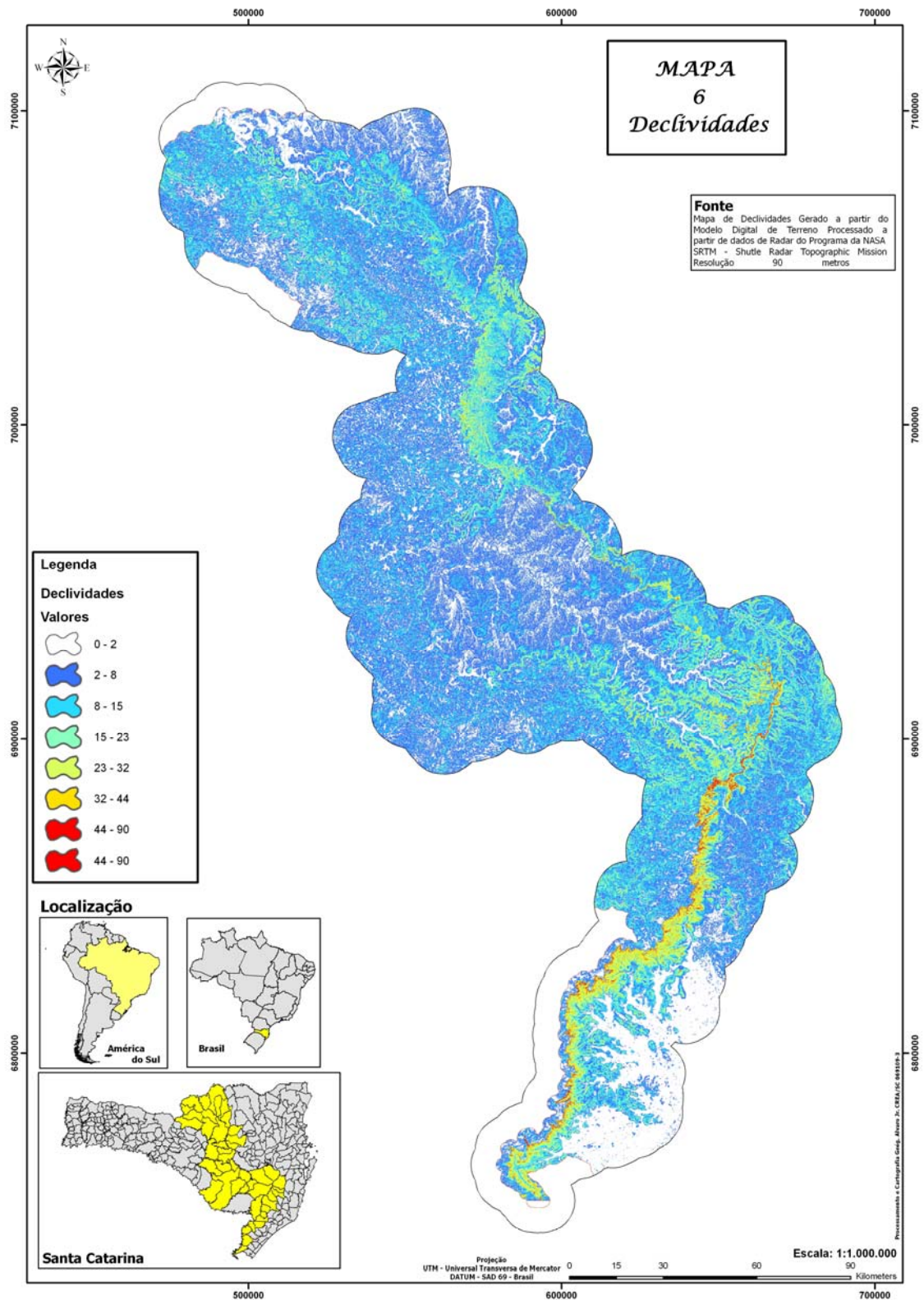


Figura 5.10 Mapa apresentando a declividade da área de estudo.

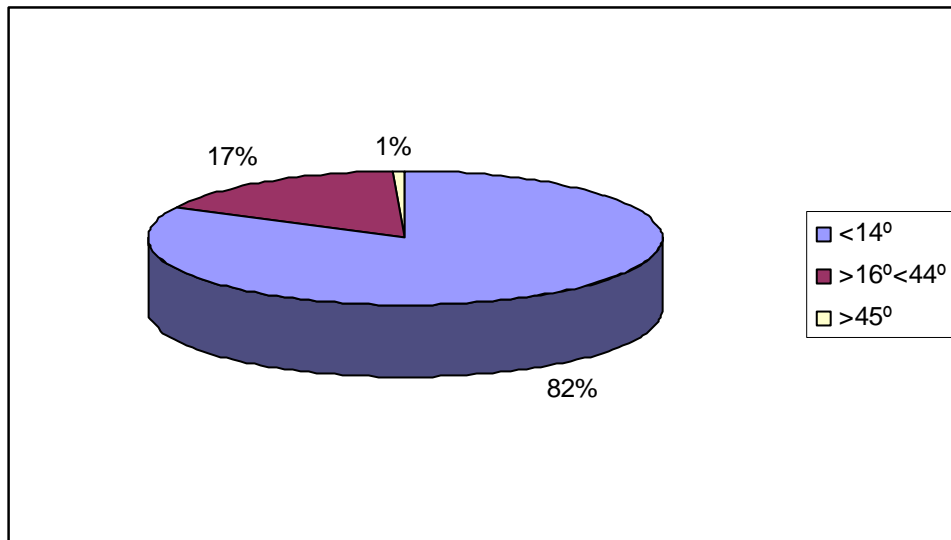


Figura 5.11 Estimativa da distribuição das declividades para a área estudada.

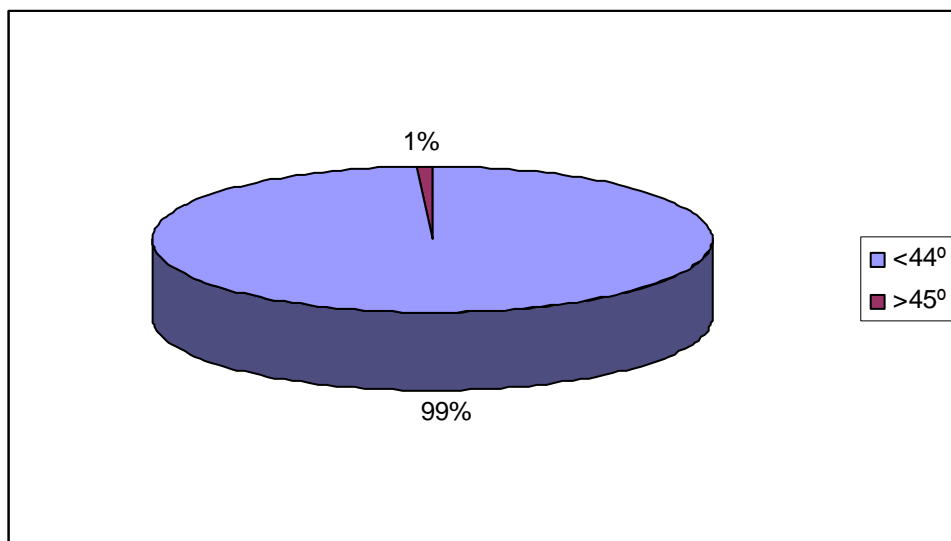


Figura 5.12 Estimativa de áreas acima de 45° para o recorte da área de estudo.

Levando-se em consideração a resolução de 90 m do modelo digital de terreno utilizado na operação as elevações acima de 45° representam 289,5 km^2 , ou seja, um por cento do total.

5.2 Escolha da metodologia mais apropriada à obtenção de resultados para a identificação das áreas com potencial de proteção para as recargas diretas.

Foram estudadas metodologias em sistemas de informação geográfica para cruzamento de dados e análises multicritério para identificar qual a mais apropriada razão de escala dos dados georreferenciados para alcançar os objetivos do estudo.

Inicialmente foram estudados dois livros sendo eles:

- Área de Proteção Ambiental, Planejamento e Gestão de Paisagens Protegidas, 2002, de autoria de Nájila Rejane Julião Cabral e Marcelo Pereira de Souza;
- Corredores Ecológicos – Uma estratégia integradora de ecossistemas, 2006, de Francisco Brito.

Ambos os livros tratam da delimitação de áreas para proteção com extensas áreas. Para identificar os locais mais importantes para a proteção os autores fazem uso das ferramentas de sistemas de informação geográfica.

No livro Área de Proteção Ambiental os autores utilizam o modelo multicritério para estabelecer a importância para cada critério analisado com base em suas funções ambientais. O método adotado foi a interseção dos atributos ambientais, no qual cada atributo ganha pesos em seus sub-critérios. O processo de sobreposição dos atributos e a interseção identifica os valores para cada sub-critério realizando a operação de soma destes pesos, os maiores valores de soma ganham o status de áreas com potencial para proteção.

Com base neste princípio de análise foi feita a adaptação do método de seleção de áreas favoráveis para a recarga direta. Utilizando o *software* ArcGis 9 foi organizado a base de dados georreferenciados possibilitando a sobreposição dos atributos ambientais cada qual com pesos para os sub-critérios. O método de análise multicritério escolhido foi o processo de análise hierárquica – AHP, este método opera em uma matriz de comparação pareada

fornecendo o peso ideal para cada critério de acordo com a importância frente a outro critério.

A adaptação da metodologia utilizada neste trabalho se dá em função da mudança do modelo aplicado na tomada de decisão para a identificação das áreas com potencial de proteção. Esta adaptação se tornou necessária em função das finalidades de proteção e do tipo de caracterização legal para as áreas a serem protegidas e por se tratar também de questões de evolução nos processos de análise multicritério.

Foram avaliadas outras formas de análise como cruzamento de dados por modelos booleanos, lógica Fuzzy, somatório de atributos ambientais. A escolha pelo modelo processo de análise hierárquica se deu em função da redução da margem de erro e pela praticidade da obtenção dos resultados, levando-se em conta que este processo pode ser executado dentro do *software* ArcGis 9, onde se encontra toda a base de dados georreferenciados.

Os resultados são expressos em mapas com gradientes de cores que representam os níveis de importância tornando viável a quantificação e espacialização destas áreas.

A outra metodologia para atribuição de valores para a preservação vem do livro Corredores Ecológicos – Uma estratégia integradora na gestão de ecossistemas, onde o autor faz uso dos sistemas de informação geográfica para a espacialização das informações necessárias para o processo de identificação de regiões relevantes a proteção. Porém, o sistema de informação geográfica nesta aplicação serve somente para espacializar as informações sendo que o autor delimita as áreas a serem protegidas em cada atributo ambiental e posteriormente cruzando os resultados de forma manual através de ferramentas cartográficas. Julga-se esta forma de análise um tanto arriscada devido à possibilidade de incorrer em erros pela análise direta dos dados.

Com os resultados obtidos o autor determina os limites do Corredor Ecológico sobrepondo os mesmos ao mapa político da região de estudo, desta forma selecionando os limites políticos municipais em que tenham incluídos os resultados da análise. Esta etapa da metodologia aplicada pelo autor foi adotada

com o objetivo de incluir os resultados obtidos através do método AHP aos limites políticos municipais da região de estudo. A adaptação destas metodologias proporcionou a criação de um método específico para identificar os locais mais favoráveis a proteção para a recarga direta do Aquífero Guarani.

5.3 Análise espacial dos dados da área de estudo

A seguir serão apresentados os resultados obtidos com os cruzamentos da base de dados georreferenciados aplicados no modelo de processo de análise hierárquica. Estes resultados são provenientes de duas etapas de cruzamentos sendo elas: critérios físicos e critérios legais.

No cruzamento dos critérios físicos foram utilizados os dados de uso do solo, solos e geologia. Em cada critério foram estabelecidos valores para suas funções de acordo com o conceito favorável para a recarga direta. Já no critério legal foram utilizados os dados de áreas de preservação permanente para matas ciliares de cursos de água e áreas de preservação permanente para declividades superiores a 45°.

No mapa com resultados dos critérios físicos (Figura 5.13) podem ser observados locais considerados mais importantes de acordo com o gradiente de cores, onde as cores mais fortes (vermelho) indicam que este possa ser um local favorável à recarga direta, pois os principais atributos de cada critério se encontram, desta forma determinado ponto em vermelho indica a presença de uma floresta com solos permeáveis e profundos e a presença dos afloramentos de arenito logo abaixo dos horizontes de solos.

As áreas intermediárias podem ser consideradas pelos gradientes de cores médios (laranja e amarelo) com importância relevante ao contexto da recarga devido aos seus potenciais de absorção e armazenamento da água da chuva e escoamento superficial, se julgam importante pela grande presença na área de estudo.

Os gradientes de cores mais fracas (azul claro e escuro) são resultados da presença de somente um dos atributos necessários a recarga direta, podendo ser encontrados apenas florestas e solos, excetuando-se a presença somente dos arenitos que por si só se justificam como pontos de alta importância para a recarga em função de serem as principais portas de entrada para os recursos hídricos percolarem para os aquíferos.

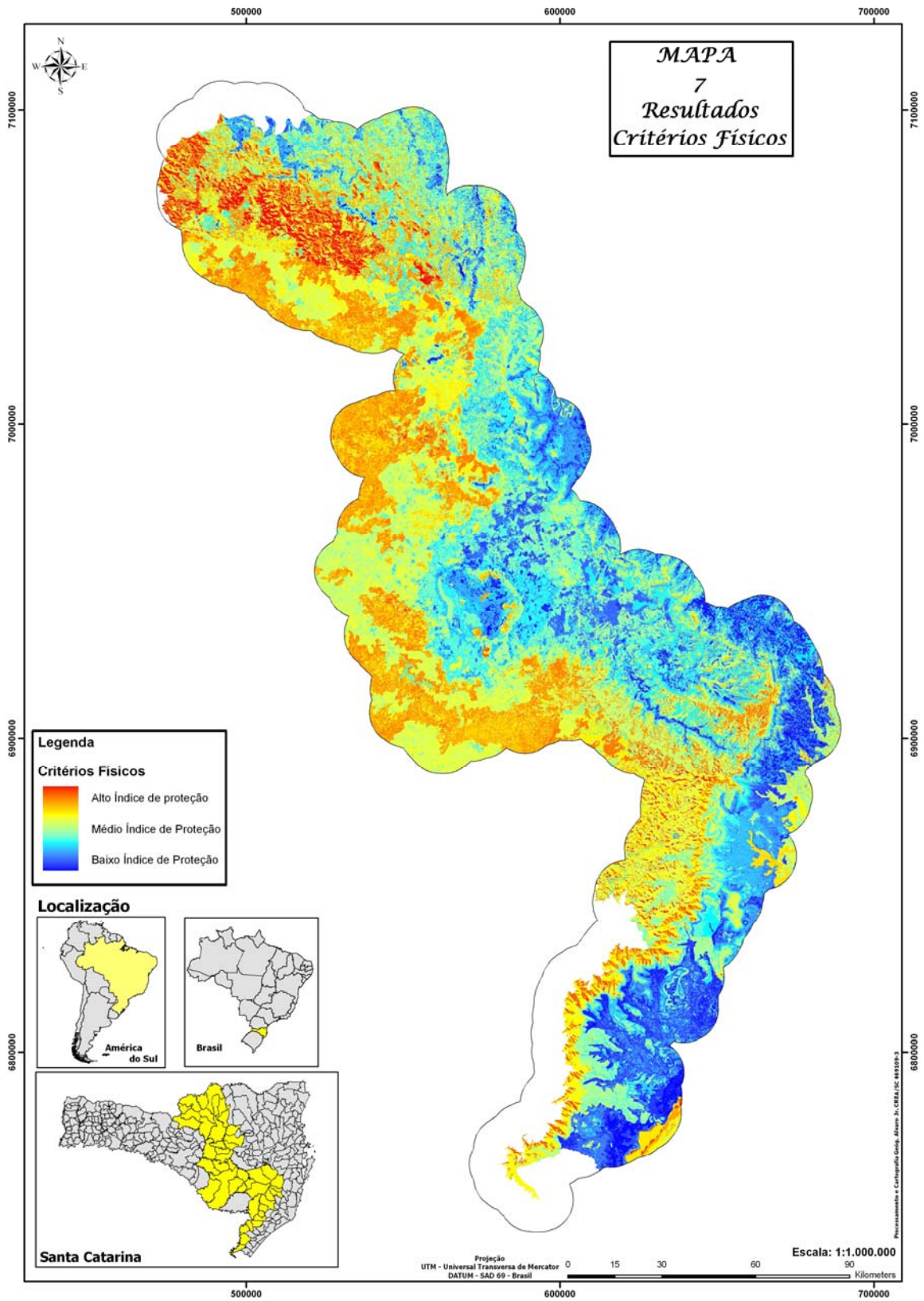


Figura 5.13 Mapa ilustrando os resultados do cruzamento dos critérios físicos.

Os resultados do mapa de critérios legais (Figura 5.14) foram obtidos a partir do cruzamento dos critérios legais para preservação de áreas com declividades superiores a 45° e faixas de matas ciliares dos cursos de água.

Apresentados com um gradiente de cores que varia das cores mais suaves (azul) indicando os locais menos favoráveis a proteção as cores mais fortes (vermelho) representado os aspectos mais relevantes.

Observa-se que os resultados mais elevados se concentraram nas faixas de matas ciliares mais largas (maiores do que cem metros) e pontualmente nas declividades mais acentuadas.

O método AHP considerou mais importante as faixas ciliares em função do grau de importância mais elevado frente às declividades, como resultado obteve-se um gradiente de cores mais fortes para as faixas ciliares mais largas.

Faixas ciliares com largura intermediária obtiveram-se gradientes de cores mais suaves como o laranja e amarelo, indicando médio índice de proteção, gradientes alaranjados e vermelhos indicados pontualmente representam declividades acentuadas somando-se a faixas ciliares com largura reduzida.

O resultado mais expressivo neste mapa apresenta-se ao longo do Rio Canoas, por apresentar uma largura de calha considerável durante a maior parte de seu percurso.

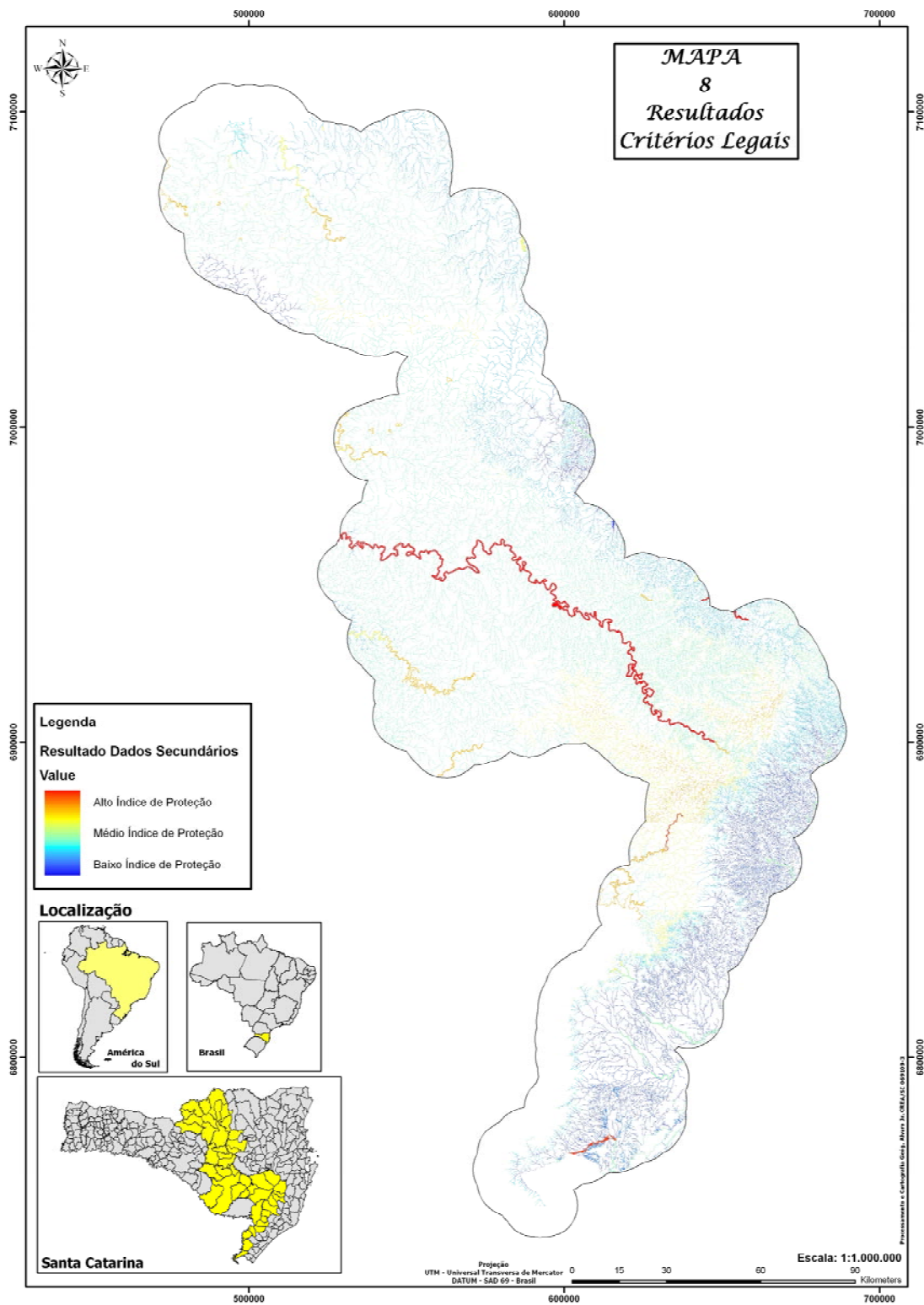


Figura 5.14 Mapa ilustrando os resultados do cruzamento dos critérios legais.

O mapa ilustrado na Figura 5.15 sucede a etapa final de análise para a determinação dos limites para o Corredor Ecológico. Este mapa apresenta dados resultantes como afloramentos de arenito, limites critérios físicos, limites critérios legais e microbacias, a sobreposição destes resultados indica preliminarmente toda a faixa necessária a ser protegida para proporcionar a recarga direta de água para o Aquífero Guarani no Estado de Santa Catarina.

Os dois principais resultados critérios físicos e legais demonstram as faixas mais suscetíveis à proteção direta para a recarga. As microbacias hidrográficas indicam as faixas secundárias para a proteção devido a sua relação direta e indireta com as recargas.

A sobreposição dos afloramentos de arenito em cima dos resultados das análises indica que em todo seu entorno existem locais com capacidade elevada para a proteção, através do estabelecimento de áreas protegidas que podem ser de diversas categorias de unidades de conservação que poderão ser interligadas a partir da criação de limites para o corredor ecológico. Com isso, foram obtidos os seguintes resultados numéricos:

- Critérios legais: 5.660 km² de área.
- Critérios Físicos: 14.787 km² de área.
- Microbacias hidrográficas: soma das áreas de todas as microbacias: 15.492 km².
- Afloramentos de Arenito Botucatu: 1.569 km².

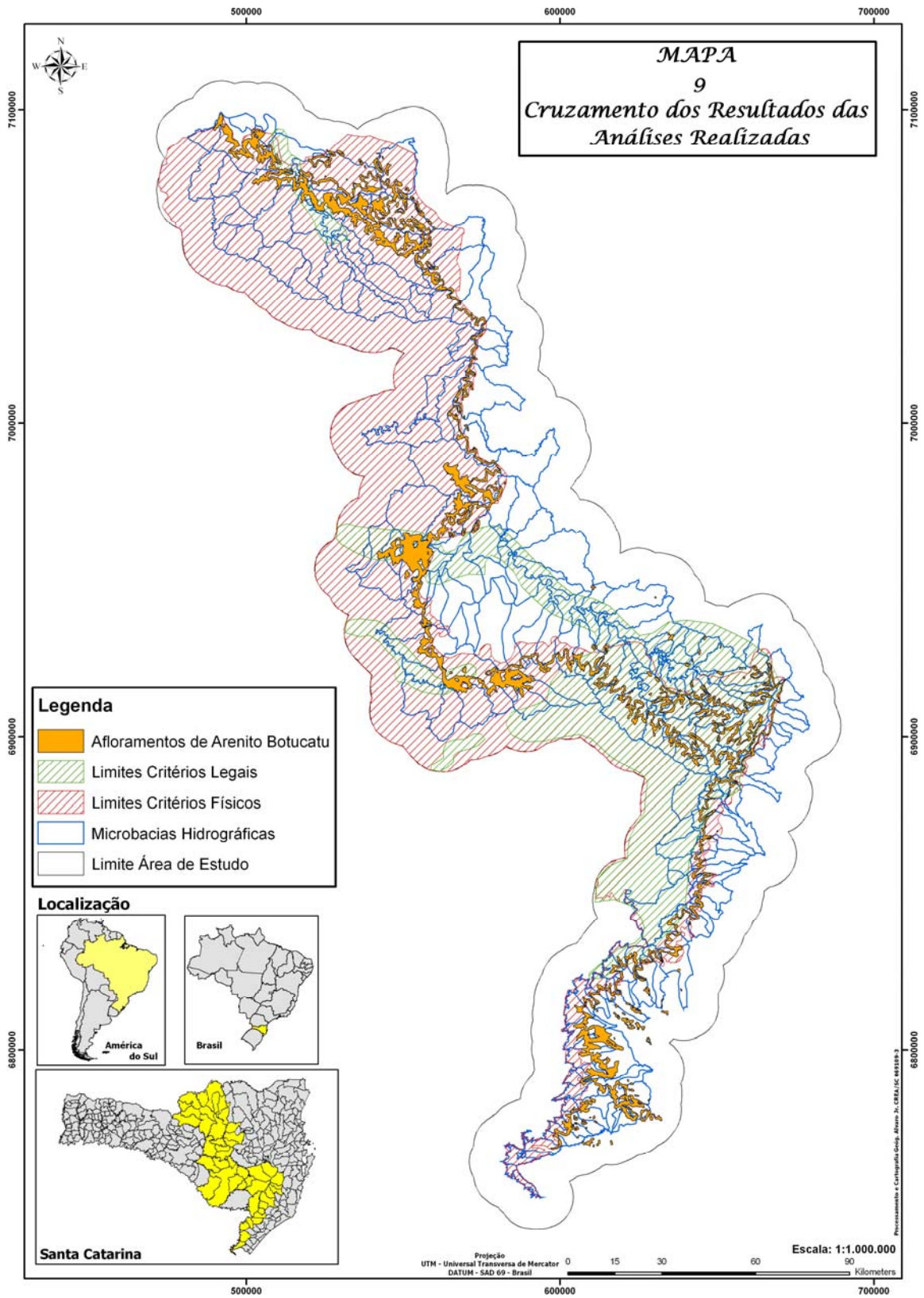


Figura 5.15 Mapa ilustrando os cruzamentos dos resultados das análises.

A Figura 5.16 apresenta o mapa final com a proposta de limites para o Corredor Ecológico com base na análise dos resultados obtidos durante a pesquisa. A partir das análises dos resultados obtidos juntamente com a espacialização das unidades de conservação federais, estaduais, municipais e particulares, propôs-se o estabelecimento dos limites para o Corredor Ecológico utilizando os limites políticos municipais como forma adotada para melhor identificar em campo os limites físicos do corredor.

Outro motivo pelo qual se adotou a delimitação por limites municipais se deu pela motivação de compartilhar o gerenciamento do corredor através de unidades municipais onde cada município incluído no perímetro de corredor poderá gerir seu espaço de forma direta em acordo com as premissas de proteção para as recargas diretas.

Acredita-se também que a gestão de um Corredor Ecológico por suas unidades municipais facilitará a fiscalização e transferência de conhecimento sobre a importância dos recursos hídricos subterrâneos e sua proteção para a população envolvida nos limites do corredor.

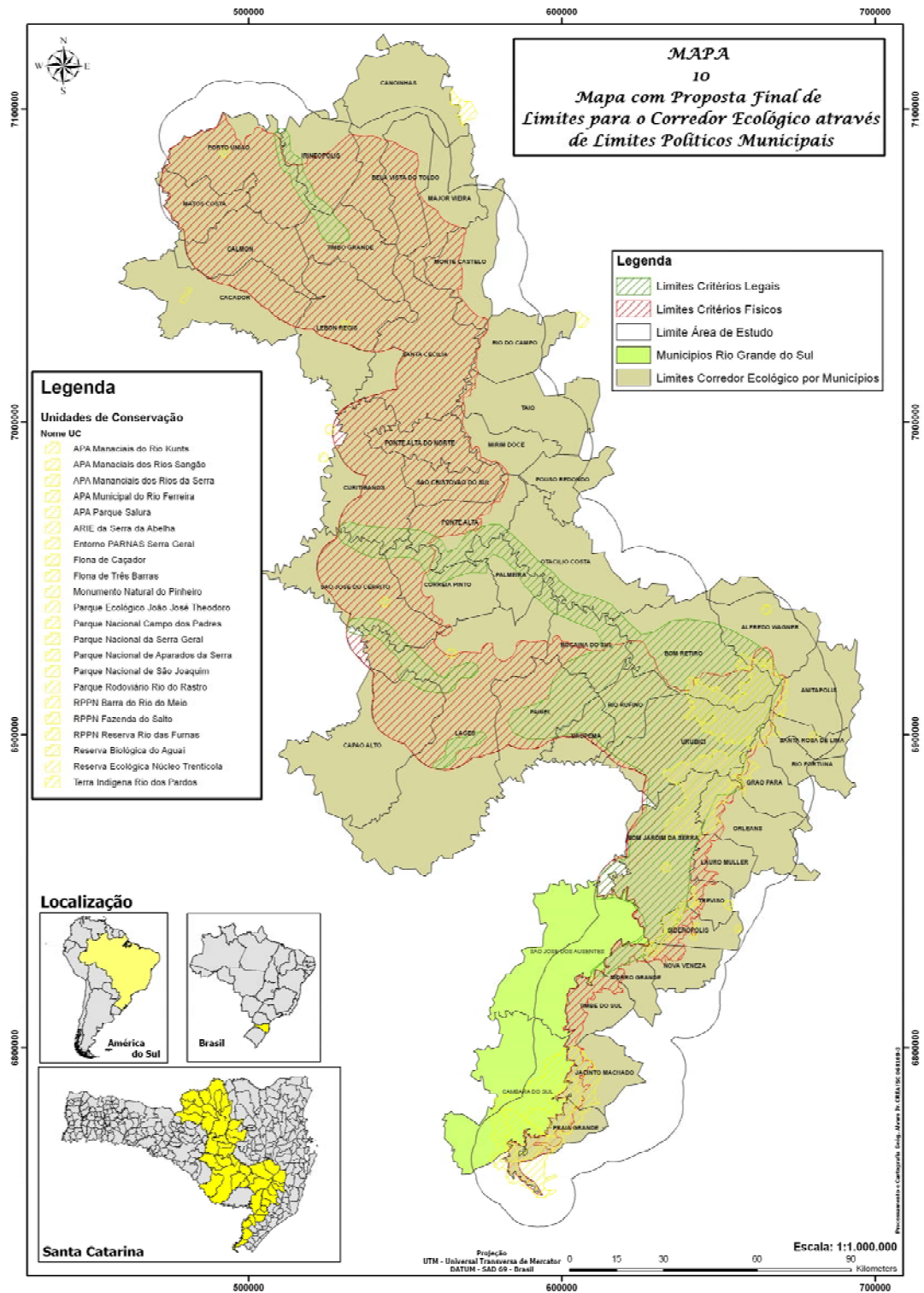


Figura 5.16 Mapa final apresentando a proposta de limites para o Corredor Ecológico com base na análise dos resultados obtidos durante a pesquisa.

Resultados técnicos sobre os limites para o Corredor Ecológico:

- Área total do corredor ecológico: 28.509 km²
- Município com área mínima: 156 km²
- Município com área máxima: 2.646 km²
- Área média dos municípios: 633 km²
- Total de municípios: 47

Listagem dos nomes dos municípios:

Alfredo Wagner, Anitápolis, Bela Vista do Toldo, Bocaina do Sul, Bom Jardim da Serra, Bom Retiro, Caçador, Calmon, Capão Alto, Canoinhas, Correia Pinto, Curitiba, Grão Pará, Irineópolis, Jacinto Machado, Lages, Lauro Müller, Lebon Régis, Major Vieira, Matos Costa, Mirim Doce, Monte Castelo, Morro Grande, Nova Veneza, Orleans, Paineira, Palmeira, Ponte Alta, Ponte Alta do Norte, Porto União, Praia Grande, Rio do Campo, Rio Fortuna, Rio Rufino, Santa Cecília, Santa Rosa de Lima, São Cristóvão do Sul, São José do Cerrito, Siderópolis, Taió, Timbé do Sul, Timbó Grande, Treviso, Urubici, Urupema.

- População total nos 47 municípios: 588.243 habitantes.
- População urbana nos 47 municípios: 400.226 habitantes.
- População rural nos 47 municípios: 188.720 habitantes.

Tabela 5.1 Unidades de Conservação incluídas nos limites do Corredor Ecológico.

Nome Unidade de Conservação	Área Km²
Flona de Caçador	9,33
Reserva Biológica do Aguai	68,56
Parque Nacional de São Joaquim	13,43
Parque Nacional de São Joaquim	445,90
APA Parque Salura	7,07
APA Mananciais do Rio Kunts	3,14
APA Mananciais dos Rios Sangão, Santana e Albino	3,14
APA Mananciais dos Rios da Serra São Bento	3,14

RPPN Barra do Rio do Meio	7,07
RPPN Reserva Rio das Furnas	7,07
RPPN Fazenda do Salto	7,07
Parque Rodoviário Rio do Rastro	7,07
Reserva Ecológica Núcleo Trentícola	7,07
Monumento Natural do Pinheiro	7,07
Terra Indígena Rio dos Pardos	7,07
Flona de Três Barras	40,98
ARIE da Serra da Abelha	12,53
Parque Ecológico João José Theodoro da Costa Neto	7,07
APA Municipal do Rio Ferreira	6,52
Parque Nacional Campo dos Padres	545,17
Parque Nacional da Serra Geral 1	149,40
Parque Nacional de Aparados da Serra	129,77
Parque Nacional da Serra Geral 2	22,82

Capítulo 6

Considerações Finais

Este trabalho mostrou a importância do uso dos sistemas de informação geográfica como ferramenta de suporte a decisão, através da análise espacial de diversos elementos do meio ambiente. Na complexa relação entre sistemas bióticos e abióticos existe a dificuldade de traduzir e analisar estas relações para poder obter resultados que possam ter efeito em suas aplicações no meio natural.

O caráter subjetivo na tomada de decisão para identificar os locais mais propícios à recarga direta para o Aquífero Guarani tornou o trabalho passível de falhas, porém, o conhecimento empírico de campo permitiu usar de forma coerente e conciliatória as ferramentas de um sistema de informações geográficas visando sempre à proteção dos mananciais subterrâneos através de suas zonas de recarga direta.

Chegou-se a conclusão com este trabalho que o uso de tecnologias e conhecimento de campo pode subsidiar informações importantes para a manutenção da conservação da natureza sem ter de referenciar em modelos de preservação excludentes de comunidades locais para a conservação da natureza.

A proposta de delimitação de um corredor ecológico vem de encontro com os objetivos de preservação que incluem a manutenção de áreas preservadas e recomposição de áreas degradadas ao longo do tempo.

Como um corredor ecológico serve de unidade de gestão territorial, tendo em seu cerne a intenção de incluir a capacitação das comunidades para que

trabalhem como agentes no processo de conexão entre os fragmentos florestais e as unidades de conservação, pois se acredita que onde o estado é ausente na fiscalização e manejo as comunidades locais possam desempenhar este papel competidamente se estiverem capacitados com os valores de conservação e uso sustentável destas áreas consideradas frágeis.

Os sistemas de informações geográficas entram neste contexto de forma a subsidiar as ferramentas necessárias para o entendimento e capacitação das comunidades inseridas nos limites do corredor ecológico, porém vale lembrar que os sistemas de informação geográfica nem sempre precisam ser sistemas eletrônicos, podendo ser muitas vezes utilizados de forma analógica como foram feitos em suas primeiras versões.

Faz-se alusão aos antigos sistemas mais conhecidos como *Overlays*, criados muitas vezes de forma analógica, utilizando a sobreposição de transparências com mapas desenhados a nanquim para gerar cruzamentos de dados e obter resultados que serviriam de ferramenta na tomada de decisão.

Como recomendação para a capacitação dos agentes comunitários que poderão desempenhar papel no gerenciamento e fiscalização dentro dos limites do corredor, sugere-se o uso de um sistema de informações analógico onde a partir da elaboração de um Atlas com transparências referentes aos elementos que compõe o ambiente na área de estudo, seja usado como forte elemento na capacitação e no entendimento da complexidade dos ecossistemas.

Como esta questão gira em torno da proteção dos recursos hídricos e florestas o uso de um SIG analógico através de um Atlas servirá de ferramenta para as comunidades compreenderem a importância da preservação das florestas, matas ciliares, a forma como se desenvolve o uso do solo na agricultura e expansão urbana, para a perpetuação dos cursos de água que são essenciais à manutenção da vida de pessoas, fauna e flora.

Isto poderá ocorrer se o processo de capacitação das comunidades for de forma cognitiva onde cada um aprenderá a partir de suas próprias experiências com o uso do SIG analógico, a importância do conhecimento das

relações do meio ambiente para poder preservar cada elemento sabendo-se que está preservando o todo.

Este trabalho poderá servir de referência para a implantação efetiva do corredor ecológico nas zonas de recarga direta do Aquífero Guarani, porém não somente este aquífero como tantos outros existentes que não são protegidos.

Recomenda-se também em função da escala do trabalho que sejam realizados estudos específicos em zonas de recarga direta com escalas mais detalhadas, avaliando pontualmente o complexo sistema hidrológico das águas subterrâneas e superficiais de modo a identificar com precisão as necessidades para a perpetuação destes recursos.

Finalmente se conclui que este trabalho tem relevância devido ao pouco conhecimento sobre os sistemas aquíferos em nosso país reconhecendo a importância da pesquisa para compor uma base sólida de conhecimentos na área. A maior contribuição deste trabalho dedica-se ao aporte técnico – científico, para subsidiar estudos em que envolvam comunidades e técnicos no processo de elaboração e gestão de áreas protegidas.

Referência Bibliográfica

ABAS(Associação Brasileira de Águas Subterrâneas), Águas Subterrâneas. Disponível em:<http://www.abas.org.br/index.php?PG=aguas_subterraneas&SPG=aguas_subterraneas_as> acesso em: março de 2006.

Arnoff, S. **Geographic information system: a management perspective**. WDL publications. Ottawa, Canadá, 1991. 249p.

ANA Agência Nacional de Águas <<http://www.ana.gov.br>> acesso em: março de 2006.

Araújo, L. M.; França, A. B.; Potter, P. E. **Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA**. Hydrogeology Journal, (7) 317-336, 1999.

Araújo L.M.; França, A.B.; Potter, P.E. **Aqüífero Gigante do MERCOSUL no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó**. UFPR e PETROBRÁS, Curitiba, Paraná – Brasil 1995.

Arruda, M. B. **Gestão integrada de ecossistemas aplicada a Corredores Ecológicos**. Brasília: IBAMA, 2005.

Arruda, M.B; Sá, L.F.S.N. **Corredores Ecológicos: Uma abordagem Integradora de Ecossistemas no Brasil**. 2ª Edição, Brasília: IBAMA, 2004. 220 p.

Ascough, J.; Rectorh, D.; Hoag, D.L.; McMaster, G.S.; Vandenberg, B.C.; Shaffer, M.J.; Weltz, M.A.; Ahjua, L.R. **Multicriteria spatial decision support systems: overview, applications, and future research directions**. In iEMS 2002 Integrated Assessment and Decision Support, Lugano Switzerland, 175-180, 2002.

Baldissera, I.T.; Veiga, M.; Testa, V.M.; Bacic, I.L.Z. **Caracterização físico-hídrica de seis solos minerais não hidromórficos de Santa Catarina submetidos a diferentes sistemas de manejos**. Florianópolis, EPAGRI, 1997. 55 p.

Borghetti, N. R. B.; Borghetti, J. R.; da Rosa Filho, E.F. **Aqüífero Guarani – A verdadeira integração dos países do Mercosul**. GIA, Curitiba 2004. 214 p.

Brandalize, A.A. **Fórum de Secretários Municipais de obras Públicas da Região Metropolitana de Curitiba / PR. Esteio - Engenharia e Aerolevamentos S.A.**, 1997.

Brito, F. **Corredores Ecológicos: Uma estratégia Integradora na Gestão de Ecossistemas** – Florianópolis, Editora da UFSC, 2006. 273 p.

Burrough, P.A. **Development of intelligent geographical information system**. International Journal of Geographical Information Systems. (1) 1 – 11, 1992.

Burrough P.A.; Mcdonnell, R. A. **Principles of Geographic Information Systems**. Oxford: Oxford University, 1998.

Cabral, N.R.Al.J.; Souza, M.P. **Área de Proteção Ambiental: planejamento e gestão de paisagens protegidas**. São Carlos: RiMa, 2002. 154 p.

Calijuri, M.L., Röhm, S.A. **Sistemas de informações geográficas**. Viçosa: CCET/DEC - Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária, 1994. 34 p.

Câmara, G.; Moreira, F. R.; Barbosa, C.C.; Almeida Filho, R.; Bönisch, S. **Inferência geográfica e suporte à decisão**. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. (Ed.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Publicado como: INPE-8567-PRE/4311. Disponível em:<<http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.15.04>> Acesso em: 04 dez. 2006.

Cavallo, A.; Norese, M.F. **Gis and Multicriteria Analysis to Evaluate and Map Erosion and Landslide Hazards**. 2003 Disponível em: <http://www.lamp.polito.it/ssd/cv/gis_multic_analysis.pdf> acesso em: setembro 2006.

Coridola, R.; Vieira, E.M.; Alves, M.G.; Almeida, F.T. **Uso das Técnicas de Geoprocessamento na Elaboração de Mapa Preliminar de Vulnerabilidade dos Aquíferos do Município de Campos de Goytacazes – RJ** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p. 2933-2940, 2005.

Eastman, R.; Jin, W.; Kyem, P.A.K.; Toledano, J. **Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Bethesda. (61) 539-547, 1995.

FATMA-PPMA-SC **Projeto Corredor Ecológico Caminho das Águas**. Santa Catarina, 2006.

Ferreira, J.; Rocha, J.; Tenedório, J.A.; Sousa, P.M **Ensaio de Delimitação de Corredores Verdes na Área Metropolitana de Lisboa Integração de dados fuzzy através da análise multi-critério.** Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional – e-GEO, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas Universidade Nova de Lisboa, 2000.

Geneletti, D. **Spatial Multi-objective Decision Analysis for Land Allocation.** Geological Survey Division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), 2001.

Geocities, **Tipos de Aqüíferos** Disponível em: <<http://www.geocities.com/CollegePark/Bookstore/8237/tiposdeaquiferos/tiposdeaquiferos.htm>> acesso em: março de 2006.

Gothb, F.; Warren, L. **A Case Study Comparison of the Analytic Hierarchy Process and a Fuzzy Decision Methodology.** The Engineering Economist, (40) 233-246, 1995.

Gualdi, J.O. **Caracterização do Sistema Aqüífero Guarani.** Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero/semi_caracterizacao.htm> acesso em: setembro de 2006.

Haining, R. **Designing spatial data analysis modules for geographical information systems.** In: FOTHERINGHAM, S.; ROGERSON, P. (Ed.). Spatial analysis and GIS. Londres: Taylor and Francis, (Technical Issues in Geographical Information Systems). cap. 3, p. 45–63. 1994.

IBAMA **Roteiro Metodológico para a gestão de área de proteção ambiental, APA.** – Diretoria de Unidades de Conservação e Vida Silvestre. – Brasília, 2001.

ICEPA, Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. **Programa de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas.** Florianópolis, 1987. 142 p.

IGM, Instituto Geológico e Mineiro. **Água Subterrânea: Conhecer para Preservar o Futuro.** Disponível em: <http://eGeo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/indexe.htm> acesso: em março de 2006.

Jacobi, P. **Água no mundo: verdades e mentiras.** Disponível em: <<http://www.geologo.com.br/encontrogeo12.asp?nome=pedrojacobi>> acesso em: agosto 2006.

Joerin, F.; Golay, F.; Musy, A. **GIS and Multicriteria Analysis for Land Management.** COST C4 Final Conference, 1998. Disponível em: <http://www.geog.ubc.ca/courses/geog376/notes/background_docs/GIS_MCE_Land_Management.pdf> acesso em: outubro de 2005.

Kittl, S.T. **Contributions to the knowledge on the stratigraphy and hydrochemistry of the Giant Guarani Aquifer System, South America.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Tübingen, Alemanha. Disponível em: <<http://www.protetoresdavidia.org.br/guarani.htm>> acesso em: outubro de 2005.

Maguire, D.J.; Goodchild, M.F.; Rhind, D.W. **Geographical Information System,** Longman Scientific & Technical, New York, 1991.

Malczewski, J. **A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making.** *International Journal of Geographic Science*, Nova York, NY, 1996.

Malczewski, J., **GIS and Multicriteria Decision Analysis**. John Wiley and Sons, Nova York, NY, 1999.

Martins, A.K.CE.; Neto, A.S.I; Menezes, I. C.; Brites, R.S.; Soares, V.P. **Metodologia para Indicação de Corredores Ecológicos por Meio de um Sistema de Informações Geográficas**. Universidade Federal de Viçosa, Depto. de Eng. Florestal – 2002.

MMA **Plano Nacional de Recursos Hídricos** – Ministério do Meio Ambiente– Secretaria de Recursos Hídricos – SRH/2004 Brasília-DF. Disponível em: <www.mma.gov.br> acesso em: junho 2006.

MMA **Projeto Corredores Ecológicos**, Brasília-DF. Disponível em: <www.mma.gov.br> acesso em: novembro de 2005.

Moreira, F. R; Câmara, G.; Filho, R. A. **Técnicas de Suporte a Decisão para Modelagem Geográfica por Álgebra de Mapas**. Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas Ação "Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental". Relatório Técnico, INPE, São José dos Campos / SP, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_suporte_decisao.pdf> acesso em: junho de 2005

O’Kelly, M. E **Spatial analysis and gis**. In: FOTHERINGHAM, S.; ROGERSON, P. (Ed.). **Spatial analysis and GIS**. Londres: Taylor and Francis, (Technical Issues in Geographical Information Systems). cap. 3, p. 45–63. 1994.

Stefanakis, E.; Ratsiatou, I. **Spatio-temporal multicriteria decision making under uncertainty**. In: Proceedings of the 1st International Symposium on Robust and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS, Zurique, Suíça, 2001.

Rashed, T.; Weeks, J. **Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas.** *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* (17) 547-576, 2003.

Rebouças, A. C. **Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia do Paraná: Análise da pré-viabilidade.** Tese de Livre Docência, USP. São Paulo 1976.

Rocha, G.A. **O grande manancial do Cone Sul.** USP, *Estudos Avançados* (30) 191-212, 1997.

Rosa, E. F.; Forlin, M.; Xavier, J. M. **Informações básicas sobre a distribuição do sistema aquífero Guaraní nas regiões sul e sudeste do Brasil.** *A Água em Revista* (10) 23-26, 1998.

Saaty, T. L. **The Analytic Hierarchy Process.** New York: McGraw Hill, 1980.

Saaty, T. L., **How to make a decision. The Analytical Hierarchy Process.** *European Journal of Operational Research*, (48) 9–26, 1990.

SBPC (Sociedade Brasileira para o progresso e Ciência). **Águas: abundância e escassez,** 2000. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/aguas/aguas02.htm>> acesso em: novembro de 2006.

SEDUMA **Programa de conservação e uso da água e do solo.** Santa Catarina 1979.

Silva, D. J. **O Espírito da Lei Brasileira das Águas (Lei Federal 9.433/97)** Estágio pós-doutoral na Université du Québec à Montreal – Quebec – Montreal – Canadá. 2005.

Smaniotto, C. R.; Decanini, M. M. S.; Silva, E. A. **SIG para licenciamento e fiscalização da cobertura vegetal natural do Estado de Mato Grosso do Sul** Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, (9) 39-51, 2003.

Shiklomanov, I.A. **World water resource at the beginning of the 21st century.** Monografia, State Hydrological Institut, UNESCO,1999. Disponível em: <<http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/summary/html/summary.html#introducion>> acesso em: julho de 2006.

SMA – São Paulo, **Gestão ambiental do Aquífero Guarani** Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/aquifero.htm>> acesso em: março de 2006.

SNUC, **LEI No 9.985, DE 18 DE JULHO DE 2000** – Sistema Nacional de Unidades de Conservação.

SRH/MMA, **Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina: Diagnóstico Geral.** Florianópolis, 1997. 163 p.

Sttuckermeier, S.P.; Richts, A.; Winter, P.; Zoepoke, M. **GroundWater Resources of the World Transboundary Aquifer Systems** – Special Edition for the 4th World Water Forum, Mexico City, 2006.

Szmuchrowsi, M.A.; Martins, I.C.M. **Geoprocessamento para a indicação de corredores ecológicos Interligando os fragmentos florestais e áreas de proteção ambiental no Município de Palmas – TO.** Anais X SBSR, Foz do Iguaçu, INPE, 675-681, 2001.

Tundisi, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez.** São Carlos – Rima, 2003.

Yalcin, G.; Akyurek, Z. **Analyzing flood vulnerable areas with multicriteria evaluation.** Unpublished MS Thesis in GGIT METU, Ankara, 2002.

WHYMAP, **Groundwater resource of the world.** Disponível em: <http://www.bgr.bund.de/cIn_029/nn_876804/EN/Themen/Wasser/Whymap__Website/whymap__node.html__nnn=true> acesso em: agosto de 2006.

Zimbres, E. **Guia avançado sobre água subterrânea,** 2000, disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea>> acesso em: junho 2005.