

LUIZ FERNANDO GOMES DA SILVA

**USO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS
SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS NA BACIA DO
ARROIO CAPANÉ – RS: UMA PROPOSTA DE
ANÁLISE POR GEOPROCESSAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS para obtenção do título de mestre (Área de Concentração de Ciências da Terra e Meio Ambiente)

Orientador: Prof. Dr. Osmar Gustavo Wöhl Coelho

Co-orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Fontoura Hansen

UNISINOS – UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
PPGeo – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA GEOLOGIA

São Leopoldo - RS

Fevereiro /2005

Dedicatória

Este trabalho é dedicado aos meus familiares que sempre me incentivaram a seguir meus caminhos na busca do conhecimento e da realização pessoal, pelo apoio nos momentos difíceis na compatibilização da vida afetiva, profissional e acadêmica e pela compreensão nos diversos momentos de ausência ao lado de minhas filhas, Anna Carolina e Luiza, tesouros que Deus me concedeu e que são a mola propulsora de minha caminhada nesta existência. A vocês, meus queridos dedico este trabalho.

Agradecimentos

À UNISINOS- Universidade do Vale do Rio dos Sinos, através do Programa de Pós Graduação de Geologia – PPGeo pelo acolhimento apoio e confiança depositadas nesta proposta de pesquisa.

Ao prof. Dr. Osmar Gustavo Wöhl Coelho, amigo e orientador, pela dedicação, idéias fornecidas, solidariedade e apoio demonstrado ao longo de todo o período de desenvolvimento desta pesquisa.

Ao prof. Dr. Marco Aurélio Hansen pelo interesse na pesquisa e pelo fornecimento de idéias e estudos de desenvolvimento sustentável que foram de fundamental importância para concepção deste projeto.

Ao meu amigo e colega de mestrado Juliano Shirmbeck pela amizade, apoio, discussão e críticas que muito contribuíram para a qualidade deste trabalho.

“As pessoas são os produtos mais complexos e de maior atuação na natureza. Como espécie inteligente que somos deveríamos ser capazes de alterar o meio em que vivemos dentro de condições sustentáveis“

Hubert Reeves

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE QUADROS	VIII
RESUMO	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUÇÃO	1
2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	3
2.1. O panorama mundial e perspectivas de escassez	3
2.2. Características e conflitos do uso dos recursos hídricos no Rio Grande do Sul	5
2.3. Os problemas ambientais, sociais e econômicos do uso da água na bacia	8
3. OBJETIVOS.....	10
3.1. Objetivo Principal	10
3.2. Objetivos Secundários.....	10
4. REVISÃO DE LITERATURA	11
4.1. Planejamento e gestão de recursos hídricos	11
4.2. Disponibilidade hídrica superficial	13
4.3. Disponibilidade hídrica subterrânea.....	21
4.4. Possibilidades e vantagens do uso do geoprocessamento.....	23
5. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
5.1. Situação e Localização.....	28
5.2. Caracterização da Área	28
6. MÉTODO E TÉCNICAS.....	43
6.1. Concepção Metodológica.....	43
6.2. Descrição das etapas metodológicas	46
7. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	60
7.1. Uso atual do solo.....	60
7.2. Avaliação da disponibilidade hídrica superficial	67
7.3. Avaliação da disponibilidade hídrica subterrânea	82
7.4. Avaliação das demandas na bacia.....	103
7.5. Integração dos dados	107
8. CONCLUSÕES.....	111
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Evolução do percentual de uso da disponibilidade hídrica mundial.....	4
Figura 2.2 – Distribuição das demandas hídricas no mundo.....	4
Figura 2.3 – Balanço hídrico da bacia do rio Camaquã	6
Figura 2.4 – Sistema Hidro-agrícola do Capané	9
Figura 4.1 - Fases do Processo de Gestão	11
Figura 4.2 – Apresentação de pontos em forma gráfica e alfanumérica	24
Figura 4.3 – Análise integrada <i>pixel a pixel</i>	25
Figura 5.1 – Situação / Localização da área de estudo.....	29
Figura 5.2 – Hidrografia.....	30
Figura 5.3 – Bacia do Paraná aflorante no Rio Grande do Sul	32
Figura 5.4 – Geologia da bacia do Capané.....	35
Figura 5.5 – (%) do município de Cachoeira do Sul na área plantada do estado.....	42
Figura 6.1 – Representação diagramática da necessidade de planejamento e gestão integrada de recursos hídricos	44
Figura 6.2 – Representação diagramática da integração de dados e análise espacial em geoprocessamento.....	44
Figura 6.3 – Fluxograma do modelo conceitual de gestão.....	48
Figura 6.4 – Fluxograma de determinação do balanço hídrico	52
Figura 6.5 – Gráfico comparativo de valores de evapotranspiração	54
Figura 6.6 – Fluxograma do processo de seleção do método de evapotranspiração.....	54
Figura 7.1– Uso atual do solo.....	61
Figura 7.2 – Distribuição do uso do solo na bacia	62
Figura 7.3 – Faixas de altitude do relevo na bacia	63
Figura 7.4 – Distribuição de uso do solo por faixa de altitude	64
Figura 7.5 – Faixas de declividade do terreno	65
Figura 7.6 – Distribuição de uso do solo por faixa de declividade	66
Figura 7.7 – Indicadores sócio-econômico-ambientais.....	67
Figura 7.8 – Mapa de precipitações médias acumuladas	69
Figura 7.9 – Distribuição das precipitações no período de verão	70
Figura 7.10 – Mapa de temperatura média.....	72

Figura 7.11 – Mapa de evapotranspiração no período de verão.....	73
Figura 7.12 – Mapa de déficit/excedente hídrico	74
Figura 7.13 – Gráfico nº píxel x déficit	75
Figura 7.14 – Gráfico nº píxel x excedente	76
Figura 7.15 – Mapa de déficit x excedente hídrico	78
Figura 7.16 – Hipótese de análise por geoprocessamento	81
Figura 7.17 – Disponibilidade hídrica superficial	82
Figura 7.18 – Mapa geológico da bacia hidrográfica.....	85
Figura 7.19 – Sondagens na barragem do Capané	86
Figura 7.20 – Perfilagem geofísica dos furso de sondagem.....	88
Figura 7.21 – <i>Litofácies</i> de Arenito Quartzoso	89
Figura 7.22 – Modelagem 3D - NE.....	91
Figura 7.23 – Modelagem 3D - SE	91
Figura 7.24 – Seção de correlação geológica WE.....	92
Figura 7.25 – Seção de correlação geológica NS.....	93
Figura 7.26 – Padrão de fraturamento da porção norte da bacia	94
Figura 7.27 – Seção de correlação estratigráfica WE	96
Figura 7.28 – Seção de correlação estratigráfica NS	97
Figura 7.29 – Distribuição das reservas reguladoras na bacia	98
Figura 7.30 – Reserva regualdora acumulada	99
Figura 7.31 – Reservas permanentes Rio Bonito + Quaternário.....	101
Figura 7.32 – Potencialidade hídrica acumulada	102
Figura 7.33 – Demanda hídrica do solo	104
Figura 7.34 – Demanda hídrica orizícola	105
Figura 7.35 – Demanda de outras culturas	105
Figura 7.36 – Percentual das demandas de uso do solo	106
Figura 7.37 – Distribuição altitude x declividade	107
Figura 7.38 – Balanço hídrico na bacia.....	109
Figura 7.39 – Diagrama de técnicas para uso integrado de geoprocessamento	110

+

LISTA DE TABELAS

Tabela 7.1 – Precipitações médias mensais no período de verão.....	68
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Principais conflitos de uso da água	6
Quadro 5.1 – Divisão hierárquica das unidades geomorfológicas	36
Quadro 5.2 – Classificação Taxonômica dos solos da bacia.....	38
Quadro 5.3 – Composição relativa do PIB.....	41
Quadro 6.1 – Etapas metodológicas	45
Quadro 6.2 – Valores de evapotranspiração por diversos métodos	53
Quadro 7.1 –Comparativo entre valores SIG x Método Convencional	77
Quadro 7.2 – Áreas com déficit hídrico	77
Quadro 7.3 – Resumo das áreas com déficit	79
Quadro 7.4 – Quantitativo dos déficits na porção norte da bacia	80
Quadro 7.5 – Quantitativo dos déficits na porção sul da bacia	81
Quadro 7.6 – Hidroestratigrafia da bacia do Capané	84
Quadro 7.7 – Capacidade de reservação do aquífero aluvionar	99
Quadro 7.8 – Valores de reservação da Formação Rio Bonito	100
Quadro 7.9 – Percentual de valores de demanda	106

Uso Integrado de recursos hídricos superficiais e subterrâneos na bacia do arroio Capané – RS: uma proposta de análise por geoprocessamento.¹

Autor: Luiz Fernando Gomes da Silva

Orientador: Prof. Dr. Osmar Gustavo Wöhl Coelho

Co-orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Fontoura Hansen

Resumo

A principal atividade econômica na bacia do arroio Capané, município de Cachoeira do Sul-RS, o cultivo do arroz, tem levado os atores institucionais, bem como as comunidades locais, a desenvolverem planejamentos e projetos fragmentados, os quais não consideram integralmente as potencialidades e fragilidades ambientais da bacia em questão. O presente trabalho estuda a viabilidade do uso integrado de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, utilizando para isso técnicas de Geoprocessamento como Sistema de Informações Geográficas – SIG e produtos de sensoriamento remoto. Com aplicação destas técnicas, encontrou-se um déficit hídrico mensal inferior em 60% àquele determinado por métodos convencionais. As reservas subterrâneas foram avaliadas, verificando-se a viabilidade do seu uso integrado para a agricultura irrigada. Diretrizes de análise técnica e econômica foram delineadas, com o uso de geoprocessamento.

¹ **Dissertação de Mestrado em Ciências da Terra e Meio Ambiente**
Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Programa de Pós-Graduação em Geologia – PPGeo

Integrated use of superficial and groundwater in the Capané Creek Valley, Cachoeira do Sul-RS County : a GIS analysis proposal.²

Author: Luiz Fernando Gomes da Silva

Adviser: Prof. Dr. Osmar Gustavo Wöhl Coelho

Co-adviser: Prof. Dr. Marco Antônio Fontoura Hansen

Abstract

Main economical activity in the Capané's Creek Valley, Cachoeira do Sul-RS County, the rice cropping has carried institutional actors, as well as the local communities, to develop fragmented land use planning and projects, which does not take care of environmental weakness and suitability of the whole catchment. This work deals with the viability analysis of an integrated use of superficial and groundwater, using for it geoprocessing techniques as GIS – Geographical Information System and remote sensing products. Applying these techniques, it was found an hydric deficit less by than 60% those was assessed by traditional methods. The groundwater reservoirs were assessed analysing the viability of its integrated use at the irrigated agriculture. Some principles directions of technical and economical analysis, by using geoprocessing techniques, were delineated.

² **Master Thesis ins Enviroment and Earth Sciences**
Universidade Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS
Programa de Pós Graduação em Geologia – PPGeo

1. Introdução

A água, recurso natural de fundamental importância para os seres vivos, tem se tornado escassa em diversas regiões do mundo, gerando a necessidade de planejamento e novas alternativas que garantam a sua disponibilidade em longo prazo. Há, portanto, preocupação quanto à crise ambiental decorrente da escassez global de recursos hídricos, projetada já para o início do milênio em curso.

A conscientização mundial, acerca do desequilíbrio crescente entre a demanda e a disponibilidade hídrica, tornou-se clara na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992). A Agenda 21, em seu capítulo 18, externa sua preocupação quanto à escassez da água em âmbito mundial: “ (...) A escassez generalizada, a destruição gradativa e a poluição agravada dos recursos hídricos em muitas regiões do mundo, juntamente com a progressiva invasão de atividades incompatíveis, exigem o planejamento e o gerenciamento integrado dos recursos hídricos (...)”

O perfil mundial da demanda hídrica, do qual o Brasil não é exceção, mostra que aproximadamente 2/3 do consumo total é devido à atividade agrícola. Por sua vez, os projetos de agricultura irrigada no território nacional, a despeito da disponibilidade hídrica subterrânea, baseiam-se predominantemente nos recursos hídricos superficiais. Isto, supõe-se, ocorre por razões como tradição na elaboração de projetos tão somente a partir da hidrologia superficial, custos mais baixos dos projetos convencionais ou, talvez, pela falta de estudos comparativos sobre a viabilidade ambiental, técnica e econômica de uso integrado de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

Por outro lado, os recursos atuais de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e os produtos de sensoriamento remoto, através da análise espacial e temporal de dados ambientais

e econômicos, vêm introduzindo significativas mudanças e expandindo as possibilidades de aprofundamento dos estudos ambientais.

Neste contexto, o presente trabalho, lançando mão dos recursos de geoprocessamento, situa-se como um ensaio de análise de viabilidade ambiental para integração e otimização do uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em bacias hidrográficas. A partir dos resultados alcançados pela análise por geoprocessamento, são delineados caminhos para continuidade dos estudos concernentes às etapas técnicas e econômicas.

2. Caracterização do Problema

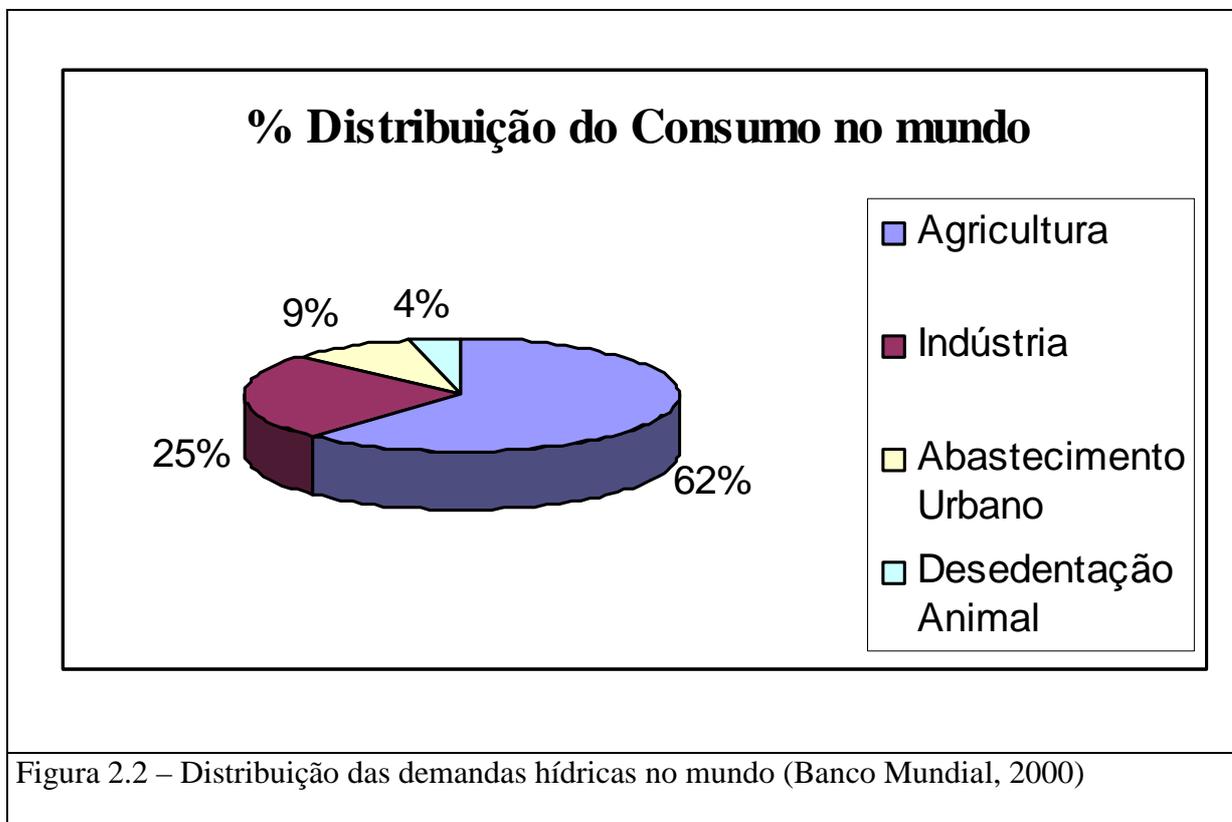
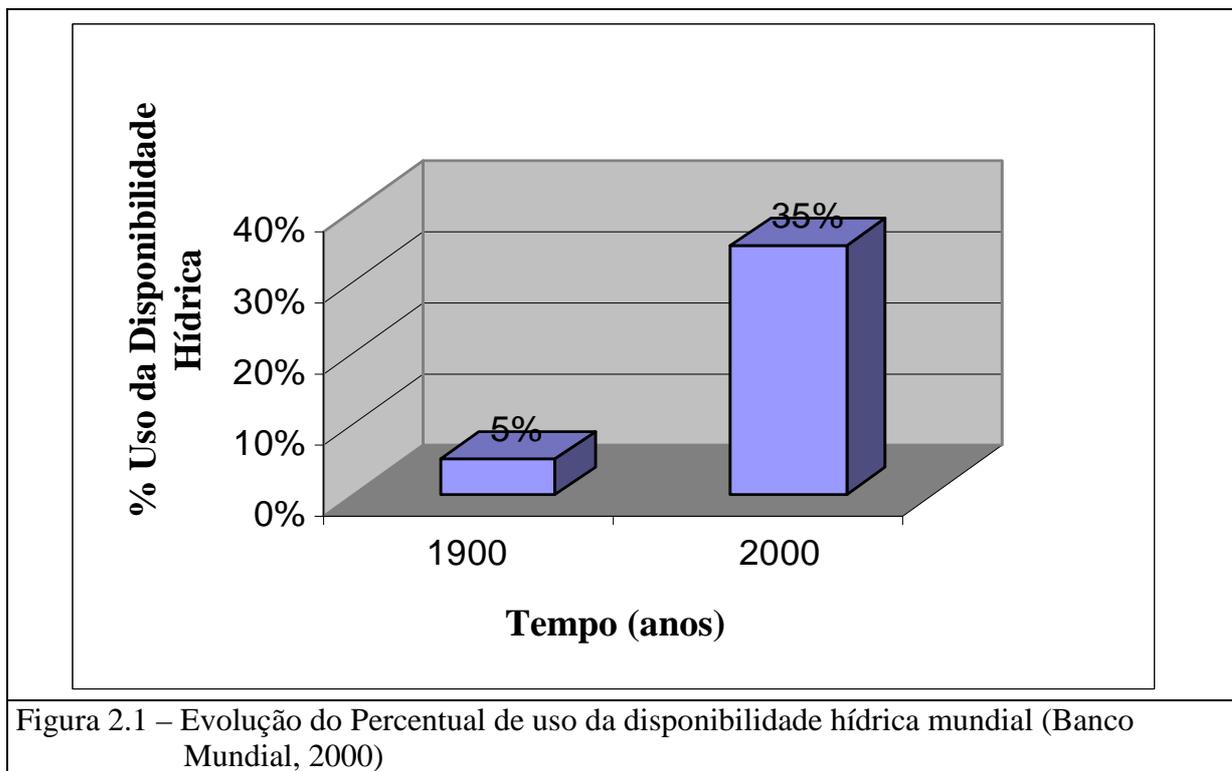
2.1. O Panorama Mundial e Perspectivas da Escassez

O panorama mundial mostra um quadro de escassez crescente dos recursos hídricos. Embora a demanda mundial de água dobre a cada 21 anos (Banco Mundial, 2000), a sua disponibilidade global permanece inalterada. Um exemplo disto é fornecido na Figura 2.1, onde se observa o percentual crescente de uso da disponibilidade hídrica.

Considerando que a população mundial evoluiu drasticamente de 1900 até 2000, quando atingiu 35% da disponibilidade hídrica global, já com problemas de déficit de abastecimento em várias regiões, as perspectivas são de escassez crescente no século XXI.

As demandas hídricas mundiais relevantes concentram-se nas atividades agrícolas, industriais e abastecimento urbano. Entretanto, a agricultura é a maior consumidora, com 62% da porcentagem utilizada, vindo em seguida a indústria com 25% e por fim, o abastecimento urbano com 13%, conforme pode ser observado na Figura 2.2.

Na América Latina a disponibilidade de água doce passou de 105.000 m³/hab./ano em 1950 para 28.000 m³/hab/ano no final do século XX. A maior disponibilidade hídrica ocorre na região amazônica, onde há pouca demanda humana e produtiva. Estes números como médias gerais, não refletem a indisponibilidade localizada, tanto quantitativa como qualitativa.



No Brasil, confirma-se a tendência mundial, verificando-se conflitos quanto à evolução da demanda e constância da disponibilidade quali-quantitativa dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais. A escassez relativa está associada às baixas disponibilidades específicas na região Nordeste e às altas densidades demográficas nas regiões Sul e Sudeste.

Quanto à distribuição do consumo de recursos hídricos no Brasil, estudos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2002) mostram similaridade com o consumo mundial para uso agrícola (63%) e a dessedentação animal (5%). Entretanto, o abastecimento urbano (18%) é o dobro, enquanto a indústria (14%) corresponde aproximadamente à metade dos percentuais mundiais de consumo. De qualquer forma, como a população brasileira evoluiu significativamente de 1900 até 2000, mantém-se no Brasil a tendência de uso crescente das reservas hídricas disponíveis.

A demanda hídrica para a agricultura, objeto do presente estudo, mostra, portanto, o mesmo patamar mundial, situando-se em aproximadamente 2/3 da demanda total.

2.2. Características e Conflitos do Uso dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul

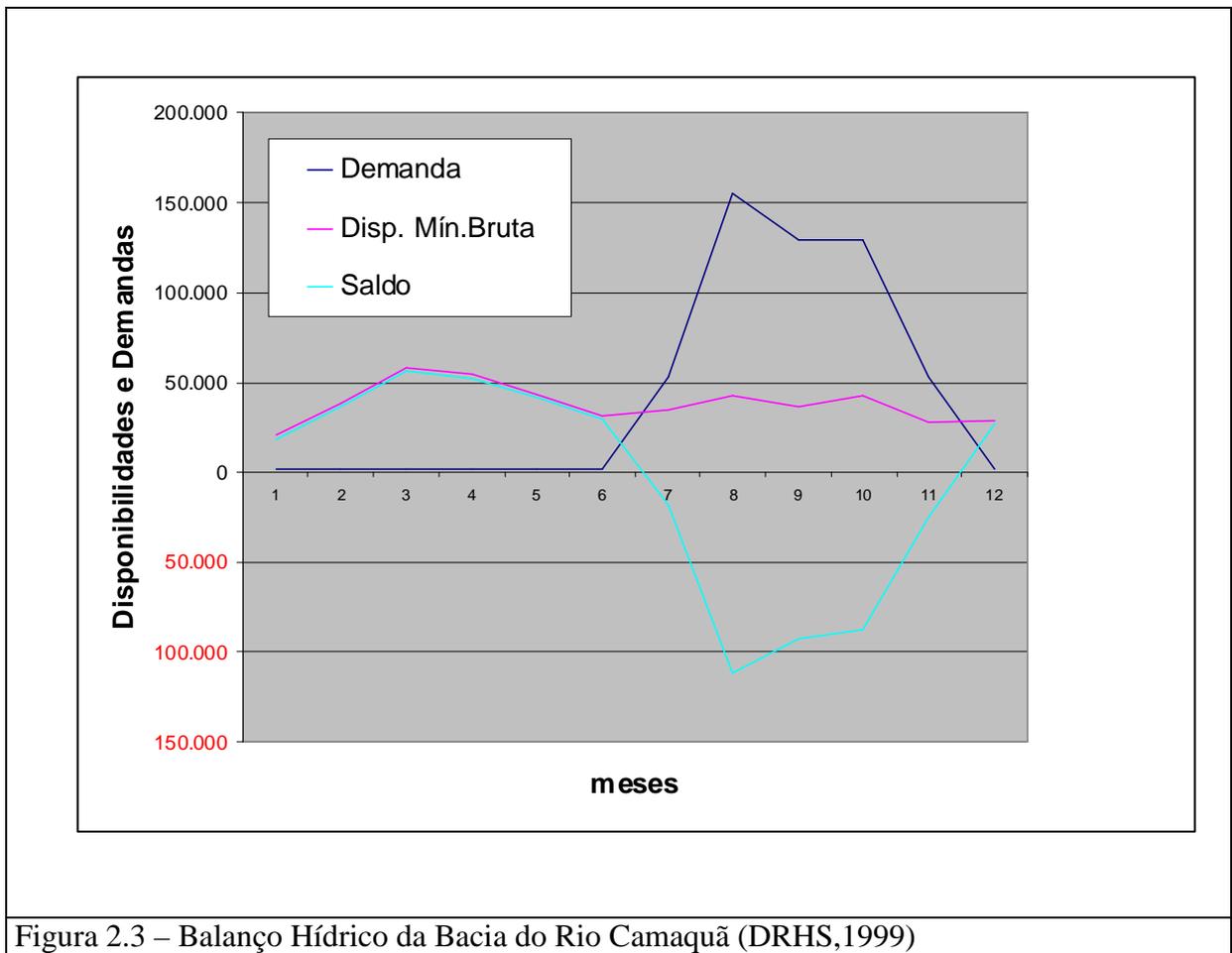
As características predominantes do consumo em cada bacia hidrográfica, como se poderia esperar, são determinantes dos principais conflitos de uso dos recursos hídricos.

No Estado do Rio Grande do Sul, estudos realizados pelo Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento (DRHS, 1999) evidenciam este problema, caracterizando indisponibilidades qualitativas ou quantitativas conforme a região de estudo e os seus usos característicos (Quadro 2.1).

Nas bacias da região metropolitana (Guaíba, Caí e Sinos), cujo uso preponderante é o abastecimento urbano e a atividade industrial, são detectados problemas qualitativos, face ao grande volume de efluentes domésticos e industriais, muitos dos quais, não tratados, lançados nos mananciais superficiais da região. As Bacias Hidrográficas da região sul (Bacia do Rio Camaquã-), região central (Bacia do Rio Santa Maria e Jacuí) e sudoeste do estado (Bacia do Rio Ibicuí), com forte vocação agrícola para o plantio do arroz, apresentam sérios conflitos de uso e balanços hídricos deficitários, em determinadas épocas do ano. Isto se deve às grandes demandas hídricas que esta cultura exige, conforme pode ser observado na figura 2.3.

CONFLITOS DE USO DA ÁGUA NO RS		
Usos Predominantes	Tipos de Conflitos	Bacias Hidrográficas
Agrícola	Quantitativo	Camaquã, Santa Maria, Jacuí e Ibicuí
Urbano/Industrial	Qualitativo(poluentes)	Guaíba, Caí e Sinos

Quadro 2.1 – Principais conflitos de uso da água no Rio Grande do Sul (DRHS,1999)



2.3. O Problema Ambiental, Social e Econômico do Uso da Água na Bacia Hidrográfica do Arroio Capané.

A bacia do arroio Capané, coerentemente com a vocação orizícola da bacia hidrográfica do Rio Jacui, onde se encontra inserida, foi alvo de projeto hidroagrícola na década de 1950.

Nesta época, conforme pode ser observado na Figura 2.4, projetou-se e construiu-se a barragem de acumulação e canais de irrigação, os quais beneficiam o baixo vale do Capané na porção norte da bacia. Esta obra, devido a problemas geológico-geotécnicos, opera atualmente apenas com 60% de sua capacidade de reservação. As perdas subterrâneas da água reservada são consideráveis, além disso, a barragem apresenta rupturas localizadas, o que impede a elevação do nível do reservatório acima do percentual citado.

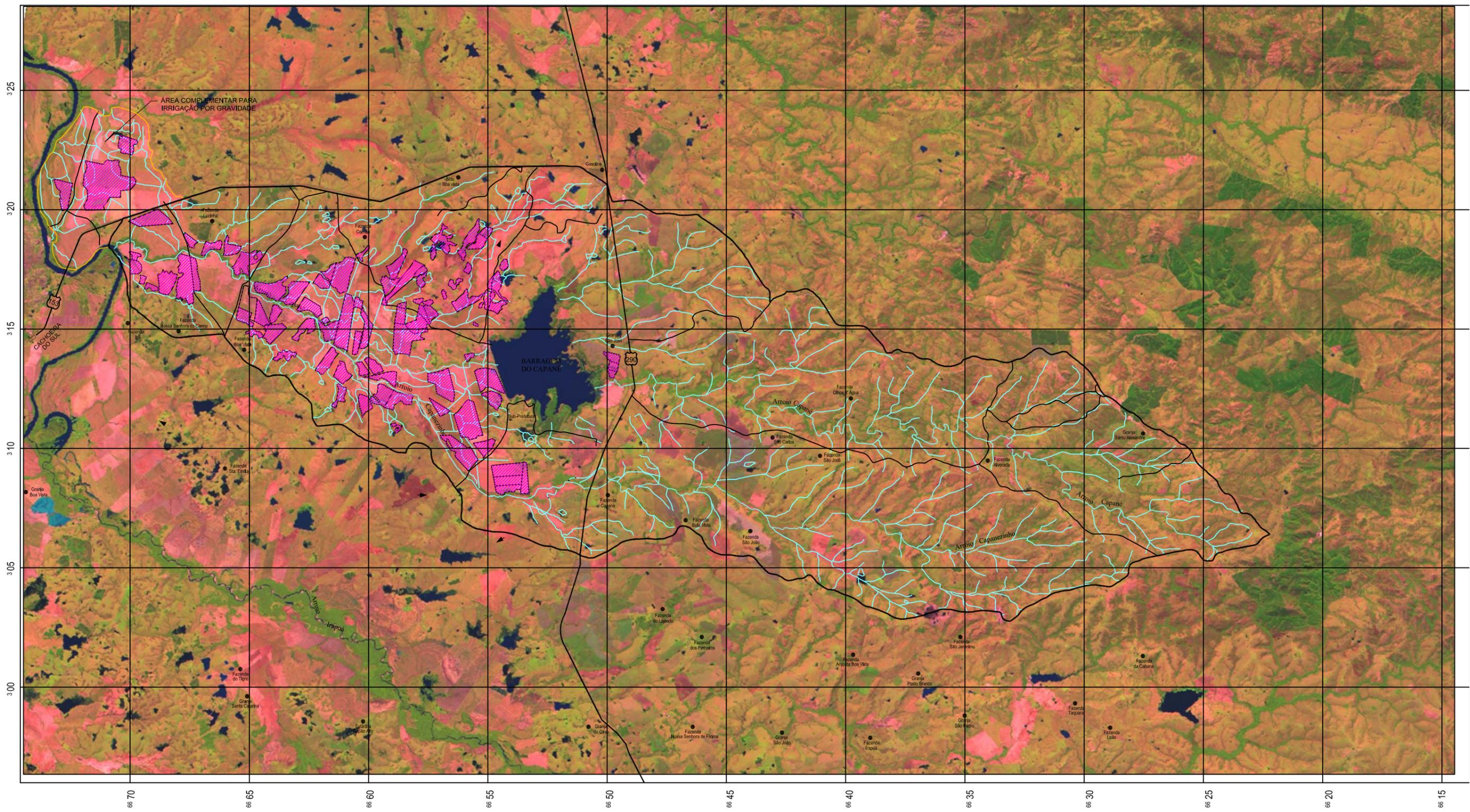
A BR-290 caracteriza-se como um divisor sócio-econômico da bacia do arroio Capané. Os habitantes da porção sul carecem de políticas e projetos que viabilizem, sob o ponto de vista sócio-econômico e ambiental, suas propriedades. Enquanto isso, os usuários da porção norte (área de várzea), embora beneficiados pelos resultados econômicos do cultivo do arroz irrigado, fragilizam-se, pela prática da monocultura, estiagens e sujeitam-se às oscilações do mercado.

Tal cenário não tem recebido dos agentes governamentais a devida atenção. Levados pelo forte indutor econômico da região, verifica-se que projetos e programas governamentais têm apresentado, ao longo das décadas, intervenções fortemente direcionadas à cultura orizícola, o que tem gerado uma série de conflitos de interesses nos usuários da bacia.

Exemplo mais recente deste enfoque fragmentado, a proposição para implantação de dois sistemas de reservação, a montante da BR-290, o que substituiria o sistema existente (barragem do Capané), o qual não foi levado adiante face aos conflitos de interesse entre os usuários da bacia. O cenário hidroclimático na bacia revela a necessidade de ações de planejamento na bacia do Capané, onde os estudos de viabilidade do uso integrado dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais serão fundamentais.

Tais ações procurarão minimizar a barreira sócio-econômica citada, através de proposições de uso sustentável do solo e água através do conhecimento especializado das

disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas, bem como das demandas decorrentes da diversidade das atividades atuais e potenciais de uso do solo na bacia.



Escala Gráfica



CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- LIMITE DA BACIA
- ARROIOS CAPANÉ, CAPANEZINHO E IRAPUÁ
- ARROIOS SECUNDÁRIOS
- RODOVIAS MUNICIPAIS
- RODOVIA FEDERAL
- ÁREA ATUAL IRRIGADA (3.581 ha)

Figura 2.4 - Projeto hidroagrícola da bacia do arroio Capané

3. Objetivos

Tendo em vista o problema e necessidades até aqui caracterizados para a área de estudo, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

3.1. Objetivo Principal

Aplicar e verificar as vantagens do geoprocessamento na análise do uso integrado de recursos hídricos superficiais e subterrâneos para fins agrícolas na bacia do arroio Capané.

3.2. Objetivos Secundários

- Propor diretrizes gerais para continuidade dos estudos técnicos e econômicos com uso de geoprocessamento.
- Delinear proposta metodológica genérica para análise da viabilidade do uso integrado de recursos hídricos em bacias hidrográficas com uso de geoprocessamento.

4. Revisão de Literatura

São abordados a seguir temas relacionados ao planejamento e gestão de recursos hídricos, avaliação das disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas, bem como as possibilidades de uso do geoprocessamento para integração e análise espaço-temporal em bacias hidrográficas.

4.1. Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos

O histórico deste tema traduz sua importância no cenário nacional. Ao olharmos para trás, podemos ver o avanço conseguido desde as primeiras discussões sobre a reforma do setor, a inclusão do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos na Constituição de 1988, até a aprovação da Lei 9.433 em 8/01/1997, estabelecendo a Política Nacional de Recursos Hídricos e instituindo o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Mais recentemente, em julho de 2000, o sistema se agiliza e amadurece, é aprovada a criação da Agência Nacional de Águas – ANA. A água passa, definitivamente, a incorporar a agenda política brasileira.

Em situação de abundância a água é tratada como um bem livre e sem valor econômico Barth *et al.* (1987). Com o crescimento da demanda, começam a surgir conflitos de usos e de usuários da água, e assim, a necessidade de seu gerenciamento como bem econômico, ao qual deve ser atribuído o justo valor.

Uma forma eficiente de evitar e administrar estes conflitos é a gestão integrada do uso, controle e conservação dos recursos hídricos, destacada por Lanna (1993). Este processo envolve a consideração de uma grande diversidade de objetivos e usos da água bem como de

alternativas. Afirma Lanna (1993), que o planejamento dos recursos hídricos, face às várias condicionantes sócio-econômicas, ambientais e legais intervenientes no processo, caracteriza-se por ser uma atividade complexa envolvendo grande número de disciplinas e que deverá ser realizado por equipes multi e interdisciplinares. Além disso, continua o autor, a importância estratégica da exploração destes recursos não permite que sua gestão seja executada de forma eficiente para a sociedade através da sua admissão em propriedade privada, razão pela qual a Constituição Brasileira atribuiu à União e aos Estados a propriedade dos recursos hídricos.

Gestão, conforme definição de Lanna (1993) é “uma atividade analítica voltada à formação de princípios e diretrizes, ao preparo de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões que tem como objetivo final promover o inventário, uso, controle e proteção dos recursos hídricos”.

Feitosa *et al.* (2000) coloca a gestão do uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos como ferramenta fundamental para a solução dos conflitos de uso. Afirma o autor que, dentre vários desafios no aproveitamento criterioso destes recursos, há necessidade de se planejar e administrar, tanto os diversos usos quanto a proteção dos mananciais. A escassez dos recursos hídricos leva à necessidade de implantação de instrumentos técnicos e legais que disciplinem e ajustem as demandas às disponibilidades. Este conjunto de ações é definido como gestão de uso destes recursos.

Barth *et al.* (1987) define gestão como o desenvolvimento de processos que levam a sociedade a planejar o aproveitamento e o controle dos recursos hídricos, administrar a implantação das obras e medidas recomendadas, controlando assim as variáveis que possam afastar os efeitos nocivos ao planejado. A gestão dos recursos hídricos, portanto, realiza-se mediante procedimentos integrados de planejamento e administração, conforme diagrama apresentado na Figura 4.1. Esta visão integradora, respeitando as disponibilidades e peculiaridades dos recursos hídricos é considerada como fundamental nesta área.

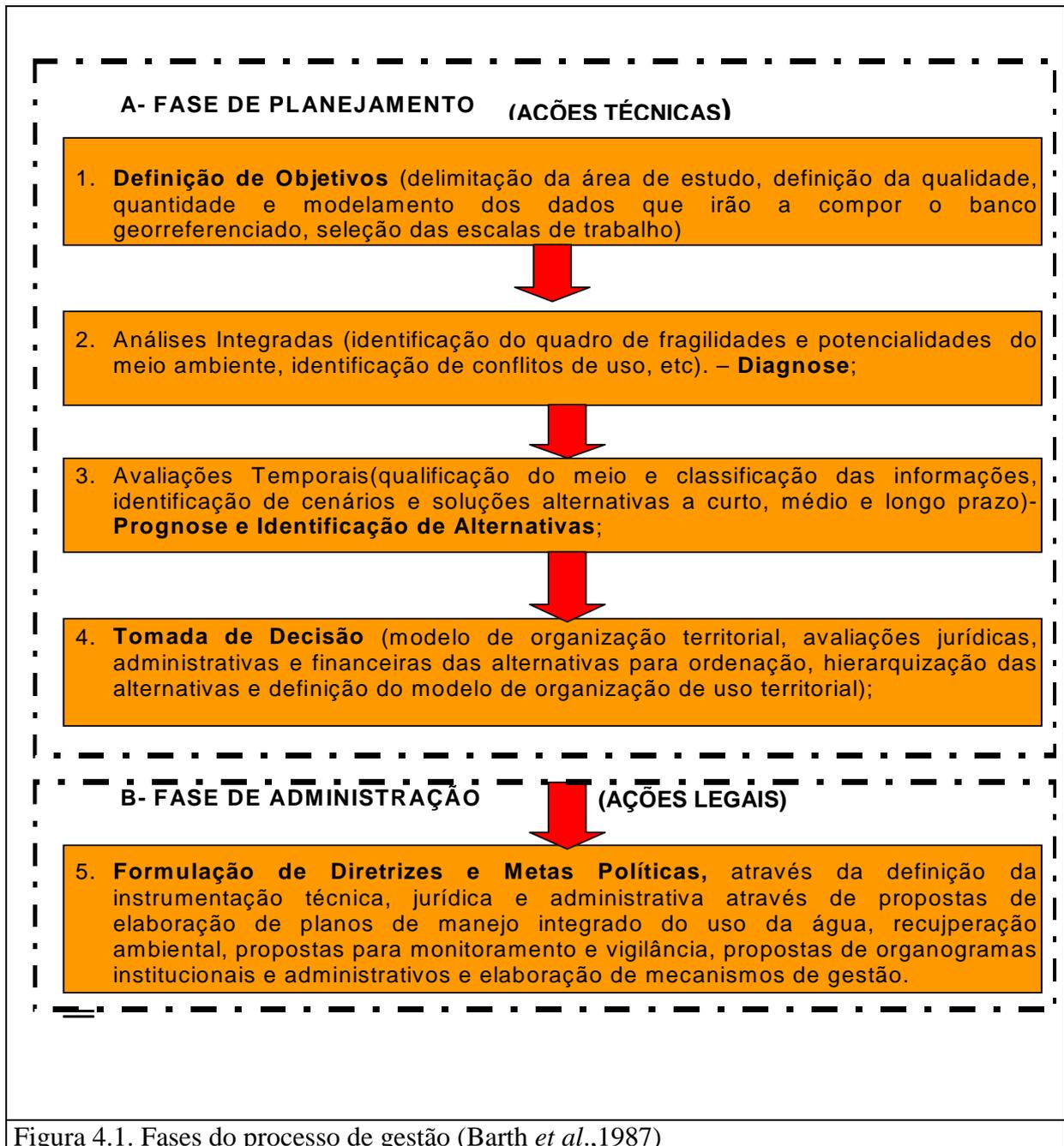


Figura 4.1. Fases do processo de gestão (Barth *et al.*,1987)

Hansen (2001) propõe uma forma integrada de análise do meio ambiente através de um conjunto de informações onde é possível avaliar índices sócio-econômicos e ambientais de para bacias hidrográficas. Através de respostas a questões objetivas, levando em consideração os aspectos ambientais, sociais e econômicos, subdivididos em dez áreas de conhecimento como ação institucional, áreas protegidas e de turismo, aspectos bióticos, demografia e educação, economia e infra-estrutura, indústria e energia, influências climáticas, recursos da terra, recursos hídricos, saúde e saneamento, os quais permitem gerar índices e gráficos ternários e binários, dos resultados numéricos e conceituais. A ordenação dos índices ambientais, sociais e econômicos permite estabelecer o enquadramento em uma nova proposição de zonas ecológico-econômicas (zee) fundamentais ao respectivo zoneamento. A partir destes resultados é possível subsidiar a tomada de decisões dos administradores públicos, do ponto de vista sócio-econômico e ambiental.

Entretanto, afirma Barth *et al.*(1987), historicamente no Brasil, o planejamento e gestão dos recursos hídricos têm se desenvolvido de maneira fragmentada, caracterizando-se por ações não coordenadas, em que organismos setoriais têm responsabilidades sobrepostas e/ou conflitantes entre si. Um exemplo deste uso fragmentado verifica-se no setor elétrico nacional, o qual manteve por muitas décadas a centralização normativa e o planejamento dos recursos hídricos no país. As decisões de planejamento neste setor foram direcionadas para as grandes obras hidráulicas, as quais que definiram a matriz energética do país nas décadas de 1960 e 1970, isto através de critérios exclusivamente econômicos em detrimento de análises sócio-ambientais.

Neste cenário, a principal questão a resolver é o atendimento de demandas para finalidades múltiplas, evitando-se os conflitos potenciais e alocando-se equitativamente os custos envolvidos, bem como identificando-se as capacidades distintas de amortizar os investimentos necessários para estas obras de aproveitamento múltiplo. Traduzir em termos monetários o valor da produção da energia e de alimentos, bem como a segurança pública resultante das obras de combate às inundações, de forma a torná-los comparáveis, depende de hipóteses mais abrangentes que a simples ótica econômica pode oferecer. Portanto, é necessário romper as resistências fundamentadas no modo de conhecimento dominante, que por conta da tradição, insiste na departamentalização do pensamento científico em vários

“campos” específicos – econômico, social ou natural, bem como do predomínio inegável da “ótica econômica” sobre as demais “dimensões” de análise do problemas (Barth *et al.*, 1987),

Contribuem para amenizar esta visão segmentada e conservadora, a evolução institucional e legal dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, ocorrida nas últimas décadas, bem como as novas metodologias que procuram interpretar o comportamento hidrológico de uma forma mais integrada. Verifica-se, portanto, a inclusão progressiva do conceito de **análise integrada e ambientalista** nos trabalhos de planejamento e gestão. Isto remete o tema para a avaliação simultânea das disponibilidades hídricas, para o que o geoprocessamento se constitui uma ferramenta extremamente útil.

4.2. Disponibilidade Hídrica Superficial

A disponibilidade hídrica superficial, traduzida em déficits ou excedentes hídricos, é obtida através do balanço hídrico de uma região, bacia ou sub-bacia hidrográfica. Segundo Tucci *et al.* (1993) o balanço hídrico é definido como a avaliação dos processos hidroclimáticos de precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e subterrâneo. Outros autores como Kerkides *et al.* (1996) definem balanço hídrico como o balanço de entrada e saída de água de precipitação e saída de água por evapotranspiração e recarga subterrânea.

Uma formulação geral para o balanço hídrico, proposta por Barth *et al.* (1987) é a seguinte:

$$P - ETP = D + ou - S \quad (4.1)$$

onde;

ETP: a evapotranspiração (mm)

P: a precipitação total durante o período (mm);

D: o deflúvio (*run off*) para o período (mm) e

S: o incremento de armazenamento superficial e subsuperficial, determinado pelas oscilações do lençol freático (mm).

Segundo UNESCO (1982) *apud* Tucci *et al.* (1993) o balanço hídrico classifica-se como superficial, aerológico, isotópico, balanços energéticos, balanços hídricos de superfície líquida e modelos matemáticos, os quais são a seguir descritos sinteticamente:

- O balanço hídrico superficial utiliza a equação da continuidade composta dos termos de precipitação, evapotranspiração e escoamento, que é a equação 4.1 anteriormente citada;

- O balanço hídrico aerológico envolve o uso de informações climatológicas para estabelecer a conservação de massa na atmosfera, calculando a diferença efetiva entre a precipitação e a evaporação;
- O balanço hídrico isotópico utiliza as propriedades químicas da água que possui um tipo específico de isótopo para identificar a fonte da água e quantificar seus componentes;
- O balanço energético estabelece o balanço de calor na superfície de interesse, para cálculo da evapotranspiração;
- O balanço hídrico de superfície líquida se refere principalmente a lagos, reservatórios e trechos dos rios
- Os modelos matemáticos representam os principais fenômenos envolvidos e procuram estimar no tempo e no espaço esses componentes através de diferentes equações de continuidade integradas.

É importante considerar a amplitude que se deseja alcançar como a elaboração de um balanço hídrico. A bacia hidrográfica pode ser avaliada como um todo ou quanto a um sistema em particular (Tucci *et al.*, 1993). Isto, obviamente, reflete-se na escala de trabalho, o que tem implicações diretas nas técnicas de geoprocessamento. Não apenas a escala, mas também, os dados e o seu grau de detalhamento devem ser *a priori* definidos.

Ainda, o balanço hídrico pode ser estruturado para envolver processos específicos de sistemas particulares, denominados balanço de detalhe ou, então, concebidos para uma macroanálise dos diversos sistemas. Um exemplo de balanço de detalhe são os balanços hídricos agrícolas, realizados para perímetros de irrigação ou de um reservatório ou de um lago. Em cada caso existe um objetivo específico; no caso da irrigação é o de quantificar o volume a ser irrigado, no reservatório, entre outros, é o de atender à diferentes demandas, variações de níveis para recreação, navegação e meio ambiente. Balanços globais envolvem a bacia como um todo e são utilizados como subsídios na etapa de planejamento dos usos hídricos em bacias hidrográficas. O objetivo deste balanço é conhecer as disponibilidades

hídricas que atendam às demandas existentes dentro de condições sustentáveis, como é o caso do presente estudo.

Mota (1929) aborda a questão do balanço hídrico no solo. Define o autor que balanço hídrico no solo pode ser estabelecido pela seguinte equação:

$$\text{Precipitação} + \text{Água de irrigação} = \text{Mudanças de umidade do solo} + \text{Evapotranspiração} + \text{Percolação} + \text{Deflúvio Superficial} \quad (4.2)$$

Em suas considerações sobre o balanço hídrico do solo afirma que se a capacidade de armazenamento de umidade em um solo é conhecida, a equação de balanço de água pode ser resolvida pela comparação da precipitação e de água de irrigação com a razão da evapotranspiração.

Na determinação do balanço hídrico é importante avaliar-se os fatores que originam as perdas no processo.

As primeiras tentativas de descrição do fenômeno da evapotranspiração surgiram com a lei de transporte de massa, a qual foi enunciada por Dalton em 1802. As pesquisas sobre este tema, cuja importância é vital para o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos, intensificaram-se com os experimentos desenvolvidos por Thornthwaite (1948), Penman (1948), Turc (1961), Jensen e Haise (1963), Penman-Monteith (1965), Priestley e Taylor (1972), Jensen (1974), Hargreaves e Samani (1985).

Santos (1968) elege a evapotranspiração como o principal fator de perda no balanço hídrico, seguida pela interceptação. Afirma o autor, que ordinariamente essas perdas podem ser medidas ou estimadas mais facilmente em conjunto do que separadamente, sendo expressas pela seguinte equação:

$$L = P - Q + ou - S \quad (4.3)$$

Onde,

L é o total das perdas para o período

P a precipitação total durante o período

Q o deflúvio (*run off*) e,

S o incremento de armazenamento superficial e subsuperficial durante o período.

Estas equações, nada mais são do que a equação da continuidade, colocando em evidência as variáveis hidrológicas mais importantes.

Nas perdas por evapotranspiração no sistema solo-água-plantas, os vegetais constituem vias intermediárias de circulação d'água entre o solo e a atmosfera (Rivas 2004). Na fase final de circulação da água no tecido vegetal, as plantas perdem a água na forma de vapor, caracterizando assim a transpiração vegetal. A água retirada do solo e absorvida pelas plantas, atua como um meio de transporte para os nutrientes, sendo a mesma quase totalmente eliminada pelo processo de transpiração vegetal. Gases e vapor d'água são liberados pelos estômatos localizados nas folhas das plantas, servindo este processo para eliminar calor da massa vegetal (Alen *et al*, 1998).

Os processos de evaporação e transpiração dependem do clima, do conteúdo hídrico dos solos, bem como das características destes últimos e da cobertura vegetal. Na fase inicial de desenvolvimento da vegetação a evaporação da água do solo predomina sobre a transpiração, enquanto, na medida que a vegetação se desenvolve, a transpiração vegetal aumenta paulatinamente e passa a prevalecer sobre a evaporação (De Juan e Martín de Santa Olalla, 1993).

O conceito de ETP é usual em estudos climáticos de escala mundial, nos quais a sua diferença em relação a precipitação ($P - ETP$) tem sido utilizada como indicador de aridez (Rivas, 2004).

Com a finalidade de reduzir ambigüidades de interpretação, uma vez que o conceito de ETP é bastante amplo, surgiu o conceito de ET_o , que é a evapotranspiração de um cultivo de referência. Os conceitos de ET_o e ETP são similares, sendo apresentados como equivalentes

por Mckenney e Rosenberg, (1993), entretanto, estes diferenciam-se pela aplicação da ET_o a um cultivo específico, característico da definição de ET_o , enquanto o conceito de ETP tem aplicação genérica. (Burman e Pochop, 1994, Sánchez, 1992).

Ainda, há alguma controvérsia com relação ao estabelecimento do cultivo de referência, utilizando-se gramíneas por convenção (Doorenbos e Pruitt, 1977). Entretanto, outros autores propõem a utilização de alfafa (Jensen *et al.*, 1990).

A ET_o permite o estabelecimento da evapotranspiração de distintos cultivos (ET_c), o que é obtido pela aplicação de um coeficiente adimensional (k_c), específico para cada cultivo, conforme proposto por (Alen *et al.*, 1998).

$$ET_c = k_c \cdot ET_o \quad (4.4)$$

O coeficiente de cultivo k_c , determinado experimentalmente, expressa a relação entre a evapotranspiração do cultivo em estudo e a do cultivo estabelecido como referência. Para a determinação do coeficiente k_c são consideradas características climáticas e do cultivo, a disponibilidade hídrica e o manejo agrícola. (Doorenbos e Pruit, 1977, Hupet e Vanclooster, 2001).

A evapotranspiração pode ser tanto medida direta ou indiretamente, como estimada de formas diversas. Os lisímetros são a única forma de medida direta da evapotranspiração real ET_r , os quais são amplamente usados para validar modelos de estimativa deste fenômeno (Fernández, 1995). A utilização de lisímetros apresenta grandes dificuldades de técnicas e altos custos de implementação, o que muitas vezes os torna inviáveis. Como o valor obtido pelo lisímetro é de caráter pontual, seu uso é bastante restrito, em trabalhos regionais de estimativa de ET_r onde normalmente ocorrem diferentes coberturas vegetais.

Nas medidas indiretas desta variável destaca-se o tanque evaporimétrico e a sonda capacitiva.

Os tanques evaporimétricos não proporcionam medidas diretas da evapotranspiração, uma vez que a informação obtida é a quantidade de água evaporada por uma lâmina de água livre. Para que sejam obtidos índices de evapotranspiração, são necessários ajustes por meio

de equações que consideram a velocidade do vento e umidade relativa do ar entre outras variáveis.

O modelo de tanque evaporimétrico mais usado é o chamado tanque classe A, o qual consiste em um recipiente circular, construído normalmente de aço galvanizado, com 1,21m de diâmetro e 25,4cm de profundidade. Deve ser instalado sobre um estrado de madeira a 10 cm de altura e cheio de água, de forma que o nível fique a 5 cm da borda superior e a oscilação máxima do nível dentro da tanque deve ser de 2,5cm. Os tanques evaporimétricos apresentam como deficiência o fato de necessitarem de ajustes das medidas, pois as mesmas referem-se à evaporação de uma lamina d'água, por isso enquanto nos cultivos a evapotranspiração durante a noite é mínima o tanque pode estar evaporando devido a energia armazenada durante o dia. Na bacia do arroio Capané, os valores obtidos pelo tanque apresentaram-se mais baixos comparados como os métodos indiretos. Entretanto, quando utilizados na equação de balanço hídrico, estes valores não indicam déficit hídrico na bacia. Tais valores contrariam a realidade, já que para a área da lavoura de arroz (baixo vale do Capané) tais déficits são conhecidos e foram avaliados pelo Instituto Riograndense do Arroz no perímetro irrigado da barragem do Capané.

As sondas capacitivas permitem determinar a quantidade de água perdida pelo solo. Esta técnica apresenta como deficiência o fato da água não ser perdida somente por evapotranspiração, mas também por infiltração (Weinzettel e Usunoff, 2001).

Face aos poucos dados disponíveis na região, com vistas a determinação da evapotranspiração na bacia do arroio Capané, foram utilizados os métodos indiretos para sua estimativa a partir da temperatura. Embora de baixa confiabilidade, os métodos indiretos são úteis quando não se dispõe de outros dados meteorológicos (McKenney e Rosenberg, 1993). Este tipo de estimativa considera a radiação solar incidente, normalmente através de índices de insolação ou temperatura do ar, ou seja a estimativa é feita para coordenadas geográficas e períodos do ano. Trata-se de uma estimativa relativamente simples, uma vez que necessita apenas a temperatura média do ar no período considerado, podendo-se também utilizar as temperaturas máximas e mínimas.

Objetivando estabelecer regimes de excesso ou escassez de água ao longo de um ano, Charles W. Thornthwaite introduziu em 1948 o conceito de evapotranspiração potencial

(ETP). Este pesquisador, propôs a execução de um balanço hídrico a partir das diferenças entre precipitação e evapotranspiração. O modelo proposto para a evapotranspiração potencial relaciona resultados experimentais com temperaturas médias mensais, resultando na equação apresentada por (Sánchez, 1992).

$$etp = 16 \times \left(\frac{10 \times Tm}{I} \right)^a \quad (4.5)$$

onde,

etp = evapotranspiração potencial teórica, correspondente a um dia com 12 horas de luz, expressa em $mm/mês$;

Tm = temperatura média mensal, expressa em $^{\circ}C$;

I = índice de calor anual calculado a partir da equação XX, adimensional;e

a = fator obtido a partir do índice de calor (I) com a equação adimensional a abaixo:

$$I = \sum_{i=1}^{i=12} \left(\frac{Tm_i}{5} \right)^{1,51} \quad (4.6)$$

onde:

Tm_i = temperatura média do mês expressa em $^{\circ}C$.

$$a = 0,492 + 0,0179 \times I - 0,0000771 \times I^2 + 0,000000675 \times I^3 \quad (4.7)$$

Tendo em vista que a relação empírica encontrada por Thornthwaite está referida a um mês de 30 dias e 12 horas diárias de sol, torna-se necessário ajustar a ETP para o número de dias do mês e as horas diárias de sol na latitude considerada. Para isto utiliza-se a equação.

$$ETP = etp \times K \quad (4.8)$$

onde:

ETP = evapotranspiração potencial na latitude considerada, expressa em $mm/mês$;

etp = evapotranspiração potencial teórica correspondente a um mês de 30 dias com 12 horas de sol por dia, expressa em $mm/mês$; e

K = fator de correção em função da latitude considerada, adimensional.

O modelo de Thornthwaite, uma vez que foi validado com dados de lisímetros instalados em latitudes médias e clima temperado, onde são abundantes as chuvas de verão, não se adapta às regiões com clima árido ou semiárido. Esta é uma das principais limitações deste modelo (Sánchez, 1999).

Outros métodos baseados na temperatura destacam-se na literatura sobre o assunto. O modelo desenvolvido por Blaney e Criddle em 1950, permite estimar a quantidade de água necessária para irrigação de determinados cultivos, conceito que os autores denominam como uso consuntivo (U) (Martim, 1983) este também é considerado equivalente a evapotranspiração potencial (Bruman e Pochop, 1994, Fernandes 1995).

Este modelo fundamenta-se no cálculo da água necessária para um determinado cultivo, a partir da temperatura do ar, das horas de luz solar e da cobertura vegetal, de acordo com Sánchez, (1999) o uso consuntivo pode ser obtido a través da equação:

$$U = K \times P \times (0,457 \times Tm + 8,13) \quad (4.9)$$

onde:

U = uso consuntivo, expresso em mm/mes ;

K = coeficiente empírico, adimensional;

P = porcentagem mensal de horas de luz em relação ao ano; e

Tm = temperatura média do ar, expressa em $^{\circ}C$.

O coeficiente K é específico para cada cultivo e depende somente da fase de desenvolvimento do mesmo.

Este método pode ser aplicado a períodos mensais e apresenta bons resultados para regiões com clima semi-árido, condições nas quais o modelo foi desenvolvido. Com ajuste do coeficiente K é possível aplicar o mesmo a outras áreas (García e González, 1964).

As aplicações de sensoriamento remoto, com uso de imagens termais orbitais, permitem a tomada periódica de informações contínuas no espaço geográfico da sub-bacia. Isto aumenta a capacidade de estimativa da ETP a partir de mapas de temperatura da sub-bacia.

4.3. Disponibilidade Hídrica Subterrânea

A disponibilidade hídrica subterrânea, normalmente denominada como potencialidade, refere-se à quantidade de água que pode ser extraída anualmente de forma sustentável, ou seja, sem danos irreversíveis ou esgotamento progressivo do sistema aquífero (Feitosa *et al.*, 2000).

Estas reservas subterrâneas, dado o cenário atual de uso dos recursos hídricos, com predominância dos recursos superficiais e sub-utilização das reservas subterrâneas, surgem como alternativa de mitigação do quadro de escassez crescente.

Este fato é reconhecido por Feitosa *et al.* (2000), o qual considera fundamental o uso criterioso da água subterrânea para o desenvolvimento social, principalmente em áreas de escassez periódica dos recursos hídricos. Os principais aspectos citados por este autor são a necessidade de avaliação adequada dos recursos, sua proteção ambiental e o planejamento integrado do uso da água subterrânea nos sistemas de abastecimento urbano-industrial e/ou irrigação.

Para avaliação dos recursos subterrâneos são utilizados conceitos como:

- Porosidade Efetiva (n_e)

Porosidade efetiva é definida como sendo a quantidade de água efetivamente drenada por gravidade de um volume unitário saturado do aquífero, ou seja, a razão entre o volume de água efetivamente liberado de uma amostra de rocha porosa saturada e o volume total (Feitosa *et al.*, 2000)

- Reserva Reguladora (Rr):

Representa a quantidade de água livre armazenada pelo terreno aquífero ao curso de uma recarga importante por alimentação natural. Estão submetidas aos efeitos do ritmo sazonal ou interanual das precipitações (Feitosa *et al.*, 2000).

- Reservas Permanentes (Rp)

Também chamadas seculares ou profundas, constituem as águas acumuladas que não variam em função das precipitações anuais e permitem uma exploração mais importante, regularizada em período de vários anos (Feitosa *et al.*, 2000)

- Reserva Total (Rt)

As reservas totais ou naturais são representadas pelo conjunto das reservas permanentes com as reservas reguladoras consistindo, assim, a totalidade de água existente em um aquífero ou sistema aquífero (Feitosa *et al.*, 2000).

- Potencialidade

É toda a água que pode ser extraída do aquífero sem prejuízo do mesmo, ou seja, toda a reserva reguladora representada pela recarga anual do aquífero, mais uma parcela (0,6%) das reservas permanentes o que representa, no período de 50 anos, um percentual de 30% dessas reservas (Feitosa *et al.*, 2000).

A avaliação da disponibilidade hídrica subterrânea é realizada a partir da estimativa do volume das reservas permanentes e reservas reguladoras, considerando-se a geometria e a porosidade efetiva do sistema aquífero. O volume disponível é representado pelo volume das reservas reguladoras acrescidas de um percentual das reservas permanentes.

Em muitos casos, a avaliação das reservas não é suficiente para determinação da disponibilidade hídrica, sendo necessários modelos matemáticos que permitam entender o fluxo e a dinâmica sazonal da água subterrânea. Neste sentido, Filho, J.M (2000) cita que a compreensão do ciclo hidrológico, das variáveis integrantes deste fenômeno e da elaboração de modelos matemáticos que representem seu comportamento, é fundamental para avaliação dos recursos hídricos subterrâneos.

O conhecimento hidrodinâmico dos sistemas de fluxo teve um significativo avanço durante a década de 1960. Conforme Feitosa *et al.* (2000), nesse período foram estabelecendo-se as relações entre águas subterrâneas e superficiais e as bases para a gestão da água subterrânea. A partir dos anos 80 a preocupação foi quanto à avaliação quantitativa. As atenções voltaram-se para a contaminação dos aquíferos por resíduos industriais, urbanos, derramamentos de petróleo e atividades agrícolas.

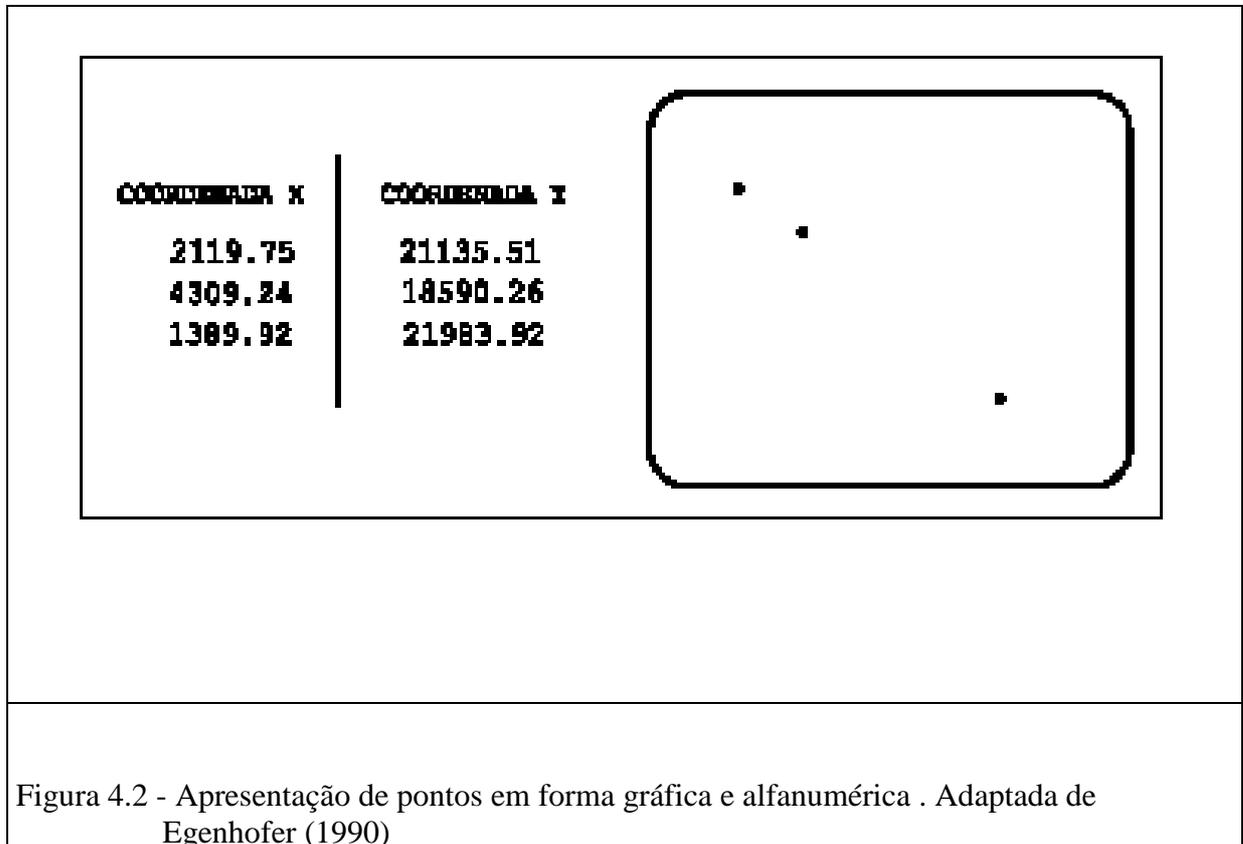
4.4. Possibilidades e vantagens do uso do geoprocessamento

O grande desafio dos técnicos que atuam na área de recursos hídricos é a adoção de modelos que representem da melhor forma possível o comportamento do ciclo hidrológico. A ciência hidrológica, responsável pela quantificação dos recursos hídricos, evoluiu de um estágio preponderantemente descritivo e qualitativo para uma metodologia matemática e estatística, com significativas melhoras no tratamento das informações e na apresentação dos resultados. Tal evolução culminou com os métodos tradicionais de determinação dos parâmetros hidrológicos os quais se fundamentam na análise de dados numéricos médios extrapolados para todos os pontos da bacia.

À quantificação destas variáveis através de análises alfanuméricas, sem correlação gráfica espacial, denomina-se aqui método convencional. Tais análises podem ser realizadas de forma simplista, através de valores médios num período longo de tempo, como um ano ou uma seqüência de anos, ou através de uma análise mais detalhada, em intervalos de tempo menores, com a utilização de modelos matemáticos hidrológicos (Tucci *et al.*, 1993). A principal limitação deste método está em sua carência de informação espacial. A capacidade para apresentar dados espaciais graficamente, marca uma diferença óbvia entre os sistemas de informação espacial e convencional. Os dados médios de uma bacia ou sub-bacia hidrográfica, apresentados de forma alfanumérica, são mais limitados no que tange à avaliação de sua distribuição e tendências.

Analisar e entender um dado espacial graficamente é mais fácil que analisar uma representação léxica que contenha os mesmos dados (Egenhofer, 1990). Através de um gráfico, observa-se que pode-se decidir facilmente se duas linhas se interceptam, ou qual ponto encontra-se mais próximo de uma linha. No exemplo da Figura 4.2, o gráfico

apresentado revela que um ponto está entre dois outros, enquanto somente as coordenadas desses pontos não revelam nada de imediato, quanto ao posicionamento dos mesmos.



O mesmo ocorre com os dados tabulares do método convencional. Além disso, os resultados obtidos pelo método convencional, por se tratarem de valores médios extrapolados para toda a área de análise, apresentam resultados com valores consideravelmente superiores aos valores geo-espacializados.

Na perspectiva moderna de gestão de uso da água, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento. Para isto , análise integrada *pixel.a pixel* (Figura 4.3) em sistemas de informação geográfica – SIG é bastante adequada, com significativas vantagens sobre os métodos convencionais.

Sob o ponto de vista tecnológico, o SIG pode ser definido como um conjunto integrado de hardware e software para a aquisição, armazenamento, estruturação, manipulação, análise e exibição gráfica de dados espacialmente referenciados pelas coordenadas geográficas

(Kimerling, 2002). Em um SIG a apresentação de dados tem papel relevante na extração de informações. Ela é usada para visualizar o problema, possibilitando observar, manipular e estudar os relacionamentos geográficos envolvidos, e também pode apresentar alternativas à solução do problema considerado (Egenhofer, 1990).

Embora sejam inquestionáveis as vantagens e a utilidade do SIG como ferramenta para planejamentos ambientais, é importante reconhecer que também ocorrem erros de várias origens na interação do SIG com o sistema de planejamento formulado. Santos *et al.* (1997) abordam as vantagens e as dificuldades resultantes no uso do SIG em diferentes fases do planejamento ambiental e apontam que os principais problemas estão ligados à formulação do banco de dados, à tecnologia selecionada e à experiência do operador do software na manipulação e interpretação dos resultados do sistema adotado. A eficácia desta ferramenta na caracterização e entendimento da organização do espaço, como base para o estabelecimento das bases para ações e estudos futuros, passa pela adequada organização e consolidação de um banco de dados e escolha de bases cartográficas em escalas compatíveis com o comportamento espaço-temporal dos eventos analisados.

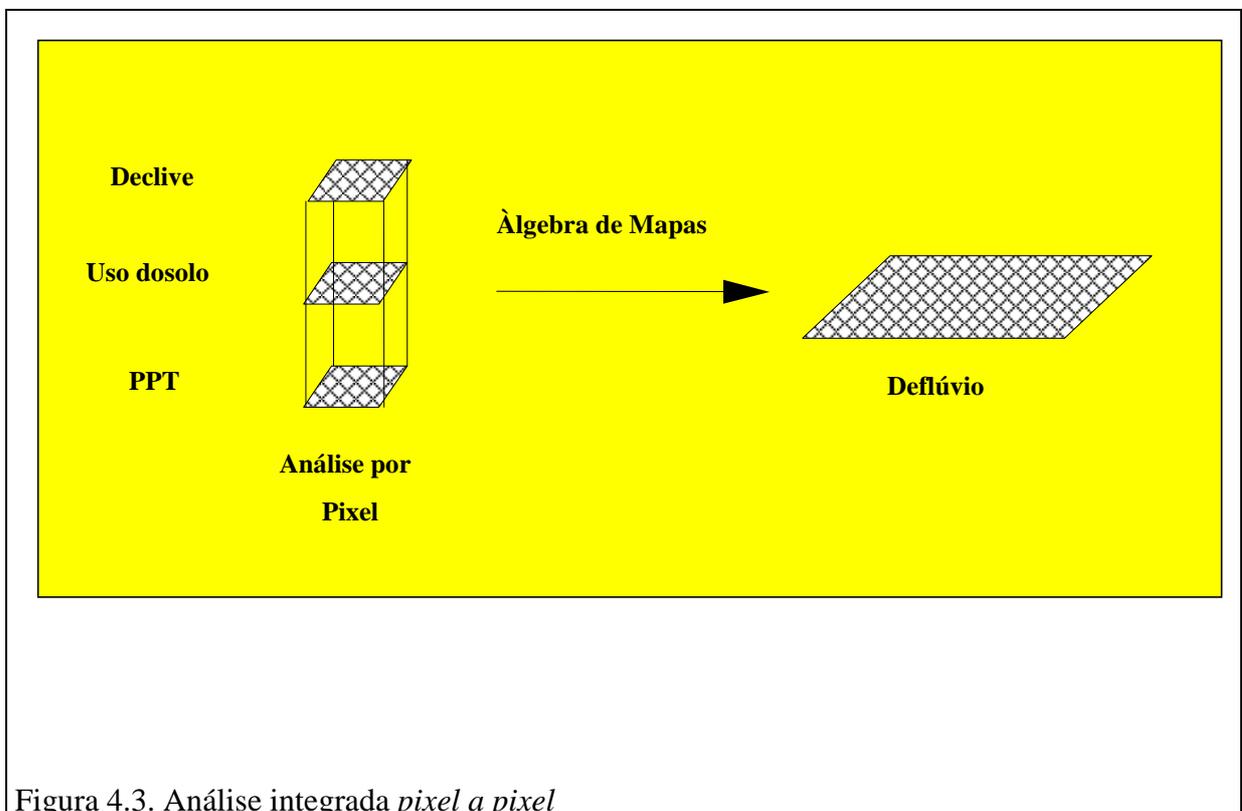


Figura 4.3. Análise integrada *pixel a pixel*

É então de vital importância que o planejador reconheça previamente os dados essenciais ou indicadores, bem como a disponibilidade deles, seja em quantidade ou qualidade, para depois avaliar, diante do quadro geral, a geração ou tipo de SIG a ser utilizado ou mesmo a real necessidade de sua utilização. O problema essencial é capturar no SIG, com o menor grau de reducionismo possível, a natureza dos padrões e processos do espaço. A solução tradicional será transpor os mapas da Cartografia Temática para o ambiente computacional. Se o conjunto de dados é insuficiente ou mal organizado, sem dúvida a modelagem e, por conseguinte, o planejamento serão inadequados. É necessário avaliar-se, previamente, o nível de tolerância assumido para a quantidade e qualidade dos dados armazenados.

Além dos cuidados referentes ao banco de dados, em planejamento ambiental é sempre necessário selecionar a escala de trabalho em função da área de estudo e dos objetivos propostos. Problemas locais referem-se em grande parte a questões pontuais, as quais abrangem pequenas faixas de terreno ou ecossistemas. Neste caso espera-se do planejamento também soluções pontuais, pormenorizadas, de manejo local e políticas administrativas, legais e econômicas simples.

Uma escala grande, como de 1:10.000 (1mm no mapa corresponde a 10m) é suficiente para representar o traçado urbano de ruas em uma cidade, porém é insuficiente caso a aplicação necessite manipular informações em nível de lotes urbanos. Em planejamentos de bacias hidrográficas, onde a manipulação dos dados restringe-se a grandes feições ou fenômenos geográficos, como por exemplo tipos de solos, limites municipais, limites de bacia, escalas pequenas (1:250.000 a 1:750.000) são perfeitamente aceitáveis.

Baker e Panciera (1990) *apud* Santos *et al.* (1997) destacam que a seleção do SIG deve considerar, pelo menos, o formato raster e/ou vetor, o conjunto de variáveis para incluir no modelo, o tamanho do *pixel* em formato *raster* ou resolução (escala de mapeamento) em formato vetor e da seleção dos modelos (algoritmos).

Na área de planejamento ambiental a necessidade de descrever a influência das áreas vizinhas, bem como de simplificar a descrição matemática do problema, levam à adoção do

formato *raster*. Modelos espaciais dinâmicos, que se preocupam com as interações entre sistemas, usam comumente dados “rasterizados”, pela sua eficiência no processamento matemático. O formato *raster* é mais atrativo que o formato vetorial pela facilidade de codificação dos dados, pela simplicidade de sobreposição múltipla de mapas e análise integrada dos mesmos *pixel a pixel*.

5. Localização e Caracterização da Área de Estudo

5.1. Situação e Localização

Localizada integralmente no município de Cachoeira do Sul, conforme pode ser visualizado na figura 5.1, a bacia do Arroio Capané está localizada entre as coordenadas UTM 6.670.000N a 6.720.500N e 325.000E a 302.000E fazendo divisa ao Sul com a o município de Encruzilhada do Sul e ao Norte com o Rio Jacuí. A Leste limita-se com a BR-153 e a Oeste com a bacia do Arroio Irapuá.

O acesso à área, partindo de Porto Alegre, é feito pela BR-290 no sentido oeste percorrendo cerca de 150km até o acesso ao município de Cachoeira do Sul e a norte pela BR-153, onde as estradas vicinais dão acesso à parte norte da área. Para ter acesso a porção sul da área é utilizada a estrada vicinal localizada a cerca de 0,5km a oeste da entrada para a BR-153.

5.2. Caracterização da Área

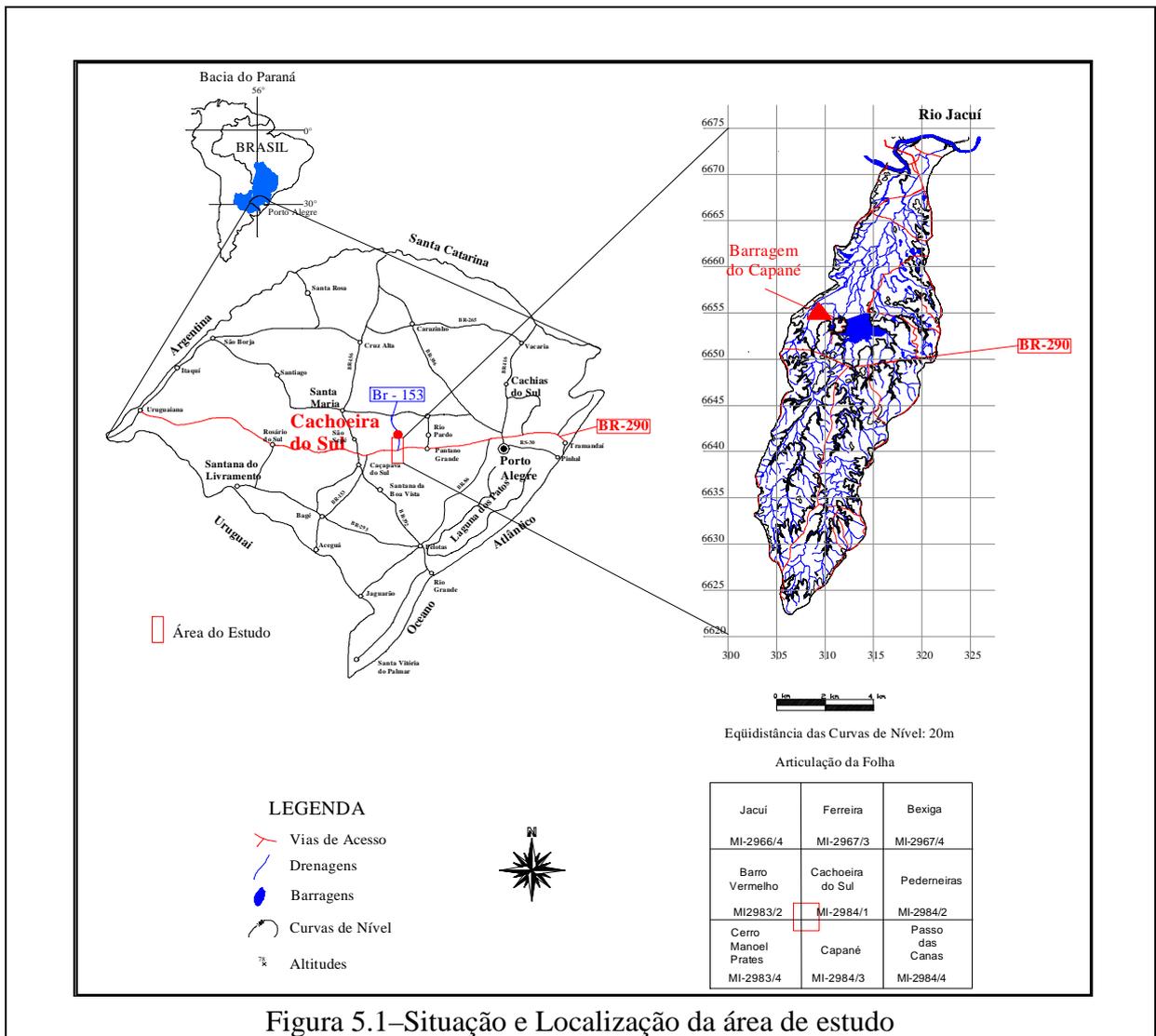
5.2.1. Clima

O clima é classificado como temperado chuvoso e quente tipo Cfa, segundo classificação de Köppen, com temperaturas médias mínimas anuais de 13,5 °C e máximas de 25,5 °C com variações nos meses mais frios entre 8,6 °C e 18,6 °C e os meses mais quentes superior a 23°C.

5.2.2. Pluviometria

A região não apresenta um período característico de alta pluviosidade em contraste com um de baixa, mas sim, valores que diferem pouco do

módulo mensal, atingindo maiores valores no inverno. A precipitação média anual é de 1594 mm com as maiores precipitações nos meses de maio e setembro. Pode ocorrer déficit hídrico para as culturas principalmente nos meses de novembro a março.



5.2.3. Hidrografia

A bacia apresenta uma forma alongada N-S, com declives mais acentuados na porção sul. Conforme pode ser observado na figura 5.2, os principais cursos de água integrantes desta bacia são os arroios Capané e Capanézinho, que drenam uma área de 487,93 km². A orientação da drenagem é condicionada pelas falhas e fraturas predominantemente orientadas segundo direções NE e NW, controle estrutural que faz com que alguns trechos do arroio sejam desviados bruscamente.

O regime hidráulico destes arroios é fortemente influenciado pelo sistema operativo da barragem do Capané destinado ao aproveitamento agrícola. As margens baixas e planas dos arroios representam as acumulações fluviais e apresentam áreas brejosas, sujeitas a inundações periódicas, correspondendo às várzeas planas ou levemente inclinadas.

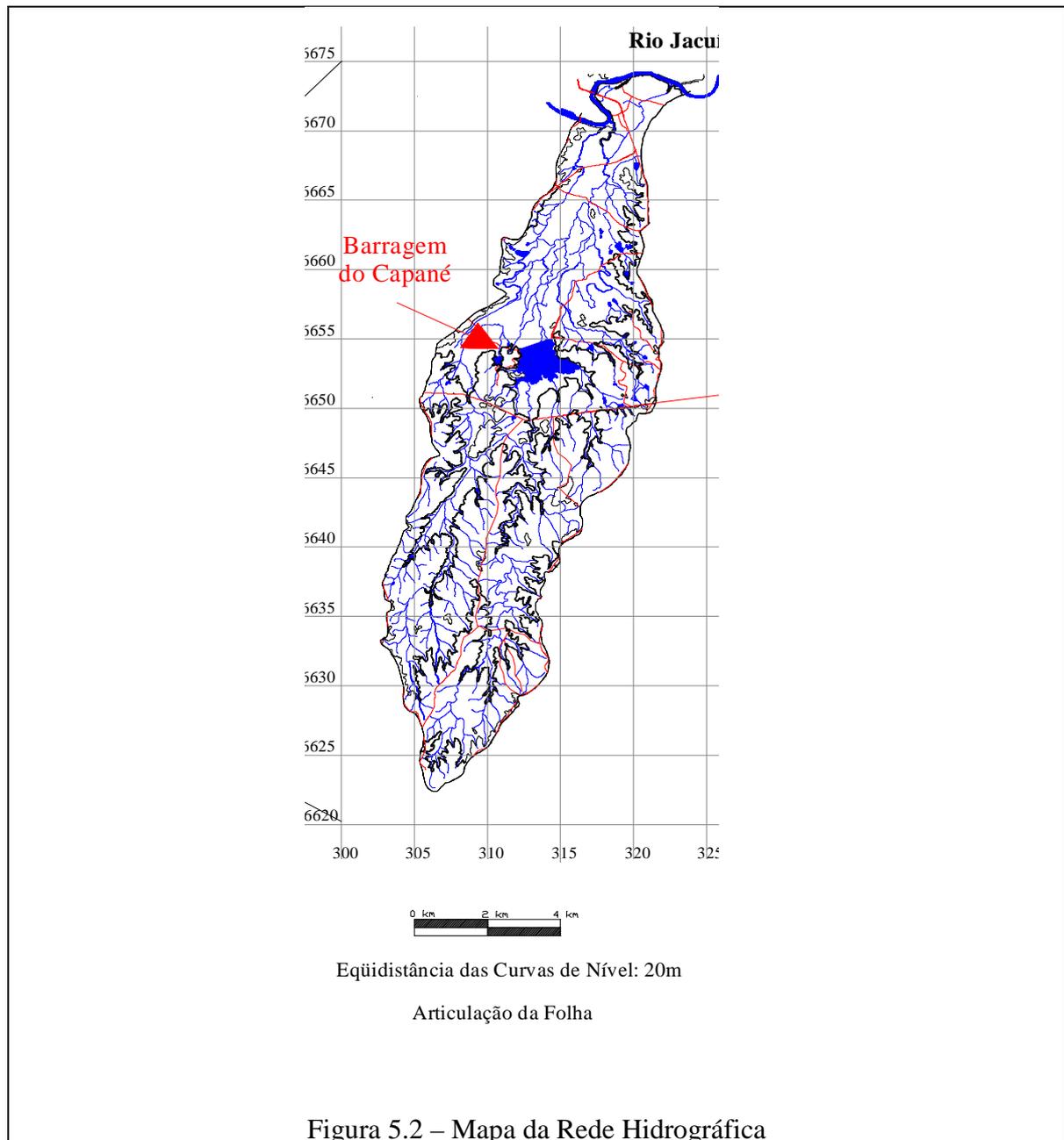


Figura 5.2 – Mapa da Rede Hidrográfica

5.2.4. Geologia e Geomorfologia

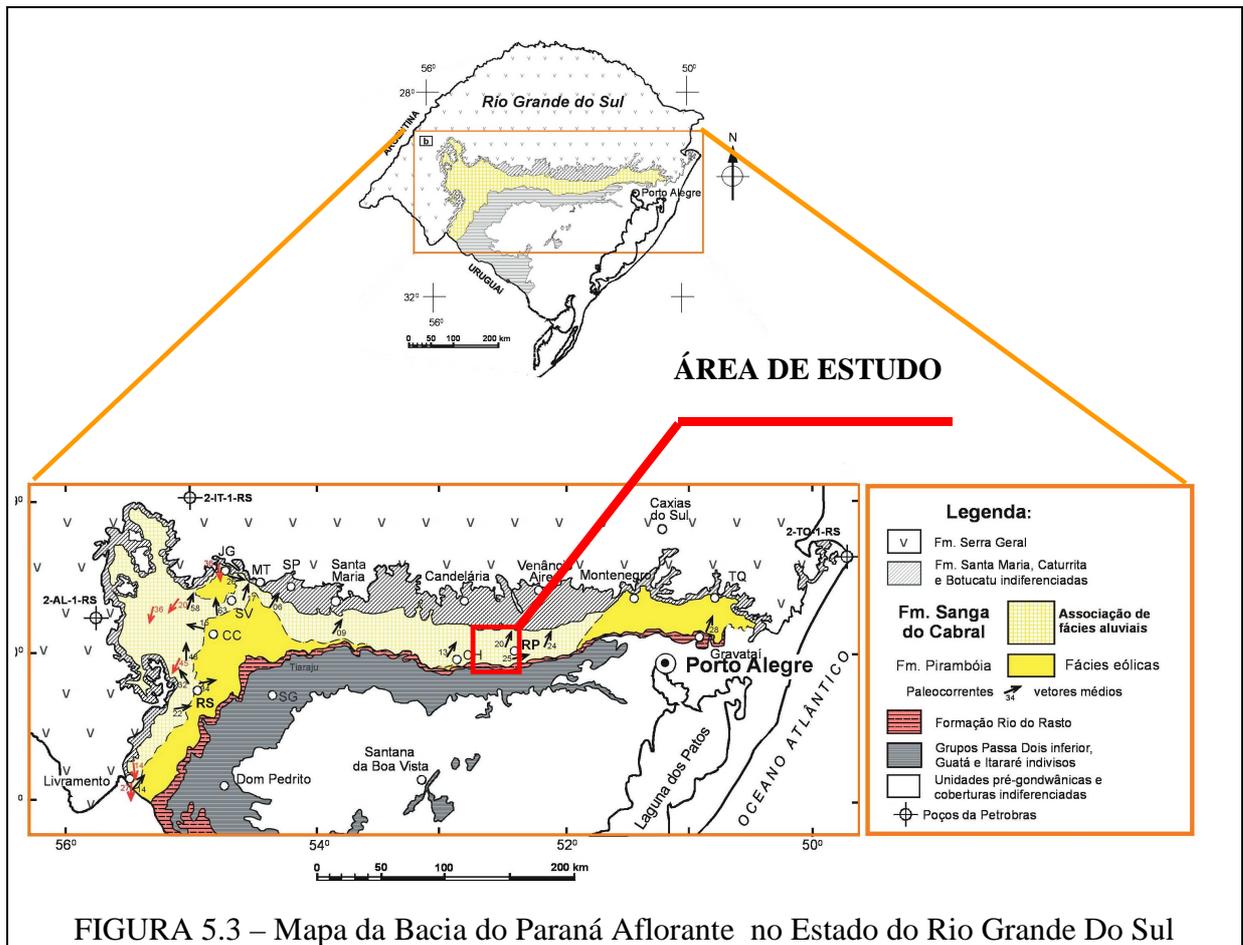
5.2.4.1. Geologia Regional

A área de estudo está localizada predominantemente na Bacia do Paraná (figura 5.3) que abriga rochas de idades do Neo-Ordoviciano ao Neocretáceo. Constitui-se esta região, sem dúvida, a maior província hidrogeológica do Brasil.

A sua importância ao abastecimento hídrico, deve-se tanto a sua aptidão para armazenar e liberar grandes quantidades de água potável, com reservas estimadas em 50.400 km³ com pelo fato de se encontrar em regiões bastante povoadas e economicamente desenvolvidas do país.

Localizada no Centro-Leste da América do Sul, a Bacia do Paraná possui aproximadamente 1.600.000 km² dos quais 1.000.000 km² em território brasileiro, com uma espessura máxima de 7.825m. Trata-se de uma Bacia Intracratônica de forma elíptica, com eixo maior de direção NE-SW, coincidindo, aproximadamente, com o curso atual do Rio Paraná. São rochas que datam desde o Siluriano até o Cretáceo Superior, sendo a seqüência sedimentar pouco perturbada tectonicamente, apresentando fracos mergulhos em direção ao centro da Bacia e falhas do tipo normal, as quais podem ter servido como canais para a extrusão das lavas da Formação Serra Geral.

Ocupando uma pequena porção do extremo sul da bacia, está a província hidrogeológica do Escudo Meridional. Esta caracteriza-se por apresentar aquíferos restritos às zonas de fraturas das rochas cristalinas Arqueanas e Proterozóicas,



5.2.4.2. Estratigrafia Regional

Na porção aflorante da Bacia do Paraná, na bacia hidrográfica do arroio Capané, destacam-se as rochas dos Grupos Guatá, Passa Dois, Formação Rio do Rasto e Grupo Rosário Sul.

O Grupo Guatá, de idade Permiana, representando a quase totalidade das rochas aflorantes, está constituído pelas Formações Rio Bonito e Palermo. A Formação Rio Bonito é caracterizada por arcóseos de granulação grossa a conglomerática, paraconglomerados com matriz pelítica muito carbonosa, siltitos, siltitos carbonosos, carvão e arenitos quartzosos. A Formação Palermo é dominada por um intercalamento de pelitos/arenitos com lentes de arenitos quartzosos.

O Grupo Passa Dois, de idade Permiana, restrito à porção norte da bacia, está constituído pelas Formações Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto, sendo esta última a única

formação aflorante na área. A Formação Irati consiste em uma seqüência sedimentar pelítica, com níveis carbonáticos na porção superior. O contato entre a Formação Palermo e Irati é transicional. A Formação Estrada Nova é composta por uma seqüência de argilitos, folhelhos e siltitos, com pouca variação lateral e vertical, gradando no topo para arenitos muito finos com marcas de onda e flaser, intercalados a calcário. Seu contato inferior e superior é transicional.

A Formação Rio do Rasto consiste de rochas clásticas avermelhadas cuja porção inferior é composta por siltito e argilitos, com intercalações de arenitos finos, quartzosos e bem selecionados. No topo dominam arenitos finos a médios, com esparsas intercalações de argilitos e siltitos (Dessart, 2003).

O Grupo Rosário do Sul, de idade Triássico Inferior, apresenta-se aflorante apenas ao norte da bacia sendo, sendo representado na área pela Formação Sanga do Cabral constituída por uma seqüência arenítica, com intercalações conglomeráticas lenticulares de pequena expressão volumétrica, passando superiormente a siltito (Dessart, 2003).

5.2.4.3. Geologia Local

A Bacia Hidrográfica do Capané, conforme se observa no mapa geológico (figura 5.4), está constituída pelas seguintes unidades estratigráficas:

- Complexo Metamórfico Porongos (embasamento da bacia)

Está representado na área pela Unidade Metapelítica (associações de filitos, biotita-muscovita xisto, estaurolita-granada xisto e, em menor representabilidade, quartzitos, lentes de mármore e pequenos corpos de rochas ultramáficas), Metavulcânicas Intermediárias (metavulcânicas andesíticas a dacíticas associados a metavulcanoclasticas interdigitadas com cloritóides xisto e lentes de xisto grafitosos), Gnaisses Capané (ortognaisses róseos a cinza, granulometria fina, composição alcalina e com textura milonítica), Metavulcânicas Ácidas (com microporfiloclastos de quartzo e feldspato alcalino, associado à meta tufos e metaepiclásticas e com presença de *metacherts*) Metagranitóides (leucocráticos de coloração rosada, geralmente milonítica).

- Rochas sedimentares da Província do Paraná

Representadas na área pelas formações Rio Bonito, Palermo, Estrada Nova, Rio do Rasto e Sanga do Cabral.

- Formação Sanga do Cabral

Pertencente ao Grupo Rosário do Sul, compreende arenitos avermelhados finos a médios, com estratificação cruzada, plano-paralelas e cruzada acanalada. Também lentes de conglomerado intraformacionais.

- Formação Rio do Rasto

Integrante do Grupo Passa Dois, está representado por arenitos finos bem selecionados e lenticulares. Apresenta também argilitos e siltitos de coloração esverdeada, bordô ou avermelhada, com estratificação plano-paralela, cruzada acanalada, *climbing, wavy e linsen*.

- Formação Estrada Nova,

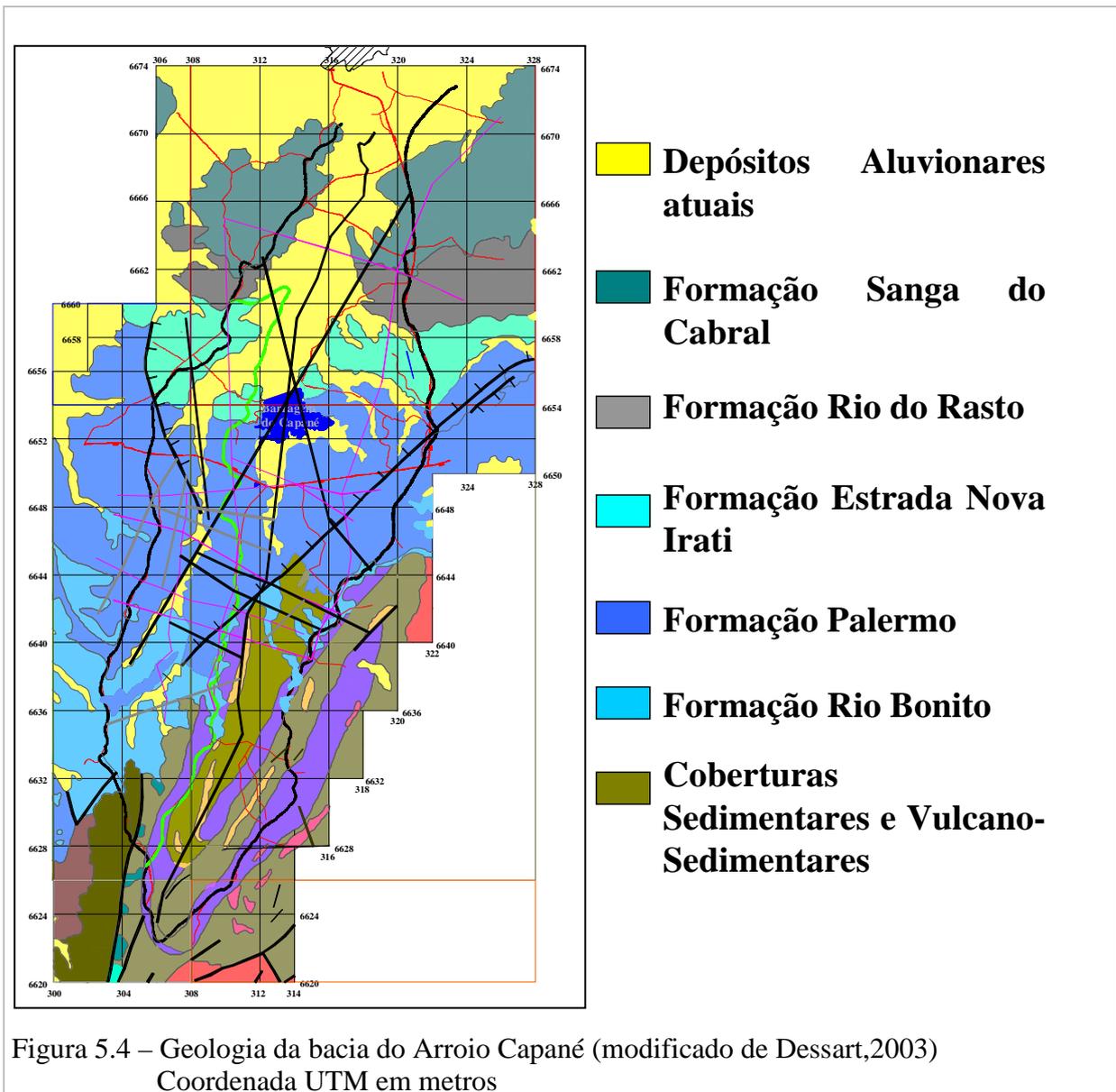
Integrante do Grupo Passa Dois, corresponde a argilitos, folhelhos e siltitos de coloração cinza, cinza escuro ou preto, com lentes arenosas calcíferas, com laminação ondulada *flaser* e gretas de contração.

- Formação Palermo,

Pertencente ao Grupo Guatá, apresenta siltitos de coloração cinza a amarelo esverdeado, nas porções alteradas, com arenitos finos na base e na porção superior, com cimento calcífero. bioturbação intensa, com lâminação cruzada, lenticular, ondulada, *wavy, linsen, flaser e drape*.

- Formação Rio Bonito

Integrantes do Grupo Guatá, compreende siltitos de coloração acinzentado e folhelhos escuros carbonosos, com leitos e camadas de carvão. Associações de arenitos cinza esbranquiçados, com granulometria fina a grossa, localmente conglomerático, com estratificação plano paralela e cruzada acanalada.



- Cobertura Cenozóica (Sedimentos Quaternários)

Composta por depósitos aluvionares de pelito, areia e cascalho, ao longo dos cursos d'água. Enquanto nas planícies aluvionares a granulometria corresponde a areias finas, silte e argilas orgânicas e cascalhos.

5.2.4.4. Contexto geológico estrutural da bacia

A Bacia Hidrográfica do Capané apresenta-se cortada por duas direções de fraturamento, NE e NW divididas em dois grupos: fraturas principais, condicionantes do relevo atual, apresentam as maiores extensões e cortam toda a área da bacia; e fraturas

secundárias, com menor extensão, geradas dos grandes falhamentos, caracterizando uma zona de influências das falhas principais.

5.2.5. Geomorfologia

A região da Bacia Hidrográfica do Capané está localizada na Depressão Central Gaúcha, região geomorfológica situada na porção central do Estado do Rio Grande do Sul e localizada nas terminações sul e sudeste do Domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares (IBGE, 1986). A Depressão Central Gaúcha apresenta-se limitada ao norte pelo Planalto das Araucárias, a sul pelo Planalto Sul Rio-Grandense, a oeste pelo Planalto da Campanha e a leste pela Planície Costeira Interna. As maiores altitudes estão entre 250 a 300m e um mínimo de aproximadamente 20m acima do nível do mar. Caracteriza-se pelo relevo homogêneo, em forma de coxilhas e com presença de morros testemunhos. A geomorfologia da bacia do arroio Capané apresenta a seguinte divisão hierarquizada em domínios, regiões e unidades, resumida no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Divisão hierárquica das unidades geomorfológicas (DRHS, 1999)

Domínios morfo-estruturais	Regiões geomorfológicas	Unidades geomorfológicas
Domínio dos embasamentos em estilos complexos	Planalto Sul-Rio-Grandense	Planaltos residuais Canguçu - Caçapava do Sul
		Planalto Rebaixado Marginal
Domínio das bacias e coberturas sedimentares	Depressão Central Gaúcha	Depressão do Rio Jacuí

5.2.6. Pedologia

As unidades encontradas na bacia, com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), são listados no Quadro 5.2, e o mapa destas unidades encontra-se apresentados na Figura 5.7.

Grande parte dos problemas dos solos está associada a sua fertilidade natural e aos processos erosivos, principalmente em sistemas de cultivo que utilizam baixo ou médio nível tecnológico. Um terceiro problema vem adicionar-se a estes quando trata-se de um nível tecnológico mais elevado, que é a pouca profundidade dos solos, restringindo a mecanização.

Os solos apresentam boa, regular ou restrita aptidão para lavouras, permitindo muitas vezes dois cultivos ao ano. Porém, em um baixo ou médio nível tecnológico aumentam as restrições para a produção sustentada, o que ocasiona uma redução da produtividade, ou um aumento dos insumos, significando uma margem menor de lucratividade. Isto deve ser considerado na tomada de decisão nos investimentos, principalmente quanto à decisão pela agricultura irrigada.

5.2.7. Vegetação

Os campos desta região, segundo RADAMBRASIL (1986), eram muito ricos em pastagens predominando o *Paspalum notatum* ocorrendo também faixas de floresta-de-galeria, capões arbóreos baixos e grupos de moitas, distribuídos de maneira irregular. A intensa urbanização e o uso do solo para atividades agropecuárias, descaracterizaram em muito o aspecto original da paisagem. Raros são atualmente os banhados, os quais foram drenados para dar lugar aos cultivos de arroz e *Eucaliptus sp.*

As formações florestais, paludosas e de terra firme, restringem-se às galerias do arroio Capané e seus tributários, sendo que, não raro, esses cursos d'água encontram-se inteiramente destituídos da vegetação ripária. Também, pequenos capões nativos alternam-se com monoculturas de eucaliptos na savana, que é extensivamente utilizada pelo gado bovino para pastagem.

Savanas-parque, com pequenos agrupamentos arbóreo-arbustivos e árvores isoladas, complementam a paisagem da região. Os arroios, devido à baixa inclinação do terreno, parecem experimentar constantes mudanças de curso, criando uma área paludosa, repleta de lagoas marginais em forma de meia lua e “S”.

Quadro 5.2 – Classificação Taxonômica das Unidades de Mapeamento do Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul(Edemar *et al.*,EMATER,2002).

1 - Solos c/ horizonte B textural e argila de atividade baixa (não hidromórfico)		
SÍMBOLO	UNIDADE DE MAPEAMENTO (Brasil,1973)	CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA
PVd3	Alto das Canas	Argissolo Vermelho distrófico
PVd1	Bom Retiro	Argissolo Vermelho distrófico arênico
PVd5	Rio Pardo	Argissolo Vermelho distrófico
2 – Solos c/ horizonte B textural e argila de atividade alta (hidromórficos)		
SÍMBOLO	UNIDADE DE MAPEAMENTO (Brasil,1973)	CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA
SXe1	São Gabriel	Planossolo Háptico eutrófico típico
APt2	Santa Maria	Alissolo Hipocrômico argilúvico típico
Tpo2	Pirai	Luvissolo Hipocrômico órtico típico
Sge1	Vacacaí	Planossolo Hidromórfico eutrófico
3 – Solos c/ horizonte B textural e argila de atividade baixa (hidromórficos)		
SÍMBOLO	UNIDADE DE MAPEAMENTO (Brasil,1973)	CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA
ACt	Ramos	Alissolo Crômico argilúvico típico
4 – Solos pouco desenvolvidos e argila de atividade alta (não hidromórficos)		
SÍMBOLO	UNIDADE DE MAPEAMENTO (Brasil,1973)	CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA
Rle3	Ibaré	Neossolo Litólico eutrófico típico
RLd4	Pinheiro Machado	Neossolo Litólico distrófico típico
5 - Associação De Solos		
SÍMBOLO	UNIDADE DE MAPEAMENTO (Brasil,1973)	CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA
TPo	Bexigoso	Luvissolo Hipocrômico órtico típico
RLd4	Pinheiro Machado	Neossolo Litólico distrófico típico
Rle3	Ibaré	Neossolo Litólico eutrófico típico
LVd1	Cerrito e afloramento de rochas	Latossolo Vermelho distrófico argilúvico
RLd2	Guaritas e afloramento de rochas	Neossolo Litólico distrófico típico
	Ibaré e afloramento de rochas	Solos litólicos eutróficos
RLd4	Pinheiro Machado e afloramento de rochas	Neossolo Litólico distrófico típico
RLd4	Pinheiro Machado	Neossolo Litólico distrófico típico

5.2.8. Usos da água na bacia

Os principais usos consuntivos (aqueles que importam em consumo/derivação da água) observados na bacia, são o abastecimento urbano (humano e industrial), dessedentação animal e irrigação, sendo esta última considerada a principal responsável pela demanda da região (DRHS,1999). O consumo estimado para a lavoura de arroz, considerando-se a área de uso potencial do solo na bacia em torno de 16.000 ha, é da ordem de 15.000 m³/ha resultando a vazão média específica de 2,0 l/s/ha.

Os principais usos não consuntivos (aqueles em que não há perda substancial entre o que é derivado e o que retorna ao manancial) referem-se, principalmente aos usos de navegação, pesca, banho e mineração de areia, juntamente com a vazão necessária para manter a integridade do ecossistema rio.

A operação da Barragem do Capané, localizada a jusante da BR-290 na porção sul da bacia, cujo fim é de reservação para irrigação do arroz (uso consuntivo) não constitui-se em conflito com outros usos não consuntivos na bacia. A operação com vistas a atender aos períodos de maior demanda (época do plantio e germinação do arroz) não resulta em flutuações significativas de níveis, o que, especialmente onde a vegetação ripária está removida total ou parcialmente, resulta em erosão das margens. Isto se torna bastante visível, através da conformação das barrancas em degraus.

5.2.9. Aspectos Sócio – Econômicos – Culturais

5.2.9.1. Aspectos Demográficos

O município de Cachoeira do Sul, com uma população total de 87.873 habitantes representa cerca de 1% da população estadual e 62% da população da microrregião – apresenta uma taxa de urbanização de 83%, sendo superior à média da microrregião e à do Estado (IBGE, censo 2000). Dados do censo indicam que a região apresenta características de emigração.

5.2.9.2. Atividades Econômicas desenvolvidas na bacia

- Agropecuária

As terras da bacia do Capané são totalmente utilizadas com atividades agropecuárias, sendo o terço inferior, onde predominam as áreas de várzeas e coxilhas ocupadas com arroz irrigado. Nas bordas da bacia, este trecho de relevo suave ondulado a ondulado é utilizado

com lavouras anuais de soja e trigo, além de pastagens naturais e plantadas, predominando o azevém e a aveia. Pequenas áreas com eucaliptos pontuam toda a área, registrando-se maior concentração no entorno da Barragem do Capané, em área de proteção do reservatório, administrada pelo Instituto Riograndense do Arroz - IRGA.

Já nas áreas de predominância de relevo ondulado, na porção média da bacia, as terras são ocupadas por pastagens plantadas e nativas entremeadas com lavouras anuais de soja, trigo, milho e aveia nas áreas em que o relevo apresenta-se suavemente ondulado. O azevém e a aveia são as forrageiras utilizadas. Nos talvegues dos arroios a vegetação nativa de mata em galeria está presente ao longo dos leitos.

Em sua porção superior, onde predominam relevos ondulados a fortemente ondulados, constata-se a prática da pecuária extensiva em campos naturais, com raras áreas cultivadas com aveia e azevém. Tais atividades justificam-se pela presença do tipo de solos dominante – litólicos – e às condições de relevo desfavoráveis à mecanização.

O rebanho é de gado de corte, composto por charolês cruzado com zebuínos. Atualmente estão sendo introduzidas raças britânicas como o *Aberdeen Angus*, *Red Angus* e *Polled Hereford*. O nível tecnológico pode ser considerado baixo verificando-se baixo o índice de inseminação artificial.

Em resumo, é comum a prática da atividade da pecuária bovina em regime extensivo em toda a área da bacia, destacando-se, juntamente com o cultivo do arroz irrigado, como as atividades agropecuárias mais relevantes em termos econômicos para a bacia.

Em segundo plano em importância na área da bacia encontra-se a soja, seguida pelo trigo e em menor escala o cultivo do milho e aveia.

- Silvicultura

Quanto à cobertura vegetal, verifica-se a presença de matas em galerias cobrindo o leito dos arroios da bacia em vários trechos a montante da BR-290.

A silvicultura na bacia resume-se à plantação de eucaliptos e em algumas propriedades, de Pinus sp, para utilização como lenha e secagem de grãos, nas cercas e pequenas construções rurais, além de fornecer sombra para o gado e servir como quebra-vento.

- Estruturas de Produção, Armazenamento, Beneficiamento, Comercialização e Mercado da Região.

Como em todas as regiões essencialmente agrícolas, o município de Cachoeira do Sul tem como principal limitante ao seu desenvolvimento sua elevada especialização econômica baseada em não mais do que dois produtos: o arroz e a carne, que em conjunto são responsáveis por quase 100% do produto primário e induzem em mais de 60% as riquezas geradas nos setores secundário e terciário.

- Estruturas de Armazenamento e Beneficiamento

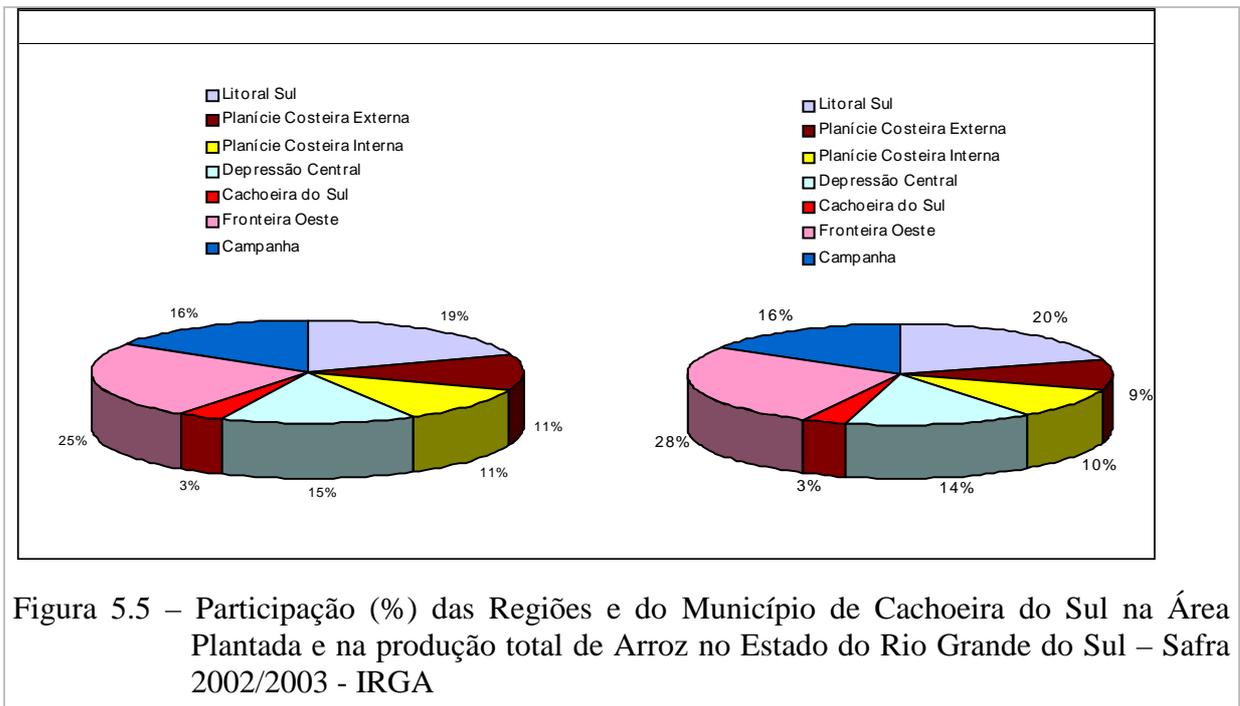
Do total produzido no município, são beneficiados nas agroindústrias locais 1.698.772 sacos (43,4%), sendo os restantes 56,6% exportados diretamente em casca para as regiões sudeste (São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais).

- Armazenamento

Embora o quantitativo de depósitos para grãos representem apenas 0,1 % (a granel) e 0,3% (acondicionado) do total existente no estado, suas capacidades representam respectivamente, 1,9% e 2% do sistema de armazenagem do Rio Grande do Sul. Os depósitos para outros produtos representam cerca de 2% do total estadual, tanto em números quanto em capacidade. (IBGE – Censo Agropecuário do Rio Grande do Sul, 2000)

Quadro 5.3 - Composição relativa do PIB por atividade (IBGE,2000).

Atividades	Cachoeira do Sul
Prod. Agropecuária	17,69
Ind. Extrativa mineral	0,03
Ind. Transformação	11,62
Ind. Beneficiamento	23,00
Com. Atacadista	12,00
Com. Varejista	35,24
Serviços	0,42
Total	100,00



- Infraestrutura e serviços

Quanto à infra-estrutura regional, destacam-se como principais acessos à região, por meio rodoviário, as BR's 290 e 153, e por meio hidroviário, o Rio Jacuí. Localiza-se em Cachoeira do Sul o entroncamento rodo-ferro-hidroviário, o qual pode movimentar os produtos de/para Cachoeira do Sul através das três alternativas de transporte citadas, destacando-se a importância do Porto de Cachoeira do Sul, neste contexto.

A ferrovia apresenta as menores distâncias na ligação Cachoeira do Sul - Porto Alegre. Entretanto, na ligação à Rio Grande a rodovia representa o menor trajeto. Enquanto a ligação ferroviária a Rio Grande dista 693,2km de Cachoeira do Sul, a rodoviária chega a 342km - menos da metade da extensão - e a hidroviária, 544km.

A concessionária (Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN) atende mais de 95 % dos domicílios. 28% dos mesmos estão ligados à rede de esgotos, 20% com fossa séptica comum e 35% com fossa negra. O consumo mensal de água no município é da ordem de 500.000m³ (CORSAN, 2004).

A coleta de lixo comercial / residencial é realizada por empresas particulares através de convênio com a prefeitura. O destino do lixo residencial e comercial é o aterro sanitário, e o do lixo hospitalar, a incineração.

6. Método e Técnicas

6.1. Concepção Metodológica

A caracterização do problema local de planejamento e gestão dos recursos hídricos, em um quadro dinâmico com diversificação de uso e escassez crescente, leva à necessidade da análise integrada dos recursos existentes, conforme apresentado na Figura 6.1.

Neste contexto, adotou-se a análise integrada de dados em geoprocessamento, conforme indicado na figura 6.2, com o que se espera obter uma melhor avaliação do fenômeno em estudo. Esta expectativa baseia-se no fato de que o modelo de análise proposto além de analisar simultaneamente os fatores envolvidos, considera ainda a distribuição espacial dos mesmos.

A abordagem proposta, conforme expresso no fluxograma da figura 6.3, envolve as seguintes etapas:

- Aquisição e geoprocessamento de dados em ambiente SIG;
- Avaliação do uso do solo;
- Avaliação da disponibilidade hídrica superficial;
- Avaliação da disponibilidade hídrica subterrânea;
- Análise da viabilidade ambiental do uso integrado dos recursos hídricos;

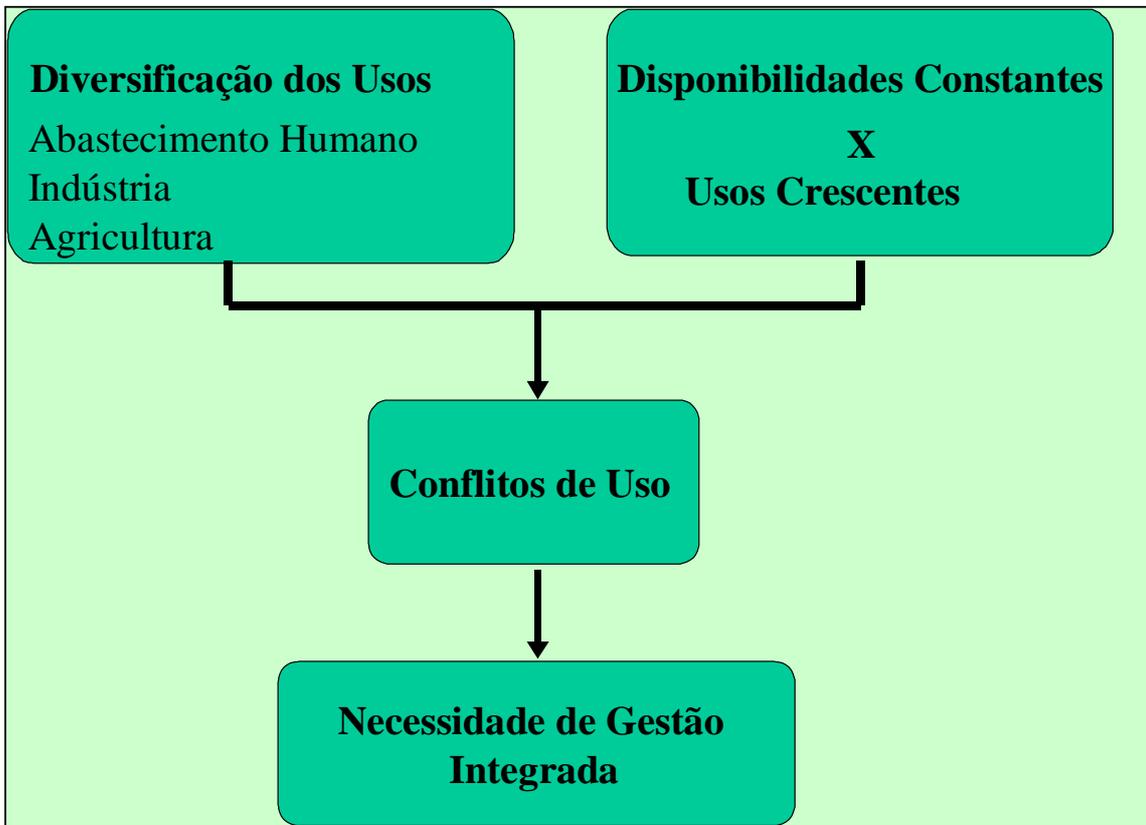


Figura 6.1- Representação diagramática da necessidade de planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos

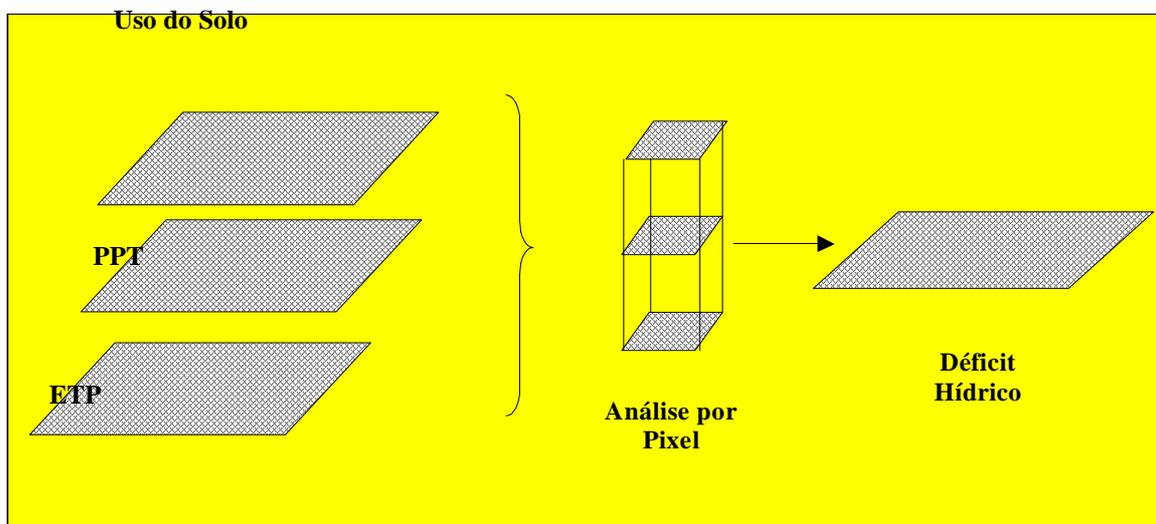


Figura 6.2 – Representação diagramática da integração de dados e análise espacial em geoprocessamento para obtenção de mapas estimativos de déficits hídricos.

As etapas metodológicas estão sintetizadas no quadro 6.1, sendo que técnicas e dados utilizados em cada etapa são a seguir descritos (Quadro 6.1). – Etapas metodológicas

Etapas	Dados/Processos/Produto			Técnicas Utilizadas
	(a)	(b)	(c)	
Aquisição de dados SIG	a. cartas topográficas, mapa geológico, pedológico, hidroclimatológico;	b. Conversão analógica digital;	c. Georreferenciamento de imagens de satélite e mapas digitais	<ul style="list-style-type: none"> • AUTOCAD 14 • ILWIS 3.0 • Georreferenciamento por pontos de amarração
Uso do Solo	a. Imagens LANDSAT - TM-7;	b. Classificação de imagens;	c. Mapa de uso do solo em formato <i>raster</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Classificação supervisionada • ILWIS 3.0
Disponibilidade hídrica superficial	a. Cartas hidroclimáticas digitais; mapa de uso do solo;	b. Cálculo do balanço hídrico por método Thornthwaite - mather	c. Mapas de balanço hídrico espacializado.	<ul style="list-style-type: none"> • AUTOCAD 14 • ILWIS 3.0 • Planilhas eletrônicas
Disponibilidade hídrica subterrânea	a. mapas hidrogeológico;	b. álgebra de mapas	c. Cálculo das reservas e potencialidades, mapas de balanço hídrico espacializado.	<ul style="list-style-type: none"> • AUTOCAD 14 • ILWIS 3.0 • Planilhas eletrônicas
Análise da viabilidade ambiental	a. Mapas geológico e de solos	b. Álgebra de mapas	Análise das declividades ; Análise de volumes de déficit/disponibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • AUTOCAD 14 • ILWIS 3.0 • Planilhas eletrônicas

6.2. Descrição das etapas metodológicas

6.2.1. Aquisição e Georreferenciamento de Dados em Ambiente SIG

Os dados coletados contemplaram informações gráficas mapas temáticos (topográficos, infra-estrutura, geologia, imagens de satélite, solos, vegetação, cidades, propriedades rurais, aspectos climáticos, etc.). Foram ainda avaliados dados alfanuméricos e gráficos através da digitalização manual, “scanerização”, digitação via teclado e a leitura de outras fontes de armazenamento.

Os dados foram organizados em níveis independentes (“*layers*”) de apresentação nos sistemas ILWIS versão 3.0 e AUTOCAD versão 14. Esta estratégia possibilita a obtenção de uma infinidade de combinações de dados e comparações entre diferentes alternativas de ação e/ou alocação de recursos hídricos.

Foram ajustados ao mesmo nível de generalização, para um mesmo período de tempo, e um mesmo formato geográfico padrão. Os dados foram transformados em "objetos cartográficos" digitais, como modelos digitais do terreno, mapas de disponibilidades hídricas superficiais e subterrâneas, mapas de demandas hídricas para vários usos etc. Também foram avaliadas as escalas de trabalho adequadas em função da área de estudo e dos objetivos propostos.

No processo de modelagem da fase de planejamento (Barth *et al.*, 1987), para a utilização consistente do sistema de georeferenciamento SIG foi adotada a hipótese de modelamento através da análise matricial álgebra de mapas temáticos (Santos *et al.*,1997) que permitirão a determinação das disponibilidades e demandas e geração de cenários de balanços hídricos. (fase de diagnóstico).

6.2.1.1. Dados obtidos por Sensoriamento Remoto: Análise de Imagens

A análise e planejamento do uso da água, objeto principal deste trabalho, leva em consideração aspectos peculiares de comparação e sobreposição de um amplo conjunto de

dados inter-relacionados. A análise das relações espaço-temporais do uso do solo, vegetação e clima com as variáveis hídricas em ambiente de geoprocessamento implicam na utilização de dados de sensoriamento remoto no espaço geográfico.

Para os trabalhos de classificação das imagens digitais e geração de mapas de uso atual de solo foram utilizadas duas cenas do satélite LANDSAT-TM7, com bandas espectrais 3, 4 e 5, nas seguintes órbitas-ponto e datas:

– 222-081 de 04/11/88 e 24/09/99

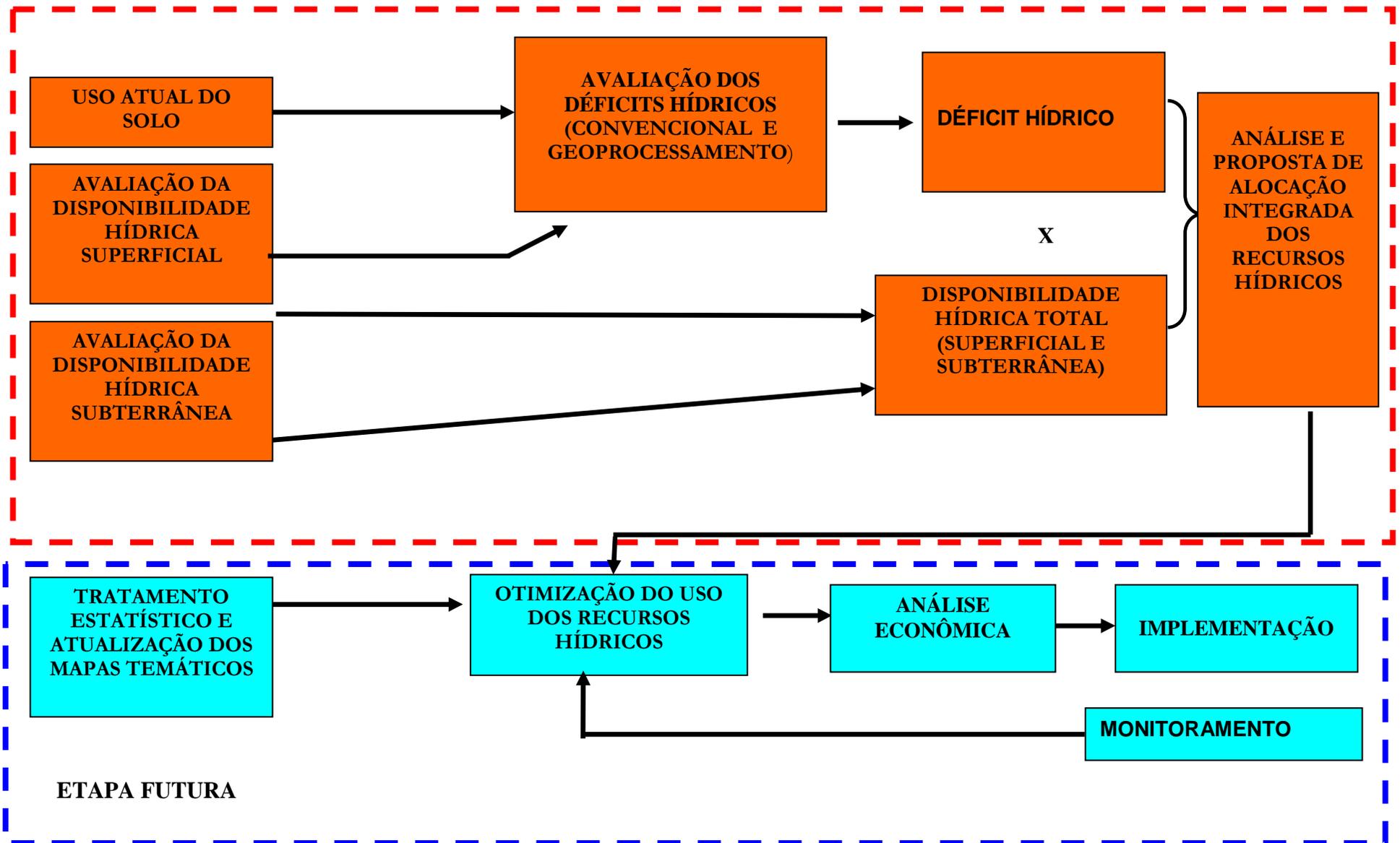
A metodologia da classificação das imagens consistiu de duas etapas principais: georreferenciamento e classificação supervisionada da imagem. O georreferenciamento da imagem foi realizado através da identificação de pontos de controle na carta topográfica e nas imagens digitais, cálculo e avaliação da matriz de transformação, obtenção da matriz de cálculo final e reamostragem das imagens para o sistema de coordenadas UTM.

O processo de classificação supervisionada utilizou o algoritmo de análise de agrupamentos (Cluster). Foram obtidas imagens classificadas para cada cena e para cada data, identificadas e agrupadas as principais classes de uso de acordo com legenda pré-estabelecida e a seguir, feito o cruzamento das duas datas de cada cena para obtenção da legenda final.

Esta legenda tem como base o Sistema de Classificação de Uso da Terra para utilização com dados de sensores remotos elaborado pelo USGS (Anderson, 1979). Foram utilizadas somente as classes indicadas no primeiro nível deste sistema de classificação, além de adaptarem-se as cores da legenda.

A figura 6,3 a seguir apresenta o fluxograma do modelo conceitual adotado.

Figura 6.3 – Fluxograma do modelo conceitual
PROJETO ATUAL (DISSERTAÇÃO)



6.2.1.2. Informações Topométricas

Foram obtidas através do modelo digital de elevação – MDE através da utilização de mapas digitalizados com curvas e pontos de nível. Este processo permitiu a geração de mapas de declividade que juntamente com os mapas de vegetação, uso do solo e dados hidrometeorológicos possibilitou a avaliação da disponibilidade hídrica na bacia.

A bacia teve seus parâmetros topométricos aferidos pelo SIG ILWIS 3.0 através de álgebra de mapas, de onde foram determinados parâmetros físicos como área superficial em km²; extensão longitudinal da linha de talvegue, desnível total da linha de talvegue, foram ainda possível identificar as áreas agrícolas, campos, urbanizações e outras superfícies, permitindo, em conformidade com as suas respectivas superfícies, ponderar o coeficiente de escoamento superficial.

6.2.1.3. Dados Hidroclimáticos

Os dados hidrometeorológicos de entrada foram obtidos a partir de mapas de isoietas e isotermas com série histórica de 30 anos de médias mensais no período de 1945 a 1975 (Secretaria da Agricultura e Abastecimento, vol. III, 1989). Os dados de cobertura e uso do solo, como citado anteriormente, foram obtidos através da imagem de satélite LANDSAT TM-7, bandas 1a7, cena 222/081 de abr/88 e set/1999.

Os dados foram digitalizados, georreferenciados e “rasterizados” de forma a gerar os MDT’s de distribuição mensal pluviométrica e de temperatura da bacia do arroio Capané.

6.2.2.. Caracterização do uso atual do solo

O uso do solo foi obtido por classificação supervisionada de imagens de satélite.

6.2.3. Avaliação da Disponibilidade Hídrica Superficial

Para cada uso específico foram atribuídos coeficientes culturais, de forma a avaliar a demanda hídrica.

As disponibilidades hídricas superficiais foram calculadas a partir do balanço hídrico climatológico do solo. Segundo Tucci *et al.* (1993) ordinariamente a equação de balanço para estes sistemas pode ser expressa por :

$$V_t = V_0 + (P - Q - ETP) \Delta t \quad (6.1)$$

onde;

V_t e V_0 = armazenamento total de umidade na bacia no final e início do intervalo de tempo Δt para o período;

P = precipitação total durante o período;

Q = vazão para o período e

ETP = evapotranspiração no período

Análoga à proposta de Tucci , Santos (1968) define balanço hídrico agrícola como,

$$L = P - Q \pm S \quad (6.2)$$

onde;

L é o total das perdas para o período;

P a precipitação total durante o período;

Q o deflúvio (run off) para o período e

S o incremento de armazenamento superficial e subsuperficial, determinado pelas oscilações do lençol freático.

A bacia do arroio Capané caracteriza-se por apresentar culturas de verão (arroz, soja, milho) e pastagens restringindo-se a cobertura de mata nativa às margens dos mananciais

(matas de galeria) e contorno dos reservatórios. Neste cenário as perdas mais significativas são representadas pela evapotranspiração (85 a 90%) sendo os referidos valores considerados no cálculo do balanço hídrico.

Conforme Barth et al. (1987) em intervalos de tempo suficientemente longos (15 anos ou mais) de valores médios observados nos parâmetros hidrológicos (no caso, precipitação e temperatura) pode-se desprezar a variável do armazenamento (S) em presença das demais variáveis resultando então a equação simplificada do balanço hídrico climatológico como segue:

$$P-L= Q \quad (6.3)$$

Sendo $L=ETP$, temos que,

$$P-ETP=Q \quad (6.4)$$

utilizada no processo de cálculo das disponibilidades hídricas superficiais em ambiente SIG através dos seguintes passos:

- Digitalização dos Dados de Entrada (Precipitação, Temperatura, Uso do Solo)
- Determinação da Evapotranspiração Potencial
- Cálculo do Balanço Hídrico Simplificado

Os mapas gerados no ambiente SIG apresentam a espacialização dos excedentes / déficits na bacia do arroio Capané para os períodos de inverno e verão.

O fluxograma apresentado na figura 6.4 a seguir apresenta graficamente o processo de cálculo do balanço hídrico.

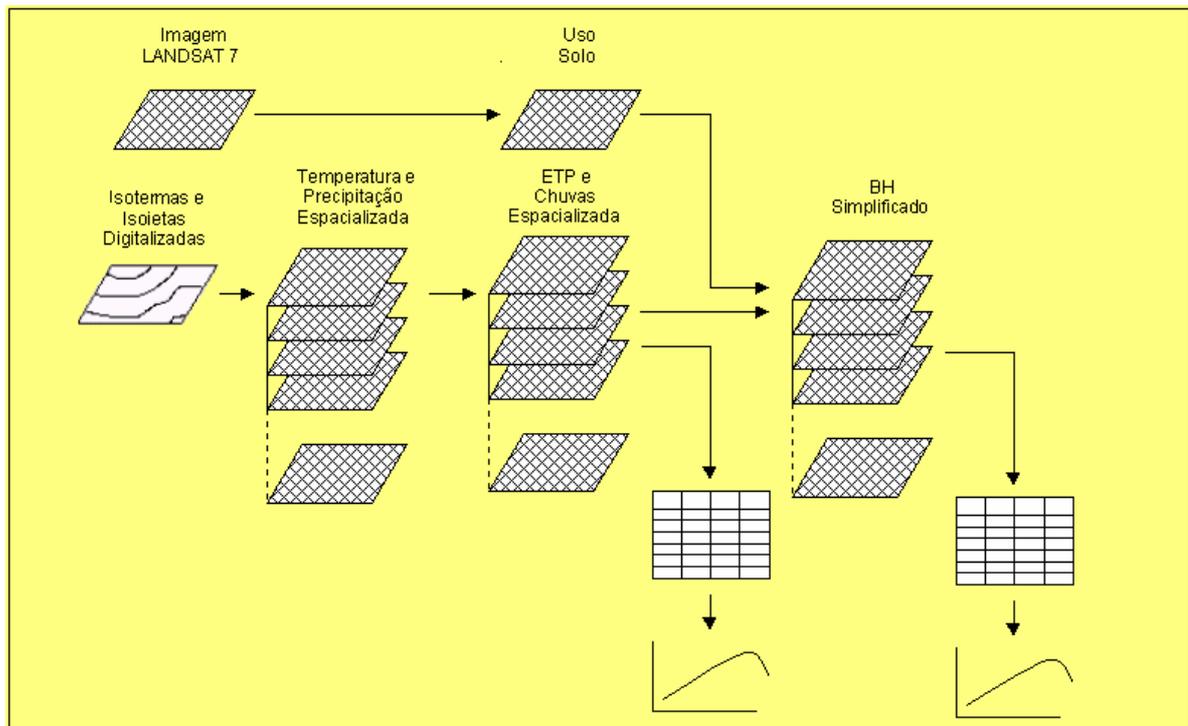


Figura 6.4 - Fluxograma de determinação do balanço hídrico

6.2.3.1. Cálculo da precipitação

No processo de cálculo pelo SIG, foram gerados mapas de precipitações médias mensais a partir dos mapas de isoietas da bacia, obtendo-se posteriormente as precipitações para dois períodos relevantes relacionadas ao ciclo de uso do solo na bacia: verão (novembro a março) e inverno (abril a outubro).

6.2.3.2. Cálculo da Evapotranspiração Potencial

No processo de cálculo pelo SIG, foram gerados mapas de evapotranspiração mensais a partir dos mapas de temperatura na bacia, obtendo-se posteriormente as evapotranspirações para dois períodos relevantes relacionadas ao ciclo de uso do solo na bacia: verão (novembro a março) e inverno (abril a outubro).

Ao contrário da precipitação e do escoamento superficial, onde os valores medidos diretamente no campo podem ser facilmente obtidos e generalizados, a evapotranspiração, uma das principais variáveis do ciclo hidrológico, caracteriza-se pela dificuldade de obtenção

de dados diretos, face às diversas variáveis (umidade, temperatura, velocidade do ar) que interagem na sua determinação.

Tais fatores levaram a ciência hidrológica a elaborar modelos matemáticos empíricos para estimar a evapotranspiração destacando-se as fórmulas empíricas de Thornthwaite, Penmann, Blaney-Cridlle dentre outras. O maior problema destas fórmulas reside no fato de utilizarem dados em geral desconhecidos ou não disponíveis na maior parte das regiões em estudo no Brasil. Além disto foram obtidas em clima temperado de latitudes médias do hemisfério norte (Estados Unidos e Europa) e pouco se sabe sobre a possibilidade de sua aplicação nas condições climáticas do Brasil, apesar da maior parte delas apresentarem fatores de correção tabelados para as latitudes do hemisfério sul e serem de uso geral nos estudos e projetos no Brasil.

Em face destas considerações optou-se por analisar qual o método mais adequado para determinação da evapotranspiração na bacia do arroio Capané considerando-se neste processo de seleção as variáveis disponíveis e os valores obtidos nos métodos testados. Foram selecionados para determinação da evapotranspiração os métodos de Thornthwaite, Blaney-Cridlle e Tanque Classe A (Quadro 6.2 e figura 6.5), cujos valores foram cotejados com os valores de medição direta da estação climatológica de Formigueiro utilizada como indicador no processo de seleção do método.

Meses	Estação Climatológica	Thornwaite	Blaney-Cridlle	Tanque Evaporimétrico
Janeiro	78,80	136,08	133,50	60,50
Fevereiro	70,00	114,90	114,50	54,20
Março	64,20	107,76	106,80	49,80
Abril	50,40	61,99	73,80	39,50
Mai	41,90	43,79	57,60	33,00
Junho	38,10	31,31	43,40	30,30
Julho	39,50	29,89	50,90	31,20
Agosto	45,40	38,48	60,90	35,50
Setembro	49,10	51,28	71,50	38,60
Outubro	59,10	72,29	90,60	46,10
Novembro	69,60	98,56	113,70	53,30
Dezembro	80,80	123,01	137,50	61,20
Total(mm/ano)	686,90	909,34	1054,70	533,20
Média anual(mm)	57,24	75,78	87,89	44,43

Quadro 6.2 – Valores de evapotranspiração para diversos métodos

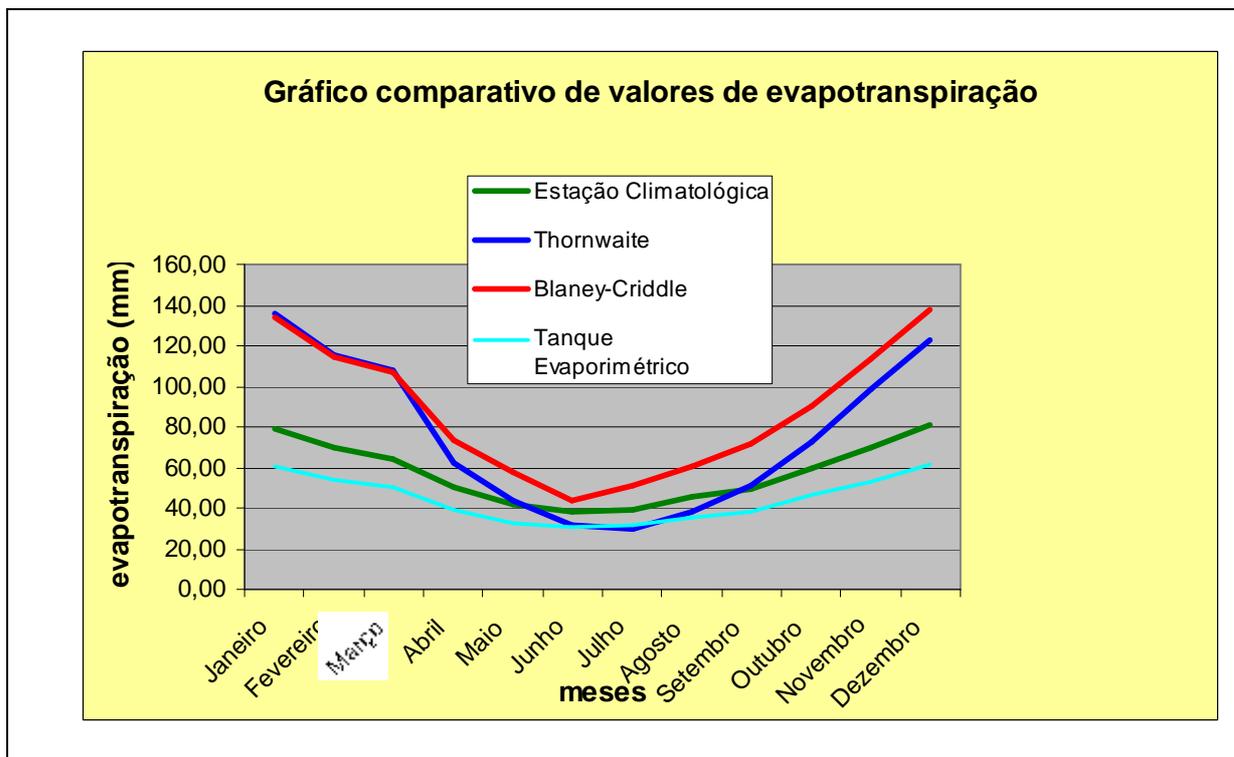


Figura 6.5 – Gráfico comparativo de valores de evapotranspiração

O processo de cálculo através do SIG pode ser visualizado na Figura 6.6

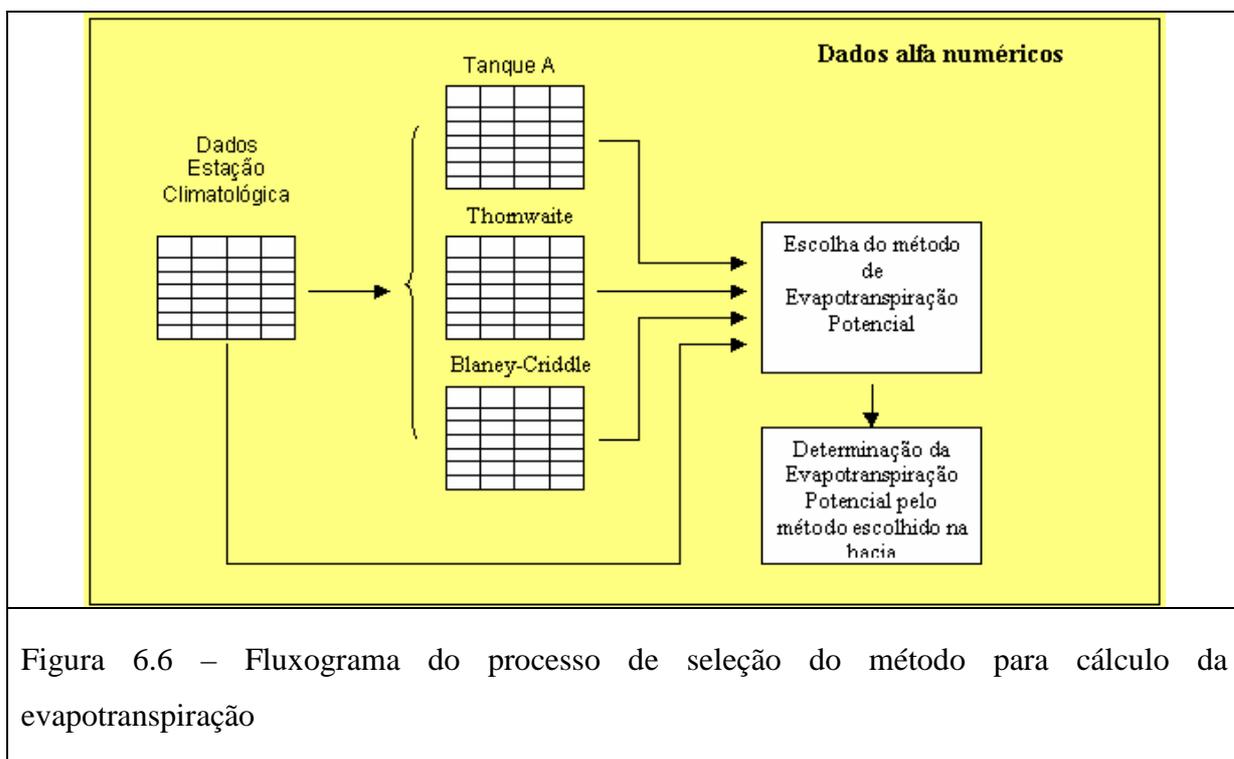


Figura 6.6 – Fluxograma do processo de seleção do método para cálculo da evapotranspiração

6.2.3.3. Deflúvio Anual

O deflúvio foi determinado pela seguinte equação, conforme indicado por Lanna em relatório técnico da empresa Magna Engenharia, 1988.

$$Q = 0,4 * PPT \text{ anual}$$

6.2.4. Avaliação da Disponibilidade Hídrica Subterrânea

Para a avaliação das disponibilidades subterrâneas foram utilizados os dados constantes no “Estudo Quali-Quantitativo da Bacia do Baixo Jacui” (DRHS, 1999), “Geologia de subsuperfície e considerações hidrogeológicas preliminares da área da Bacia Hidrográfica do Arroio Capané” (Dessart, 2003) em Feitosa *et al.*, (2000).

6.2.4.1. Caracterização Geométrica e Hidráulica

Foi utilizado mapa geológico da área da bacia (Dessart, 2003), cuja base é o Mapa Geológico de Cachoeira do Sul, escala 1:250.000, da CPRM (Porcher & Lopes, 2000). Foram utilizadas ainda seções, tanto estratigráficas (Dessart, 2003) quanto geológicas (UNISINOS, 1998) para a compreensão da geometria e comportamento das camadas das rochas sedimentares em subsuperfície, bem como as possíveis interferências das estruturas que ocorrem na região.

Com o *software Surfer* versão 6.0, a partir de medições retiradas das seções e testemunhos de sondagem (Dessart, 2003), foi possível produzir mapas de isolinhas e contorno estrutural, com o objetivo de facilitar a visualização das estruturas previamente identificadas no mapa geológico e imagens de satélite e avaliar sua interferência em subsuperfície.

Representações 3D geradas a partir do *software RockWorks* versão 2002 (Dessart, 2003) também foram utilizadas buscando observar a distribuição espacial das litofácies e formações ao longo da área de estudo.

No SIG ILWIS versão 3.0 foram utilizadas as funções cartométricas básicas (comprimento de linha, área da superfície e cálculo de declividade), análise de mapas através da sobreposição digital de vários conjuntos de dados com a extração de áreas que compartilham características comuns, como uso da terra, solo e declividade.

Os parâmetros hidráulicos foram obtidos de estudos realizado por Feitosa *et al.* (2000)

6.2.4.2. Avaliação das Reservas e Potencialidades

A avaliação das reservas hídricas subterrâneas na bacia do arroio Capané fundamentou-se na conceituação e avaliação das reservas e potencialidades apresentadas por Feitosa *et al.* (2000).

A avaliação das reservas nos aquíferos selecionados na bacia foi avaliada pelas reservas totais (ou naturais), representadas pelo conjunto das reservas permanentes com as reservas reguladoras caracterizada como a totalidade da água existente no aquífero.

A avaliação da potencialidade foi avaliada pelo volume das reservas reguladoras mais um percentual das reservas permanentes.

- Avaliação das Reservas

Conforme CPRM (2000) as reservas hídricas subterrâneas são classificadas em quatro tipos: reservas reguladoras, reservas permanentes ou seculares, reservas totais ou naturais e reservas de exploração ou recursos.

a. Reservas Permanentes

As reservas permanentes são constituídas de dois componentes: volume armazenado sob pressão (V_p) e volume de saturação (V_s). Na determinação destes volumes foram utilizadas as seguintes equações:

$$V_p = A \cdot p \cdot S \quad (6.5)$$

onde,

V_p = volume de água sob pressão (L3)

S = coeficiente de armazenamento

Ap = área de confinamento do aquífero (L2)

H = carga hidráulica média acima da base da camada confinante (L)

$$\mathbf{V_s = A b n_e} \quad (6.6)$$

onde,

A = área de ocorrência do aquífero (L2)

B = espessura média saturada do aquífero (L)

ne = porosidade efetiva

Para os Sedimentos Quaternários (aquífero livre) considera-se que as reservas permanentes são iguais apenas ao volume de saturação.

$$\mathbf{R_p = V_s} \quad (6.7)$$

$$\mathbf{R_p = V_s + V_p} \quad (6.8)$$

Para o aquífero Formação Rio Bonito (aquífero confinado) considera-se que as reservas permanentes são o somatório dos volumes de saturação e volume armazenado sob pressão.

b. Reservas Reguladoras

As reservas reguladoras foram estimadas através do cálculo do Índice de Armazenamento pelo Balanço Hídrico de acordo com Roslonk (1967) *apud* Feitosa *et al.* (2000) conforme a equação a seguir:

$$\mathbf{R = \Delta R \cdot A} \quad (6.9)$$

Onde

R= volume das reservas reguladoras em m³

$A = \text{Área do aquífero, em m}^2$

$$\mathbf{P-Q = E_{tr} \pm \Delta R}$$

(6.10)

onde,

$P =$ altura de precipitação, em mm, para o período considerado;

$Q =$ lâmina d'água escoada, em mm;

$E =$ lâmina d'água evapotranspirada em mm;

$\Delta R =$ variação da reserva em mm de altura d'água correspondendo a duas posições na superfície piezométrica.

- Avaliação da Potencialidade

Para o cálculo da potencialidade foi admitida, sem prejuízo para o aquífero, a extração total de toda a reserva reguladora, representada pela recarga anual do aquífero mais uma parcela das reservas permanentes que representam no período de 50 anos um percentual de 30% dessas reservas, representadas por 0,06% ao ano (Feitosa *et al.*, 2000). O cálculo é uma composição das equações 6.6 e 6.7.

$$\mathbf{P = (R_p \times 0,006) + R_r} \quad (6.10)$$

onde,

$P =$ potencialidade

$R_p =$ reservação permanente

6.2.5. Análise da viabilidade de uso integrado de recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

6.2.5.1. Avaliação espaço-temporal dos déficits hídricos

No SIG ILWIS versão 3.0 foram utilizadas as funções cartométricas básicas para análise dos mapas de precipitação e evapotranspiração. Através da sobreposição digital estes dados foram analisados pixel a pixel, gerando mapas de localização dos déficits na bacia.

6.2.5.2. Avaliação e distribuição geral da disponibilidade hídrica subterrânea

No processo de cálculo pelo SIG ILWIS versão 3.0, foram gerados mapas de armazenamento na bacia a partir da classificação supervisionada da imagem de satélite LANDSAT TM-7, obtendo-se posteriormente os mapas de reserva permanente e recarga.

6.2.5.3. Análise integral de déficits e disponibilidades

Com a proposição de alocação racional dos recursos hídricos foram gerados gráficos de déficit hídrico x cota do modelo numérico do terreno (MNT), disponibilidade subterrânea dos aquíferos x cota do MNT e disponibilidade superficial x cota do MNT. A análise destes gráficos permitiu avaliar o percentual de distribuição dos usos agrícolas na bacia e cotejando com as 6.2.5.3. Análise integral de déficits e disponibilidades

7. Análise dos Resultados

7.1. Uso atual do solo

As propriedades rurais do baixo vale do Capané dedicam-se à atividade orizícola, enquanto no meio e no alto vale predomina a agricultura de sequeiro, destacando-se o cultivo da soja, milho e trigo além de pastagens. O planejamento de uso dos recursos hídricos para a irrigação contempla apenas a cultura do arroz no baixo vale. Para isto foi construída a Barragem do Capané na década de 50, a qual inundou uma área de várzea com aproximadamente 2.000 ha de terras férteis, beneficiando apenas as propriedades situadas a jusante da mesma. Os proprietários rurais do médio e alto vale não tem qualquer benefício com relação à infra-estrutura de irrigação instalada no baixo vale.

Para avaliação do uso atual do solo da bacia do Capané utilizou-se a classificação supervisionada da imagem de satélite LANDSAT TM-7, de 1999, bandas 3, 4 e 5. O resultado espacial desta classificação está expresso na figura 7.1.

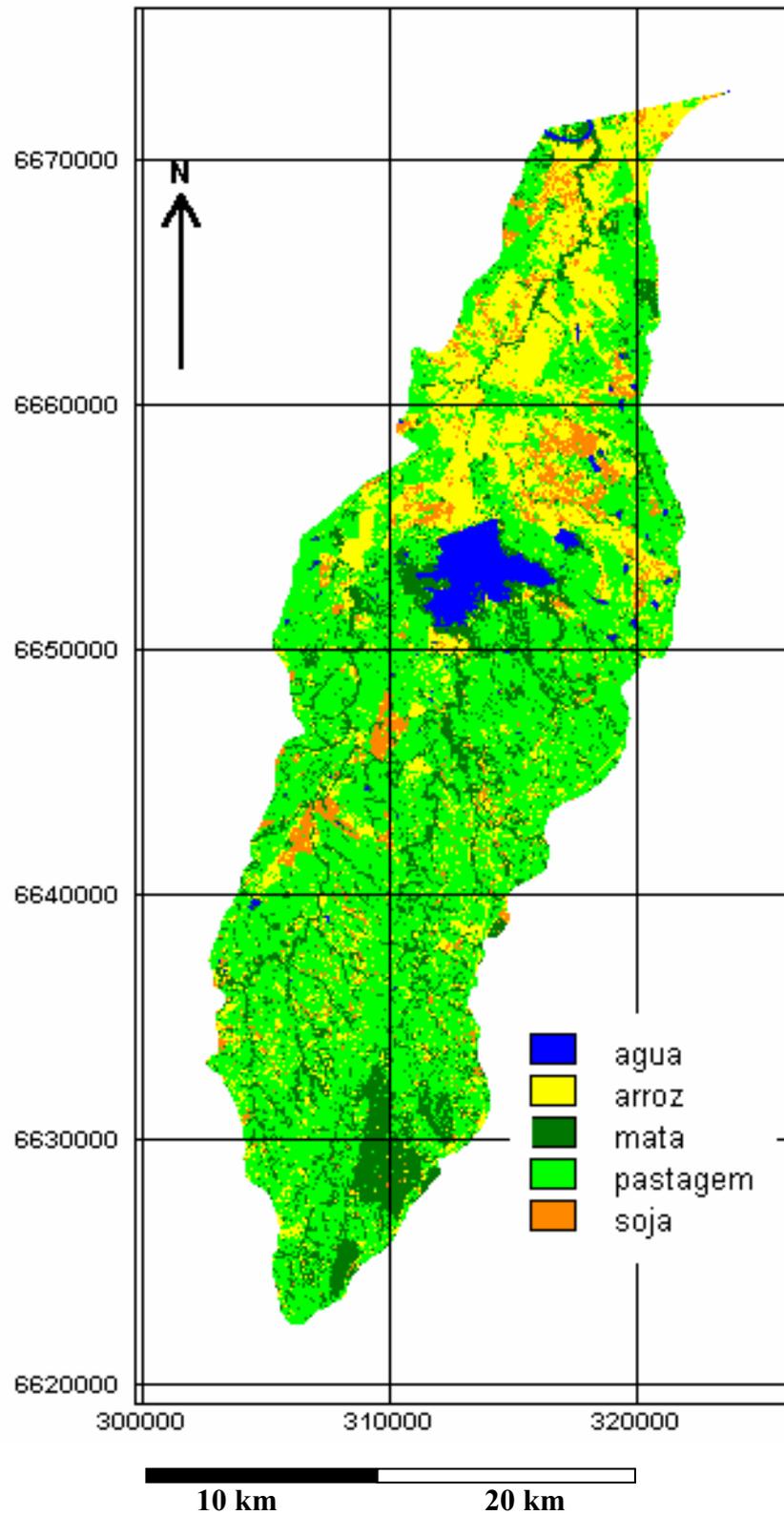


Figura 7.1 - Uso atual do solo obtido por classificação supervisionada da imagem de satélite LANDSAT-TM-7 de 1999. Coordenadas UTM em metros.

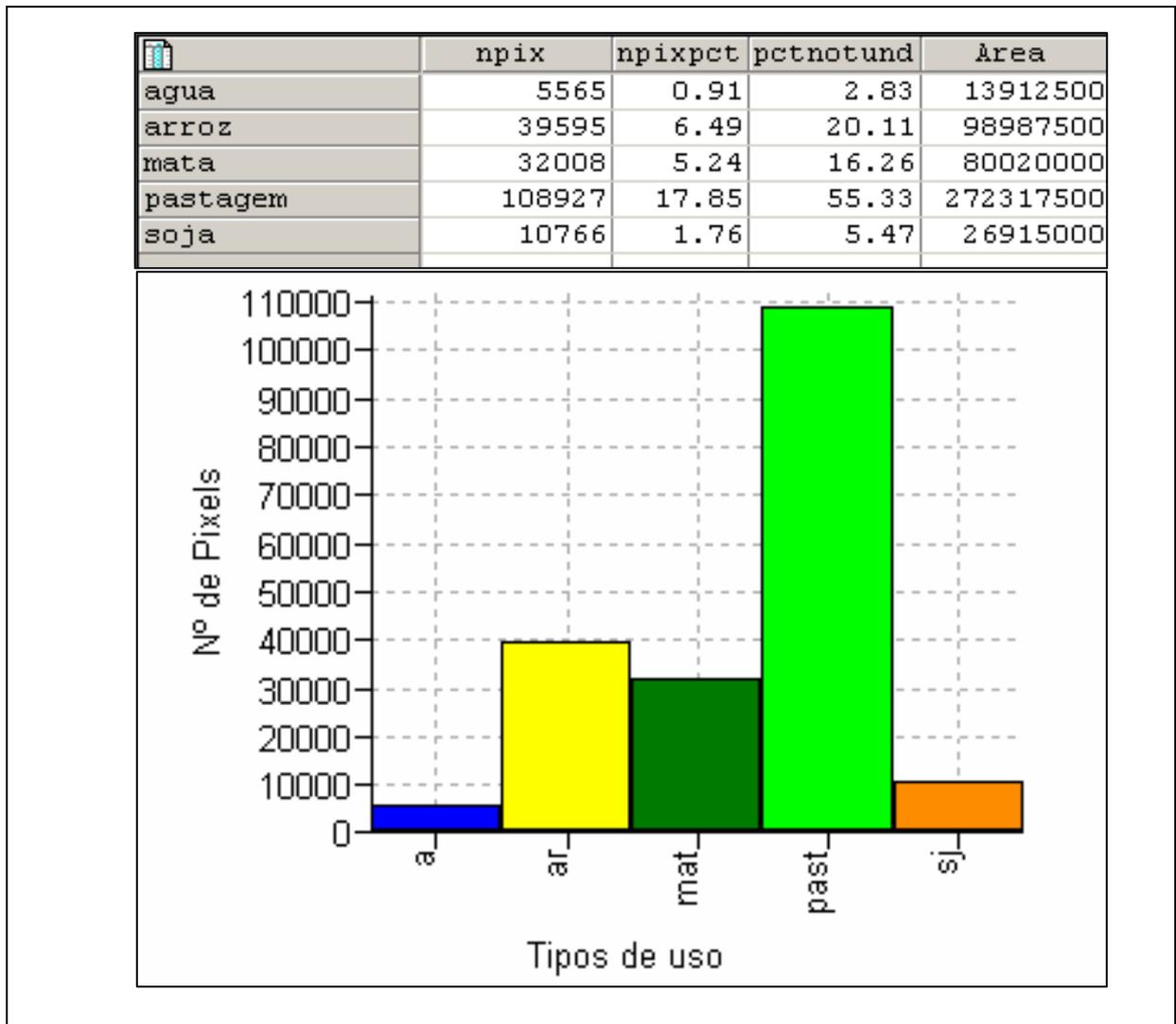


Figura 7.2 – Distribuição dos solos na bacia (Histograma gerado pelo SIG ILWIS. Área em m²).

Conforme pode ser visualizado nas figuras 7.2, 7.3 e 7.4. as pastagens são o uso predominante com 27.231 ha (55,33%). O arroz ocupa 9.898 ha (20,11%) e a cultura de soja e milho 2.691 ha (5,47%). A reserva de água superficial (composta pelo reservatório do Capané e açudes dispersos pela bacia) correspondem à 1391 ha (2,83%) ficando os restantes 8002 ha (16,26%) ocupadas pelas matas.

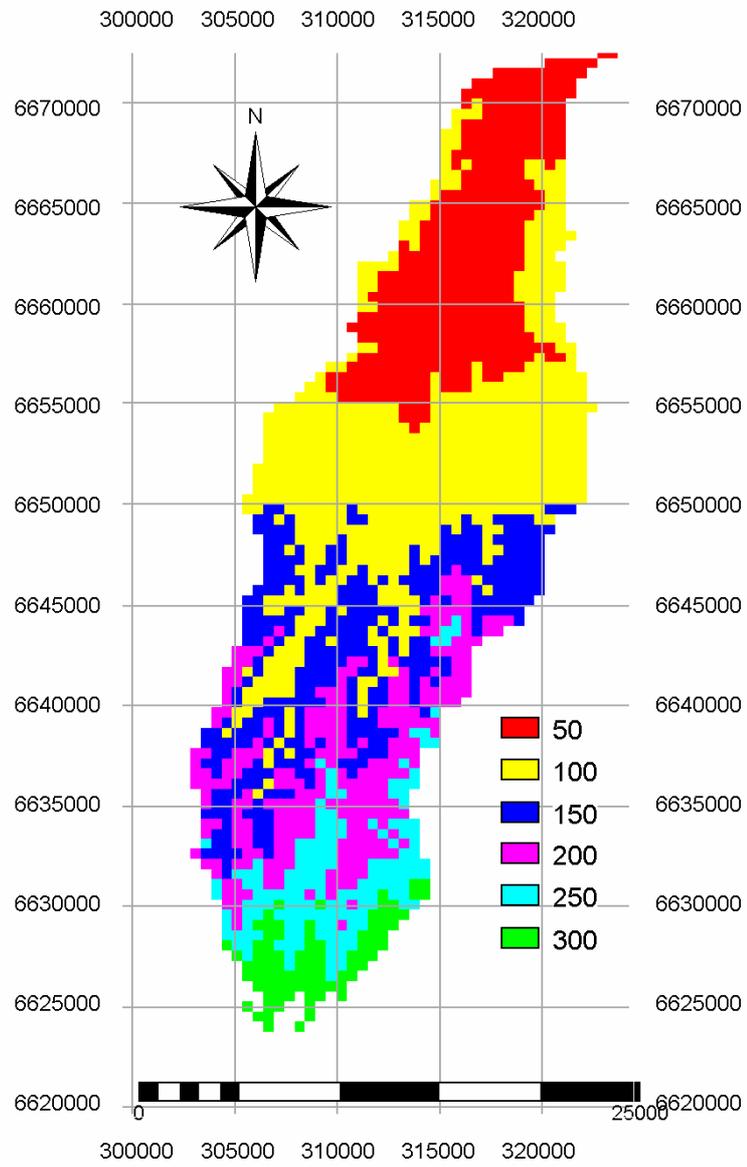
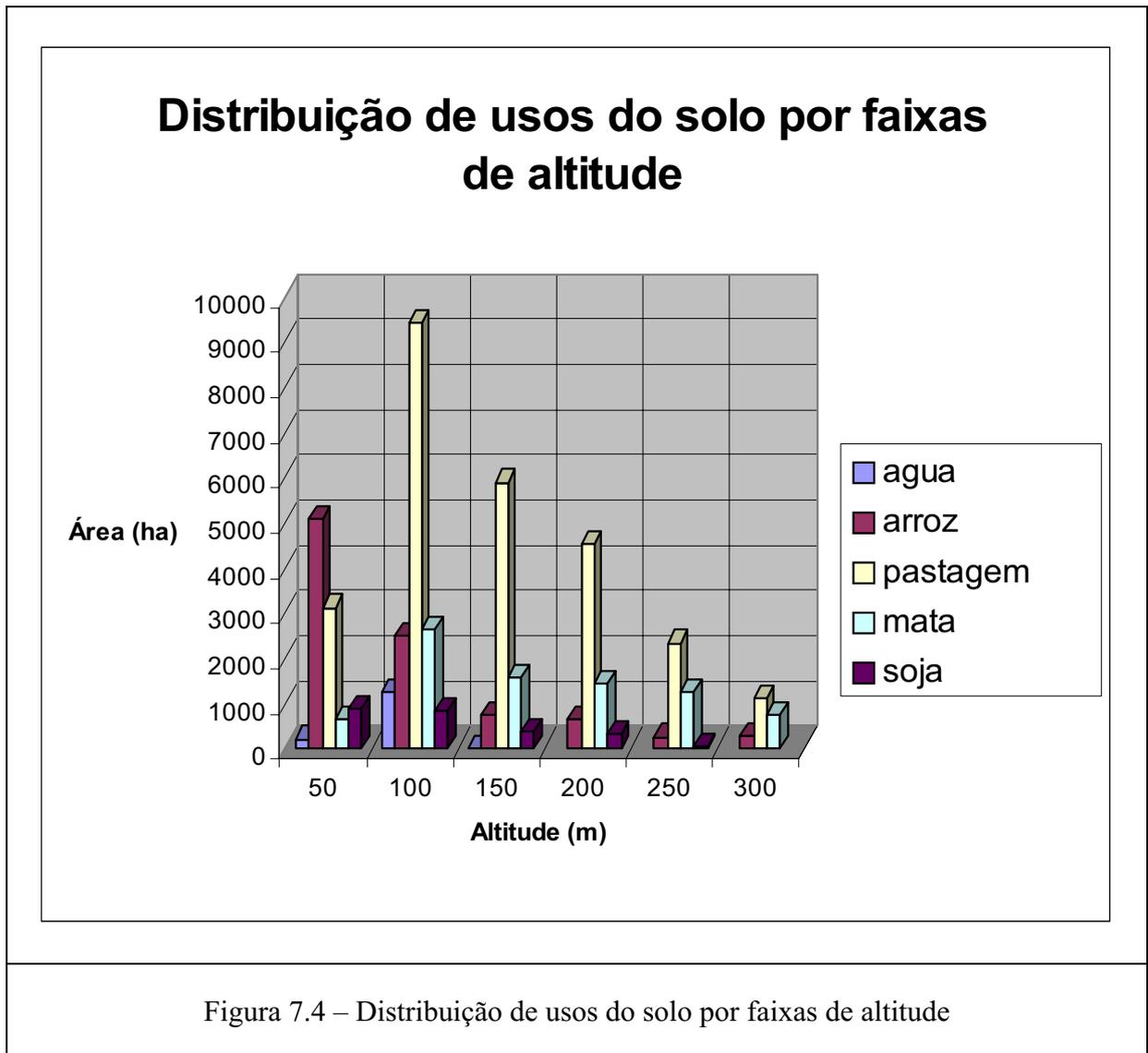


Figura 7.3 – Faixas de altitude do relevo na bacia



A distribuição dos diversos usos no relevo da bacia (Figura 7.1) mostra a ampla distribuição da cultura de arroz no baixo vale do Capané. No médio e alto vale predominam as pastagens, enquanto a cultura da soja / milho ocorre distribuída no médio e baixo vale.

Conforme pode ser visualizado nas figuras 7.5 e 7.6, a região do baixo vale do Capané apresenta declividades da ordem de 3%. Em uma análise preliminar, tomando-se inicialmente apenas o critério da declividade do terreno verifica-se que o cultivo do arroz e soja poderia ser expandido na bacia.

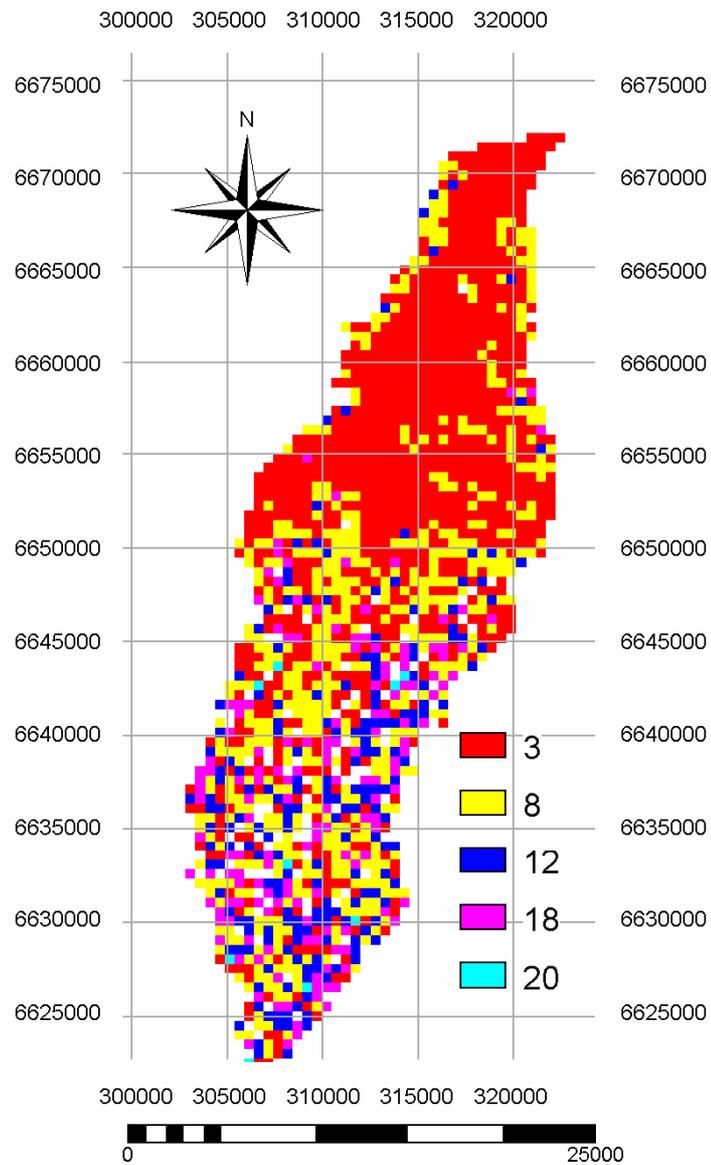
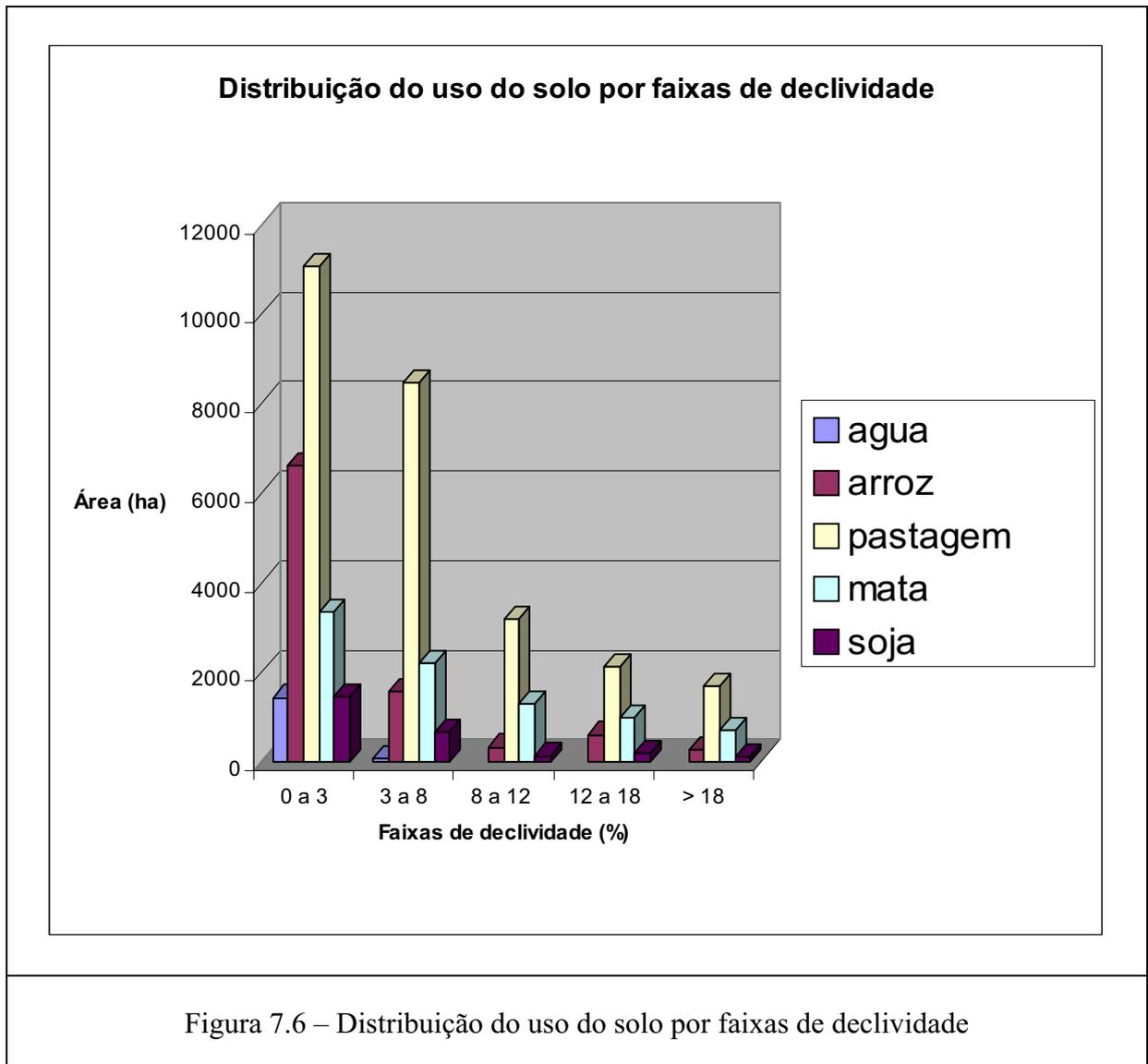


Figura 7.5 - Faixas de declividade do relevo



Analisando os indicadores sócio-econômico-ambientais para a área de recursos hídricos verifica-se um equilíbrio entre os indicadores ambientais e sociais, porém em níveis mais baixos que o indicador econômico, conforme pode ser visualizado na figura 7.7.

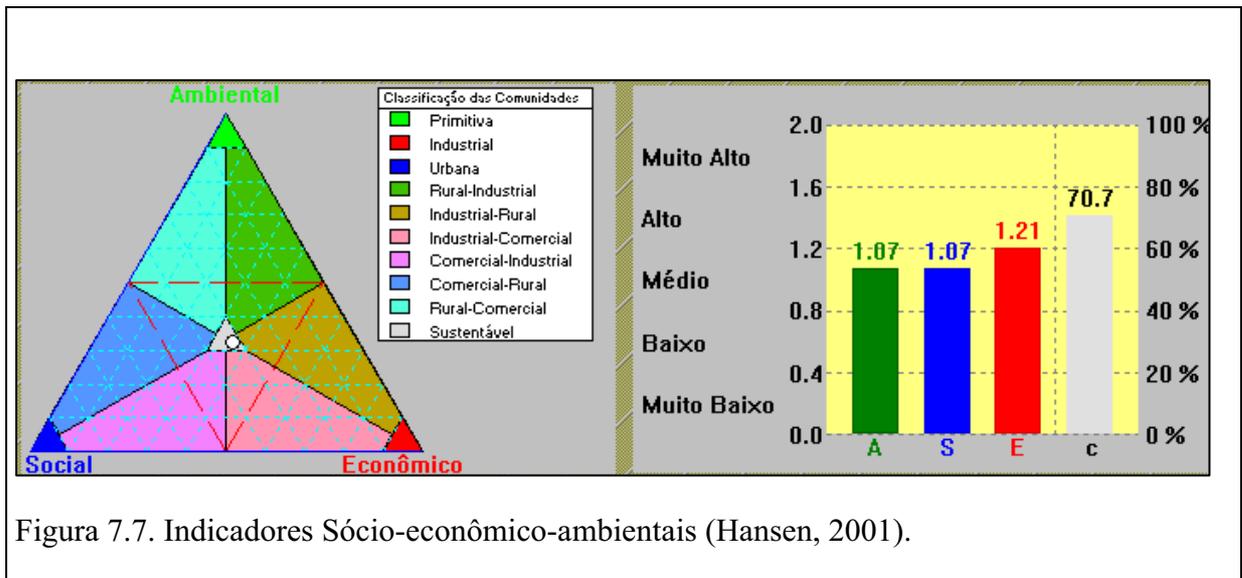


Figura 7.7. Indicadores Sócio-econômico-ambientais (Hansen, 2001).

Apesar dos valores médios dos indicadores (70,7%) situarem-se na faixa classificada como alta na avaliação de Hansen (2001) verifica-se há espaço para um maior incremento das ações nas áreas social, ambiental e econômica.

7.2. Avaliação da disponibilidade hídrica superficial

Tomando a área do cultivo de arroz, como determinada anteriormente no mapa de uso do solo (figura 7.1) com 9.898ha, com ciclo de cultura de 2:1 (4.949ha), chega-se a um valor de 68.048.750m³/safra. Este valor é superior ao volume atualmente reservado na barragem do Capané, que é de 64.000.000m³, isto sem contar as perdas operacionais (evaporação e infiltração)

Para avaliação da disponibilidade hídrica superficial foram utilizadas séries históricas de dados pluviométricos e de temperatura de um período 30 anos, correspondendo aos valores médios de 1945 a 1975. Utilizou-se também o mapa de uso atual do solo obtido pela classificação supervisionada de imagens de satélite (Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul / Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1989).

A avaliação da disponibilidade hídrica foi realizada para um período de 5 meses, obedecendo ao calendário agrícola da região (novembro a março) período correspondente à safra de arroz, cultura responsável pelo maior consumo hídrico na bacia, considerando-se a

diferença entre a precipitação e a evapotranspiração , o que foi obtido pela integração de dados através de geoprocessamento.

5.2.1. Distribuição Pluviométrica

As médias mensais para os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março estão expressas na tabela 7.1.

A distribuição geográfica dos valores médios de precipitação é apresentada na figura 7.8. Este mapa apresenta os valores médios acumulados no período de 5 meses correspondente ao calendário agrícola do plantio de arroz na bacia.

Ano	nov	dez	jan	fev	mar
1951	-	46,20	-	-	127,80
1952	63,80	63,20	0,50	78,70	144,20
1953	34,50	41,50	57,80	19,80	30,00
1954	4,60	76,40	233,70	200,00	61,40
1955	48,50	89,80	113,80	142,30	144,60
1956	1,00	69,90	284,20	100,20	41,00
1957	49,10	115,60	72,30	20,40	12,40
1958	151,40	177,00	128,40	195,40	36,00
1959	8,41	48,20	295,20	73,00	84,80
1960	38,00	78,40	20,00	45,00	73,60
1961	78,00	164,00	115,20	155,80	121,40
1962	33,40	32,50	30,90	40,42	154,77
1963	165,20	63,88	146,60	36,00	130,20
1973	13,20	117,80	135,60	236,36	56,40
1974	220,20	96,40	93,20	77,80	67,80
1975	107,20	96,40	128,80	73,20	113,90
1976	36,60	48,20	69,80	34,40	228,70
1977	73,90	91,60	185,20	71,00	96,80
1978	158,57	100,21	161,50	33,30	96,40
1979	97,50	117,00	2,00	73,50	89,90
1980	136,00	80,50	55,00	65,00	210,00
1981	56,38	135,00	126,50	144,50	27,00
1982	202,86	129,00	5,50	169,31	70,00
1983	76,50	105,00	112,50	156,00	89,50
1984	43,02	55,00	269,93	133,00	45,50
1985	1,81	61,00	87,00	46,00	198,00
1986	246,20	38,99	48,50	111,50	197,50
1987	-	-	156,40	109,10	146,00
Média	84,24	88,99	113,32	91,54	101,51

Tabela 7.1 – Precipitações Médias Mensais da Estação Capané – Período: 1951-1963 1973-1987, DNAEE/IRGA

Os dados extraídos através do sistema ILWIS, conforme gráfico apresentado na figura 7.9, mostra um valor médio acumulado de 536 mm de precipitação e um volume total precipitado de 53.600.000m³.

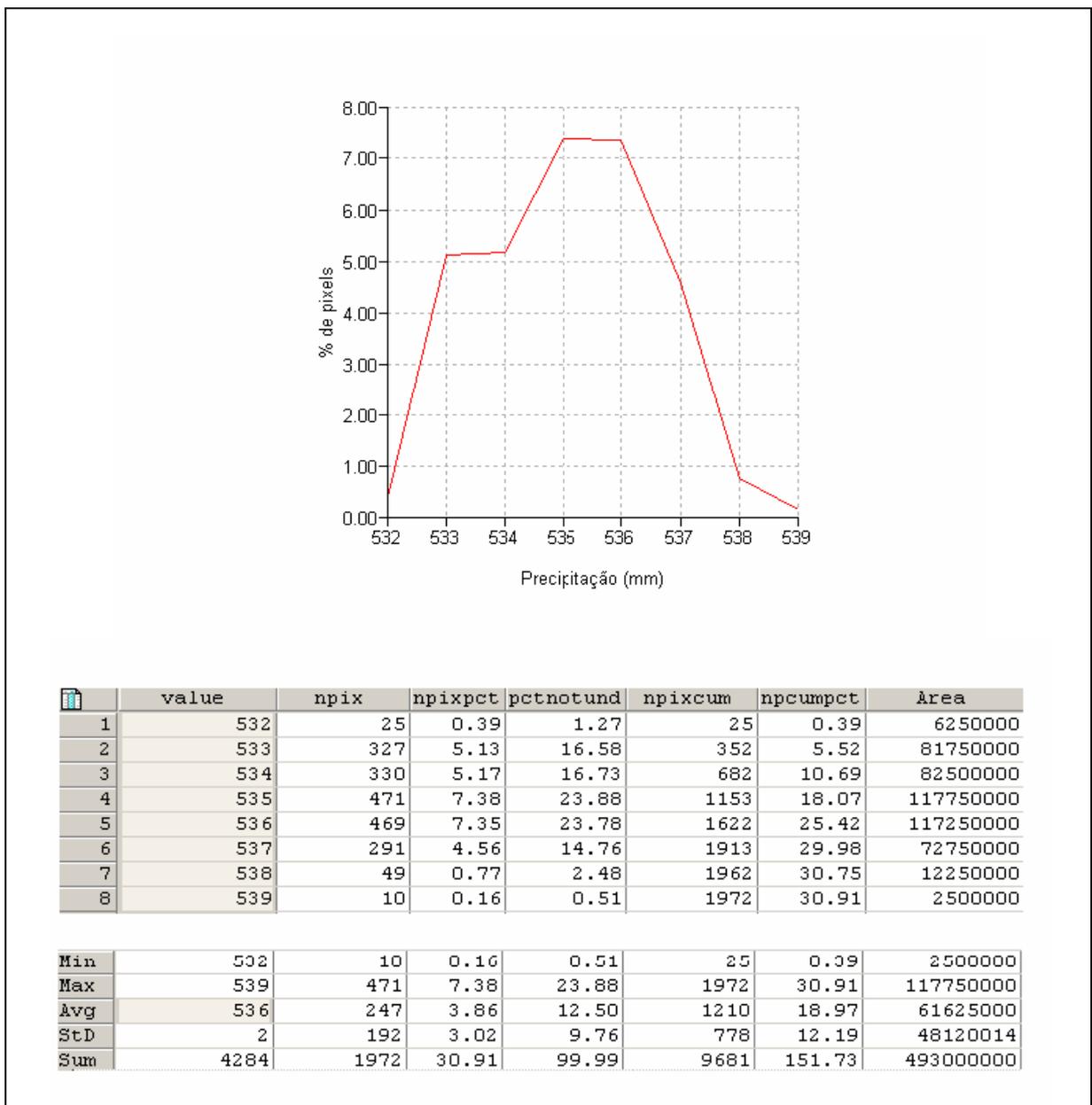


Figura 7.9 – Distribuição das precipitações (mm) no período verão (novembro a março)

Como observação geral do mapa de precipitações médias acumuladas observa-se que os valores aumentam no sentido sul, atingindo o valor de 539 mm /120 dias. Os menores valores situam-se na porção norte, com 532 mm/120 dias.

7.2.2. Estimativa de Evapotranspiração

Conforme indicado anteriormente a evapotranspiração foi estimada a partir do uso do solo e das temperaturas médias mensais, pelo método de Thornthwaite (1948).

A distribuição espacial da temperatura média na bacia do arroio Capané, no período considerado pode ser observada no mapa de temperatura da figura 7.7. Utilizando-se os dados de temperatura e cruzando-se com o mapa de uso atual do solo, com seus respectivos coeficientes de cultura (K_c), obteve-se o mapa de evapotranspiração apresentado na figura 7.8. Como observação geral do mapa de evapotranspirações médias acumuladas, observa-se que os valores aumentam no sentido norte, atingindo o valor de 606 mm /120 dias na região do baixo vale Capané. Os menores valores situam-se na porção sul (alto vale Capané), com 473 mm/120 dias.

7.2.3. Análise de Déficits Hídricos

A quantificação dos déficits/excedentes hídricos foi obtida por diferença ($PPT-ET_r$) como expresso no mapa de déficit /excedente hídrico na figura 7.10.

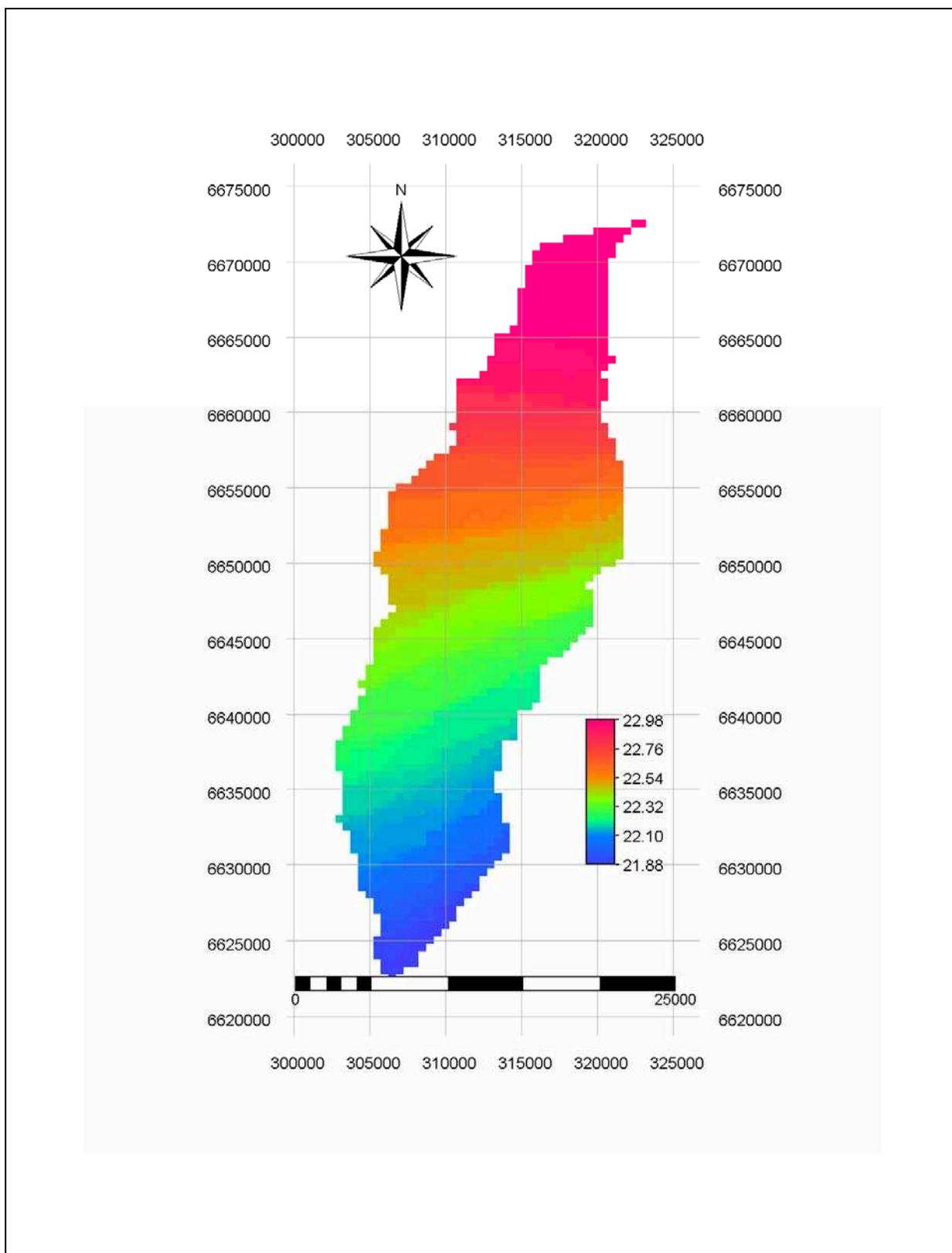


Figura 7.10 – Mapa de temperatura média (° C) no período de verão (novembro a março)

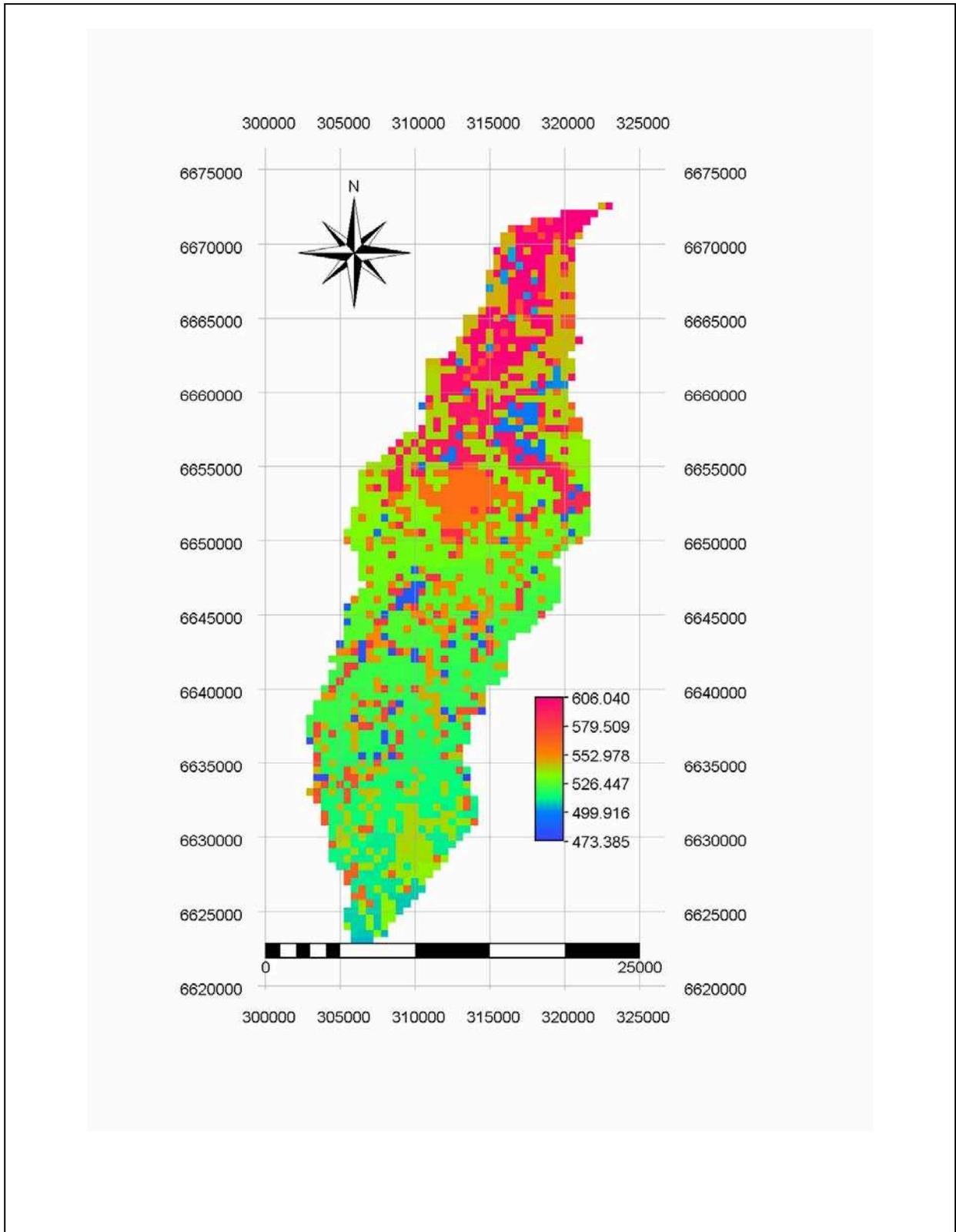


Figura 7.11 – Mapa de Evapotranspiração (mm) no período de verão (novembro/março)

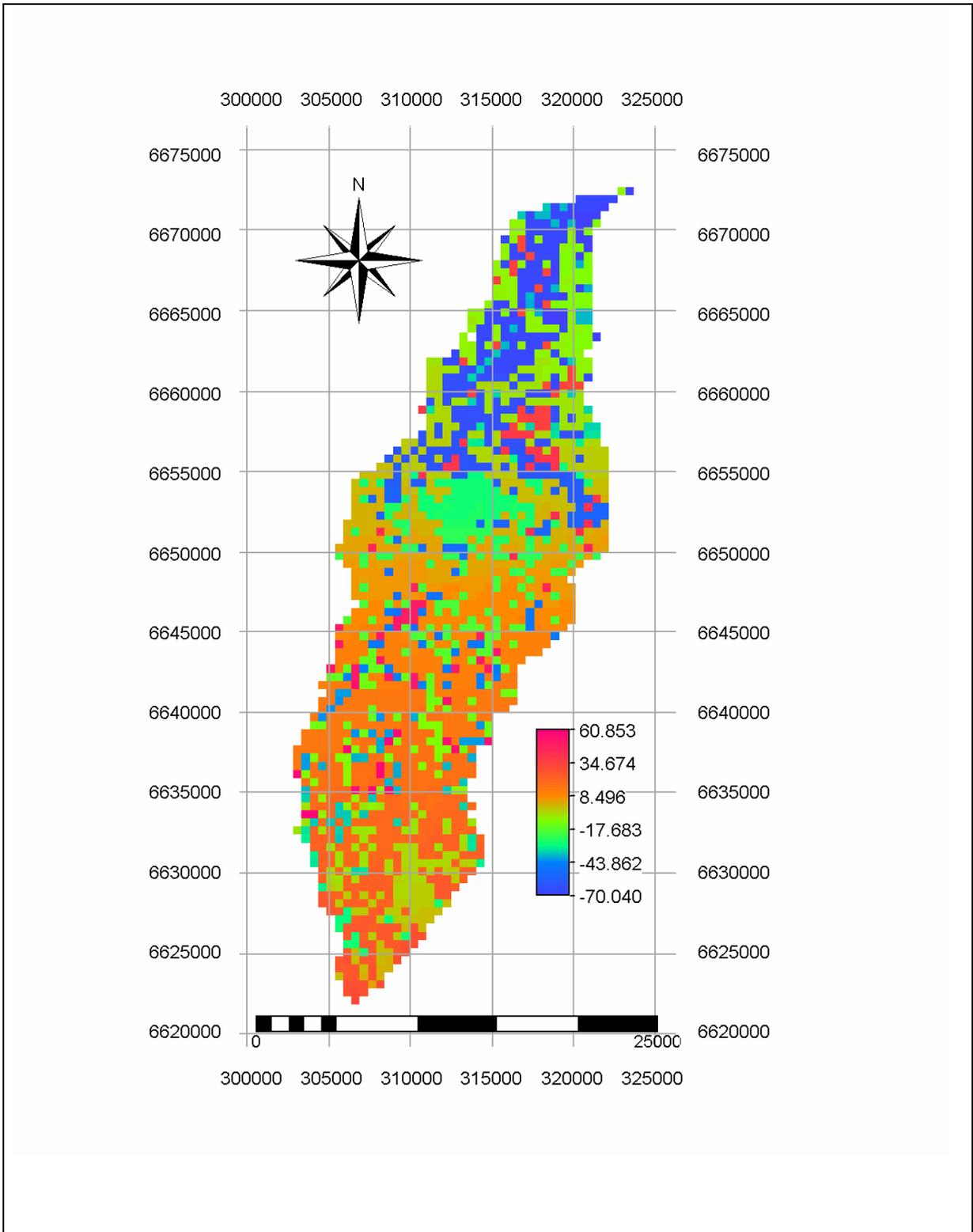
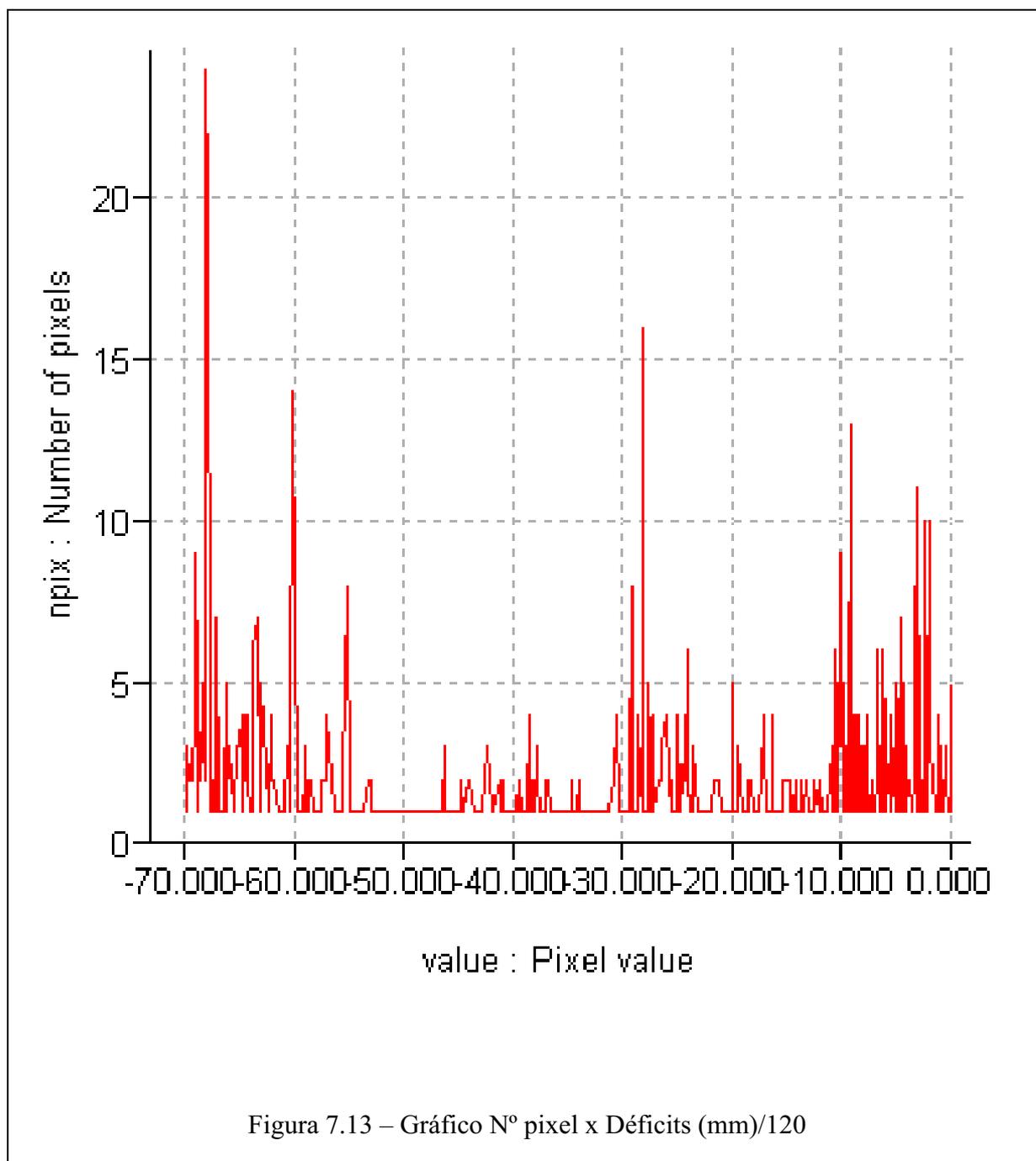
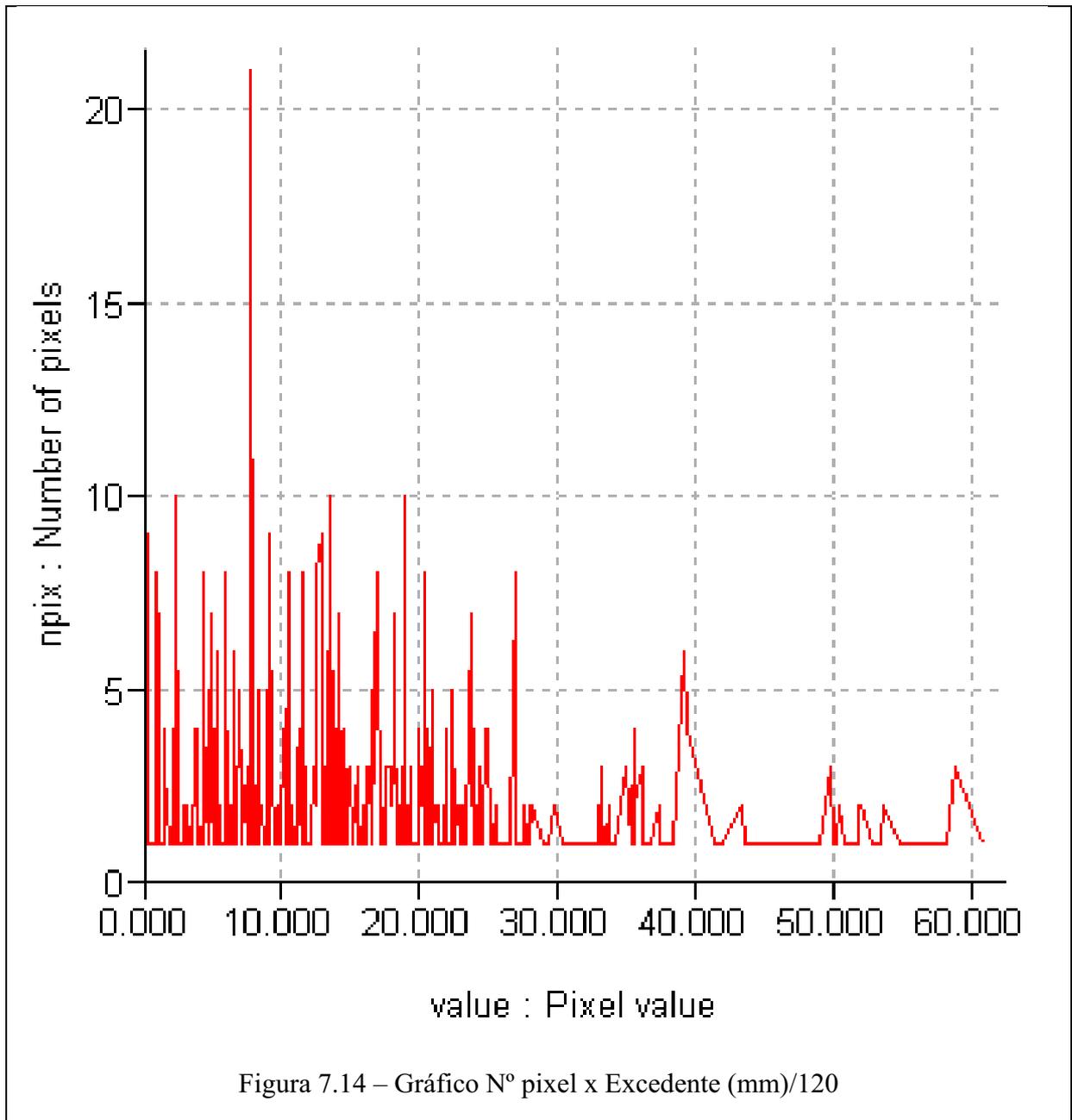


Figura 7.12 – Mapa de Déficit / Excedente Hídrico na bacia do arroio Capané

Analisando-se os valores encontrados na figura 7.12 e nos gráficos das figuras 7.13 e 7.14, verificam-se déficits em 52% da área da bacia. O volume estimado como déficit é de 8.958.394,8 m³/120dias.





Neste cenário as perdas significativas consideradas no balanço hídrico são representadas pela evapotranspiração (85 a 90%) sendo os referidos valores considerados como as perdas relevantes no cálculo do balanço hídrico, principalmente no período do verão onde se contrapõem às disponibilidades mínimas as demandas máximas decorrentes da principal atividade da bacia: o cultivo do arroz.

Conforme pode ser visualizado no quadro 7.1 os valores médios de déficit hídrico indicados pelo método convencional indicam na bacia uma carência de 100,71 mm para o

período de verão correspondente a 5 meses (novembro a março) contrapondo-se com os valores de déficit calculados pelo SIG com valor de 18,36 mm para o mesmo período.

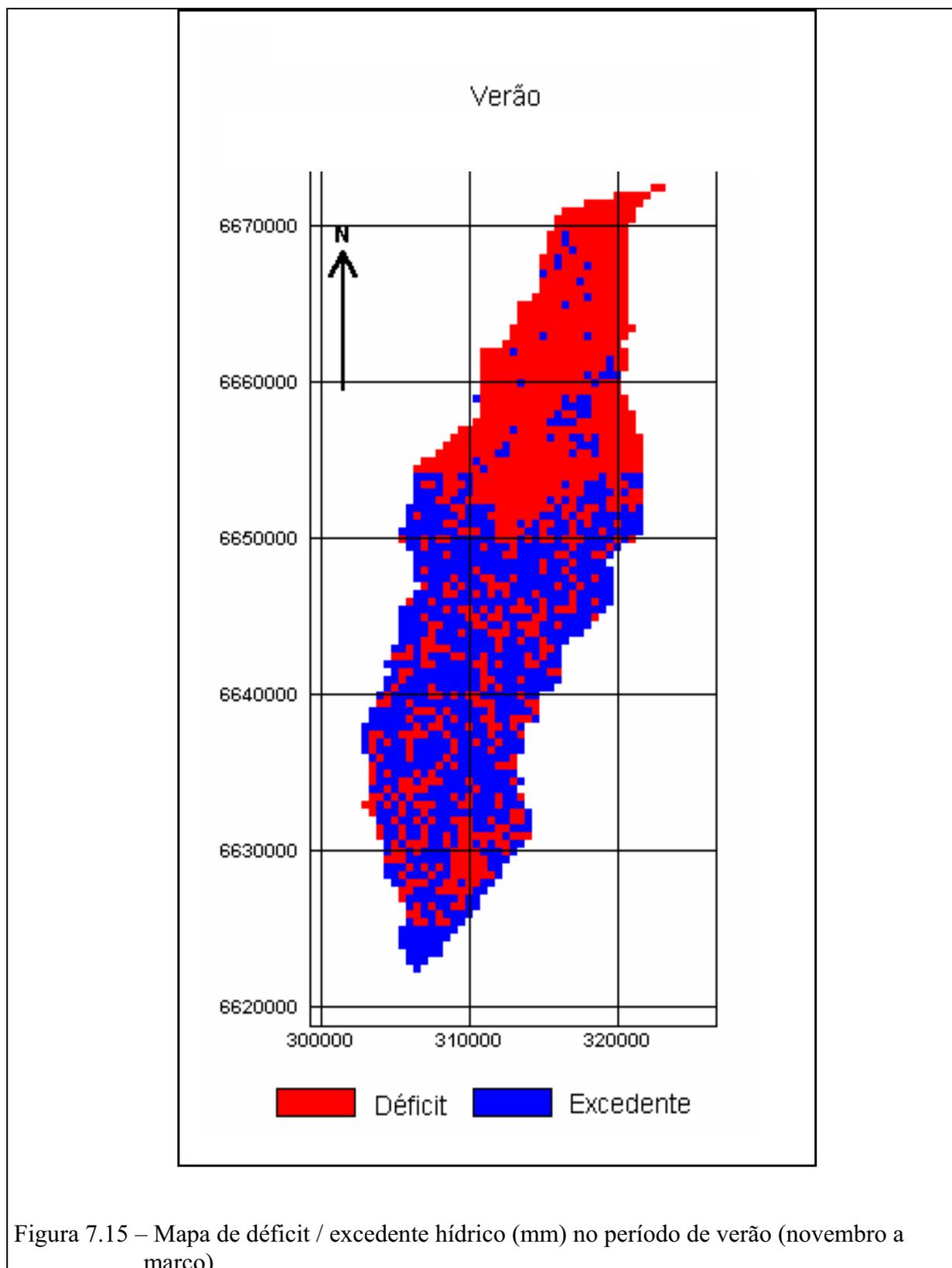
A localização das áreas com déficit / excedente hídrico pode ser visualizada na figura 7.15. Conforme dito anteriormente, 52% da bacia apresenta área com déficit. Desta porção 85% situa-se na área de várzea e 15% dispersa na porção sul da bacia. O quadro 7.2 apresenta os valores correspondentes a estas áreas.

Quadro 7.1. – Comparativo entre valores SIG e método convencional

Balço Hídrico Período Verão								
BH Simplificado SIG					BH Simplificado Tradicional			
Mês	P (mm)	ETR (mm/mês)	P – ETR (mm/mês)	ETP (mm/mês)	P - ETP (mm/mês)	ETP (mm/mês)	P (mm)	P-ETP (mm/mês)
Março	100.50	102.22	-1.72	103.31	-2.81	136.08	113.32	-22.76
Novembro	81.00	90.65	-9.65	91.52	-10.52	114.90	91.54	-23.36
Dezembro	102.00	114.35	-12.35	118.26	-16.26	107.76	101.51	-6.25
Janeiro	135.00	128.96	6.04	130.31	4.69	98.6	84.24	-14.32
Fevereiro	117.00	106.80	10.20	110.46	6.54	123.0	88.99	-34.02
Total período	535.50	542.98	-7.48	553.86	-18.36	580.30	479.60	-100.70
Média	107.10	108.60	-1.50	110.77	-3.67	116.06	95.92	-20.14

Quadro 7.2 – Áreas com déficit hídrico

Área Total da bacia	Área da bacia com déficit hídrico (52% da área total)	Área com déficit hídrico na porção norte (85% da área de déficit)	Área com déficit hídrico na porção sul (15% da área de déficit)
487.930.000 m²	253.723.600 m²	215.665.060 m²	38.058.540 m²



- Porção norte (área da várzea)

A área potencial para cultivo do arroz na várzea, conforme dados levantados do mapa de uso solo (figura 7.1) é de 9.898ha.

O sistema de cultivo de arroz na região adota ciclo de rotação 1:2, ou seja, a capacidade potencial de utilização dos solos para arroz é de 4.949 ha/ano. A necessidade hídrica para o cultivo do arroz na região é da ordem de 13.750 m³/ha/ano (IRGA, 2003).

Os volumes hídricos necessários para a região compõem-se da avaliação dos volumes demandados pela cultura do arroz irrigado, do balanço hídrico no solo no período de verão (novembro a março) apresentados no mapa de déficits / excedentes hídricos (figura 7.15) e quadro 7.4, e dos volumes reservados pela barragem do Capané, cuja capacidade de reservação é de 107.000.000m³. Devido a limitações em suas fundações está o mesmo operando com 60% de sua capacidade (64.000.000m³) atendendo a uma área de 4.000ha.

Quadro 7.3 – Resumo das áreas com déficit na bacia

Área Total da bacia = 487.930.000m²
Área da bacia com déficit hídrico (52% da área total) = 253.723.600m²
Área com déficit hídrico na porção norte (85% da área de déficit) = 215.665.060m²
Área com déficit hídrico na porção sul (15% da área de déficit) = 38.058.540m²

Quadro 7.4 – Quantificação dos déficits na porção norte da bacia

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(6)	(7)
Déficit hídrico total no período de verão (mm) (Quadro 7.1)	Área de déficit na porção norte (m ²) (Quadro 7.2)	Volume Déficit Hídrico Total no período de verão (m ³) (1)/100*(2)	Necessidade Hídrica do Arroz (m ³ /ha/safra)	Volume Hídrico para o arroz (m ³) (5)*(6)	Área potencial para cultivo arroz (m ²)	Volume Operacional Reservatório Capané (m ³)	Volume de déficit na porção norte (m ³)
18,36	215.665.000	3.959.610	13.750	72.875.000	53.000.	64.000.000	12.834.610

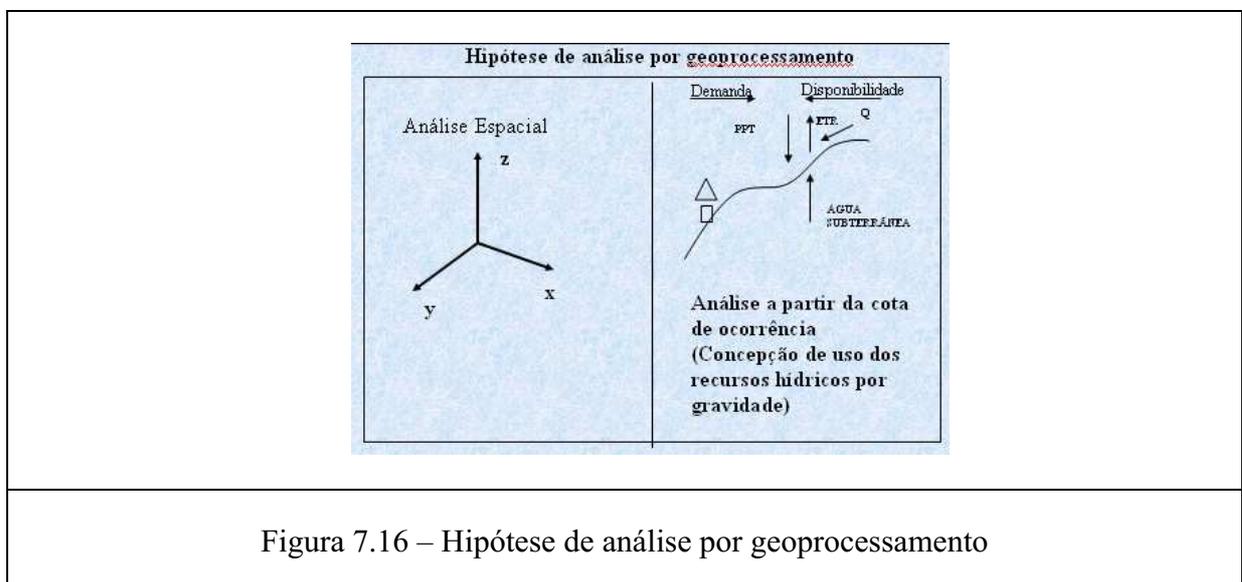
- Porção Sul

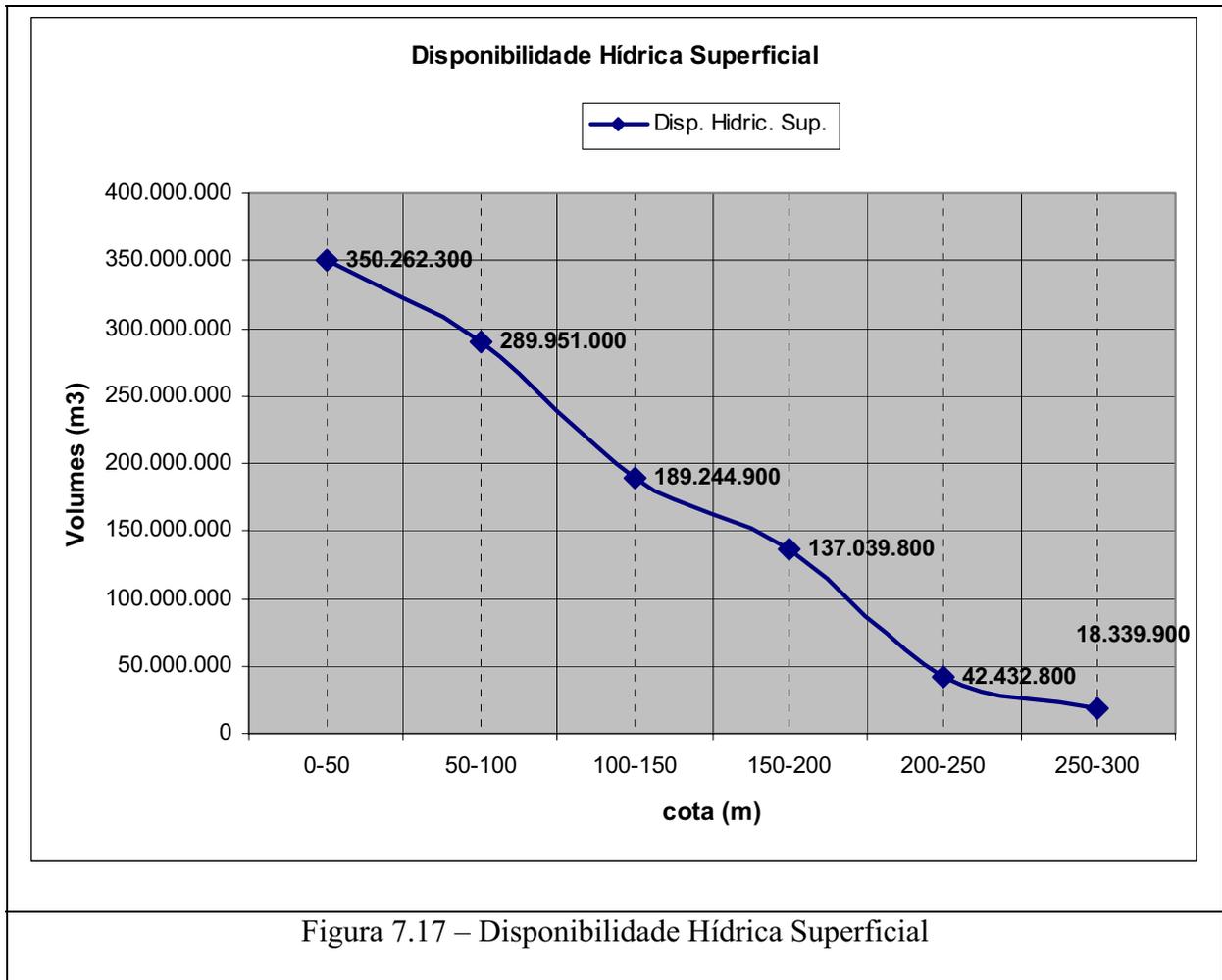
O uso do solo nesta porção da bacia caracteriza-se pelo cultivo de pastagens e culturas de sequeiro, como soja, milho trigo e pela criação de gado. Os volumes necessários para esta região resumem-se ao equilíbrio do déficit hídrico do solo conforme pode ser observado no quadro 7.5 a seguir.

Quadro 7.5 – Quantificação dos déficits na porção sul da bacia

(1) Déficit hídrico total no período de verão (mm) (Quadro 7.1)	(2) Área de déficit na porção norte (m ²) (Quadro 7.2)	Volume Déficit Hídrico Total no período de verão (m ³) na porção norte (1)/1000*(2)
18,36	38.058.540,00	698.754,74

Considerando a hipótese a seguir de análise por geoprocessamento (figura 7.16) têm-se os seguintes valores de disponibilidade hídrica superficial para a bacia do arroio Capané (figura 7.17).





As áreas potencialmente favoráveis sob o ponto de vista geomorfológico para reservação encontram-se situadas entre as cotas 150-200m. Nesta faixa a disponibilidade hídrica, situada entre 70.000.000 a 160.000.000m³ representa 39% da disponibilidade hídrica total da bacia. Este valor, considerando-se a necessidade hídrica do arroz (13.000m³/ha) permite a irrigação, em média, de 10.545ha.

7.3. Avaliação da disponibilidade hídrica subterrânea.

7.3.1. Hidrostratigrafia

A geologia da área, com unidades estratigráficas distribuídas do pré cambriano ao quaternário, apresenta predominantemente aquíferos e aquíferos. Identifica-se, entretanto, alguma potencialidade hídrica de interesse na Formação Rio Bonito (Permiano) e nos sedimentos Quaternários, conforme se observa na coluna hidrostratigráfica (quadro 7.6).

7.3.1.1. Sedimentos Quaternários inconsolidados

Os sedimentos Quaternários, dispostos ao longo dos cursos d'água e constituindo as planícies aluvionares, são compostos por areias finas, silte e argilas orgânicas. São comuns horizontes conglomeráticos na base da seqüência sedimentar cenozóica, os quais apresentam alta porosidade e boa capacidade de reservação hídrica. Esta unidade geológica comporta-se como aquífero livre

Como se observa no mapa geológico (figura 7.18) os sedimentos Quaternários dispõem-se predominantemente no baixo vale do Capané ocupando uma área de 11.500ha.

As sondagens executadas na barragem existente (figura 7.19), confirmam a ocorrência de um horizonte conglomerático basal, com espessura média de 6,00 m, sobreposto aos siltitos e arenitos finos da Formação Palermo. Este horizonte apresenta porosidade e permeabilidade elevadas, caracterizando-se por significativas vazões subterrâneas as quais tem comprometido a estanqueidade do barramento existente.

São aquíferos formados na região por pelitos, areias e cascalhos, situados na várzea (porção norte da bacia). Os ensaios hidráulicos mostram boa condutividade hidráulica ($10^{-1} < k < 10^{-4}$ cm/s) permite exploração em baixas profundidades com vazões da ordem de 5 a 8 m³/h. Os exames da água analisada mostram boa qualidade podendo a mesma ser utilizada para qualquer fim (DRHS,1999).

Província	Sub Província	Unidade Geológica	Comportamento Hidrogeológico	Compartimentos Hidroestratigráficos
		<i>Depósitos fluviais e de terraço</i>	 <i>Aqüíferos livres, rasos, de grande extensão, com permeabilidade muito variada, passando a aquíferos.</i>	<i>Aquíferos Livres</i>
Depressão Periférica	Rosário do Sul	<i>Formação Santa Maria</i>	 <i>Aqüicludos.</i>	<i>Aquicludes e Aquíferos</i>
		<i>Formação Sanga do Cabral.</i>	 <i>Aquíferos intercalados com aquíferos pobres.</i>	
		<i>Formação Rio do Rastro.</i>	 <i>Aquíferos de grande extensão com algum aquífero.</i>	
	Permiana	<i>Formações Estrada Nova, Irati, Palermo e grupo Itararé.</i>	 <i>Aqüicludos.</i>	
		<i>Formação Rio Bonito Formações Estrada</i>	 <i>Aquíferos na facies arenosa do Rio Bonito.</i>	<i>Aquífero confinado</i>
Do Escudo	Paleozóica	<i>Grupo Camaquã</i>	 <i>Aquíferos, aquícludos e aquíferos pouco conhecidos</i>	<i>Aquicludes e Aquíferos</i>
	Cristalina	<i>Todas as formações mais antigas que o o grupo Camaquã</i>	 <i>Aquícludos e aquíferos restritos às zonas fraturadas</i>	

Quadro 7.6 – Hidroestratigrafia da bacia do arroio Capané

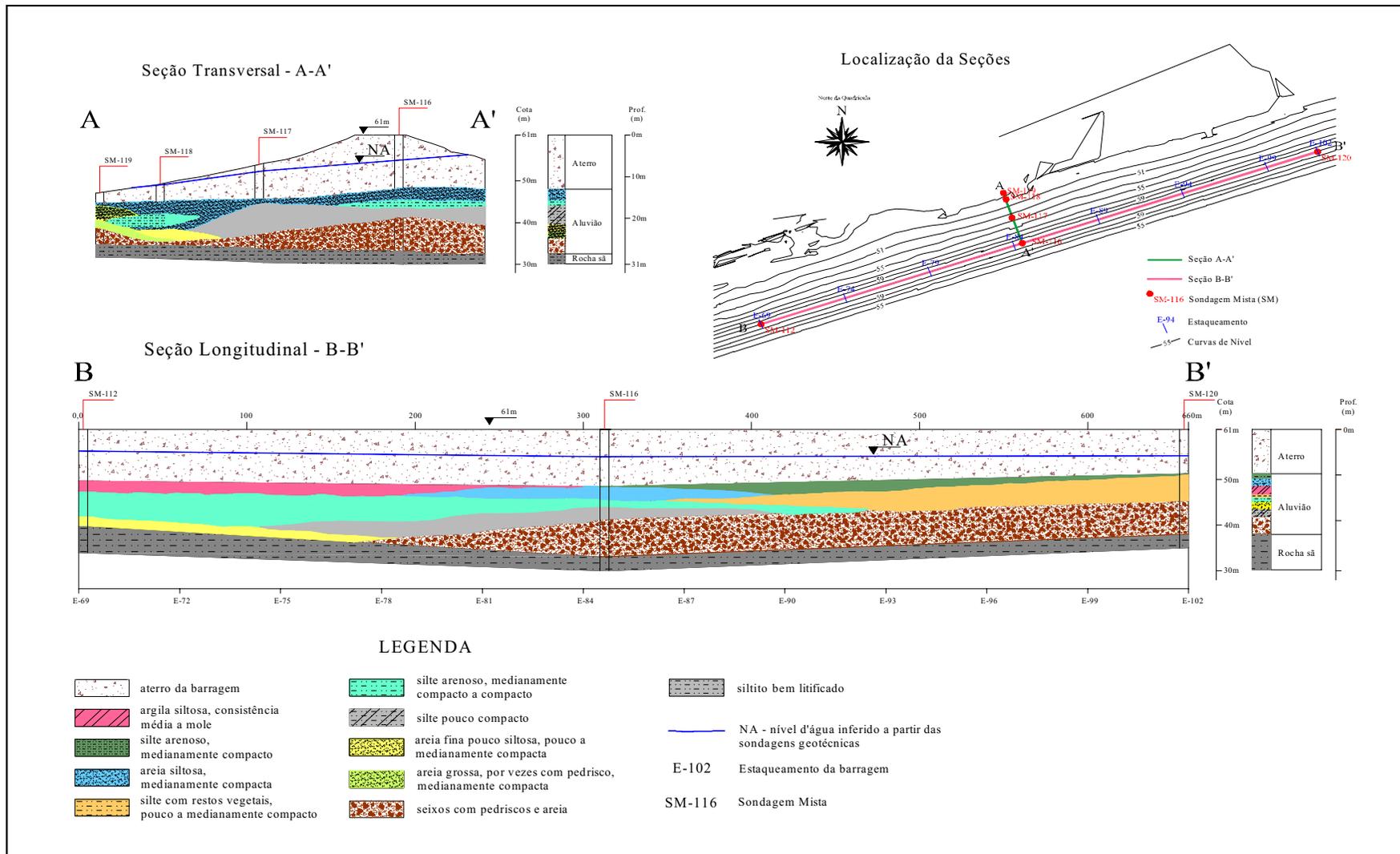


Figura 7.19 – Sondagens na Barragem do Capané (adaptado de UNISINOS,2001)

7.3.1.2. Formação Rio Bonito

A Formação Rio Bonito, a qual comporta-se como aquífero confinado, compreende siltitos acinzentados e folhelhos escuros carbonosos, intercalados com camadas com carvão. São comuns as associações de arenitos quartzosos de granulometria fina a grossa, localmente conglomeráticas, com laminações plano-paralelas e estratificações cruzadas acanaladas os quais apresentam boa potencialidade hídrica.

Informações de poços da CPRM analisadas por Dessart (2003), mostram a ocorrência de litofácies de arenitos quartzosos, fins, médios e grossos, o qual é de interesse para a produção de água subterrânea. As características deste fácies podem ser observados nas testemunhas do furo de sondagem ST-05, apresentado na figura 7.20.

A Formação Rio Bonito, embora aflore em uma área restrita no alto vale do Capané, conforme se verifica no mapa geológico, ocorre subsuperficialmente em toda a sub-bacia.

A geometria deste fácies em afloramentos é lenticular podendo ocorrer intraclastos de pelitos . As estratificações cruzadas são de pequeno porte, médio e grande porte.

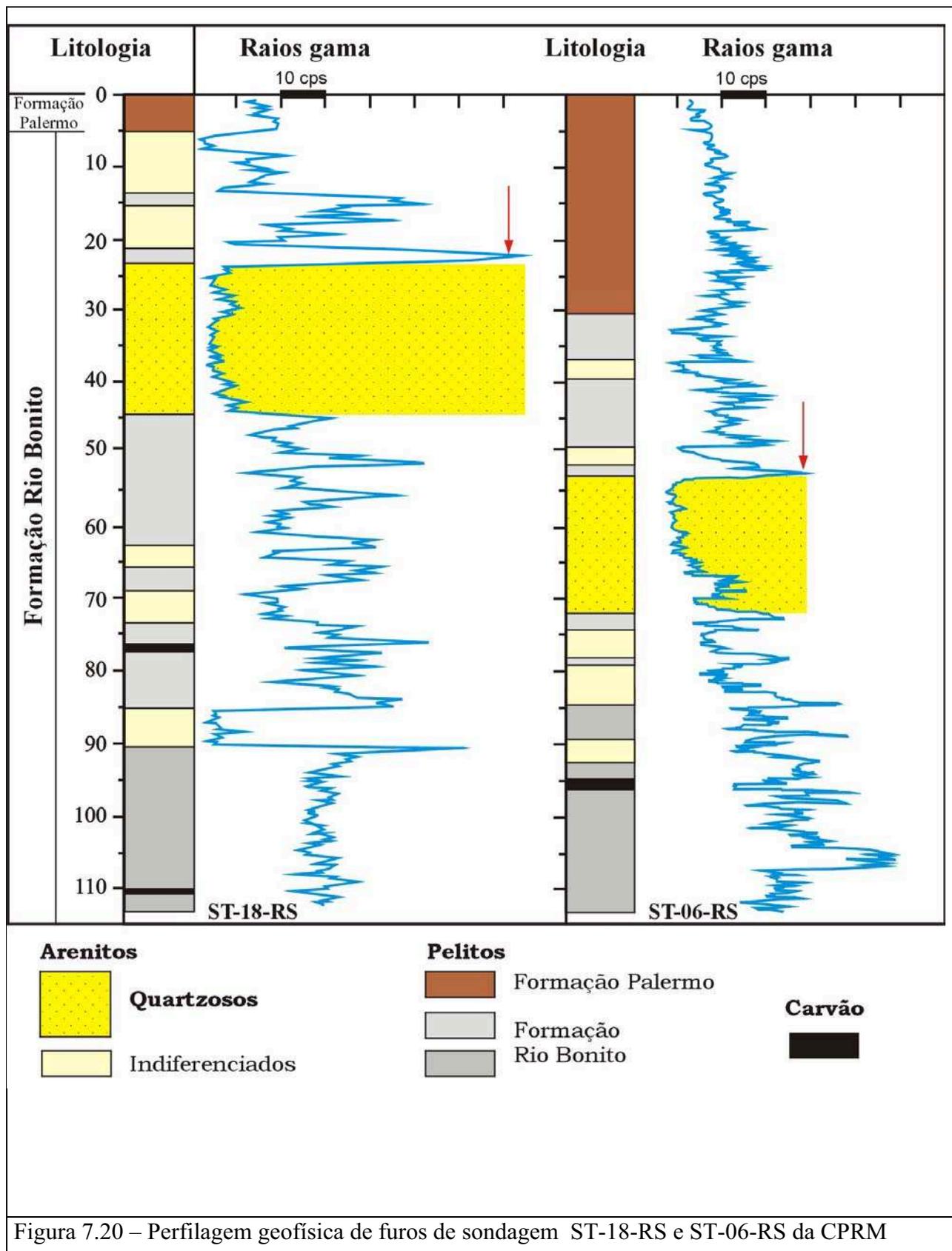


Figura 7.20 – Perfilagem geofísica de furos de sondagem ST-18-RS e ST-06-RS da CPRM

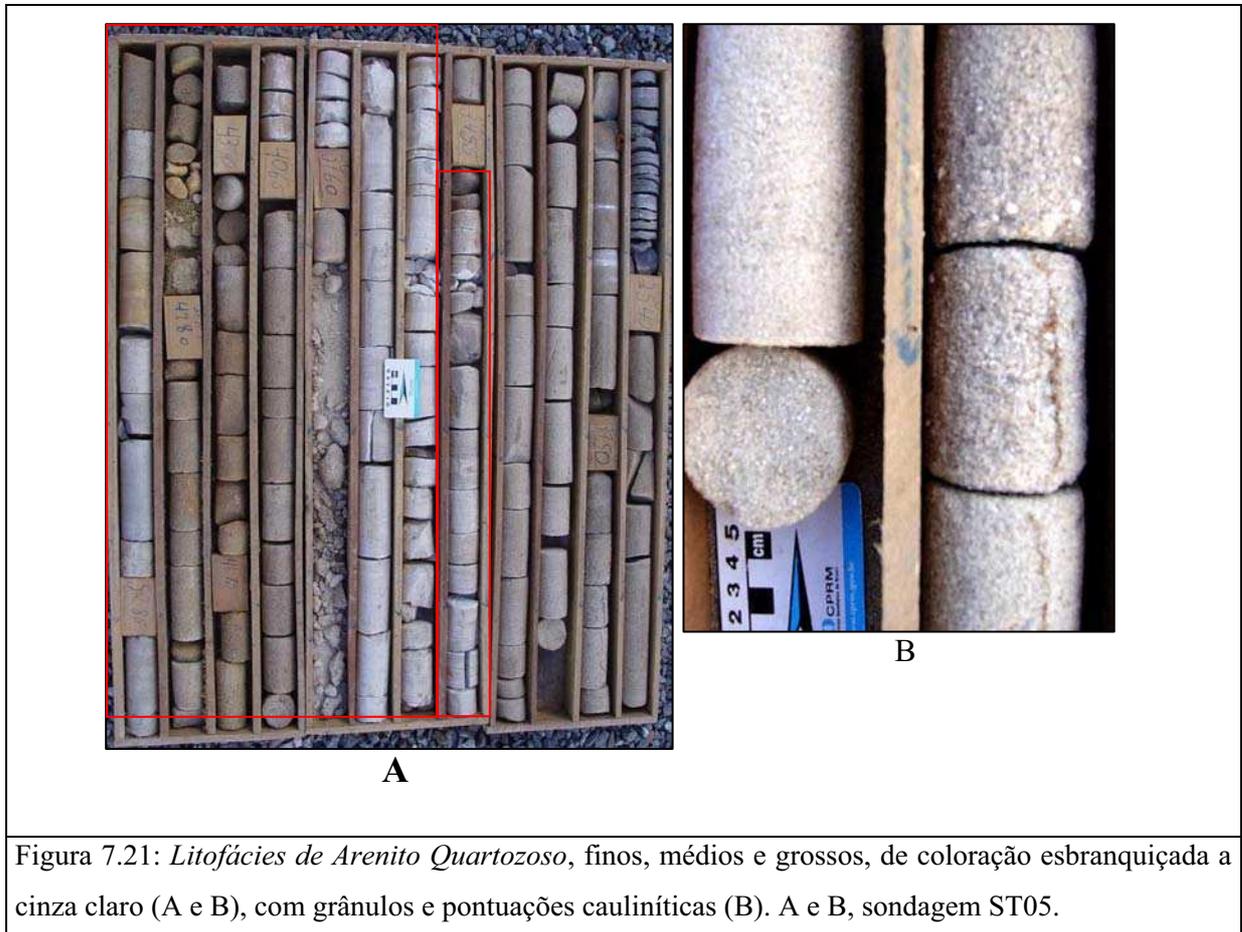


Figura 7.21: *Litofácies de Arenito Quartzoso*, finos, médios e grossos, de coloração esbranquiçada a cinza claro (A e B), com grânulos e pontuações caulínicas (B). A e B, sondagem ST05.

A construção destas camadas é feita pela migração de formas de leito do tipo dunas subaquosas, dispostas em corpos arenosos complexos (sand waves). Estes corpos arenosos apresentam processo de fluidização e intensa bioturbação, caracterizado por abundantes traços fósseis verticais e horizontais, por vezes formando níveis de harground no topo das camadas. Lopes (1995) interpreta presença de um sistema de estuário, onde estariam situados os depósitos de sand waves de marés, em uma parte mais distal do modelo estuarino.

A espessura média do litofácies de arenitos quartzosos, conforme verificado nos furos de sondagens, é da ordem de 25 m. Estes arenitos quartzosos mostraram boa correlação com as perfilagens geofísicas por raio gama, como apresentado na figura 7.20 para os furos de sondagem ST-18 –RS e ST-06-RS. Nesta mesma figura, através da resposta geofísica, é possível identificar outros horizontes potencialmente aquíferos, os quais, entretanto, não serão utilizados para avaliação das reservas.

O exame das perfilagens geofísicas em uma série de poços ao longo de uma seção geológica, como apresentado nas seções NE e EW de correlação estratigráfica (figuras 7.24 e 7.25) mostram a ocorrência constante da litofácies de arenitos quartzosos. Isto permite considerar, a princípio, que este litofácies poderá ser utilizado continuamente para produção de água subterrânea na maior parte da bacia do arroio Capané. A análise de todos os poços existentes, como apresentado no bloco diagrama 3D da figura 7.26 e 7.27, confirma a ocorrência desta camada aquífera em toda a área da bacia. A conexão hidráulica entre distintos blocos, separados por falhas, deverá ser alvo de estudo da estrutura geofísica.

As análises de água da Formação Rio Bonito (DRHS,1999) mostram tipologia carbonatada sódica em toda a seqüência, podendo tornar-se sulfurosa nas proximidades da Formação Irai, quando se tornam inaproveitáveis.

Como unidade hidroestratigráfica, segundo DRHS (1999), a Formação Rio Bonito constitui um aquífero razoável com valores de condutividade hidráulica de 100 a 10^{-5} cm/s para os arenitos e vazões de poços de até $10\text{m}^3/\text{h}$. A qualidade da água é boa e pode ser utilizada para qualquer fim.

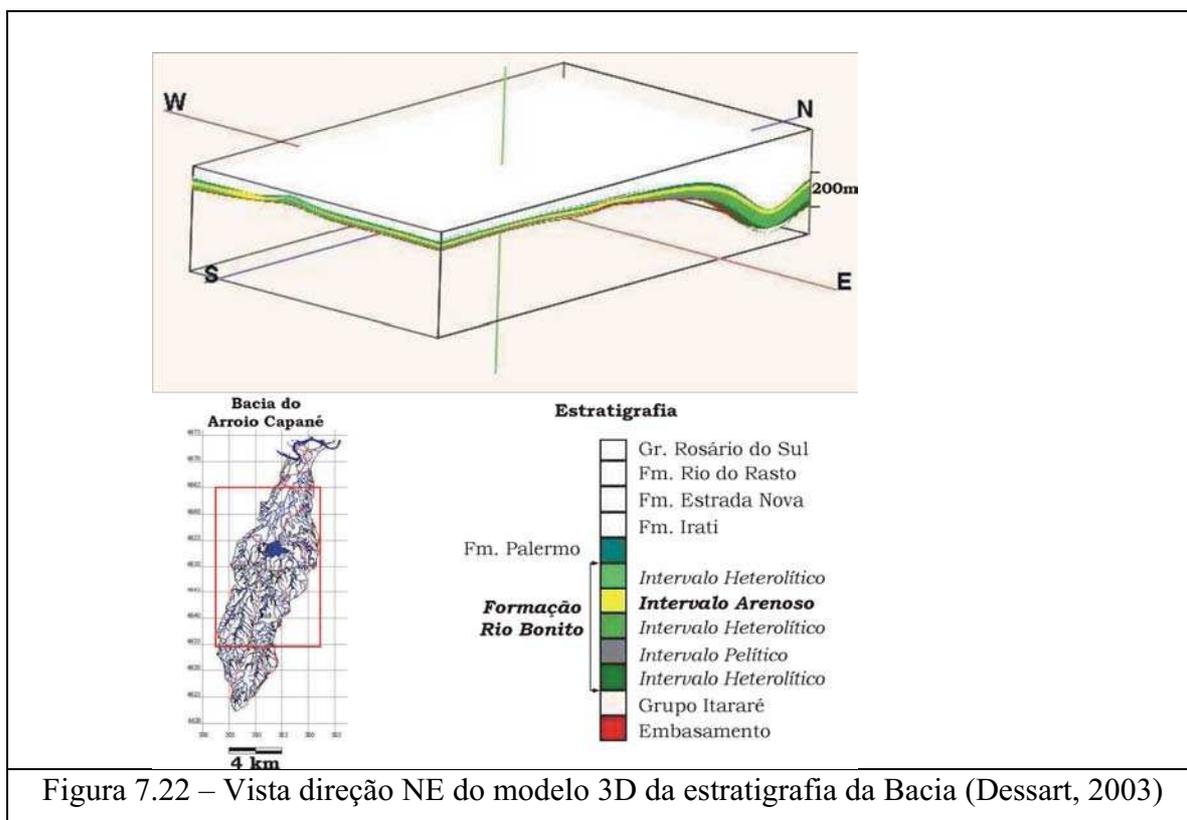


Figura 7.22 – Vista direção NE do modelo 3D da estratigrafia da Bacía (Dessart, 2003)

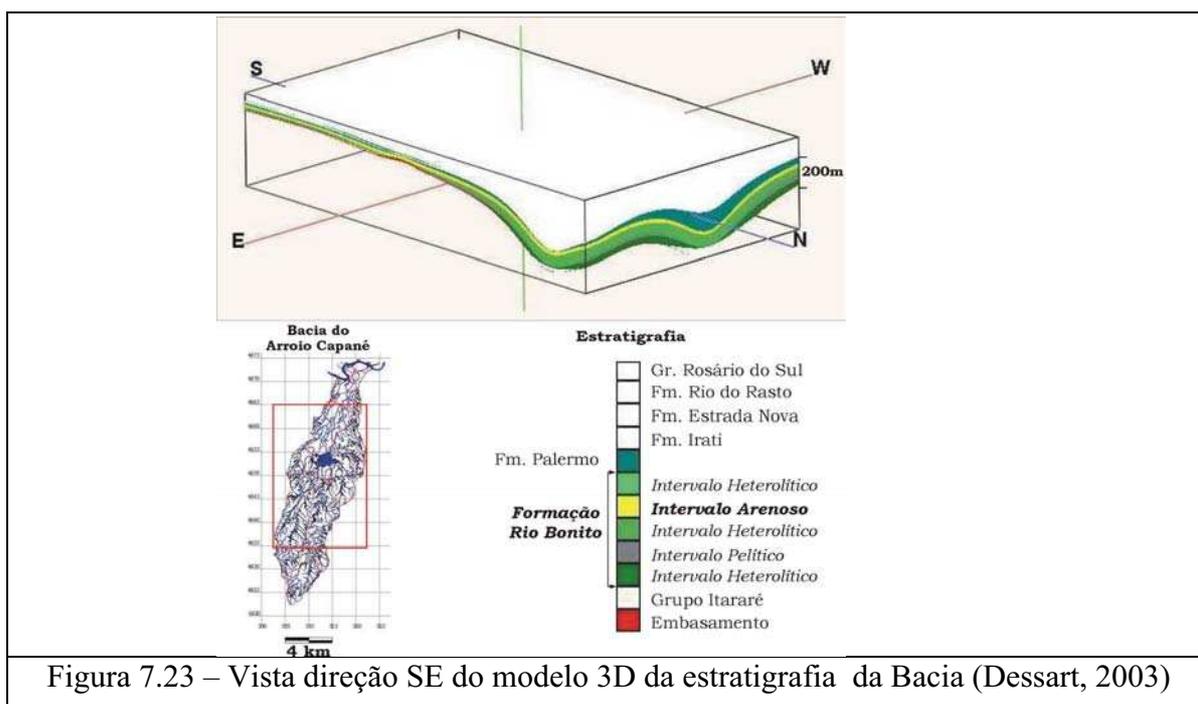
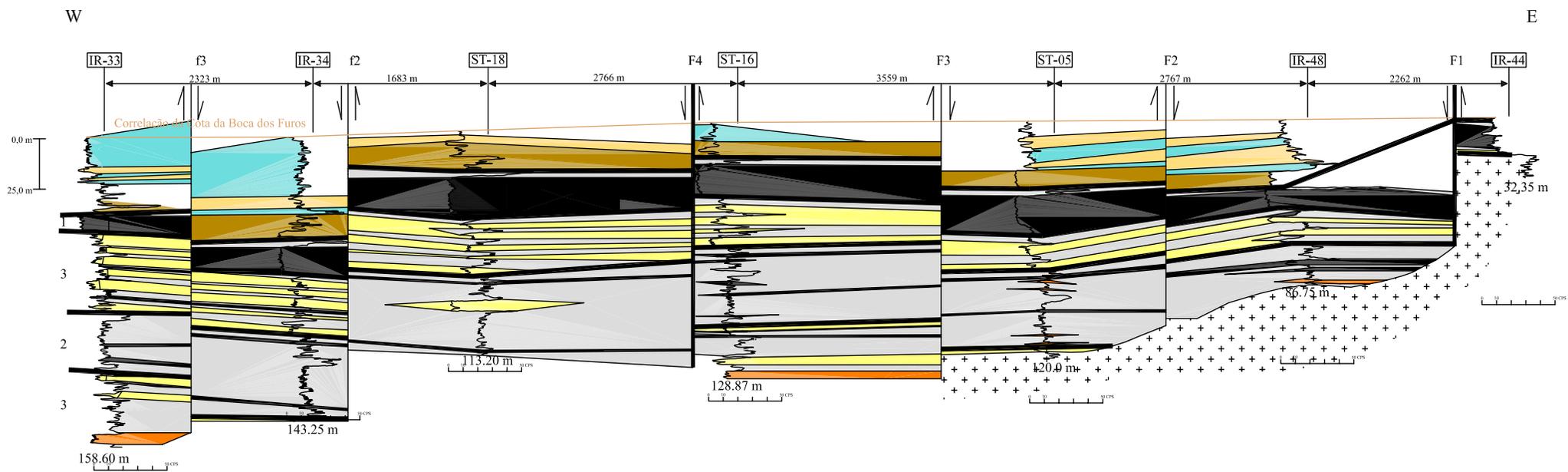


Figura 7.23 – Vista direção SE do modelo 3D da estratigrafia da Bacía (Dessart, 2003)

Seção de Correlação Geológica Strike 04 - S4



Convenção Cartográfica	
	Falha Secundária
	Falha Primária

Formação		Litofácies		
Formação Palermo			Pelitos Laminados	
			Pelitos com Acamadamento <i>Wavy</i> e <i>Linsen</i>	
Formação Rio Bonito	Intervalo			
	Arenoso (1)		Arenitos Quartzosos com Estratificações Cruzadas	
	Heterolítico (3)		Carvão	Litofácies de Carvão e Pelitos Carbonosos
			Pelitos Carbonosos	
			Pelitos com Acamadamento <i>Wavy</i> e <i>Linsen</i>	Litofácies de Arcóseos Litofácies de Arenitos Finos Litofácies de Arenitos com Estratificação <i>Hummocky</i>
		Camadas de Arenitos Não Diferenciados		
Paraconglomerados				
Pelítico (2)		Carvão	Litofácies de Carvão e Pelitos Carbonosos	
		Pelitos Carbonosos		
		Pelitos Acamadamento com <i>Wavy</i> e <i>Linsen</i>		
			Embasamento Indiferenciado	

Figura 7.24 Seção Geológica Strike 04 - S4

Seção de Correlação Geológica Dip 08 - S8

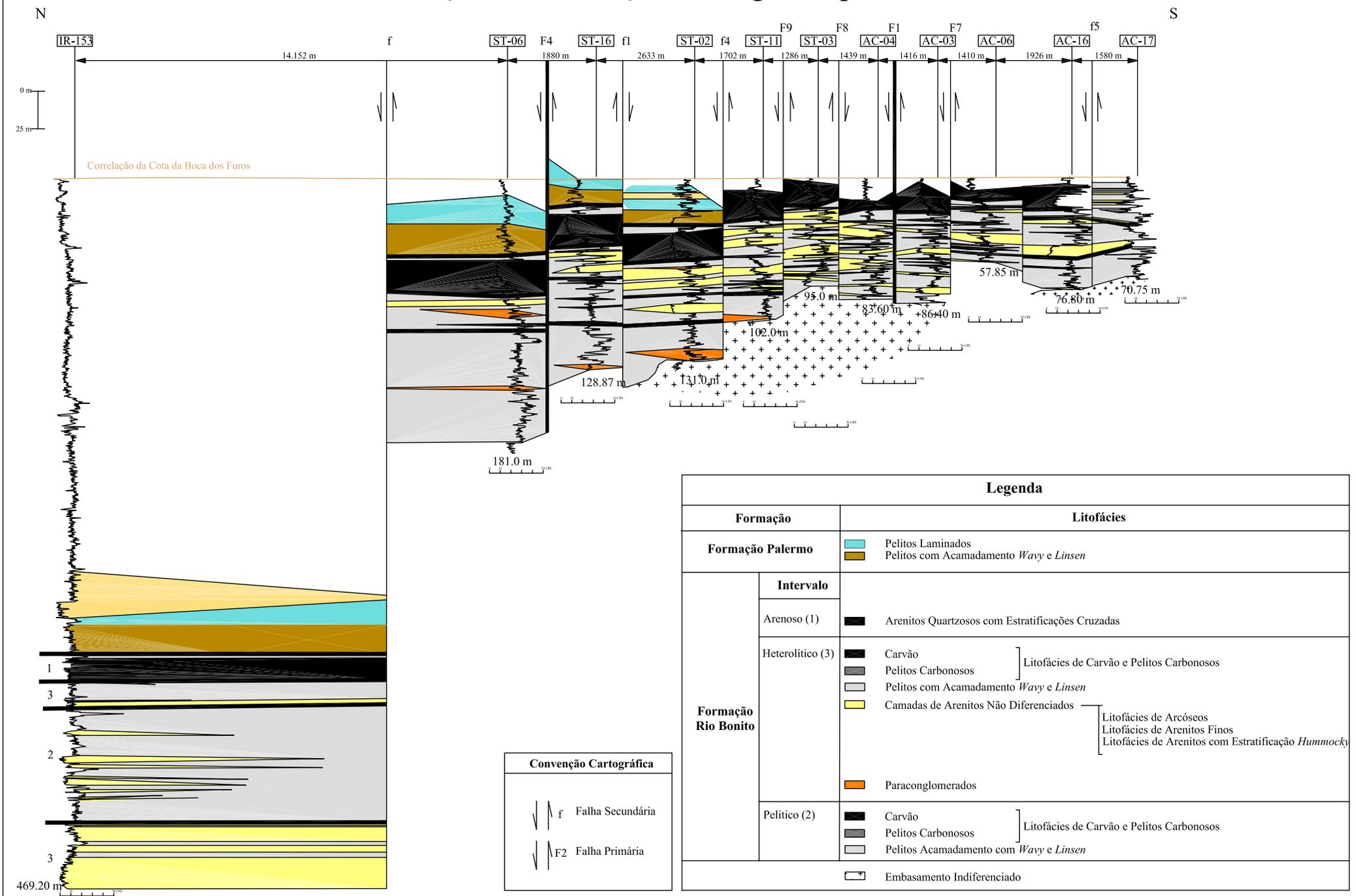
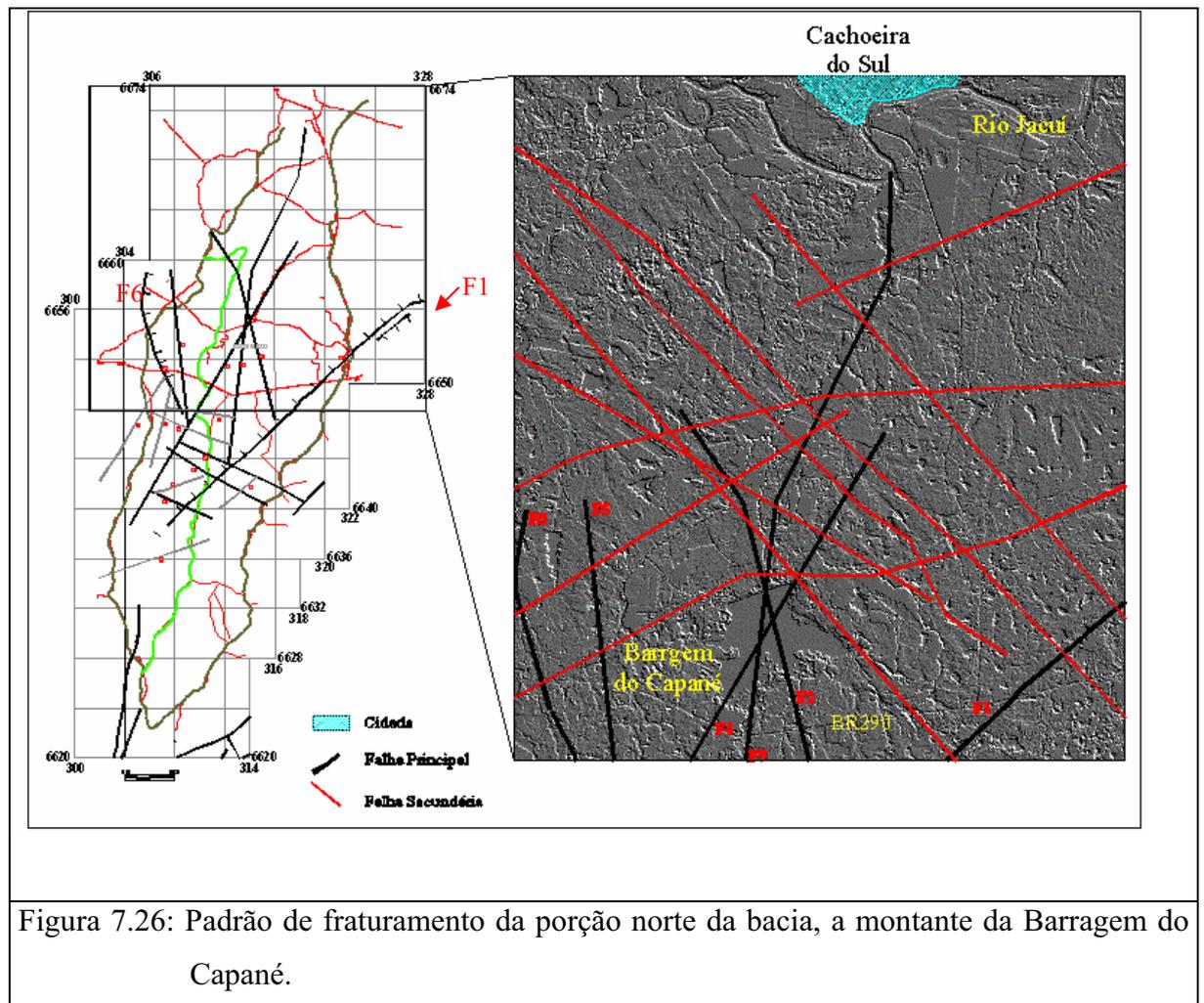


Figura 7.25 - Seção Geológica Dip 08 - S8

7.3.2. Estrutura Geológica

A Bacia Hidrográfica do Arroio Capané apresenta duas direções de fraturamento, NE e NW, as quais foram classificadas como principais ou secundárias como apresentado na figura 7.26.



Falhas Principais, identificadas tanto em superfície quanto em subsuperfície; em vermelho, falhas secundárias, foram identificadas pelo tratamento de imagens de satélite.

As Fraturas Principais, com maior extensão, cortam por vezes toda a área, gerando grandes rejeitos entre as camadas. Estas estruturas são possivelmente responsáveis pela origem do relevo atual, sem considerar o intemperismo das rochas e o conseqüente aplainamento e arredondamento das formas atuais.

Conforme sugere a figura 7.24 e 7.25, as falhas secundárias foram provavelmente geradas em consequência dos grandes falhamentos principais, caracterizando uma zona de influência destes últimos. As falhas secundárias apresentam rejeitos de menor expressão e uma menor extensão ao longo da bacia. Há uma conformação de estruturas Horst e Grabens de diferentes amplitudes, a qual caracteriza, de forma ampla, o Paleovale do arroio Capané.

A ação dos falhamentos pode levar a compartimentação da seqüência sedimentar em blocos hidráulicos isolados. Observando-se a figura 7.26 é possível visualizar que as falhas F1 e F6 produzem um rebaixamento de toda a bacia na sua porção norte onde a Formação Palermo chega a atingir espessuras da ordem de 80m.

As seções de correlação estratigráfica permitem identificar a compartimentação dos blocos tectônicos e o movimento vertical relativo dos mesmos.

No atual estágio de conhecimento hidrogeológico da área, ainda não é possível determinar a existência ou não de conectividade hidráulica entre os blocos. Isto, embora interfira significativamente no modelo de fluxo subterrâneo e na locação de poços tubulares, não invalida a avaliação contínua das reservas subterrâneas.

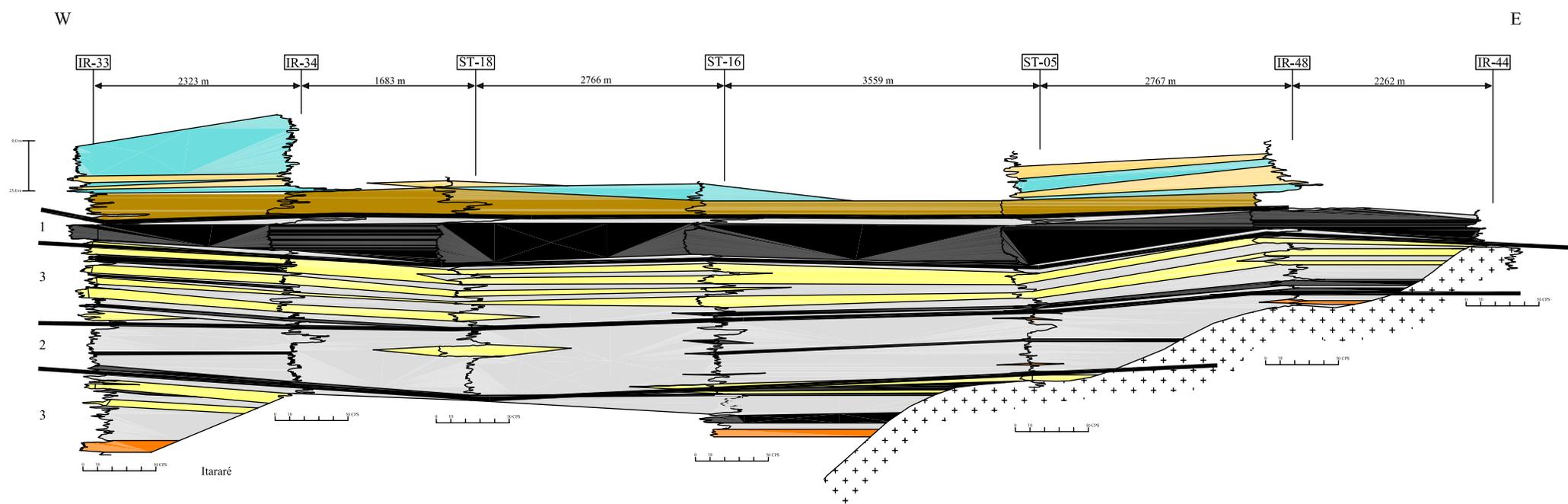
7.3.3. Avaliação das Reservas Subterrâneas

As reservas hídricas subterrâneas foram avaliadas a partir da conceituação de reservas, potencialidades e parâmetros físicos apresentadas pela CPRM (2000).

Uma vez que foi constatada a possibilidade de avaliação das reservas da Formação Rio Bonito, em toda a extensão de ocorrência da mesma na seqüência estratigráfica, esta teve sua reserva avaliada continuamente como aquífero confinado. Os sedimentos Quaternários, por sua vez, foram avaliados como aquífero livre.

As avaliações são de caráter estimativo e destinam-se tão somente a subsidiar a análise de viabilidade de uso destes recursos hídricos. A avaliação da potencialidade hídrica foi realizada considerando as reservas reguladoras, acrescidas estas de um percentual das reservas permanentes (CPRM, 2000).

Seção de Correlação Estratigráfica Strike 04 - S4

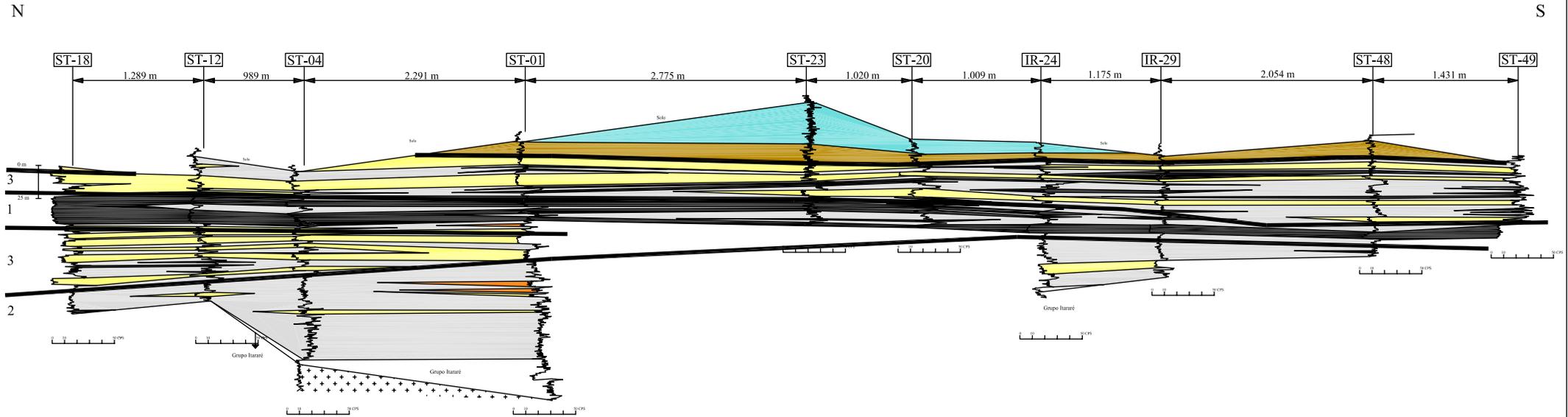


Formação		Litofácies	
Formação Palermo		Pelitos Laminados	
		Pelitos com Acamadamento <i>Wavy</i> e <i>Linsen</i>	
Formação Rio Bonito	Intervalo		
	Arenoso (1)	Arenitos Quartzosos com Estratificações Cruzadas	
	Heterolítico (3)	Carvão	Litofácies de Carvão e Pelitos Carbonosos
		Pelitos Carbonosos	
		Pelitos com Acamadamento <i>Wavy</i> e <i>Linsen</i>	
Camadas de Arenitos Não Diferenciados		Litofácies de Arcóseos Litofácies de Arenitos Finos Litofácies de Arenitos com Estratificação <i>Hummocky</i>	
Paraconglomerados			
Pelítico (2)	Carvão	Litofácies de Carvão e Pelitos Carbonosos	
	Pelitos Carbonosos		
	Pelitos Acamadamento com <i>Wavy</i> e <i>Linsen</i>		
		Embasamento Indiferenciado	

— / —
Limite de Intervalo

Figura 7.27 - Seção Estratigráfica Strike 04 - S4

Seção de Correlação Estratigrafica Dip 09 - S9



Formação		Litofácies		
Formação Palermo		Pelitos Laminados	Pelitos com Acamadamento <i>Wavy</i> e <i>Linsen</i>	
Formação Rio Bonito		Arenos (1)		Arenitos Quartzosos com Estratificações Cruzadas
		Heterolítico (3)	Litofácies de Carvão e Pelitos Carbonosos Litofácies de Arcóseos Litofácies de Arenitos Finos Litofácies de Arenitos com Estratificação <i>Hummocky</i>	
				Pelitos com Acamadamento <i>Wavy</i> e <i>Linsen</i>
				Camadas de Arenitos Não Diferenciados
				Paraconglomerados
		Pelítico (2)	Litofácies de Carvão e Pelitos Carbonosos	
				Pelitos Carbonosos
				Pelitos Acamadamento com <i>Wavy</i> e <i>Linsen</i>
			Embasamento Indiferenciado	

Limite de Intervalo

Figura 7.23 Seção Estratigrafica Dip 09 - S9

7.3.3.1. Reservas Reguladoras

As figuras 7.29 e 7.30 apresentam a distribuição espacial das reservas reguladoras e seus volumes acumulados na bacia do arroio Capané. As reservas reguladoras foram determinadas através da fórmula 6.9.

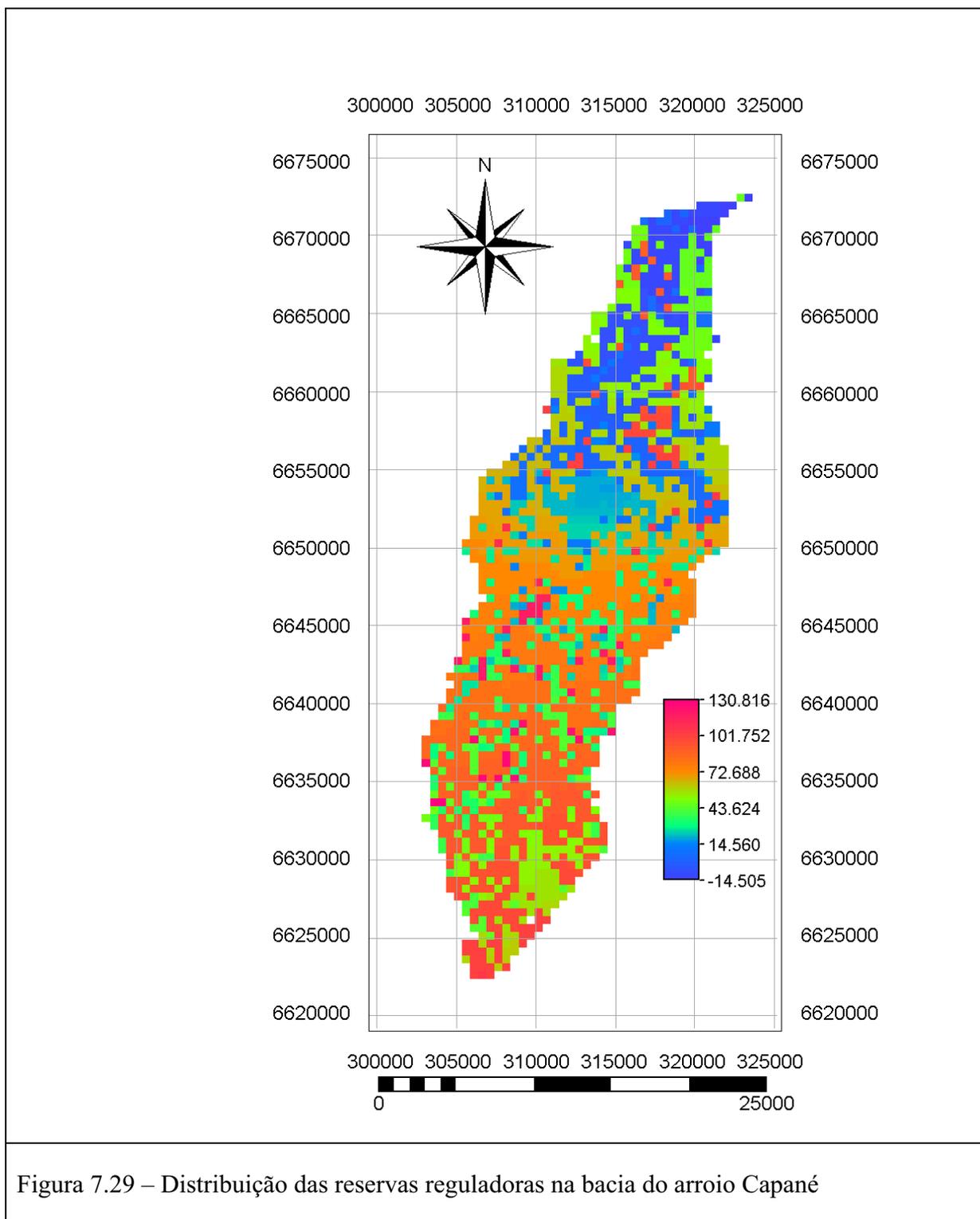
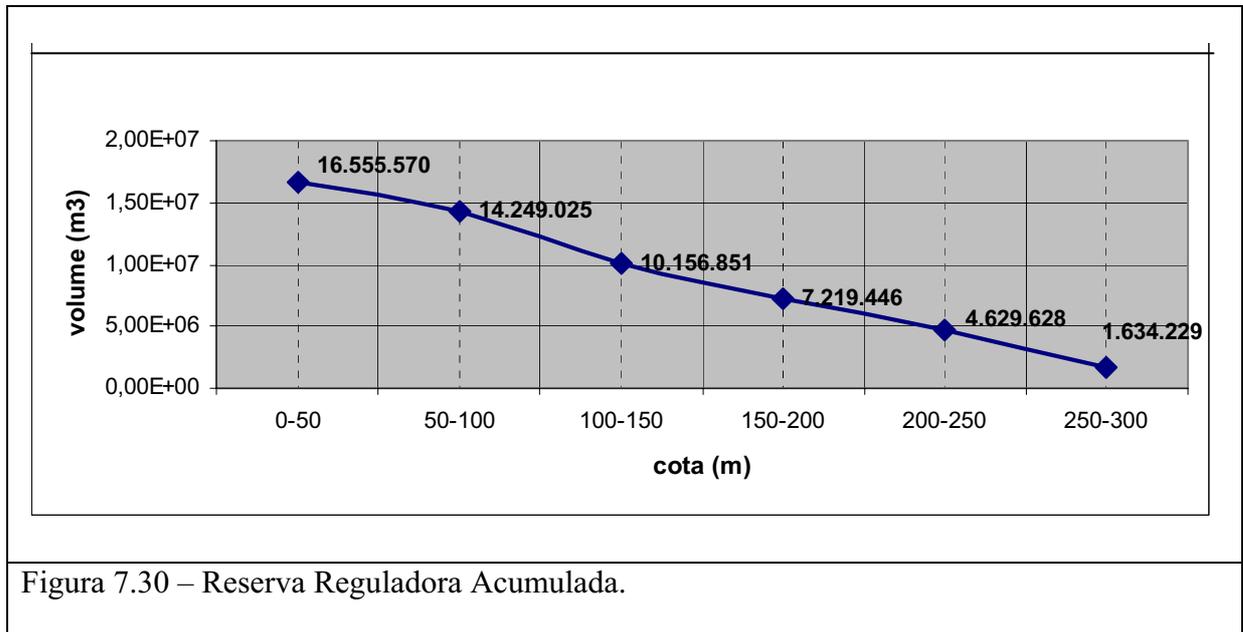


Figura 7.29 – Distribuição das reservas reguladoras na bacia do arroio Capané



7.3.3.2. Reservas Permanentes

Capacidade de reservação dos Sedimentos Quaternários

A área de ocorrência dos sedimentos Quaternários, utilizando-se arquivos vetoriais e matriciais, foi avaliada em 115km². Este valor corresponde a 23% da área total da bacia hidrográfica, sendo utilizada para cultivo do arroz irrigado e para a maior parte do atual reservatório da barragem do Capané.

Tomando-se os conglomerados basais permeáveis (figura 7.19 – Seção da barragem), com espessura média de 6,0m e porosidade $n=20\%$ (CPRM, 2000), obteve-se os valores de reserva deste aquífero, conforme expresso no quadro 7.7. A capacidade de reservação deste aquífero foi determinada através das fórmulas 6.2 e 6.5 (capítulo Método e Técnicas).

Quadro 7.7 - Capacidade de reservação do aquífero ocorrente em depósitos aluvionais

Tipo Aquífero	Área (m ²)	Espessura média (m)	Porosidade Efetiva (%)	Reservação Permanente (m ³)	Reservas Reguladoras (m ³)
Aluviões	115.000.000	6,00	20	138.000.000	5.982.760
POTENCIALIDADE (m ³)				6.810.760m ³	

Capacidade de reservação da Formação Rio Bonito

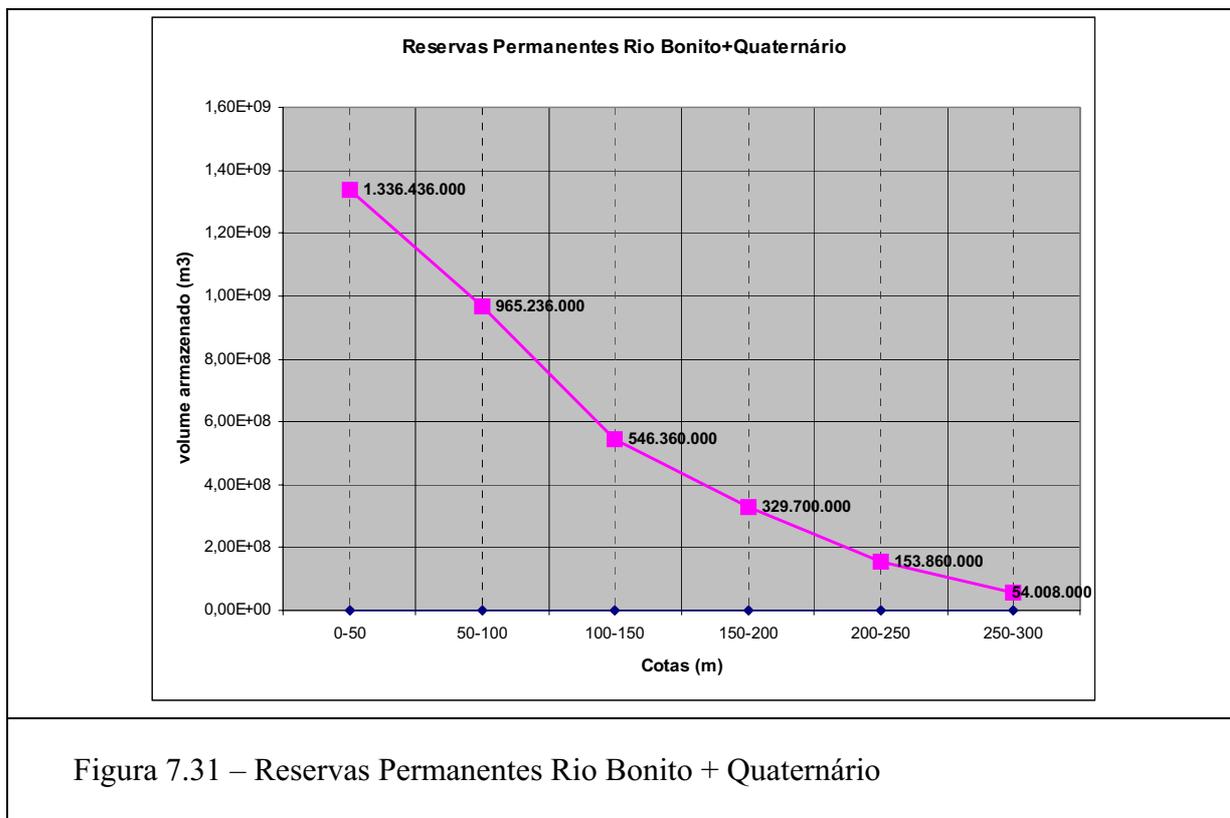
A Formação Rio bonito está presente na quase totalidade da bacia. Considerou-se para esta avaliação apenas os arenitos quartzosos. Esta distribuição também é contínua na sub-bacia, (conforme modelo de blocos elaborado a partir dos poços tubulares e apresentado nas figuras 7.27 e 7.28).

A área de projeção desta formação analisada através de arquivos vetoriais e matriciais, resultou em 487km². Considerando-se uma espessura média de 25m e uma porosidade efetiva de 10% (CPRM, 2000), através das fórmulas 6.1, 6.2, 6.4 e 6.5 (capítulo Método e Técnicas), obteve-se os valores de reservação expressos no quadro 7.8.

Quadro 7.8 – Valores de reservação na Formação Rio Bonito

Tipo Aquífero	Área de confinamento A (m ²)	Espessura média b (m)	Porosidade Efetiva n_e (%)	Coefficiente médio de Armazenamento S (mm)	Carga hidráulica média acima da base da camada confinante L (m)	Reservação Permanente Rp (m ³)	Reservas Reguladoras Rr (m ³)
Arenito	487.930.000	25,00	10	0,11	12,00	1.283.468.400	53.184.370
POTENCIALIDADE (m ³)						127.485.180 m ³	

As reservas permanentes acumuladas por faixa de cota na bacia são apresentadas na figura 7.31 a seguir.



7.3.3.3. Potencialidade hídrica subterrânea da bacia (volume de exploração sustentável)

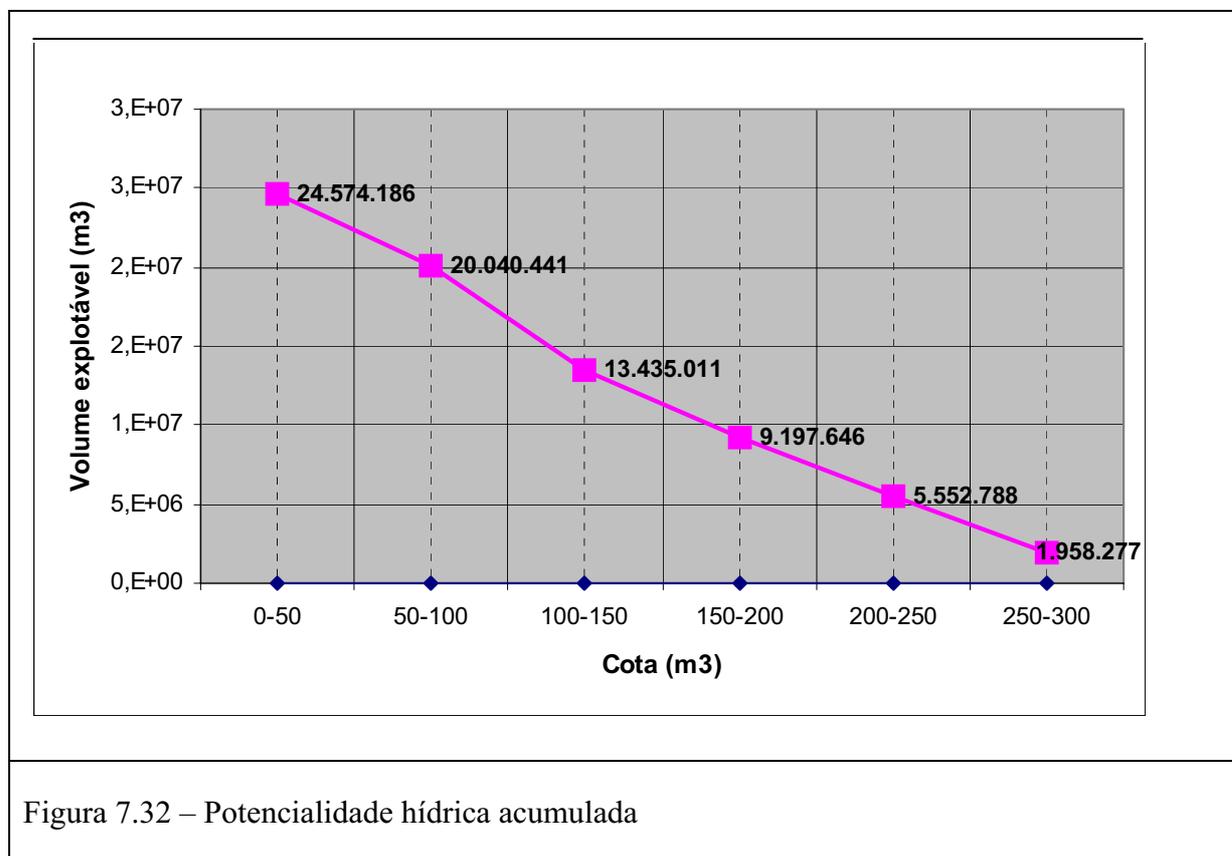
Sedimentos Quaternários

Com base nestes resultados, considerando a potencialidade do aquífero como reserva reguladora acrescidos de um percentual de 0,06% das reservas permanentes (CPRM,2000), chega-se a um valor de 6.810.760m³ (Quadro 7.7). Este valor foi determinado através da equação 6.6 (capítulo Método e Técnicas). Este é um valor estimativo sendo de fundamental importância o monitoramento do aquífero no decorrer do seu uso.

Formação Rio Bonito

Com base nestes resultados, considerando a potencialidade do aquífero como reserva reguladora acrescida de percentual de 0,06% das reservas permanentes (CPRM, 2000), chega-se a um valor de 127.485.180 m³ (Quadro 7.8). Este valor foi determinado através da equação 6.6 (capítulo Método e Técnicas). Este é um valor estimativo sendo de fundamental importância o monitoramento do aquífero no decorrer do seu uso.

A figura 7.32 a seguir apresenta os valores acumulados da potencialidade hídrica subterrânea na bacia do arroio Capané.



Os valores apresentados na figura 7.32 indicam que as reservas subterrâneas podem ser consideradas como boa alternativa de uso na bacia.

As reservas potenciais respondem por 7% das disponibilidades hídricas totais (superficiais + subterrâneas) e sua exploração possui custos consideravelmente menores quando cotejados com os custos de reservação superficial.

Os locais potencialmente viáveis para reservação superficial (áreas beneficiadas através de irrigação por gravidade) atendem no máximo 50% da bacia (cotas inferiores a 150,00m).

Para a outra porção (cotas superiores a 150,00m) a opção dos recursos subterrâneos se mostra viável, principalmente na utilização de irrigação de culturas de sequeiro (milho, soja, sorgo e horti-frutigrangeiros) através de sistemas de irrigação por gotejamento ou aspersão.

A figura 7.22 (modelagem 3D do aquífero Rio Bonito) indica que nesta porção da bacia as profundidades de exploração são muito reduzidas e em alguns locais o aquífero é aflorante. Nestas porção os recursos hídricos subterrâneos explotáveis são da ordem de 9.000.000m³.

Um dos aspectos importantes na avaliação das disponibilidades hídricas subterrâneas reside no fato que a Formação Rio Bonito, por estar confinado pela Formação Palermo de alta impermeabilidade, teve sua reserva reguladora (anual) avaliada apenas em uma pequena área aflorante no norte da bacia. Para o restante da área, devido à impermeabilidade das formações confinantes, considerou-se que a Formação Rio Bonito não tem qualquer recarga a partir da infiltração superficial. Entretanto, se o fluxo infiltrado superficialmente é limitado pelo topo rochoso das formações geológicas impermeáveis, então este deve fluir sub-superficialmente, vindo a aflorar em cursos d'água superficiais e/ou alimentando lateralmente o pacote aquífero Quaternário.

O mapa da figura 7.29, em relação ao aquífero livre Quaternário, considera uma recarga lateral distribuída, a qual foi estimada em 50% do fluxo sub-superficial. Esta recarga é anual e muda as reservas reguladoras deste aquífero.

7.4. Avaliação das demandas na bacia

Foram considerados para avaliação das demandas hídricas os seguintes itens:

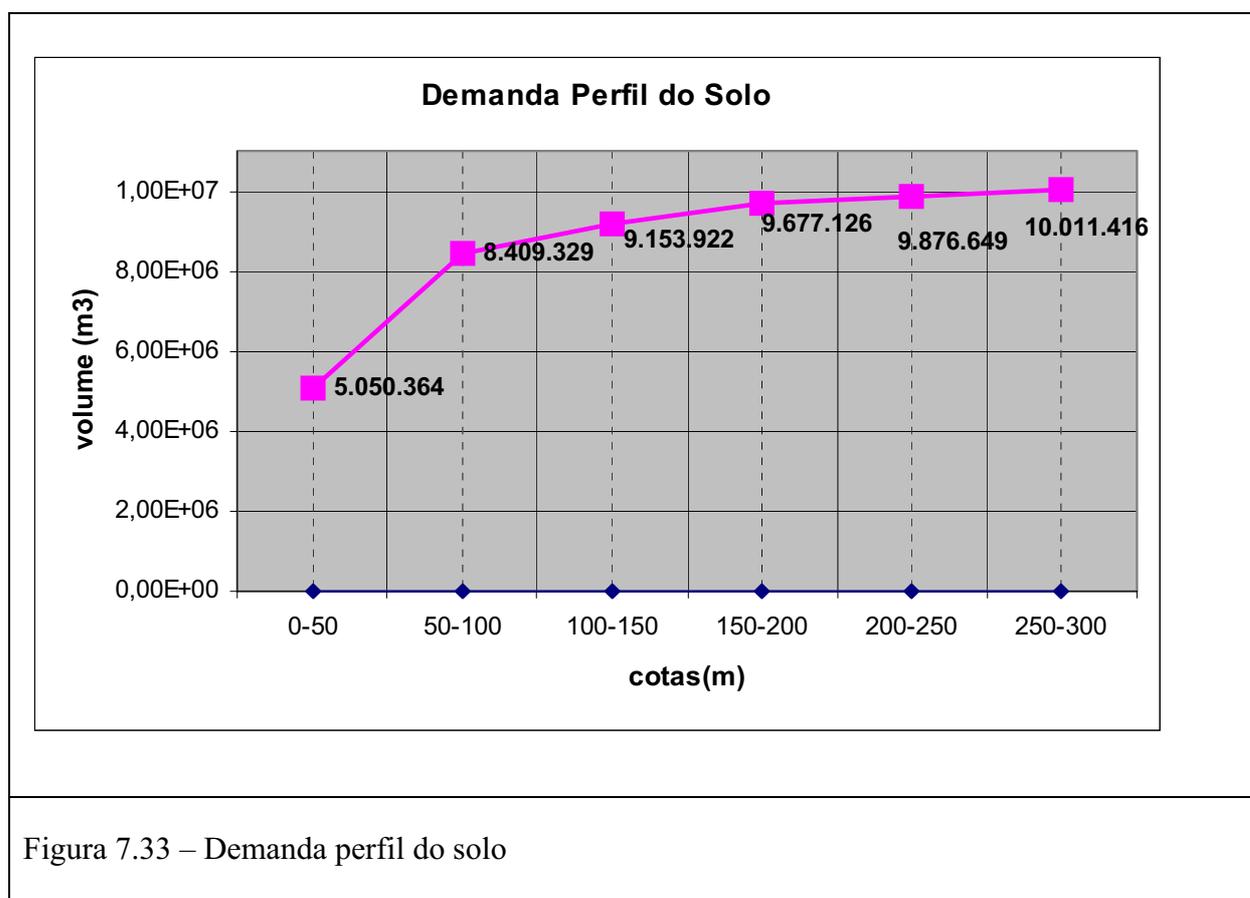
- ✓ Demanda hídrica do perfil do solo;
- ✓ Demanda hídrica conforme os vários usos do solo na bacia (pastagens, arroz, matas e culturas de verão, figuras 7.1 e 7.2);

As figuras 7.33, 7.34 e 7.35 a seguir apresentam o cenário atual das demandas hídricas na bacia. Para fins de análise as demandas foram organizadas em três grandes grupos.

- ✓ Demanda hídrica do perfil do solo;
- ✓ Demanda hídrica decorrente da cultura orizícola; e,

- ✓ Demanda de outras culturas (culturas de sequeiro: soja, milho, trigo, etc.)

Tal agrupamento deve-se à representatividade das referidas demandas no cenário da bacia. As áreas de cultivo consideradas obedecem às parcelas de uso determinadas na classificação dos usos de solo realizada no aplicativo ILWIS.



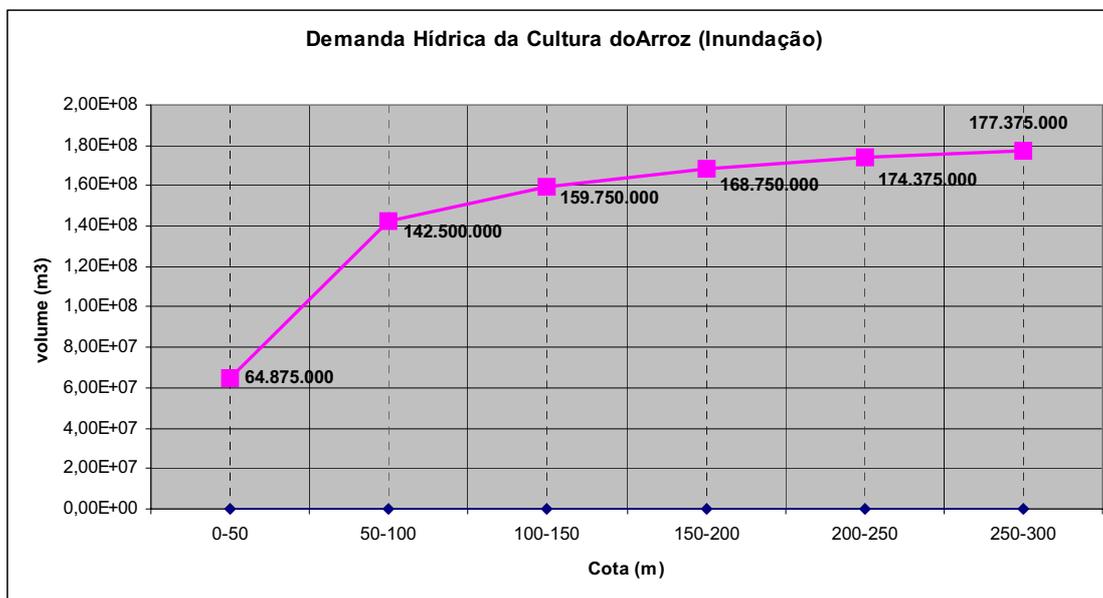


Figura 7.34 – Demanda hídrica da demanda orizícola

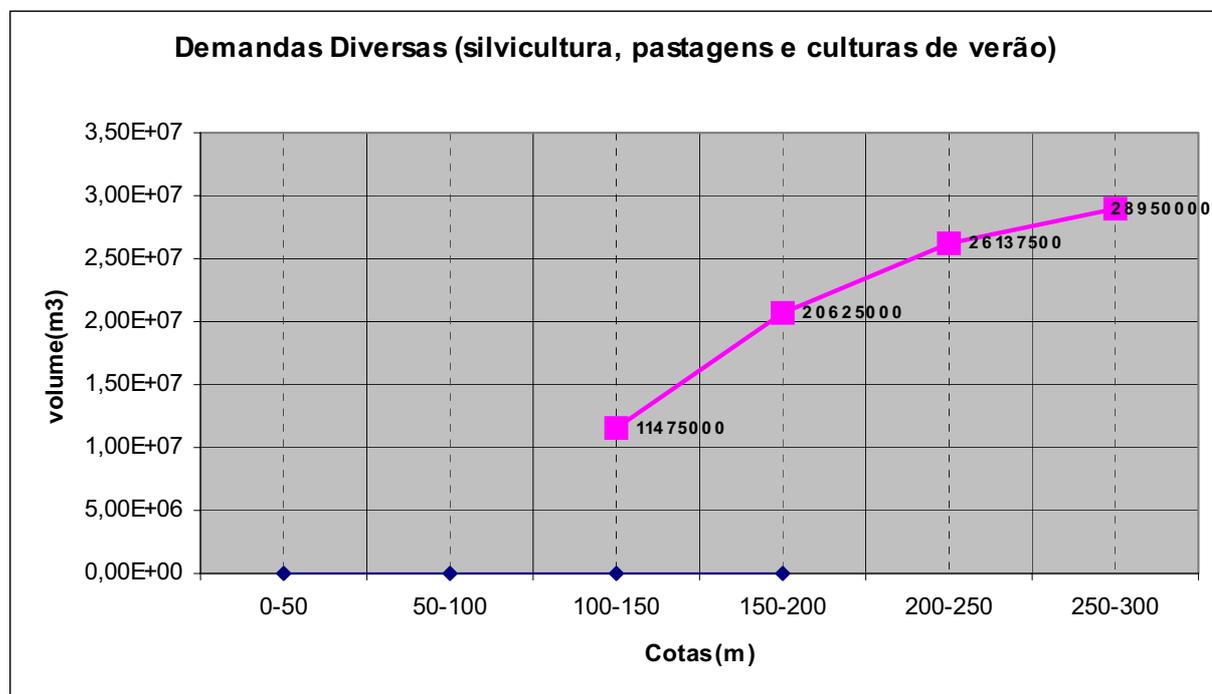
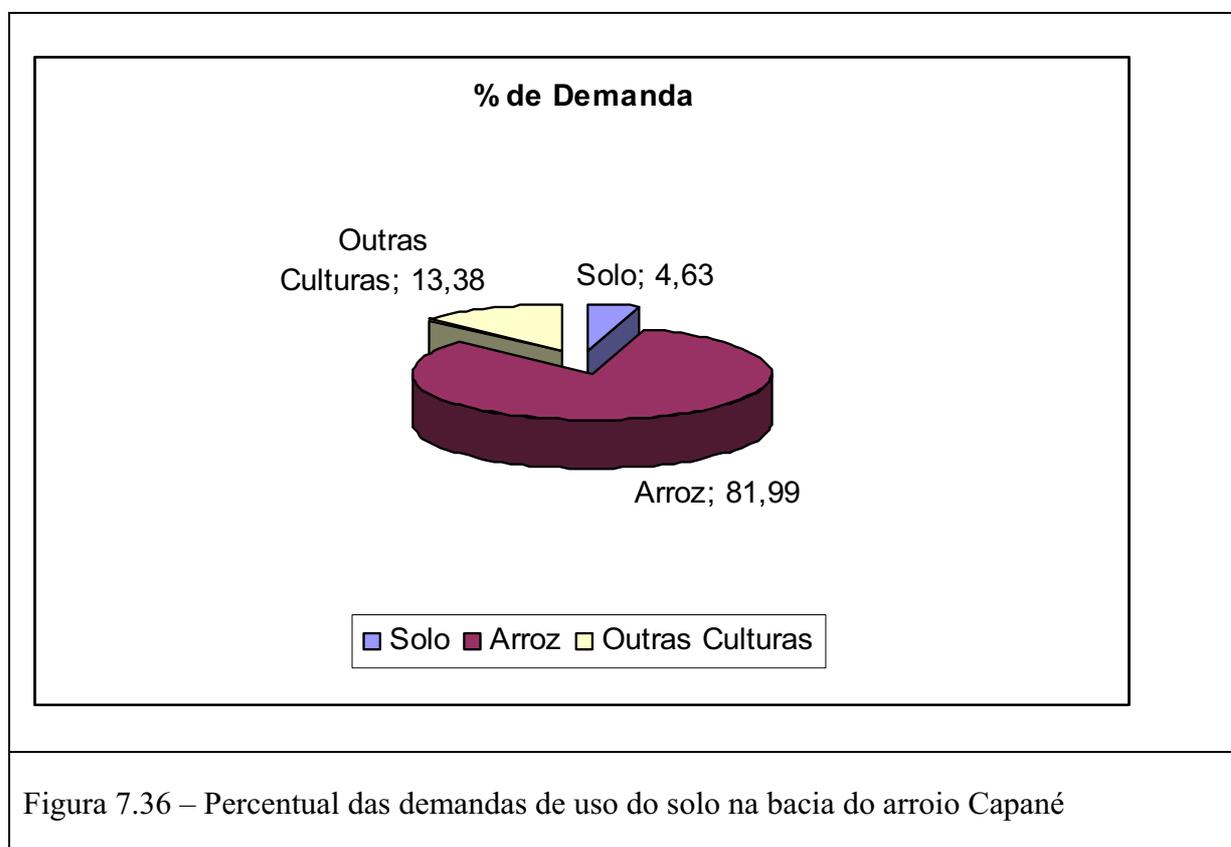


Figura 7.35 – Demandas de outras culturas

Os gráficos representados nas figuras acima identificam a cultura orizícola como a grande responsável pelo consumo na bacia seguida da demanda de outros usos e demanda de perfil do solo. O quadro 7.9 e a figura 7.36 a seguir apresentam os valores de demanda e percentuais de consumo na bacia

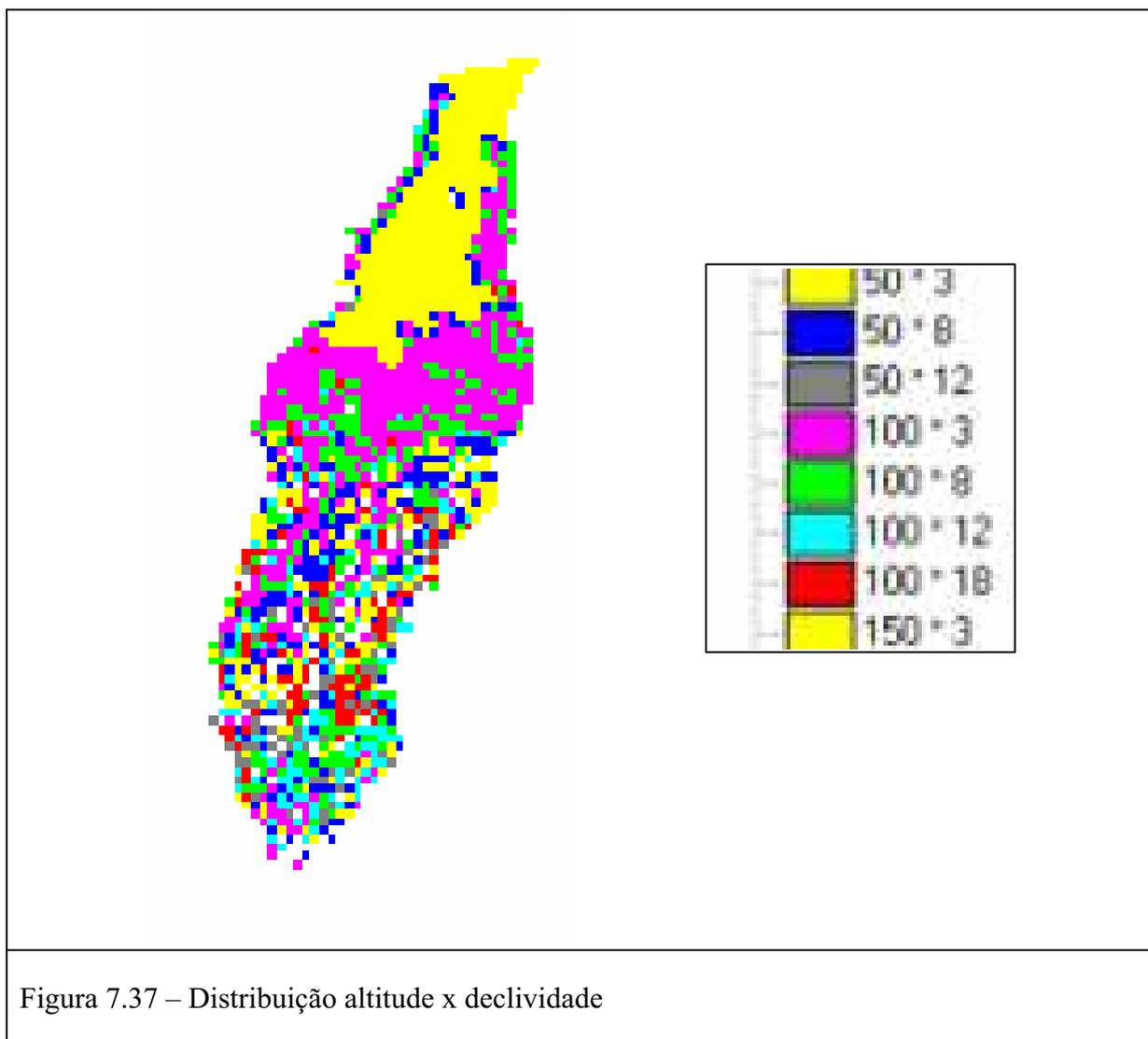
Tipos de uso	Demandas (m ³)	% da demanda total
Perfil do Solo	10.011.416	4,63
Arroz	177.375.000	81,99
Outras culturas	28.950.000	13,38
TOTAL	216.336.416	100,00



7.5. Integração dos dados

A análise integralizada dos dados envolvendo os valores do balanço hídrico (figura 7.38), dados sócio-econômico-ambientais (figura 7.7) e de uso do solo (figuras 7.2 a 7.5) e relevo (figuras 7.6 7.37) permitem as seguintes inferições.

A área para cultura orizícola, desenvolvidas em terrenos com declividade entre 0-3% poderá ser ampliada. Atualmente a área cultivada é da ordem de 6.000ha. Conforme indicam os valores das figuras 7.5 e 7.6, 12.000ha nesta faixa de declividade são utilizados como pastagens. O cruzamento dos mapas temáticos de altitude e declividade permite identificar como áreas potencialmente viáveis ao cultivo do arroz cerca de 8.000ha situados na faixa de altitude 0-100 com declividade de 0-3% (figura 7.32).



A utilização destas áreas potencialmente viáveis ao cultivo de arroz demandará cerca de 159.750.000m³ de água (figura 7.34). Este valor poderá ser suprido pela disponibilidade hídrica superficial (figura 7.38) que nesta faixa de altitude apresenta disponibilidade hídrica superficial de 189.244.900m³.

Para atendimento a este cenário os reservatórios deverão estar situados em cotas superiores à cota 150m. a partir desta cota o relevo apresenta-se mais movimentado com declividades na faixa de 8 a 12% com vales mais encaixados e ombreiras mais definidas para implantação de reservatórios.

A áreas acima das cotas 150 poderão utilizar-se dos recursos hídricos subterrâneos para os diversos usos compatíveis com as características geomorfológicas da bacia. As áreas usadas atualmente para pastagens, silvicultura e culturas de sequeiro (soja, milho e trigo) poderá utilizar-se da captação subterrânea para irrigação. Os modelos 3D da configuração da Formação Rio Bonito indicam pequenas profundidades nestes locais o que reduz substancialmente os custos de exploração.

A barragem atual, situada na várzea (cota 50m), poderia ser desativada e implantado barramento à montante, na cota 150m. Isto permitiria incorporar à área de cultivo cerca de 1.000ha hoje ocupado pelo lago. O volume atual operacional da barragem existente é da ordem de 60.000.000m³ (atualmente atende 4.000ha). Para atender a área potencial (8.000ha) o volume superficial a ser reservado deverá ser 120.000.000m³.

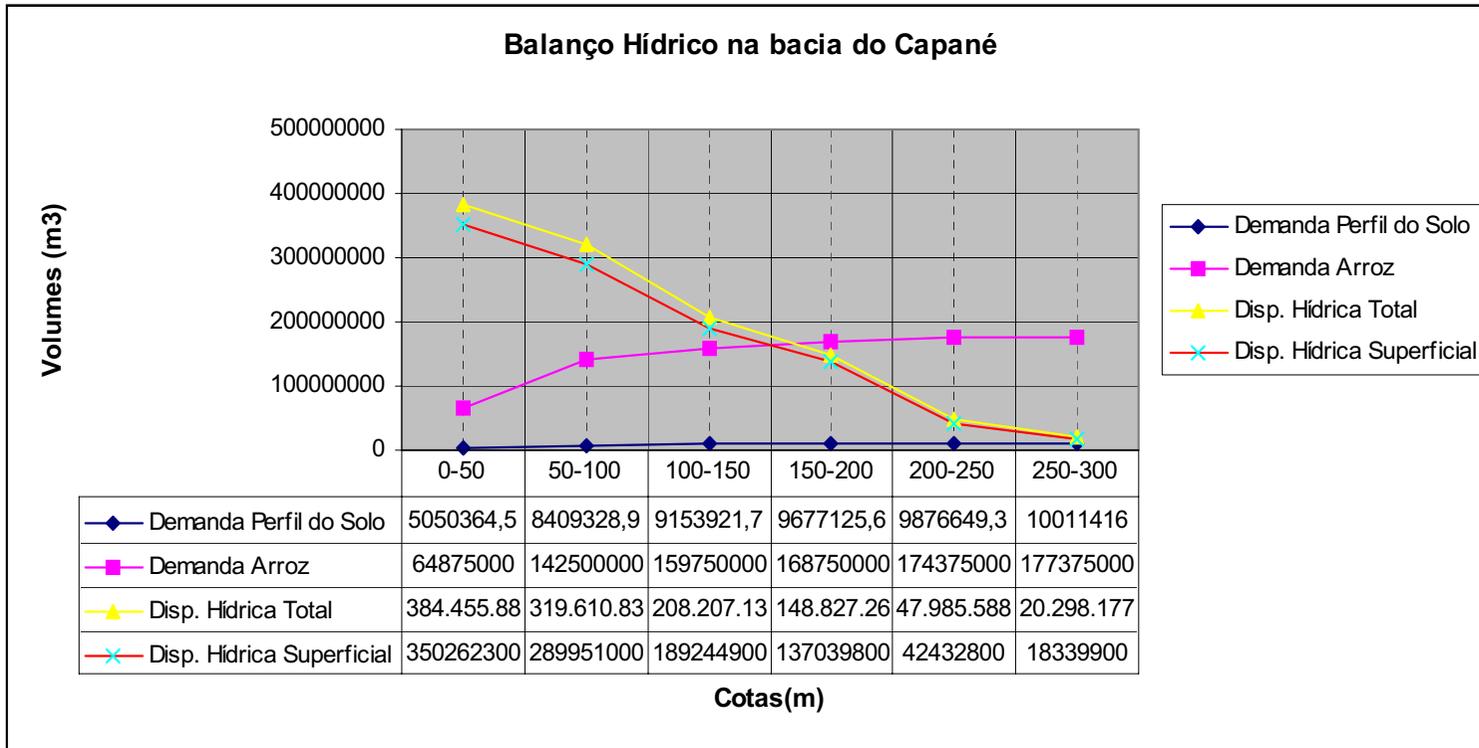


Figura 7.38 – Balanço Hídrico na bacia do arroio Capané

A análise técnica do problema passa obrigatoriamente por aspectos como:

- Locação e dimensionamento dos pontos de captação subterrânea;
- Definição dos locais e volumes de armazenamento

Os reservatórios superficiais poderão ser locados em SIG, utilizando-se o modelo digital do terreno, o que torna simples as operações de avaliação cota x área x volume. Para cada barramento poderá ser feito o processamento hidrológico superficial, utilizando-se os dados digitais já disponíveis.

Os poços de captação subterrânea podem ter o seu raio de influência determinado por método usado em hidrogeologia. A confirmação direta da área de projeção do cone de influência e da área do aquífero, considerando-se alguma margem de segurança, permitirá estimar o número de poços instaláveis e a provável vazão total do sistema. A localização dos poços deve ser feita por especialistas em hidrogeologia.

Os resultados obtidos pelo modelo de análise por uso integrado por geoprocessamento podem ser melhor definidos através de procedimentos e técnicas apresentadas no diagrama a apresentado na figura 7.39.

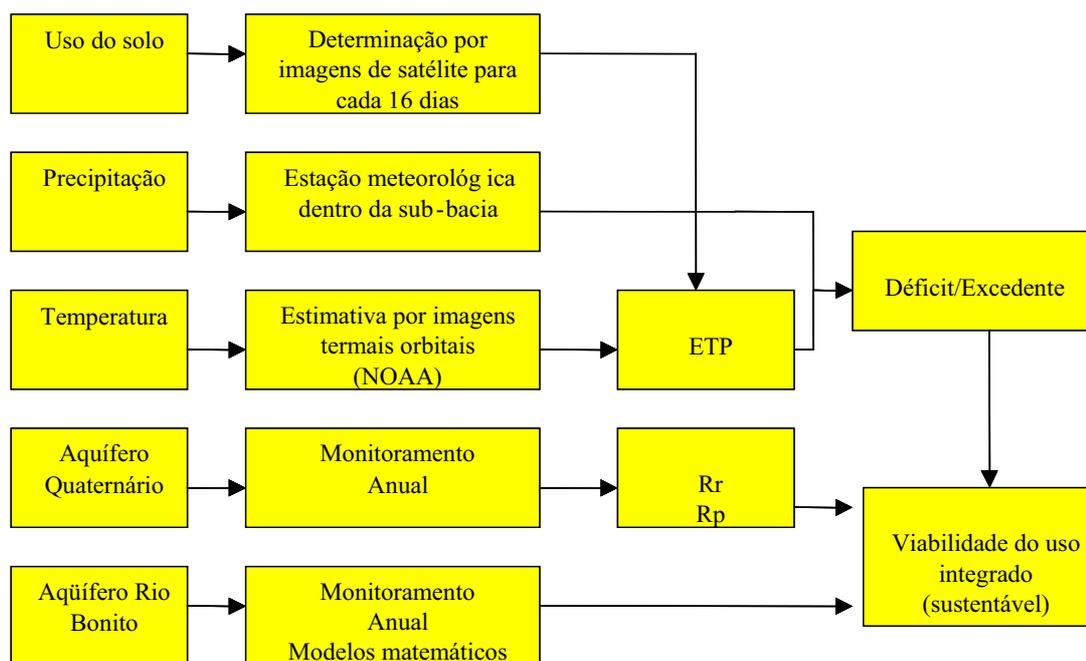


Figura 7.39 – Diagrama de técnicas para uso integrado de geoprocessamento

8. Conclusões

Os resultados obtidos sustentam as seguintes conclusões:

- O balanço hídrico por geoprocessamento mostra déficits inferiores em 60% àqueles obtidos por métodos convencionais;
- A evolução temporal do déficit hídrico ao longo do período de verão (quadro 7.1) mostra diferenças entre os dois métodos. Um dos fatores, o qual pode determinar a diferença de resultados, é o fato de ter-se encontrado déficit em apenas 52% da área, ao aplicar-se a álgebra de mapas em SIG.
- As perspectivas são promissoras para as técnicas de geoprocessamento. Nesta área, principalmente com a elaboração de mapas periódicos de biomassa e, também, a aplicação de imagens termais orbitais na avaliação da evapotranspiração (Shirmbeck/2005 – inédito) o que levará a um aprimoramento das estimativas.
- Uma hipótese para a diferença encontrada, nos valores de déficit hídrico, é que esta, gerada pela análise *pixel a pixel*, seja mais realista;
- Detectou-se a viabilidade ambiental de uso integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.
- Com déficits hídricos superficiais de $13.500.000\text{m}^3$ e disponibilidades hídricas subterrâneas de $134.000.000\text{m}^3$, verifica-se que o do déficit poderia ser equacionado através de um melhor aproveitamento das reservas hídricas subterrâneas.

Tendo-se em vista os custos de instalação, os seguintes procedimentos de geoprocessamento podem ser utilizados:

- Mapas de custo de instalação e operação de poços tubulares a partir das profundidades e vazões dos aquíferos subterrâneos;
- Avaliação de volumes dos barramentos, bem como canais de irrigação e outras obras de terra, a partir do modelo digital do terreno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, 2002. A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil. Edição Comemorativa do Dia Mundial da Água, Brasília.

A . Jon Kimerling, 2002. Sistemas de Informações Geográficas e Cartografia. Unesp, Associação Cartográfica Internacinal - Campus de Presidente Prudente – Faculdade de Ciências e Tecnologia, hipertexto em português.

Allen, R. G., Jensen, M. E., Wright, J. L., Burman, R. D., 1989. Operational estimates of evapotranspiration. *Agronomy Journal*, 81: 650-662.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO. Irrigation and drainage paper 56. Water Resources, Development and Management Service, Rome, Italy.

Anderson, 1979. Ciência e Aplicação de Geoprocessamento.

ATLAS AGROCLIMÁTICO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – SECRETARIA DA AGRICULTURA. 1989.

BANCO MUNDIAL, 1992. Relatório sobre Desenvolvimento Mundial. Baseado em dados do Instituto Mundial sobre recursos hídricos.

BANCO MUNDIAL, 2000/2001. Relatório sobre Desenvolvimento Mundial. Baseado em dados do Instituto Mundial sobre recursos hídricos.

Barth, Flávio Terra *et al*, ABRH,1987. Modelos para Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Blaney e Criddle, 1950. Método de cálculo de evapotranspiração.

Burman, R., Pochop, L., 1994. Evaporation, evapotranspiration and climatic data. *Developments in Atmospheric Science*, 22, Elsevier, Amsterdam.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS – CPRM, 2000. Mapa Geológico de Cachoeira do Sul, escala 1:250.000 (Porcher & Lopes, 2000)

De Juan, J. A., Martín de Santa Olalla, F., 1993. El estrés hídrico en las plantas. *Agronomía del Riego*, Ediciones Mundi-Prensa-Universidad de Castilla-La Mancha, Madrid, 125-238.

Dessart, Rafael Lima, 2003. Geologia de subsuperfície e considerações hidrogeológicas preliminares da área da bacia hidrográfica do arroio Capané, Cachoeira do Sul-RS, Brasil. Trabalho de Conclusão de curso de graduação em geologia.

Doorenbos, J., Pruitt, W., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage. Paper FAO 24, Rome.

Doorenbos, J., Kassam, A., 1986. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudios FAO Serie riego y drenaje 33, Roma, 212 pp.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 1999

Edemar et al., 2002. EMATER.

Feitosa et al., 2000. Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM.

Gilberto Câmara et al, 2002. Introdução à Ciência da Geoinformação

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DE OBRAS E SANEAMENTO. DEPARTAMENTO DE RECURSO HIDRICOS E SANEAMENTO – DRHS. SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. ECOPLAN Engenharia, 1996. Avaliação das Disponibilidades e Demandas de Água na Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DE OBRAS E SANEAMENTO. DEPARTAMENTO DE RECURSO HIDRICOS E SANEAMENTO – DRHS. SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. DEPARTAMENTO DE RECURSO HIDRICOS E SANEAMENTO - DRHS, Bourscheid Engenharia, 1999. Avaliação das Disponibilidades e Demandas de Água na Bacia Hidrográfica do Baixo Jacuí.

Hansen, M. A. F. Proposta de indicadores de sustentabilidade visando a síntese do diagnóstico ambiental, social e econômico para bacias hidrográficas. Estudo de caso: Subsistema Baixo Camaquã. Porto Alegre, 2001. 6489p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

Hansen, M. A. F., Lanna, A. E. L. Zonas e Zoneamento Ecológico-Econômico na Gestão de Recursos Hídricos: In: Programa Zoneamento Ecológico-Econômico. Diretrizes Metodológicas para o Zoneamento Ecológico do Brasil, Brasília: Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável do Ministério do Meio Ambiente, 2001. p.20.

Hargreaves, G., Samani, Z., 1985. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. Applied Engineering in Agricultural 1(2):96-99.

Hupet, F., Vanclooster, M., 2001. Effect of the sampling frequency of meteorological variables on the estimation of the reference evapotranspiration. Journal of Hydrology, 243, 192-204.

ILWIS 2.1 for Windows – User’s Manual of the integrated land and water information system. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences. Enschede. The Netherlands, 1997, 511p.

IRGA, 1945. Elementos do Projeto da Barragem do Arroio Capané.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 1986.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo 2006.

Jensen, M.E.; Haise, H.R., 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. Journal of Irrigation and Drainage of the American Society of Civil Engineers, New York. 89: 15-41.

Jensen, M. E., 1974. Consumptive use of water and irrigation water requirements. Rep. Tech. Com. on Irrig. Water Requirements, Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers, 227 pp.

Jensen M. E., Burman R. D., Allen R. G., 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manual N° 70, 332 pp.

Jugurta Lisboa Filho & Cirano Iochpe, 1996. Universidade Federal de Viçosa e Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados.

Kerkides et al., 1996. Balanço Hídrico.

Kimerling, A. . Jon 2002. Sistemas de Informações Geográficas e Cartografia. Unesp, Associação Cartográfica Internacional –Campus de Presidente Prudente – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Hipertexto em português.

Lanna in: Tucci, 1993. Hidrologia: Ciência e Aplicação. UFRGS.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, CONSELHO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, IRGA, Magna engenharia, 1988. Estudos de Alternativas e Projeto Básico de Barragem na Bacia do Arroio Capané, vol. 1, 2 e 3. Relatório Geral de Projeto, Estudos topográficos, geotécnicos e hidrológicos.

Monteith, J. L., 1981. Evaporation and surface temperature. Quaterly Journal Royal Meteorological Society 107: 1-27.

Monteith, J. L., Unsworth, M. H., 1990. Principles of Environmental Physics. Edward Arnold, London, second edition, 291 pp.

- Penman, H. L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceeding Royal Society London* 193: 120-145.
- Rivas, R., Caselles, V., 2004. A simplified equation to estimate spatial reference evaporation from remote sensing –based surface temperature and local meteorological data. *Remote Sensing of Environment*, 93: 68-76.
- Rozely Ferreira dos Santos et al.,1997. *Planejamento Ambiental e Sistemas de Informações Geográficas*, vol. 1, número 2 – artigo 2 – *Caderno de Informações Georreferenciadas – CIG*.
- Sánchez, T., 1992. Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. *Cuadernos técnicos de la Sociedad Española de Geomorfología*, Geofoma Ediciones, Logroño.
- Santos et al., 1968/1997. *Hidrologia*. UFRGS.
- Swami M. Villela & Arthur Mattos, 1987. *Hidrologia Aplicada*, volume único.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate *Geographical Review*, 38: 55-94.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1957. Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance. *Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology*, 10, 3: 185-311.
- Tucci, Caio E. M., Organizador, 1993. *Hidrologia e Aplicação*. UFRGS.
- Turc, L., 1961. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Annals of Agronomy*, 12: 13-14.
- UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL AND DEVELOPMENT, AGENDA 21, CHAPTER 18, 1992. *Protection of de Quality and Supply of Freshwater Resources: Aplication of Integrated Approaches to the Development, Managment and Use of Water Resources*.
- UNISINOS, 1998. LASERCA. Levantamentos geofísicos da barragem do arroio Capané.
- Usunoff E., Varni M., Weinzettel, P., Rivas, R., 1999. Hidrogeología de grandes llanuras: La pampa húmeda Argentina. *Boletín Geológico y Minero* 110(4): 391-406.
- Weinzettel e Usunoff, 2001. Perda de água no solo.